

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE PRÉVIO  
A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERA MECÁNICA**

**TEMA:**

---

**“ESTUDIO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL ANÁLISIS  
METALOGRAFICO MEDIANTE RÉPLICAS Y SU INCIDENCIA EN EL  
COSTO DEL ENSAYO METALOGRAFICO NO DESTRUCTIVO EN  
UNIONES SOLDADAS DE ACERO A36”**

---

**AUTOR:**

**Egda. Alejandra Marlene Lascano Moreta**

**TUTOR:**

**MSC. Manolo Córdova Suarez**

**Ambato – Ecuador**

**2011**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de Tutor de la presente Tesis de Grado, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema “ESTUDIO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL ANÁLISIS METALOGRÁFICO MEDIANTE RÉPLICAS Y SU INCIDENCIA EN EL COSTO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO NO DESTRUCTIVO EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO A36”, ejecutado por la Señorita. Alejandra Marlene Lascano Moreta, egresada de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que la presente tesis fue elaborada en su totalidad por la autora y ha sido concluida en forma total, en apego al plan de tesis aprobado.

.....

**Ing. Manolo Córdova**  
**TUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **AUTORÍA**

El contenido de la presente investigación desarrollada bajo el tema “ESTUDIO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL ANÁLISIS METALOGRAFICO MEDIANTE RÉPLICAS Y SU INCIDENCIA EN EL COSTO DEL ENSAYO METALOGRAFICO NO DESTRUCTIVO EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO A36”, así como las opiniones e ideas, vertidas, comentarios de resultados y análisis son de exclusiva responsabilidad del autor.

.....  
**Egda. Alejandra Marlene Lascano Moreta**  
**C.I 180428008-7**





## DEDICATORIA

Esta tesis es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas por esto y más, la dedico:

A Dios porque me dio la sabiduría para emprender este camino y siempre me mantuvo con el optimismo de saber que la confianza en sí mismo es el primer secreto del éxito porque lo que bien empieza bien acaba...

A mis padres, Vicente e Inés, por darme todo sin esperar nada a cambio, por disfrutar y sufrir conmigo, por su apoyo constante y sobre todo por enseñarme a vivir.

A esa persona especial que siempre ha creído en mí y me ha dado la fuerza necesaria para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por ser la luz que en todo momento de mi carrera estuvo presente, por darme la fuerza y entendimiento para terminar esta investigación.

Al ingeniero Manolo Córdova que supo guiarme en éste trabajo, y a todos mis maestros por sus sabias enseñanzas y valiosos consejos.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### PÁGINAS PRELIMINARES

|   |      |
|---|------|
| Página de título.....                           | I    |
| Página de aprobación por el Tutor.....          | II   |
| Página de autoría de la Tesis.....              | III  |
| Página de aprobación del Tribunal de Grado..... | IV   |
| Página de dedicatoria.....                      | V    |
| Página de agradecimiento.....                   | VI   |
| Índice de contenidos.....                       | VII  |
| Índice de gráficos y tablas.....                | XIII |
| Resumen ejecutivo.....                          | XV   |

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA

|  |   |
|--|---|
| 1.1 Tema.....                          | 1 |
| 1.2 Planteamiento del problema.....    | 1 |
| 1.2.1 Contextualización.....           | 1 |
| 1.2.2 Análisis crítico.....            | 3 |
| 1.2.3 Prognosis.....                   | 3 |
| 1.2.4 Formulación del problema.....    | 3 |
| 1.2.5 Preguntas directrices.....       | 4 |
| 1.2.6 Delimitación del problema.....   | 4 |
| 1.2.6.1 Delimitación de contenido..... | 4 |
| 1.2.6.2 Delimitación espacial.....     | 5 |
| 1.2.6.2 Delimitación temporal.....     | 5 |
| 1.3 Justificación.....                 | 5 |
| 1.4 Objetivos.....                     | 6 |
| 1.4.1 Objetivo General.....            | 6 |
| 1.4.2 Objetivos Específicos.....       | 6 |

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

|   |    |
|---|----|
| 2.1 Antecedentes investigativos.....  | 7  |
| 2.2 Fundamentación filosófica.....  | 9  |
| 2.3 Fundamentación legal.....   | 9  |
| 2.4 Fundamentación teórica.....   | 10 |
| 2.4.1 Soldabilidad.....   | 10 |
| 2.4.2 Soldadura.....  | 10 |
| 2.4.3 Soldadura de arco manual (SMAW).....  | 11 |
| 2.4.3.1 Regiones presentes en la soldadura.....   | 12 |
| 2.4.4 Tamaño de Grano.....  | 16 |
| 2.4.4.1 Método de comparación.....  | 17 |
| 2.4.4.2 Método planimétrico.....  | 18 |
| 2.4.4.3 Métodos de intersección.....  | 20 |
| 2.4.5 Réplicas metalográficas.....  | 23 |
| 2.4.5.1 Materiales utilizados para réplicas.....  | 24 |
| 2.4.5.2 Proceso para la preparación de muestras para la obtención de réplicas metalográficas..... | 24 |
| 2.4.5.3 Información obtenible de las réplicas.....  | 28 |
| 2.4.6 Plásticos.....  | 29 |
| 2.4.6.1 Termoplásticos.....   | 29 |
| 2.4.6.1.1 Polietileno.....  | 30 |
| 2.4.6.1.2 Policloruro de vinilo flexible (FPVC).....  | 31 |
| 2.4.6.1.3 Policloruro de vinilo rígido (RPVC).....  | 32 |
| 2.4.6.1.4 Polímero de estireno butadieno acrilonitrilo (ABS).....                                 | 34 |
| 2.4.6.1.5 Polipropileno.....  | 34 |
| 2.4.6.1.6 Poliestireno (PS).....  | 34 |
| 2.4.6.2 Plásticos Termoestables, Termofijos o termoendurecibles.....                              | 35 |
| 2.4.7 Siliconas.....  | 36 |
| 2.4.7.1 Propiedades Particulares de las Siliconas.....  | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 2.4.7.2 Propiedades mecánicas.....   | 37 |
| 2.4.7.3 Propiedades Eléctricas.....  | 38 |
| 2.4.8 Pinturas Plásticas.....  | 38 |
| 2.4.9 Pintura Acrílica.....  | 39 |
| 2.4.10 Alcohol Polivinílico.....   | 39 |
| 2.4.11 Resina Poliéster.....   | 39 |
| 2.4.11.1 Introducción a la Resina Poliéster.....                               | 40 |
| 2.4.11.2 Poliéster.....  | 41 |
| 2.4.11.3 Curado de la Resina Poliéster.....                                    | 42 |
| 2.4.11.4 Catalizadores.....  | 44 |
| 2.4.11.5 Acelerante.....   | 44 |
| 2.4.11.4 Modo de Mezclar las Resinas.....                                      | 46 |
| 2.4.11.5 Propiedades de la resina en estado sólido o polimerización..          | 47 |
| 2.4.12 Ésteres.....  | 47 |
| 2.4.13 Costo para la realización del ensayo metalográfico por<br>réplicas..... | 48 |
| 2.5 Categorías fundamentales.....  | 49 |
| 2.6 Hipótesis.....   | 50 |
| 2.7 Señalamiento de variables de la hipótesis.....                             | 50 |
| 2.7.1 Variable Independiente.....  | 50 |
| 2.7.2 Variable Dependiente.....  | 50 |
| 2.7.3 Término de relación.....   | 50 |

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

|  |    |
|--|----|
| 3.1 Enfoque.....                                 | 51 |
| 3.2 Modalidad de la investigación.....           | 51 |
| 3.3 Niveles de la investigación.....             | 52 |
| 3.4 Población y muestra.....                     | 53 |
| 3.4.1 Población.....                             | 53 |
| 3.4.2 Muestra.....                               | 53 |
| 3.5 Operacionalización de variables.....         | 54 |
| 3.5.1 Variable independiente.....                | 54 |
| 3.5.2 Variable dependiente.....                  | 55 |
| 3.6 Recolección de la información.....           | 56 |
| 3.7 Procesamiento y análisis.....                | 56 |
| 3.8 Análisis e interpretación de resultados..... | 56 |

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

|   |     |
|---|-----|
| 4.1 Diseño de la junta soldada.....   | 57  |
| 4.1.1 Elección del tipo de electrodo.....   | 58  |
| 4.2 Proceso de análisis de resultados.....  | 58  |
| 4.3 Presentación de resultados.....   | 60  |
| 4.4 Análisis de costos para la realización del ensayo metalográfico por réplicas.....                                 | 116 |
| 4.4.1 Comparación de los costos para la realización del ensayo metalográfico por réplicas (Inversión inicial).....    | 118 |
| 4.5 Evaluación de las probetas de uniones soldadas de acero A36 usando como medio replicante la Resina Poliéster..... | 120 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.5.1 Resultado comparativo entre microfotografías de la metalurgia de la soldadura, analizadas directamente y por réplicas..... | 140 |
| 4.6 Verificación de la hipótesis.....  | 142 |

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 5.1 Conclusiones.....    | 143 |
| 5.2 Recomendaciones..... | 146 |

## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

|   |     |
|---|-----|
| 6.1 Datos informativos.....   | 149 |
| 6.2 Antecedentes de la propuesta.....   | 150 |
| 6.3 Justificación.....  | 150 |
| 6.4 Objetivos.....  | 151 |
| 6.4.1 Objetivo general.....   | 151 |
| 6.4.2 Objetivos específicos.....  | 151 |
| 6.5 Análisis de factibilidad.....   | 151 |
| 6.6 Fundamentación.....   | 152 |
| 6.6.1 Reacción química de la mezcla replicante.....   | 152 |
| 6.6.2 Medidas consideradas para la superficie a replicar y de la réplica metalográfica.....                             | 153 |
| 6.6.3 Dosificación de la mezcla replicante.....   | 154 |
| 6.6.4 Evaluación de costos y beneficios económicos del análisis metalográfico por réplicas usando Resina Poliéster..... | 155 |
| 6.6.4.1 Diagrama de proceso.....  | 155 |

|  |     |
|--|-----|
| 6.6.4.2 Comparación de los costos para la realización del ensayo metalográfico por réplicas.....   | 156 |
| 6.6.4.3 Valoración económica por muestra analizada.....  | 157 |
| 6.6.4.3.1 Valoración económica por muestra analizada a través de metalografía convencional (ensayo destructivo).....   | 157 |
| 6.6.4.3.2 Valoración económica por muestra analizada a través de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster (Ensayo no destructivo).....                        | 160 |
| 6.6.4.3.3 Valoración económica por muestra analizada a través de réplicas metalográficas usando Resina en polvo Technovit 3040 a base de Metacrilato de Metilo ..... | 162 |
| 6.6.4.3.4 Comparación de costos entre muestras analizadas con ensayos destructivos y no destructivos .....   | 163 |
| 6.6.4.4 Costo y número de réplicas obtenidas .....   | 165 |
| 6.7 Metodología.....   | 168 |
| 6.7.1 Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas ...   | 168 |
| 6.8 Administración.....  | 182 |
| 6.9 Previsión de la evaluación.....  | 184 |



## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y TABLAS

### GRÁFICOS

|  |     |
|--|-----|
| Gráfico 1. Proceso de soldadura SMAW .....   | 12  |
| Gráfico 2. Zonas de la soldadura.....  | 13  |
| Gráfico 3. Zonas afectadas por el calor.....   | 15  |
| Gráfico 4. Plantillas de Comparación.....  | 17  |
| Gráfico 5. Método planimétrico.....  | 19  |
| Gráfico 6. Geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección.....                 | 21  |
| Gráfico 7. Métodos de intercepción.....  | 22  |
| Gráfico 8. Réplica metalográfica.....  | 23  |
| Gráfico 9. Desbaste Grueso con el uso de una amoladora Portátil.....   | 25  |
| Gráfico 10. Representación de la superficie al comienzo del pulido grueso .....  | 26  |
| Gráfico 11. Estructura de la silicona.....   | 36  |
| Gráfico 12. Diseño de la junta soldada.....  | 57  |
| Gráfico 13. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Materiales alternativos vs Resina Technovit 3040..... | 119 |
| Gráfico 14. Medidas consideradas para la superficie a replicar y de la réplica metalográfica.....                                  | 154 |
| Gráfico 15. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Resina Poliéster vs Resina Technovit 3040.....        | 157 |
| Gráfico 16. Costos por muestras analizadas con ensayos destructivos y no destructivos.....   | 163 |
| Gráfico 17. Porcentaje de daño a la pieza o elemento para el análisis por ensayos metalográficos.....                              | 165 |
| Gráfico 18. Costo del medio replicante para obtener 500 muestras.....  | 167 |
| Gráfico 19. Platinas de acero A36.....   | 171 |

|   |     |
|---|-----|
| Gráfico 20. Electrodo E6011.....                        | 172 |
| Gráfico 21. Soldadura de las probetas.....              | 174 |
| Gráfico 22. Limpieza del cordón de soldadura.....       | 174 |
| Gráfico 23. Selección de la superficie de análisis..... | 175 |
| Gráfico 24. Amoladora portátil.....                     | 176 |
| Gráfico 25. Desbastado de la superficie.....            | 177 |
| Gráfico 26. Pulido fino.....                            | 177 |
| Gráfico 27. Ataque químico.....                         | 178 |
| Gráfico 28. Dosificación de la Resina Poliéster.....    | 179 |
| Gráfico 29. Adición del acelerante (cobalto).....       | 179 |
| Gráfico 30. Adición catalizador (Peróxido o MEK).....   | 180 |
| Gráfico 31. Aplicación del medio replicante.....        | 180 |

## TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Factor de corrección Q.....  | 18  |
| Tabla 2. Origen químico de las Resinas Poliéster.....   | 42  |
| Tabla 3. Costo del ensayo metalográfico por réplicas.....   | 48  |
| Tabla 4. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, usando Goma como medio replicante (Inversión inicial).....                      | 116 |
| Tabla 5. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, usando Resina Poliéster como medio replicante. (Inversión inicial).....         | 117 |
| Tabla 6. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, usando Silicón Caliente como medio replicante. (Inversión inicial).....         | 118 |
| Tabla 7. Costo total para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Materiales alternativos vs Resina Technovit 3040 (Inversión inicial)..... | 119 |
| Tabla 8. Costo total de la inversión inicial para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Resina Poliéster vs Resina                        |     |

|  |     |
|--|-----|
| Technovit 3040.....  | 156 |
| Tabla 9. Costo por muestra analizada a través de metalografía convencional.....                        | 159 |
| Tabla 10. Costo por muestra analizada a través de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster..... | 161 |
| Tabla 11. Costo por réplica metalográfica usando Resina Technovit 3040.....                            | 162 |
| Tabla 12. Costos por muestras analizadas con ensayos destructivos y no destructivos.....               | 163 |
| Tabla 13. Costo total de la investigación.....   | 182 |

## **Resumen ejecutivo**

Luego de analizar la problemática de los elevados costos de los ensayos metalográficos no destructivos usando réplicas metalográficas, se determinó que estos costos están directamente relacionados al medio replicante utilizado para obtener las muestras metalográficas, por lo cual el presente trabajo se encamina básicamente a disminuir los costos del ensayo por réplicas metalográficas, mediante el estudio de un material el cual sirva como medio replicante para desarrollar dicho ensayo.

Para el desarrollo de éste trabajo, se empezó con la preparación de probetas de juntas soldadas en las cuales se preparó una superficie apta para la aplicación de un ensayo por réplicas metalográficas, posteriormente se experimentó con distintos materiales los cuales a criterio del autor podían servir como medio replicante, éstos fueron aplicados a modo de prueba y error en las superficies preparadas metalográficamente, luego de numerosos ensayos se encontraron materiales aptos para ser usados como medios replicantes, con estos materiales se realizaron nuevos ensayos con el objeto de determinar cuál de ellos ofrecía los mejores resultados tanto en calidad de replicado como en costos.

Finalmente se desarrolló un procedimiento el cuál servirá de guía para la aplicación de este material como medio replicante en el ensayo por réplicas metalográficas. Cabe destacar que todo el trabajo se encuentra desarrollado tomando en cuenta el cumplimiento de las distintas normas aplicables a esta investigación.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 TEMA:**

ESTUDIO DE MATERIALES ALTERNATIVOS PARA EL ANÁLISIS METALOGRÁFICO MEDIANTE RÉPLICAS Y SU INCIDENCIA EN EL COSTO DEL ENSAYO METALOGRÁFICO NO DESTRUCTIVO EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO A36.

#### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

En el mundo actual se le concede gran importancia a los trabajos de inspección durante la fabricación, explotación y reparación de los distintos componentes que forman parte de la industria. Las metodologías de inspección vinculan un conjunto de técnicas de control de los materiales y de los equipos donde en última instancia el estado técnico del material es el que puede inutilizar totalmente una instalación o pieza, por lo que las técnicas destinadas al conocimiento del estado estructural del material y por tanto a su potencialidad técnica son de gran importancia, dentro de ellas la metalografía "in situ" cada día ocupa un papel preponderante por la cantidad de información que puede brindar de manera rápida y sencilla. Por lo cual las diversas técnicas de Ensayos no Destructivos empiezan a ser desarrolladas para control de procesos e instalaciones, entre estas la técnica de réplicas metalográficas que desde su implementación en 1957, ha sido una herramienta fundamental en la evaluación microestructural no

destruictiva. El empleo de esta técnica para la evaluación de la vida residual de componentes de generadores de vapor, tuberías, etc, se hizo notorio en la década de los 80, incrementándose en 1987, después de la ocurrencia de accidentes catastróficos en tuberías de vapor de acero generalmente.

Esta técnica permite detectar cambios microestructurales a nivel de la superficie de los componentes, consiste en la observación de la microestructura del componente. Dicha observación suele realizarse de un modo indirecto, a través de una reproducción negativa de la superficie pulida metalográficamente y posteriormente atacada. Esta reproducción se obtiene mediante una película plástica, llamada réplica, la cual copia el relieve de la superficie.

En los últimos años países como Argentina, Uruguay y Colombia han realizado un conjunto de trabajos de inspección donde el uso de esta técnica ha permitido la evaluación del estado de los materiales y la reparación adecuada o la puesta fuera de servicio de equipos que podían haber ocasionado lamentables accidentes; por lo cual, se han desarrollado procedimientos propios y adecuado materiales para la metalografía "in situ" mediante la réplica metalográfica.

En estos países se han desarrollado distintos tipos de réplicas que se clasifican en: réplicas simples o negativas y las réplicas positivas o en dos pasos, en ambos casos la calidad de las mismas dependen de la capacidad de reproducir la superficie estudiada y la facilidad de ser desprendidas sin sufrir roturas o deformaciones de la superficie copiada lo que está determinado entre otros factores por el tamaño de las moléculas que componen el material empleado en la réplica.

En nuestro país las investigaciones sobre este tema son muy escasas por lo que es un área poco conocida y explotada dentro de los ensayos no

destruyctivos de campo. Sin embargo en la Universidad Técnica de Ambato existe una tesis en la cual se hace un análisis metalográfico no destruyctivo mediante réplicas para evaluar microestructuras, aportando así de cierto modo en el desarrollo y futura explotación de esta técnica.

### **1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO**

Debido a la limitación de los ensayos destruyctivos para el análisis de soldaduras es necesario realizar ensayos no destruyctivos “in situ” en las soldaduras, sin embargo los ensayos no destruyctivos implican varios inconvenientes como escasa información sobre el procedimiento de análisis de la microestructura y procedimientos con altos costos en especial de los materiales para realizar la técnica de ensayos no destruyctivos por réplicas el cual permite visualizar la microestructura de dichas uniones.

### **1.2.3 PROGNOSIS**

Si no se buscan materiales alternativos para el análisis metalográfico mediante réplicas no se podrá disminuir los efectos de los costos del ensayo metalográfico no destruyctivo en uniones soldadas y será cada vez más evidente la poca utilización de ensayos metalográficos en la evaluación de la microestructura de uniones soldadas dando como resultado que se tenga que recurrir a ensayos metalográficos destruyctivos para la evaluación de la microestructura de dichas uniones.

### **1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Con el estudio de materiales alternativos para el análisis metalográfico mediante réplicas se disminuirá el costo del ensayo metalográfico no destruyctivo en uniones soldadas de acero A36?

## **1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES**

- ¿Cuál será el material alternativo para usarlo en el análisis metalográfico mediante réplicas y que disminuya el costo de dicho ensayo?
- ¿Cómo realizar el estudio de un material alternativo para el análisis metalográfico mediante réplicas utilizando polímeros?
- ¿Qué características físico –químicas adecuadas tendrá del polímero que se podría utilizar en el ensayo metalográfico mediante réplicas?
- ¿Con qué polímeros se llevarán a cabo los ensayos para que estos cumplan con las facilidades del método y evaluación de réplicas metalográficas contempladas en las normas técnicas ASTM E 1351-96?
- ¿Cuál será el procedimiento para realizar el ensayo metalográfico mediante réplicas usando el material alternativo encontrado, tomando en cuenta la legislación y normas vigentes?

## **1.2.6 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.6.1 Delimitación de contenido:**

Los parámetros científicos de investigación están enmarcados dentro del campo de Ingeniería Mecánica, específicamente dentro del área de Materiales, para lo cual se hace uso de la biblioteca física, empleando normas y demás documentación relacionadas al ensayo metalográfico mediante réplicas y los materiales utilizados para la realización del mismo en uniones soldadas de acero A36; utilizando para tales uniones el proceso de soldadura SMAW y un tipo de unión a tope.



#### **1.2.6.2 Delimitación espacial:**

La presente investigación se realiza en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Laboratorio de Materiales de Ingeniería Mecánica, campus Huachi.

#### **1.2.6.3 Delimitación temporal:**

La ejecución de esta investigación sobre el estudio de materiales alternativos para el análisis metalográfico mediante réplicas se efectúa durante el periodo establecido de noviembre 2010 – mayo 2011.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

Las relaciones existentes entre microestructura-tratamiento térmico, microestructura-propiedades mecánicas, microestructura-resistencia a la corrosión hacen que el estudio de la microestructura de los metales y especialmente de uniones soldadas constituya una herramienta valiosa ya sea en la investigación científico-tecnológica como en el control de los materiales.

Al ser el análisis metalográfico un ensayo destructivo, crea una seria limitación en el caso de análisis metalográfico de control o análisis de fallas en servicio. La metalografía no destructiva al dar información sobre el estado microestructural de los componentes posibilita verificar la existencia de alteraciones que dan indicación sobre comportamiento futuro de dichos elementos.

Los ensayos de medición de espesor de elementos entre otros tantos ensayos pueden dar indicaciones sobre ciertos mecanismos de falla (Corrosión-Erosión, etc.), pero no pueden dar información sobre

mecanismos de degradación microestructural del componente en donde no existe disminución de espesores.

En resumen la técnica de metalografía no destructiva (Réplica metalográfica) aplicada a problemas de este tipo es de gran ayuda, de aquí la importancia de realizar la presente investigación a fin de estudiar nuevas alternativas que permitan llevar a cabo dicha técnica a bajos precios y con materiales de fácil adquisición.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Encontrar un material alternativo para usarlo en el análisis metalográfico mediante réplicas y que disminuya el costo de dicho ensayo.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el estudio de un material alternativo para el análisis metalográfico mediante réplicas utilizando polímeros.
- Definir las características físico – químicas adecuadas del polímero que se puede utilizar en el ensayo metalográfico mediante réplicas.
- Ensayar con polímeros que cumplan con las facilidades del método y evaluación de réplicas metalográficas contempladas en las normas técnicas ASTM E 1351-96.
- Desarrollar el procedimiento para realizar el ensayo metalográfico mediante réplicas usando el material alternativo encontrado, tomando en cuenta la legislación y normas vigentes.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes investigativos**

“La metalografía "in situ" es una herramienta para la investigación metalográfica, que permite evaluar el estado de la degradación estructural de una instalación sin destruir los elementos de un determinado componente crítico, sin tener que cortar una muestra, o sea, permite conocer y estudiar la microestructura del objeto a pie de obra. Este ensayo debe dirigirse a las zonas que arrojan mayores posibilidades de rotura y a los sitios donde hay cambios frecuentes de temperatura, que son los puntos de mayor posibilidad de la degradación estructural.

En las especificaciones de soldadura no es frecuente que se pidan pruebas metalográficas. Se efectúan para fines tales como la determinación de la distribución de las inclusiones no metálicas, el número de cordones, la estructura del metal depositado y la extensión y estructura de la zona de influencia térmica.

La réplica metalográfica, desde su implementación en 1957, ha sido una herramienta fundamental en la evaluación microestructural no destructiva. El empleo de esta técnica para la evaluación de la vida residual de componentes de generadores de vapor, tuberías, etc, se hizo notorio en la década de los 80, incrementándose en 1987, después de la ocurrencia de accidentes catastróficos en tuberías de vapor de acero generalmente.

Actualmente se cuenta con amplia información sobre el referido asunto y las investigaciones ahora están dirigidas a evaluar la relevancia que tiene el efecto de esta técnica para la reparación de componentes envejecidos en servicio o para la inspección de uniones soldadas de alto riesgo como es el caso de las uniones disímiles.”

[Fuente: “CARACTERIZACIÓN DE UNIONES SOLDADAS DE ACEROS DISÍMILES MEDIANTE REPLICAS METALOGRAFICAS”, Tecn. Yohanka Venancio, Lic. Victor M. Oria, *Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas. 2004*]

“ La investigación sobre análisis metalográfico no destructivo mediante réplicas para evaluar la microestructura en uniones soldadas ha demostrado que, a nivel de conocimiento, existen medios que incorporados al microscopio metalográfico hacen posible no solo determinar el tamaño de grano sino también otros factores como los porcentajes de los constituyentes de la microestructura, la distinción de presencia de carburos e inclusiones de escoria, resistencia a la tracción y otras propiedades mecánicas.

La mezcla replicante formada por resina Technovit 3040 y metacrilato de metilo debe ser mezclada por lo mínimo 40 segundos, antes de colocar sobre la superficie a ensayar, para evitar la presencia de partículas de resina en estado sólido, que tienden a entorpecer la evaluación de la microestructura de la réplica. El empleo de esta resina ofrece resultados eficientes para replicar la microestructura del material en relación a otros medios replicantes como el acetato.”

[Fuente: Tesis “ANÁLISIS METALOGRAFICO NO DESTRUCTIVO MEDIANTE RÉPLICAS PARA EVALUAR LA MICROESTRUCTURA EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO A36 – POSICIÓN 1G”, Ing. Luis

Salán. *Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato. 2010*]

## **2.2 Fundamentación filosófica**

La presente investigación se basa en un enfoque crítico propositivo, pues se hace énfasis en un análisis cualitativo, tomando en cuenta las diferentes características y propiedades de los agentes que se relacionan con la temática de esta investigación.

La finalidad de la investigación es comprender las causas, efectos y posibles soluciones a la problemática de los elevados costos de los materiales utilizados para el ensayo metalográfico mediante réplicas aplicado a las uniones soldadas de acero A36, llevando así a la identificación de potencialidades de cambio, tratando de mitigar los efectos de ésta problemática.

Se mantiene una visión de la realidad basada en la existencia de múltiples realidades pues la presencia de los elevados costos de materiales para ensayos metalográficos no destructivos en el sector en estudio, es ocasionado por varios factores los cuales aunque no con el mismo grado de importancia se relacionan con este problema, en lo posible se mantiene una visión de totalidad completa con el fin de no dejar escapar aspectos de importancia dentro de la investigación.

## **2.3 Fundamentación legal**

La presente investigación se desarrolla con el objeto de cumplir con lo estipulado en la Ley Orgánica De Defensa al Consumidor vigente en la constitución, con relación a los artículos 64 y 68 (Anexo E1); y en las normas técnicas de la ASTM (American Society for Testing and Materials),

ASTM E112-96 (Anexo B2), ASTM E1351-96 (Anexo B1), así como también las normas AWS D1.1 (Anexo A1) y AWS A5.11 (Anexo A2).

## **2.4 Fundamentación Teórica**

### **2.4.1 Soldabilidad**

Es la mayor o menor facilidad con que un metal permite que se obtengan soldaduras sanas y homogéneas, que respondan a las necesidades para las que fueron concebidas incluyendo códigos de fabricación.

Desde el punto de vista metalúrgico durante la soldadura en estado líquido en una región muy pequeña el material a ser soldado alcanza el estado líquido y luego solidifica. El aporte térmico suministrado se utiliza para fundir el metal de aporte (si existe), fundir parcialmente el metal base y el resto se transfiere a través del metal de soldadura modificando la microestructura y propiedades mecánicas, inicialmente presentes.<sup>1</sup>

### **2.4.2 Soldadura**

La soldadura es un proceso de unión entre metales por la acción del calor, con o sin aportación de material metálico nuevo, dando continuidad a los elementos unidos.<sup>1</sup>

Es necesario suministrar calor hasta que el material de aportación funda y una ambas superficies, o bien lo haga el propio metal de las piezas. El material de aporte tiene un punto de fusión menor al de la pieza a soldar, para conseguir un baño de material fundido (el baño de soldadura) que, al

---

<sup>1</sup> [http://www.aaende.org.ar/aaende\\_end/material/099.pdf](http://www.aaende.org.ar/aaende_end/material/099.pdf)

enfriarse, se convierte en una unión fija. A veces la presión es usada conjuntamente con el calor, o por sí misma, para producir la soldadura.

Muchas fuentes de energía diferentes pueden ser usadas para la soldadura, incluyendo una llama de gas, un arco eléctrico, un láser, un rayo de electrones, procesos de fricción o ultrasonido. La energía necesaria para formar la unión entre dos piezas de metal generalmente proviene de un arco eléctrico. La energía para soldaduras de fusión o termoplásticos generalmente proviene del contacto directo con una herramienta o un gas caliente.

Los efectos de la soldadura resultan determinantes para la utilidad del material soldado. El metal de aportación y las consecuencias derivadas del suministro de calor pueden afectar a las propiedades de la pieza soldada. Deben evitarse los defectos en la soldadura.<sup>1</sup>

### **2.4.3 Soldadura de arco manual (SMAW)**

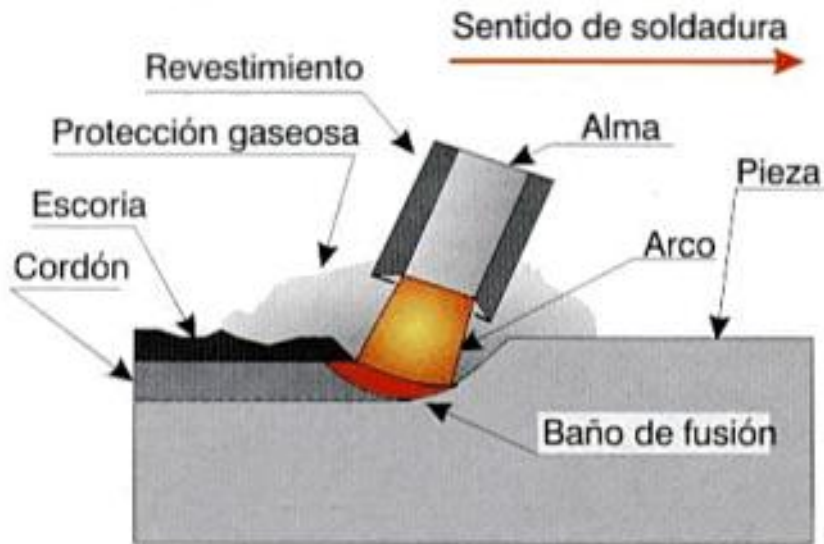
La característica más importante de la soldadura con electrodos revestidos, es que el arco eléctrico se produce entre la pieza y un electrodo metálico recubierto. El recubrimiento protege el interior del electrodo hasta el momento de la fusión. Con el calor del arco, el extremo del electrodo funde y se quema el recubrimiento, de modo que se obtiene la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de metal fundido desde el núcleo del electrodo hasta el baño de fusión en el material base.<sup>1</sup>

Estas gotas de metal fundido caen recubiertas de escoria fundida procedente de la fusión del recubrimiento del arco. La escoria flota en la

---

<sup>1</sup> [http://www.aaende.org.ar/aaende\\_end/material/099.pdf](http://www.aaende.org.ar/aaende_end/material/099.pdf)

superficie y forma, por encima del cordón de soldadura, una capa protectora del metal fundido.



**Gráfico 1. Proceso de soldadura SMAW**

Fuente: [http://www.aaende.org.ar/aaende\\_end/material/099.pdf](http://www.aaende.org.ar/aaende_end/material/099.pdf)

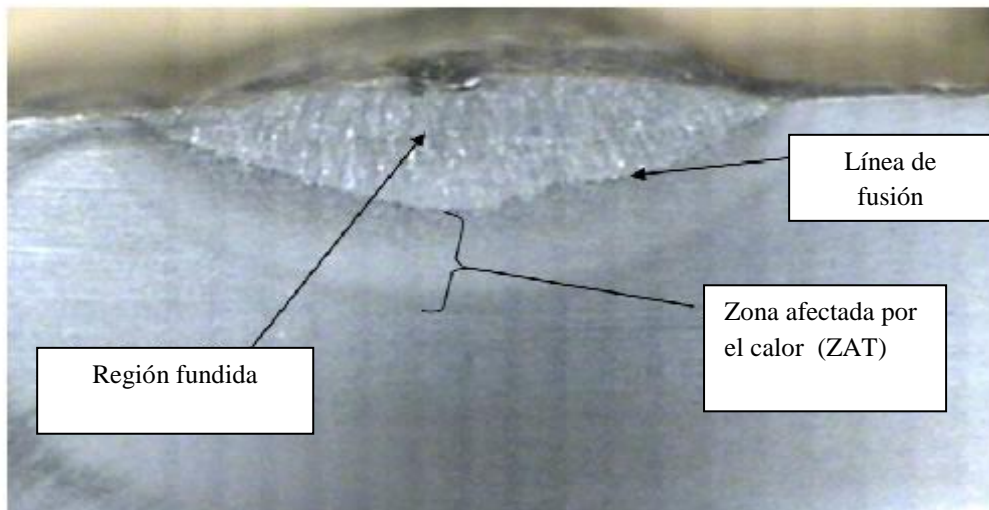
Como son los propios electrodos los que aportan el flujo de metal fundido, será necesario reponerlos cuando se desgasten. Los electrodos están compuestos de dos piezas: el alma y el revestimiento.<sup>1</sup>

#### **2.4.3.1 Regiones presentes en la soldadura.**

---

<sup>1</sup> [http://www.aaende.org.ar/aaende\\_end/material/099.pdf](http://www.aaende.org.ar/aaende_end/material/099.pdf)





**Gráfico 2. Zonas de la soldadura**

**Fuente:** [http://www.aaende.org.ar/aaende\\_end/material/099.pdf](http://www.aaende.org.ar/aaende_end/material/099.pdf)

El Gráfico 2, representa las regiones que se generan en una soldadura, observadas en una macrografía, estas son:

- **La Región Fundida:** Es aquella en donde se produce la fusión y posterior solidificación del metal de aporte (si existe), el cual se “mezcla” con el metal base y genera el metal de soldadura.<sup>2</sup>
- **La Línea de Fusión:** Es la interfaz entre la región fundida y la región en estado sólido, normalmente es la zona más propicia a inicio de fisuras, ya que existen áreas con fusión parcial.<sup>2</sup>
- **La zona afectada por el calor (ZAC / ZAT):** Es la región del metal base que sufre ciclos de calentamiento y enfriamiento debido al aporte térmico de la soldadura.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> <http://soldadura.org.ar/index.php>

En términos de selección de materiales las características de servicio de la ZAC deberán ser enfatizadas mucho más que aquellas vinculadas con el metal de aporte. Esto es debido a que las propiedades metalúrgicas y mecánicas de la ZAC son directamente vinculadas con los parámetros de soldadura y los tratamientos térmicos post soldadura. Es también cierto que cualquier problema de soldabilidad asociado con las características de la ZAC es más difícil de manejar que los asociados con el metal de aporte. Los problemas de soldabilidad asociados con el consumible pueden solucionarse cambiando el mismo o los otros consumibles de soldadura. Mientras que los problemas asociados con la ZAC algunas veces pueden ser resueltos modificando el metal base, lo cual suele resultar costoso.<sup>2</sup>

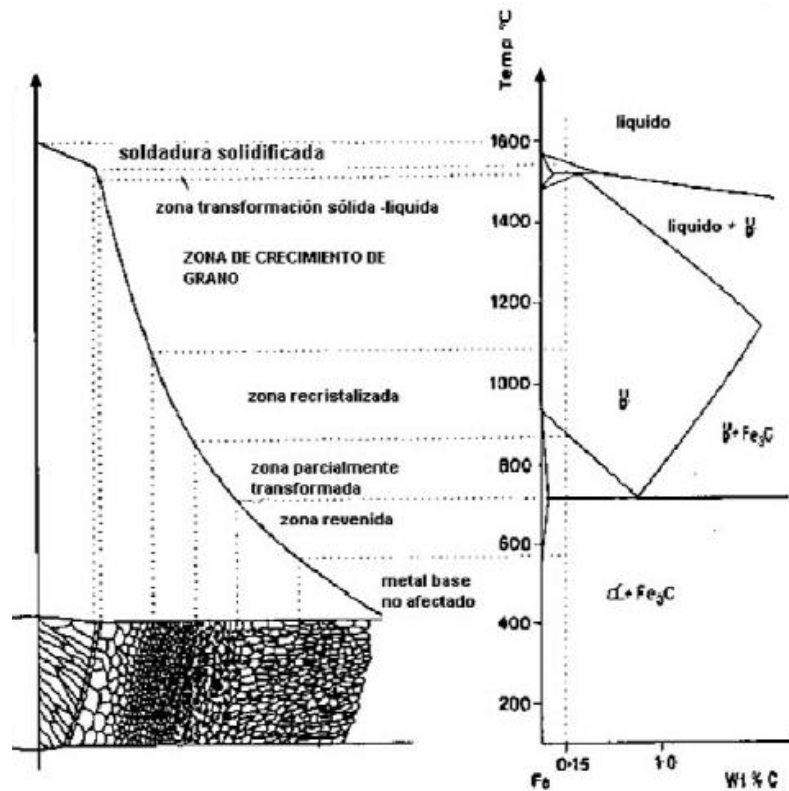
La importancia de la zona afectada por calor la podemos apreciar en el Gráfico 3, donde comparamos la temperatura máxima que se alcanzan en cada una de las regiones de la misma. <sup>2</sup>

Estas regiones son: la zona de grano crecido; zona de grano refinada; regiones intercríticas, subcríticas y parcialmente modificadas. Sin embargo la ZAC sufre procesos metalúrgicos que involucran calentamientos y enfriamientos muy rápidos, es por ello que resulta más cómodo asociarla con diagramas de enfriamientos continuos.<sup>2</sup>

Dependiendo de los materiales usados y la entrada de calor del proceso de soldadura usado, la zona afectada por el calor (ZAT) puede variar en tamaño y fortaleza. <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> <http://soldadura.org.ar/index.php>



**Gráfico 3. Zonas afectadas por el calor**

Fuente: <http://soldadura.org.ar/index.php>

La difusividad térmica del material base es muy importante, si la difusividad es alta, el enfriamiento del material es alta y la ZAT es relativamente pequeña. Inversamente, una difusividad baja conduce a un enfriamiento más lento y a una ZAT más grande. La cantidad de calor inyectada por el proceso de soldadura también desempeña un papel importante, pues los procesos como la soldadura oxiacetilénica tienen una entrada de calor no concentrado y aumentan el tamaño de la Zona Afectada. Los procesos como la soldadura por rayo láser tienen una cantidad altamente concentrada y limitada de calor, resultando una Zona Térmicamente Afectada, pequeña. <sup>2</sup>

<sup>2</sup> <http://soldadura.org.ar/index.php>

La soldadura de arco cae entre estos dos extremos, con los procesos individuales variando algo en entrada de calor.

Para calcular el calor para los procedimientos de soldadura de arco, puede ser usada la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V \cdot I \cdot 60}{S \cdot 1000} * \text{Rendimiento} \quad (2.1)$$

En donde:

- Q = entrada de calor (kJ/mm)
- V = voltaje (V)
- I = corriente (A)
- S = velocidad de la soldadura (mm/min)

El rendimiento depende del proceso de soldadura usado, con la soldadura de arco de metal revestido teniendo un valor alrededor de 0.65.<sup>2</sup>

#### 2.4.4 Tamaño de Grano

Una de las mediciones microestructurales cuantitativas más comunes es aquella del tamaño de grano de metales y aleaciones. Numerosos procedimientos han sido desarrollados para estimar el tamaño de grano, estos procesos están sintetizados en detalle en la norma *ASTM E112*.<sup>3</sup>

Los principales métodos para la determinación del tamaño de grano recomendados por la ASTM (American Society for Testing and Materials) son:

---

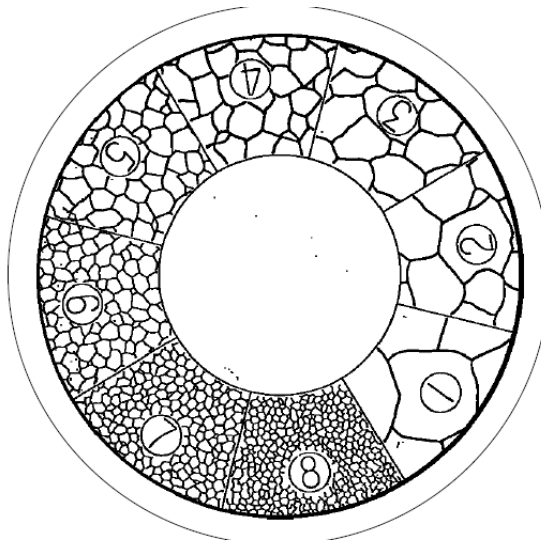
<sup>2</sup> <http://soldadura.org.ar/index.php>

<sup>3</sup> [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro)

- Método de Comparación
- Método Planimétrico
- Método de Intersección

#### 2.4.4.1 Método de comparación

a) Mediante el método de prueba y error se encuentra un patrón que coincide con la muestra en estudio y entonces se designa el tamaño de grano del metal por el número correspondiente al número índice del patrón mixto; se trata de manera semejante, en cuyo caso se acostumbra especificar el tamaño de granos en términos de dos números que denota el porcentaje aproximado de cada tamaño presente.<sup>3</sup>



**Gráfico 4. Plantillas de Comparación**

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972DiegoM._Seiro)

<sup>3</sup> [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972 DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972_DiegoM._Seiro)

En el Gráfico 4, se observan las distintas plantillas de comparación que se utilizan para determinar el tamaño de grano. El círculo exterior tiene un diámetro de 175mm, y debe coincidir con el borde de la imagen de la micrografía para respetar las magnificaciones.

El número de cada plantilla corresponde al tamaño de grano “G” si se está observando la probeta con una magnificación de 100x. En caso de utilizar otra magnificación debe corregirse este valor mediante la suma del factor de corrección Q.<sup>3</sup>

**Tabla 1. Factor de corrección Q.**

| Magnificación M | Factor de corrección Q (para Mb=100x)<br>$Q = 6,64 \text{Log}_{10} \left( \frac{M}{Mb} \right)$ |
|-----------------|---|
| 50x             | -2  |
| 100x            | 0   |
| 200x            | 2   |
| 400x            | 4   |

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972DiegoM.Seiro)

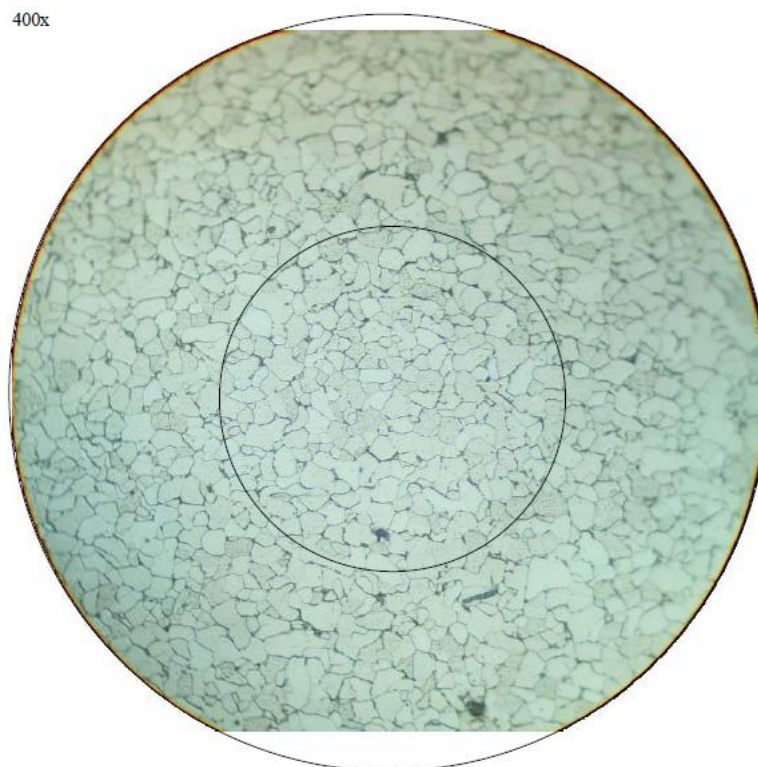
#### 2.4.4.2 Método planimétrico

Es el más antiguo procedimiento para medir el tamaño de grano de los metales. El cual consiste en que un círculo de tamaño conocido (generalmente 79,8 mm de diámetro y 5000 mm<sup>2</sup> de área) es extendido sobre una microfotografía o usado como un patrón sobre una pantalla de proyección. Se cuenta el número de granos que están completamente

<sup>3</sup> [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972 DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972DiegoM.Seiro)

dentro del círculo y el número de granos que interceptan el círculo para un conteo exacto los granos deben ser marcados cuando son contados lo que hace lento este método.

La imagen de abajo muestra en el centro un círculo con una superficie de  $5000\text{mm}^2$ . El círculo exterior tiene un diámetro de  $175\text{mm}$ , y debe coincidir con el borde de la imagen de la micrografía para respetar las magnificaciones. El tamaño de grano "G" se calcula a partir de las tablas 4 y 5 de la Norma ASTM E112.<sup>3</sup>



**Gráfico 5. Método planimétrico**

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972DiegoM._Seiro)

---

<sup>3</sup> [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972 DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972_DiegoM._Seiro)

$N_A =$  granos por  $mm^2$

$N_{Interno} =$  número de granos dentro del círculo

$N_{Interceptado} =$  número de granos interceptados por el círculo

$f =$  múltiplo de Jeffries

$$N_A = f \left( N_{Interno} + \frac{N_{Interceptado}}{2} \right) \quad (2.2)$$

Para un área de  $5000 \text{ mm}^2 \rightarrow f = 0.0002 M^2$  (M= magnificación)

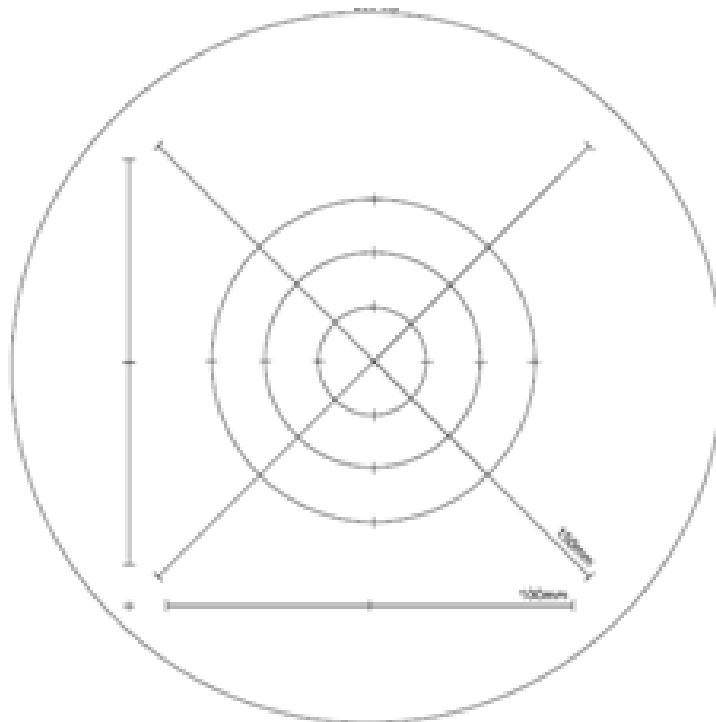
#### 2.4.4.3 Métodos de intersección

El método de intersección es más rápido que el método planimétrico debido a que la microfotografía o patrón no requiere marcas para obtener un conteo exacto. El tamaño de grano se estima contando por medio de una pantalla dividida de vidrio, o por fotomicrografía o sobre la propia muestra, el número de granos interceptados por una o más líneas rectas. Los granos tocados por el extremo de una línea se cuentan solo como medios granos. Las cuentas se hacen por lo menos en tres posiciones distintas para lograr un promedio razonable. La longitud de líneas en milímetro, dividida entre el número promedio de granos interceptados por ella da la longitud de intersección promedio o diámetro de grano.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> [http://www.laboratorio.de.metalografia.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DEL\\_COMAHUE.1972\\_DiegoM\\_Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografia.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972_DiegoM_Seiro)





**Gráfico 6. Geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección**

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro)

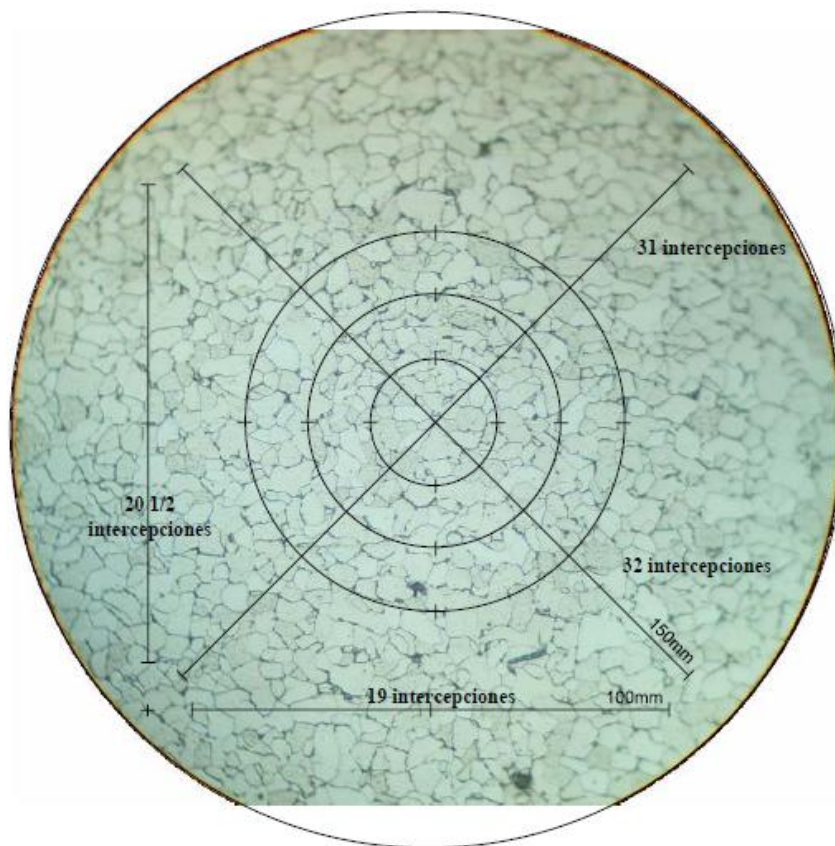
El Gráfico 6, muestra las distintas geometrías utilizadas en la medición del tamaño de grano mediante el procedimiento de intersección. Las cuatro líneas rectas de la imagen corresponden al método de Heyn. El método de Hilliard utiliza una circunferencia generalmente de 100, 200 o 250 mm de perímetro. Las tres circunferencias de la imagen corresponden al método de Abrams (entre las tres suman una longitud de 500mm).<sup>3</sup>

Una intercepción es un segmento de la línea de ensayo que pasa sobre un grano. Una intersección es un punto donde la línea de ensayo es cortada por un borde de grano. Cualquiera de los dos puede contarse con

---

<sup>3</sup>[http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972 DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972 DiegoM. Seiro)

idénticos resultados en un material monofásico. Cuando se cuentan intercepciones, los segmentos al final de la línea de ensayo que penetran dentro de un grano, son anotados como media intercepción. Cuando se cuentan intersecciones, los puntos extremos de la línea de ensayo no son intersecciones y no son contados excepto cuando tocan exactamente un borde de grano, entonces debe anotarse  $\frac{1}{2}$  intersección. Una intersección coincidente con la unión de tres granos debe anotarse como  $1\frac{1}{2}$ .<sup>3</sup>



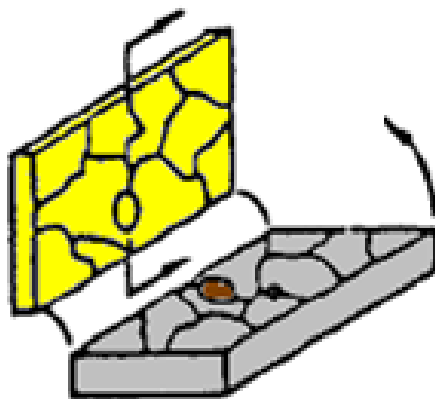
**Gráfico 7. Métodos de intercepción**

**Fuente:** [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972DiegoM._Seiro)

<sup>3</sup> [http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE.1972 DiegoM. Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografía.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972_DiegoM._Seiro)

### 2.4.5 Réplicas metalográficas

La metalografía de réplicas es un método de evaluación no destructivo basado en la observación de la microestructura del componente. Dicha observación suele realizarse de un modo indirecto, a través de una reproducción negativa de la superficie pulida metalográficamente y posteriormente atacada. Esta reproducción se obtiene mediante una película plástica, llamada réplica, la cual copia el relieve de la superficie tal como se muestra esquemáticamente en la figura 2.8. El procedimiento para la obtención de muestras incluye varias etapas: preparación de la superficie “in situ”, ataque para revelar la microestructura, observación mediante microscopio portátil y obtención de la réplica.<sup>4</sup>



**‘Gráfico 8. Réplica metalográfica**

**Fuente:** Tecn. VENANCIO, Yohanka, Lic. ORIA, Víctor (2004) “Caracterización de uniones soldadas de aceros disímiles mediante Replicas Metalográficas”, Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas.

---

<sup>4</sup> Tecn. VENANCIO, Yohanka, Lic. ORIA, Víctor (2004) “Caracterización de uniones soldadas de aceros disímiles mediante Replicas Metalográficas”, Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas.

### **2.4.5.1 Materiales utilizados para réplicas**

Los materiales utilizados para la obtención de las réplicas deben dar como resultado una fiel reproducción de la microestructura del elemento analizado y debe garantizar una muy buena resolución. En el mercado existen distintos tipos de materiales usados para la obtención de réplicas:

#### **1. Hoja de acetato de celulosa con soporte de aluminio reflectante.**

Este tipo de réplicas es de regular reproducción y su resolución es mediocre. Puede analizar una superficie de 6 cm<sup>2</sup>. La técnica operatoria consiste en humedecer la réplica con solvente, dejar un tiempo (5 minutos) y luego pegar, presionando sobre la superficie de la muestra a analizar.<sup>4</sup>

#### **2. Hoja de celulosa sin soporte**

Este material da como resultado réplicas de buena resolución y reproducción. Cubre áreas grandes y se pueden obtener macrografías. La técnica operatoria consiste en humedecer la réplica con solvente y luego pegar, a la superficie que también fue mojada con solvente.<sup>4</sup>

### **2.4.5.2 Proceso para la preparación de muestras para la obtención de réplicas metalográficas**

#### **1) Desbastado de la superficie**

---

Tecn. VENANCIO, Yohanka, Lic. ORIA, Victor (2004) "Caracterización de uniones soldadas de aceros disímiles mediante Replicas Metalográficas", Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas.

Cuando la atmósfera de trabajo del componente genera oxidación, o cualquier proceso químico que deje depósitos de sales es necesario utilizar una *amoladora portátil* para eliminar estas capas de metal degradado que no permiten observar la microestructura real del componente.



### **GRÁFICO 9. Desbaste Grueso con el uso de una amoladora portátil**

**Fuente:** Tecn. VENANCIO, Yohanka, Lic. ORIA, Víctor (2004) "Caracterización de uniones soldadas de aceros disímiles mediante Replicas Metalográficas", Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas. 2004

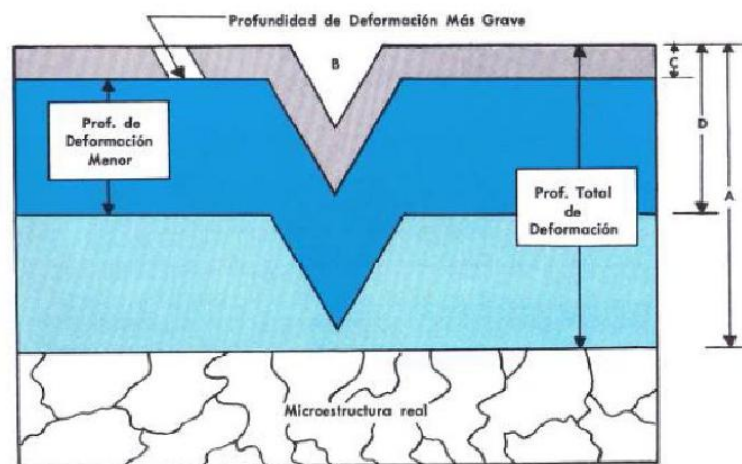
Una vez concluida esta etapa donde además se debió tener cuidado de no "quemar" la superficie desbastada, ya que podría generar una microestructura errónea. En esta etapa de desbaste realizado con la amoladora, la profundidad de metal y depósitos de la superficie eliminados oscila entre 0,1-1,0 mm aproximadamente, dependiendo del espesor de estos depósitos, dureza, etc. <sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Tecn. VENANCIO, Yohanka, Lic. ORIA, Víctor (2004) "Caracterización de uniones soldadas de aceros disímiles mediante Replicas Metalográficas", Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas.

## 2) Pulido grueso

Una vez concluida la etapa de desbaste grosero (amolado), se elimina la deformación plástica generada en esta etapa con hojas de lija desde #120 y #220. A continuación se tiene la representación de la superficie al comienzo del pulido grueso.<sup>4</sup>



**Gráfico 10. Representación de la superficie al comienzo del pulido grueso**

**Fuente:** Tecn. VENANCIO, Yohanka, Lic. ORIA, Víctor (2004) "Caracterización de uniones soldadas de aceros disímiles mediante Replicas Metalográficas", Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas. 2004

Nótese la profundidad total de deformación (A), a eliminar para poner al descubierto la microestructura real. Donde (B) indica la raíz en "V" de una raya producida en el esmerilado, por un grano abrasivo. "C" representa la capa de deformación más grave, y "D" señala el límite de un estrato de deformación menor. La deformación causada por una raya se proyectará en forma de rayos, desde el contorno en "V" de la raya. En el pulimento grueso debe extraerse toda esta deformación. La etapa de pulido grueso debe durar el tiempo suficiente para extraer toda la deformación abrasiva.

En la práctica con 1 minuto de pulido bastaría para asegurarse la eliminación de la deformación del papel anterior, pero eso dependerá de la habilidad del operador.<sup>4</sup>

**3) Pulido Intermedio:** Luego del paso anterior, la muestra se pule sobre una serie de hojas de esmeril o lijas que contienen abrasivos finos. El primer papel es generalmente N° 320, 400 y 600. Antes de pulir con la siguiente lija se debe girar en 90° en el sentido de lijado, a fin de eliminar el rayado realizado con la lija anterior. Las operaciones de pulido intermedio con lijas de esmeril se hacen en húmedo; sin embargo, en ciertos casos, es conveniente realizar este paso en seco ya que ciertas aleaciones se corroen fácilmente por la acción del agua.<sup>4</sup>

**4) Pulido Fino:** Esta etapa representa una de los pasos de mayor cuidado por parte del preparador, ya que en muchas ocasiones en la superficie del metal se han formado dobles caras o planos y que por supuesto por ningún motivo pueden ser utilizadas para el pulido fino, sino se remedia tal defecto superficial. El pulido fino se realiza mediante un disco giratorio cubierto con un paño especial, húmedo, cargado con partículas abrasivas, como es el óxido de aluminio para pulir materiales ferrosos y de los base cobre, y óxido de cerio para pulir aluminio, magnesio y sus aleaciones. La selección del paño para pulir depende del material y del propósito del estudio metalográfico. Se pueden encontrar paños de lanilla o pelillo, similares a los que se utilizan en las mesas de pool. También se pueden encontrar paños sintéticos para pulir con fines de pulido general, de los cuales el Gama y el Micropaño son los que se utilizan más ampliamente.<sup>4</sup>

**5) Ataque:** permite poner en evidencia la estructura del metal o aleación. Existen diversos métodos de ataque pero el más utilizado es el ataque químico.

El ataque químico puede hacerse sumergiendo la muestra con cara pulida hacia arriba en un reactivo adecuado, o pasar sobre la cara pulida un algodón embebido en dicho reactivo. Luego se lava la superficie con agua, se enjagua con alcohol o éter y se seca en una corriente de aire. El fundamento se basa en que el constituyente metalográfico de mayor velocidad de reacción se ataca más rápido y se verá más oscuro al microscopio, y el menos atacable permanecerá más brillante.

El revelado de la microestructura puede llevarse a cabo mediante el ataque químico (Nital para aceros al carbono).<sup>4</sup>

#### **2.4.5.3 Información obtenible de las réplicas**

- Permite el análisis de la microestructura del componente y de esta forma conocer el posible daño sufrido durante el servicio.
- Tipos de fisuras
- Permite valorar los cambios estructurales en una unión soldada y predecir su posible comportamiento en servicio.
- Un examen por partículas magnéticas permite una definición grosera del tipo de fisuras, mientras que la réplica permite una definición precisa de la misma.

Cada tipo de fisura corresponde a un determinado fenómeno, es decir que, con el tipo y otros datos complementarios, es posible conocer la causa que condujo a la fisuración del componente y de este modo tomar las medidas correspondientes para la solución del problema.

En el caso de los aceros de media y baja aleación que trabajan a altas temperatura, el análisis de las réplicas permite determinar el tipo de carburo, su morfología y distribución. La cuantificación de estos parámetros permitirá predecir la vida del componente analizado. En el caso de aceros inoxidables la identificación de ciertas fases, que



aparecen durante el servicio del componente, permitirá predecir o evitar su falla.<sup>4</sup>

## **2.4.6 Plásticos**

A diferencia de los materiales metálicos, el empleo de plásticos está limitado a presiones y temperaturas relativamente moderadas [230°C (250°F) se considera como una temperatura alta para los plásticos]. Estos materiales son también menos resistentes a los abusos mecánicos y tienen índices de dilatación elevados, bajas resistencias mecánicas (termoplásticos) y solo una resistencia razonable a los disolventes. Sin embargo, son ligeros y resultan buenos aislantes térmicos y eléctricos, además de que son fáciles de fabricar e instalar y que tienen bajos coeficientes de fricción.<sup>5</sup>

En general, los plásticos poseen una resistencia excelente a las soluciones de sales inorgánicas donde los metales no son totalmente seguros. Puesto que los materiales plásticos no se corroen en el sentido electroquímico, ofrecen otra ventaja sobre los metales: la mayor parte de los metales se ven afectados por ligeros cambios de pH o por impurezas menores o bien por el contenido de oxígeno, mientras que los plásticos permanecen invariables a esos mismos cambios.<sup>5</sup>

### **2.4.6.1 Termoplásticos**

Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado

---

<sup>4</sup> Tecn. VENANCIO, Yohanka, Lic. ORIA, Víctor (2004) "Caracterización de uniones soldadas de aceros disímiles mediante Replicas Metalográficas", Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas.

<sup>5</sup> PERRY, Roberth, (2001), Manual del Ingeniero Químico, Fareso. España.

vítreo cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular.<sup>5</sup>

Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables o termoduros, después de enfriarse la forma no cambia y arden. Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces (historial térmico), generalmente disminuyen estas propiedades.<sup>6</sup>

Los más usados son: el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etileno (PET) y el nylon.<sup>6</sup>

Se diferencian de los termoestables (baquelita, goma vulcanizada) en que éstos últimos no funden al elevarlos a altas temperaturas, sino que se queman, siendo imposible volver a moldearlos. Muchos de los termoplásticos conocidos pueden ser resultado de la suma de varios polímeros, como es el caso del vinilo, que es una mezcla de polietileno y polipropileno.<sup>6</sup>

#### **2.4.6.1.1 Polietileno (PE)**

Es el plástico de costo más bajo que se puede obtener en el mercado. Sus propiedades mecánicas son en general pobres, sobre todo por encima de 50°C (120°F), y las tuberías se deben sostener íntegramente. Las calidades con cargas de carbono son resistentes a la intemperie y los rayos del sol.

---

<sup>5</sup> PERRY, Roberth, (2001), Manual del Ingeniero Químico, Fareso. España.

<sup>6</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopl%C3%A1stico>

Los polietilenos son termoplásticos muy versátiles que se han ganado un sinfín de usos en muchas áreas de aplicación, particularmente en películas y en el moldeo por inyección. Cada uso final requiere condiciones balanceadas entre las variables.

Las más importantes de estas condiciones son la temperatura de fusión, la densidad, el peso molecular, la distribución de pesos moleculares y el grado de ramificación.<sup>5</sup>

Tiene varias aplicaciones por ejemplo se usa para fabricar bolsas de todo tipo: supermercados, boutiques, panificación, congelados, industriales, etc.<sup>7</sup>

#### **2.4.6.1.2 Policloruro de vinilo flexible (FPVC)**

Las propiedades de los productos vinílicos flexibles dependen de los aditivos que contienen. Cuando éstos se dispersan adecuadamente en la matriz polimérica de PVC, no alteran la estructura molecular de los productos, pero sí modifican sus propiedades y su comportamiento en el proceso.<sup>5</sup>

Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecer alrededor de los 80 °C y se descompone sobre 140 °C. Cabe mencionar que es un polímero por adición y además una resina que resulta de la polimerización del cloruro de vinilo. Tiene una muy buena resistencia eléctrica y a la llama. Se utilizan para fabricar cables, juguetes, calzados, pavimentos, etc.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopl%C3%A1stico>

<sup>5</sup> PERRY, Roberth, (2001), Manual del Ingeniero Químico, Fareso. España

<sup>7</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno>

<sup>8</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Policloruro\\_de\\_vinilo](http://es.wikipedia.org/wiki/Policloruro_de_vinilo)

La ventaja principal de plástico PVC flexible es que están formulados y por eso es posible adaptarlos a tan amplia variedad de aplicaciones. Es el único plástico que puede procesarse por cualquiera de las técnicas conocidas. Además, tiene las siguientes cualidades:

- Buena resistencia química
- Buen costo/beneficio
- Alta tenacidad
- Buena resistencia ambiental
- Excelentes propiedades eléctricas
- Buena apariencia superficial
- Se le puede limpiar fácilmente
- Se le puede impartir resistencia a la flama
- Amplia variedad de colores
- Puede ser brillante o mate

Sus desventajas son:

- Muy sensibles al calor
- Poca resistencia a las cetonas.
- Tiene que ser formulado adecuadamente para evitar problemas de manchas.
- Dificultades para procesarlo.<sup>5</sup>

#### **2.4.6.1.3 Policloruro de vinilo rígido (RPVC)**

En general los compuestos de PVC rígido contienen un 90% de resina. Los aditivos se incluyen para resolver problemas de procesamiento o para lograr las propiedades deseadas en los productos finales. Entonces, hay

---

<sup>5</sup> PERRY, Roberth, (2001), Manual del Ingeniero Químico, Fareso. España

una búsqueda de equilibrio constante entre las condiciones del procesamiento y las propiedades físicas de los productos.<sup>9</sup>

Las propiedades físicas del PVC rígido dependen principalmente del peso molecular. Cuanto mayor es el peso molecular, mejores son las propiedades físicas del compuesto y de los productos, pero habrá mayores dificultades de procesamiento.

Los plásticos de PVC rígido son productos formulados que tienen propiedades notables. Estos versátiles materiales, que ofrecen la posibilidad de preparar un número casi ilimitado de compuestos, se producen con materias primas de bajo costo. El 56.7% de las moléculas de PVC están constituidas por cloro. Esto significa que ni la disponibilidad del polímero depende totalmente de materiales que provienen del petróleo.

Otras ventajas de los plásticos de PVC rígido son:

- Bajo precio
- Alta resistencia mecánica
- Buena resistencia química
- Baja absorción de agua
- Alta resistencia al impacto (debidamente formulado)
- Buena resistencia a la intemperie
- No es combustible
- Buena rigidez
- Excelentes propiedades eléctricas
- Buena apariencia superficial.<sup>9</sup>

---

<sup>9</sup> RUBIN, Irvin, (2004), Materiales Plásticos Propiedades y Aplicaciones, Noriega. México.

Sus desventajas son:

- Dificultades en el procesamiento por su inestabilidad
- Mala resistencia a la deformación bajo carga estática a temperaturas altas.<sup>9</sup>

#### **2.4.6.1.4 Polímero de estireno butadieno acrilonitrilo (ABS)**

Estos polímeros tienen buena resistencia a los ácidos no oxidantes y débiles, pero no es suficiente con ácidos oxidantes. El límite superior de temperatura es de, aproximadamente, 65°C (150°F).<sup>5</sup>

#### **2.4.6.1.5 Polipropileno**

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos y ácidos y una resistencia química aproximadamente igual que la del polietileno, pero se puede utilizar a 120°C (250°F).<sup>10</sup>

#### **2.4.6.1.6 Poliestireno (PS)**

El poliestireno (PS) es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno. Existen cuatro tipos principales: el PS cristal, que es transparente, rígido y quebradizo; el poliestireno de alto impacto, resistente y opaco, el poliestireno expandido, muy ligero, y el poliestireno

---

<sup>5</sup> PERRY, Roberth, (2001), Manual del Ingeniero Químico, Fareso. España

<sup>9</sup> RUBIN, Irvin, (2004), Materiales Plásticos Propiedades y Aplicaciones, Noriega. México.

<sup>10</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Polipropileno>

extrusionado, similar al expandido pero más denso e impermeable. Las aplicaciones principales del PS choque y el PS cristal son la fabricación de envases mediante extrusión-termoformado, y de objetos diversos mediante moldeo por inyección. Las formas expandida y extruida se emplean principalmente como aislantes térmicos en construcción.<sup>11</sup>

#### **2.4.6.2 Plásticos Termoestables, Termofijos o termoendurecibles**

Los plásticos termoestables son polímeros infusibles e insolubles. La razón de tal comportamiento estriba en que las cadenas de estos materiales forman una red tridimensional espacial, entrelazándose con fuertes enlaces covalentes. La estructura así formada toma el aspecto macroscópico de una única molécula gigantesca, cuya forma se fija permanentemente, debido a que la movilidad de las cadenas y los grados de libertad para rotación en los enlaces es prácticamente cero.

El proceso de polimerización se suele dar en dos etapas: en la primera se produce la polimerización parcial, formando cadenas lineales mientras que en la segunda el proceso se completa entrelazando las moléculas aplicando calor y presión durante el conformado. La primera etapa se suele llevar a cabo en la planta química, mientras que la segunda se realiza en la planta de fabricación de la pieza terminada. También pueden obtenerse plásticos termoestables a partir de dos resinas líquidas, produciéndose la reacción de entrelazamiento de las cadenas al ser mezcladas (comúnmente con un catalizador y un acelerante).

La reacción de curado es irreversible, de forma que el plástico resultante no puede ser reciclado, ya que si se incrementa la temperatura el polímero no funde, sino que alcanza su temperatura de degradación.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno>

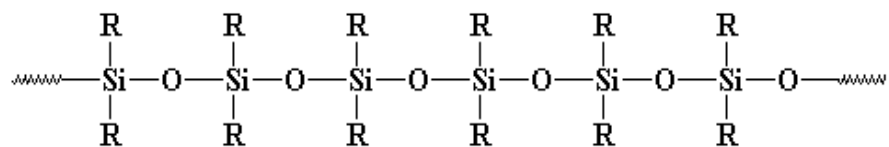
<sup>12</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico\\_termoestable](http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico_termoestable)

Las resinas de poliéster reforzadas con fibra de vidrio tienen buenas propiedades mecánicas y buena resistencia química. El límite de temperatura para los poliésteres varía, aproximadamente, entre 90 y 150°C (200 a 300°F), dependiendo de las condiciones de exposición.<sup>5</sup>

Las resinas epoxy reforzadas con fibra de vidrio presentan una elevada resistencia mecánica y térmica. Su resistencia química a los ácidos es excelente, pero son atacados por ácidos fuertes. Las resinas epoxy resultan atacadas bajo la acción de disolventes orgánicos como las acetonas.<sup>5</sup>

### 2.4.7 Siliconas

Las siliconas son compuestos sintéticos, cuya base estructural es el elemento químico silicio. La cadena de silicona alterna átomos de silicio y de oxígeno. Cada silicona tiene dos grupos unidos a la misma y éstos pueden ser grupos orgánicos. Los enlaces entre un átomo de silicio y los dos átomos de oxígeno unidos, son altamente flexibles.<sup>13</sup>



**Gráfico 11. Estructura de la silicona**

**Fuente:** <http://es.wikipedia.org/wiki/Silicona>

Al unirse la unidad básica a otras unidades básicas, forma moléculas complejas lineales con ramificaciones y los radicales (R) que se unen al silicio son de variada índole. El número de unidades puede llegar a moléculas gigantes de 1000 o más unidades entre sí por puentes de

<sup>5</sup> PERRY, Roberth, (2001), Manual del Ingeniero Químico, Fareso. España

<sup>13</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Silicona>



oxígeno variando así sus propiedades físicas en cuanto a su viscosidad, dureza y resistencia.

Todas ellas tienen gran estabilidad química y físicas a temperaturas extremas entre  $-40^{\circ}$  y  $400^{\circ}$  C de ahí sus usos en la industria. Son perfectos aislantes en el mismo rango de temperaturas antedichas y poseen gran resistencia a desnaturalizarse con ácidos. Tienen propiedades hidrófobas por lo que son utilizados como impermeabilizante de primera línea.<sup>13</sup>

Las siliconas se usan para variadas aplicaciones. Pueden ser elastómeros y aceites lubricantes. En las naves espaciales, se utilizan para las piezas resistentes al calor, las siliconas son usadas como adhesivos, lubricantes, elastómeros, hules, aditivos antiespumantes, etc.<sup>13</sup>

#### **2.4.7.1 Propiedades Particulares de las Siliconas**

Dada su composición química de Silicio-Oxígeno, la silicona es flexible y suave al tacto, no mancha ni se desgasta, no envejece, no exuda nunca, evitando su deterioro, ensuciamiento y/o corrosión sobre los materiales que estén en contacto con la misma, tiene gran resistencia a todo tipo de uso, no es contaminante y se pueden elegir diferentes y novedosos colores.<sup>13</sup>

#### **2.4.7.2 Propiedades mecánicas**

La silicona posee una resistencia a la tracción de 70 Kg/cm<sup>2</sup> con una elongación promedio de 400%. A diferencia de otros materiales, la

---

<sup>13</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Silicona>

silicona mantiene estos valores aun después de largas exposiciones a temperaturas extremas.<sup>13</sup>

### **2.4.7.3 Propiedades Eléctricas**

La silicona posee flexibilidad, elasticidad y es aislante, manteniendo sus propiedades dieléctricas aun ante la exposición a temperaturas extremas donde otros materiales no soportarían.<sup>13</sup>

### **2.4.8 Pinturas Plásticas**

La Pintura Plástica está constituida por una emulsión acuosa de resinas o materias plásticas que secan por polimerización, y de pigmentos inalterables a la luz dispersados en ella.

Se caracterizan por su facilidad de aplicación, secado muy rápido y gran poder de cubrimiento, aun en paramentos húmedos, lavables; una vez secas, dan bellos tonos mates o satinados que no cambian con el tiempo y son de gran duración.

Este tipo de pinturas se diluyen en agua y pueden mezclarse con otras de base acuosa. Además tienen la importante ventaja de la rapidez de su secado (de una a tres horas) por lo que no tardaremos en poder dar una segunda mano si la superficie lo precisa. Poseen una mayor riqueza en el pigmento que otros tipos de pinturas, por lo que con una sola mano podemos obtener mejores resultados que empleando dos manos con cualquier otro tipo de producto.<sup>14</sup>

---

<sup>13</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Silicona>

<sup>14</sup> [http://www.construmatica.com/construpedia/Pintura\\_PI%C3%A1stica](http://www.construmatica.com/construpedia/Pintura_PI%C3%A1stica)

Son pinturas baratas y sumamente recomendables si lo que se quiere cubrir son superficies de grandes dimensiones, y además son muy resistentes a la humedad.<sup>14</sup>

#### **2.4.9 Pintura Acrílica**

La pintura acrílica es una clase de pintura que contiene un material plastificado, pintura de secado rápido, en la que los pigmentos están contenidos en una emulsión de un polímero acrílico. Aunque son solubles en agua, una vez secas son resistentes a la misma. Destaca especialmente por la rapidez del secado.<sup>15</sup>

#### **2.4.10 Alcohol Polivinílico**

El alcohol de polivinilo tiene características resistentes en solventes orgánicos tales como aceites, lubricantes e hidrocarburos. Posee una buena estabilidad química y es aislante.

El alcohol de polivinilo o PVA, es el miembro de la familia de ésteres de vinilo de más sencilla obtención y más amplio uso. Se obtiene de la polimerización del acetato de vinilo.

Es el miembro de la familia de ésteres de vinilo más fácilmente obtenible y de más amplio uso. Es un líquido inflamable, usado generalmente para adhesivos de encuadernación, bolsas de papel, cartones para leche, sobres, cintas engomadas, calcomanías, etc.<sup>9</sup>

#### **2.4.11 Resina Poliéster**

---

<sup>9</sup> RUBIN, Irvin, (2004), Materiales Plásticos Propiedades y Aplicaciones, Noriega. México

<sup>14</sup> [http://www.construmatica.com/construpedia/Pintura\\_PI%C3%A1stica](http://www.construmatica.com/construpedia/Pintura_PI%C3%A1stica)

<sup>15</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Pintura\\_acr%C3%ADlica](http://es.wikipedia.org/wiki/Pintura_acr%C3%ADlica)

#### **2.4.11.1 Introducción a la Resina Poliéster**

Como se describe anteriormente existen en el mercado dos grandes grupos de materiales plásticos:

Termoplásticos y Termoestables.

Entre los plásticos más conocidos pueden incluirse PVC, Nylon, Polietileno, Polipropileno, Poliestireno, etc. siendo normalmente moldeados por los procesos de inyección, extrusión, soplado, etc. Los termoplásticos presentan excelentes propiedades químicas, pero tienen propiedades mecánicas que no pueden competir con los materiales termoestables, sobre todo a temperaturas moderadamente elevadas.<sup>16</sup>

Los plásticos termoestables y concretamente las resinas de poliéster, se suministran en forma de líquido viscoso, que con la adición de productos químicos adecuados se transforma de un estado líquido a un estado sólido. Una vez la resina ha obtenido su estado sólido, no podrá ser transformado nuevamente en estado líquido.

Este producto ofrece:

- La posibilidad de curado a temperatura ambiente.
- No es necesario aplicar presión para la transformación y moldeo.
- Obtención de gran número de diferentes formas.
- Posibilidad de moldeo de piezas grandes y complejas a precios competitivos a pequeñas y medias escalas de producción.

Además de las siguientes características:

- Excelente estabilidad dimensional.
- Excelente resistencia a ambientes químicamente agresivos

- Excelentes propiedades mecánicas.
- Excelentes propiedades eléctricas. <sup>16</sup>

#### **2.4.11.2 Poliéster**

El poliéster es una categoría de polímeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. Los poliésteres que existen en la naturaleza son conocidos desde 1830, pero el término poliéster generalmente se refiere a los poliésteres sintéticos (plásticos), provenientes de fracciones pesadas del petróleo.

El poliéster termoplástico más conocido es el PET. Como resultado del proceso de polimerización, se obtiene la fibra, que en sus inicios fue la base para la elaboración de los hilos para coser y que actualmente tiene múltiples aplicaciones, como la fabricación de botellas de plástico que anteriormente se elaboraban con PVC.

Las resinas de poliéster (termoestables) son usadas también como matriz para la construcción de equipos, tuberías anticorrosivas y fabricación de pinturas. Para dar mayor resistencia mecánica suelen ir reforzadas con cortante, también llamado endurecedor o catalizador, sin purificar.

El poliéster es una resina termoestable obtenida por polimerización del estireno y otros productos químicos. Se endurece a la temperatura ordinaria y es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas. Se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc. <sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> GALLEGO, Francisco, (2002). Resina Poliéster, Elaboración y diseño en formato PDF, por la Oficina General del Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central UNMSM.

<sup>17</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster\\_%28pol%C3%ADmero%29](http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster_%28pol%C3%ADmero%29)

**Tabla 2. Origen químico de las Resinas Poliéster.**

| RESINA POLIÉSTER                  | BASE   | USO Y PROPIEDADES  |
|-----------------------------------|--|--|
| Resinas de poliéster ortoftálicas | a base de anhídrido ortoftálico                                  | De uso general en ambientes no agresivos   |
| Resinas de poliéster isoftálicas  | a base de ácido isoftálico                                       | Buen desempeño mecánico, resistentes al agua y a agentes químicos, son inertes biológicamente. |
| Resinas poliéster isoftálicas     | Con neopentil glicol (ISO-NPG).                                  | Alta resistencia química y al ambiente   |
| Resinas vinil éster               | a base de resinas epóxicas modificadas con componentes vinílicos | De excelente resistencia química y a altas temperaturas  |
| Resinas bisfenólicas              | modificadas con bisfenol   | De altísima resistencia química, excelente estabilidad hidrolítica y a altas temperaturas.     |

**Fuente:** GALLEGO, Francisco, (2002). Resina Poliéster, Elaboración y diseño en formato PDF, por la Oficina General del Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central UNMSM

La resina poliéster tiene una vida útil de entre 3 y 4 meses si se almacena en lugares frescos y con su envase bien cerrado. En la resina sin catalizar se calcula una vida media de 6 meses aproximadamente. Sin embargo el tiempo de almacenamiento será suministrado por el fabricante. Este producto se vende fraccionado en envases de 1, 5, 10, 20 kg y en tambor de 230 kg.<sup>17</sup>

### 2.4.11.3 Curado de la Resina Poliéster

Las Resinas poliéster se presentan en forma de líquido algo viscoso (la viscosidad podrá ser mayor o menor según de cuál de ellas se trate). Para fraguar requieren del agregado de un catalizador y de un acelerador. El acelerador es el componente que regula los tiempos de la reacción de

<sup>17</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster\\_%28pol%C3%ADmero%29](http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster_%28pol%C3%ADmero%29)

fraguado mientras que el catalizador es el que inicia la reacción. Es importante destacar que hasta que no se incorpora el catalizador no se produce ninguna reacción por lo que puede dejarse preparada la resina con acelerador, pigmentos, cargas, etc. y luego catalizarla al momento de ser usada. De hecho, las resinas transparentes cristal vienen preaceleradas (con el acelerador ya incorporado) de fábrica requiriendo del usuario sólo el agregado de catalizador.

El curado es el proceso por el cual las resinas pasan de su estado líquido inicial al estado sólido. Para este cambio se necesita la presencia de la resina, el catalizador y el activador (acelerador). La reacción es exotérmica, comenzando la elevación de la temperatura nada más al producirse la mezcla de los diferentes elementos, siendo capaz de subir la temperatura de la resina hasta los 160 °C.<sup>16</sup>

**\*Reacción exotérmica:** Incremento brusco de la temperatura de la resina.

Una vez que la resina está en fase de utilización y se quiere provocar la reacción de polimerización, los inhibidores permiten que transcurra un determinado tiempo hasta que se produce el endurecimiento para que la resina se pueda trabajar. La reacción de polimerización por sí sola no se produce, o se produce con mucha dificultad. Para facilitarlos se utilizan los catalizadores, los cuales se añaden a la resina en el momento de la utilización.<sup>16</sup>

**\* Polimerización:** es el tiempo que transcurre de ésta hasta el curado de la misma una vez catalizada la resina. Durante esta fase, la resina se desprende del monómero (el más utilizado es el estireno) que se encuentra mezclado con la resina y es uno de los elementos líquidos

---

<sup>16</sup> GALLEGO, Francisco, (2002). Resina Poliéster, Elaboración y diseño en formato PDF, por la Oficina General del Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central UNMSM.

empleados en la fabricación de la resina y que permite que el catalizador reaccione consiguiendo que la resina comience el proceso de endurecimiento una vez catalizada.

\* **Inhibidores:** son productos que el fabricante de resinas incluye en ellas, para la fabricación, almacenamiento y reacción de la resina.<sup>16</sup>

#### **2.4.11.4 Catalizadores**

Los catalizadores o endurecedores son productos que inician la reacción de la polimerización para el endurecimiento de la resina. Por lo general son el único producto que junto con la resina maneja el aficionado en un trabajo de laminado.<sup>16</sup>

\* **Laminado o estratificado:** son capas de fibra mezcladas con resina catalizada.

Suelen ser peróxidos orgánicos que se añaden a la resina en forma líquida en una concentración que varía entre un mínimo del 1% y el 2% en peso de resina. Incluso aun existiendo otros factores que favorecen la reacción de polimerización, tales como la elevación de temperatura, condiciones idóneas ambientales, etc. Debe siempre respetarse la concentración de catalizador que se ha de utilizar.<sup>16</sup>

#### **2.4.11.5 Acelerante**

Los acelerantes son compuestos químicos que al reaccionar con el catalizador permiten que la polimerización se haga a temperatura menos elevada.

---

<sup>16</sup> GALLEGO, Francisco, (2002). Resina Poliéster, Elaboración y diseño en formato PDF, por la Oficina General del Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central UNMSM.



El acelerador generalmente viene incluido por el fabricante, pero en caso de tener que hacerlo nosotros, conviene extremar las precauciones e incluirlo después del catalizador, ya que éste puede llegar a generar una explosión si se realiza conjuntamente.

Dentro del proceso de curado se llama polimerización al tiempo de reacción de la resina, desde la gelificación hasta el curado. El curado en sí consta principalmente de tres fases:

- La gelificación. En la que se produce el paso de la resina de un estado inicial líquido viscoso, pero con facilidad de fluir, a un gel blando.
- El endurecimiento. La resina pasa de gel blando a endurecida o sólida.
- La maduración. Durante la cual la resina adquiere todas sus características mecánicas y químicas.

Las dos primeras fases son relativamente cortas (20 a 30 minutos). La última de ellas tiene lugar a lo largo de varias horas.

Los principales factores que intervienen en el proceso de curado son:

- El tipo de resina empleada.
- La temperatura ambiente, la mayoría de las resinas no curan a temperaturas inferiores a 10 °C.
- La naturaleza y cantidad de catalizador y activador. A mayor cantidad de ambos menos tiempo de gelificación.
- La naturaleza y cantidad de cargas. Si éstas son elevadas retrasan el curado.
- Espesor del laminado, cuyo aumento disminuye el tiempo de gelificación.<sup>16</sup>

Se pueden controlar los tiempos de curado actuando sobre los parámetros: cantidad de acelerador y de catalizador. Esta circunstancia pierde interés en construcciones individuales.

\* **Cargas:** Son en su mayoría materiales derivados de minerales empleados como material de relleno (para hacer masillas).<sup>16</sup>

#### **2.4.11.4 Modo de Mezclar las Resinas**

Una vez que se ha catalizado una cantidad determinada de resina, su período de vida en el recipiente (periodo de trabajo) es muy corto (unos 15 minutos aproximadamente). Se sabe que una gran cantidad de producto, tanto dentro de la vasija de trabajo como en el mismo laminado, endurece con mayor rapidez que una capa delgada (debido a que de esta forma produce mucho más calor).

Una paleta de mezcla agitará el producto de una manera más efectiva, pues los aparatos eléctricos de alta velocidad producen generalmente burbujas de aire. Normalmente se tienen que utilizar vasijas distintas para el mezclado del producto (resinas + catalizador) y para humedecer el rodillo con el que impregnar el manto de fibra.

A la hora de remover debemos de mezclar muy bien con el catalizador y rebanar el mismo movimiento en todas las esquinas de la vasija durante un minuto aproximadamente. Ni que decir tiene que una vez traspasada la resina a otra vasija se debe limpiar rápidamente con acetona o si es del tipo desechable, deshacernos de ella sin recurrir a la misma para realizar otra mezcla. No existe problema ninguno si la vasija es de plástico, a no ser que se mezcle durante mucho tiempo endureciendo la misma y produciéndose su deformación debido al calor.<sup>16</sup>

#### **2.4.11.5 Propiedades de la resina en estado sólido o polimerización**

Se debe tener en cuenta varias propiedades una buena resistencia a la flexión, a la tracción, a la comprensión, al impacto y a la dureza. No exponiéndose a fuentes de calor mayores a los 85° C no deben presentar problemas de distorsión.<sup>16</sup>

#### **2.4.12 Ésteres**

Son compuestos que se forman al sustituir el H de un ácido por una cadena hidrocarbonada, R'.<sup>18</sup>

Los ésteres pueden participar en los enlaces de hidrógeno como aceptadores, pero no pueden participar como dadores en este tipo de enlaces, a diferencia de los alcoholes de los que derivan. Esta capacidad de participar en los enlaces de hidrógeno les convierte en más hidrosolubles que los hidrocarburos de los que derivan. Esta falta de capacidad de actuar como dador de enlace de hidrógeno ocasiona el que no pueda formar enlaces de hidrógeno entre moléculas de ésteres, lo que los hace más volátiles que un ácido o alcohol de similar peso molecular.<sup>19</sup>

Los ésteres de los ácidos no saturados, por ejemplo, las resinas de poliéster, se producen por la polimerización de los esteres, luego de la polimerización se obtiene fibra de poliéster. Si se da forma de láminas a este material, constituye una excelente película fotográfica.<sup>20</sup>

---

<sup>16</sup> GALLEGO, Francisco, (2002). Resina Poliéster, Elaboración y diseño en formato PDF, por la Oficina General del Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central UNMSM.

<sup>18</sup> <http://www.alonsoformula.com/organica/esteres.htm>

<sup>19</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%89ster>

<sup>20</sup> <http://www.esteres.cjb.net>

### 2.4.13 Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas

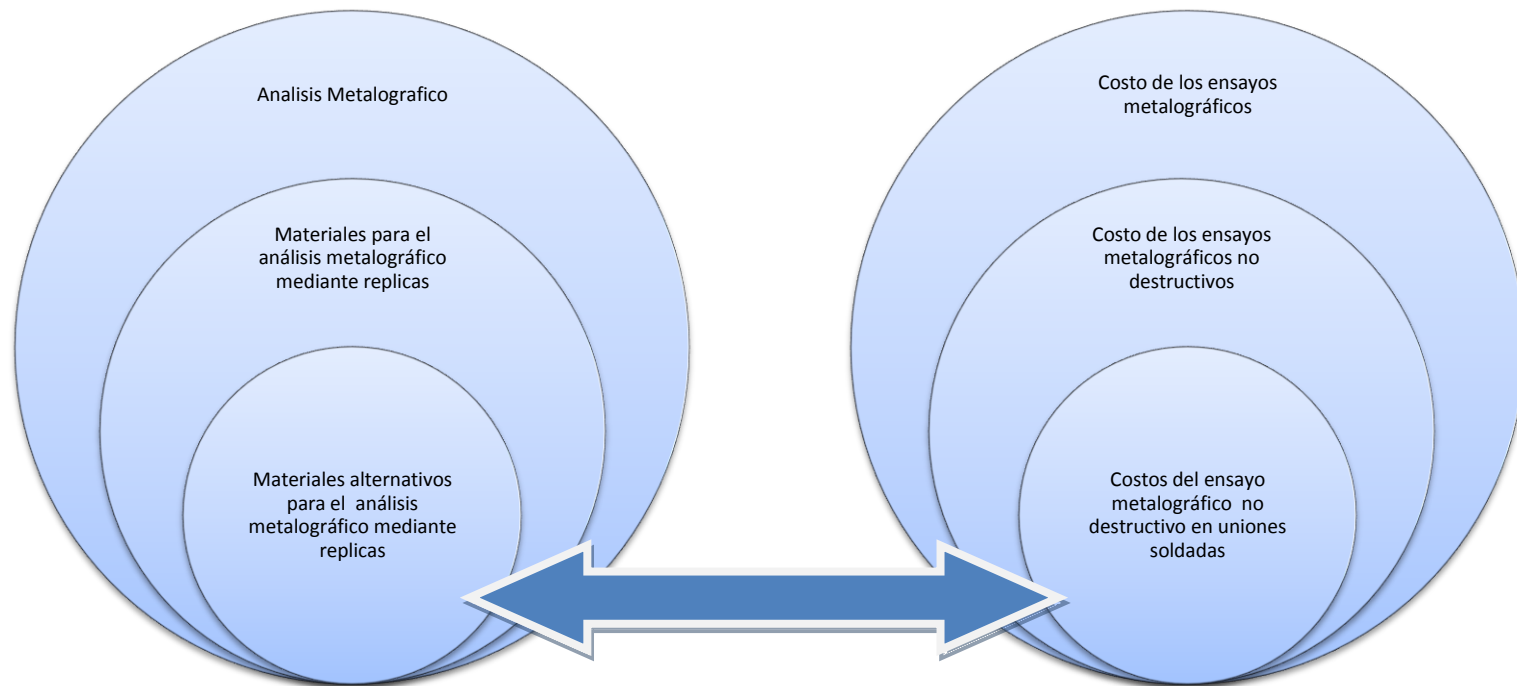
De acuerdo a la Tesis sobre “Análisis metalográfico no destructivo mediante réplicas para evaluar la microestructura en uniones soldadas de acero A36 – posición 1G” el costo de la inversión inicial para realizar un ensayo metalográfico por réplicas usando como medio replicante la Resina Technovit, es el detallado a continuación.

**Tabla 3. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas.**

| PROCESO                            | MATERIALES O ELEMENTOS          | COSTO (USD)   |
|------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| Acondicionamiento de la superficie | Pulidora manual DW887           | 80.00         |
|                                    | Paño metalográfico              | 25.00         |
|                                    | Lijas Nº 240-320-400-600        | 5.00          |
| Ataque químico                     | Reactivo Nital4, 4ml NHO3       | 10.00         |
| Replicado                          | Resina Technovit 3040 - 1000 gr | 435.00        |
|                                    | Metacrilato de Metilo - 1000ml  | 289.00        |
|                                    | Recipiente de preparación       | 2.00          |
|                                    | Moldes de aplicación            | 2.00          |
| Ejecución Operación                | Asesoría Técnica                | 100.00        |
| Evaluación                         | Presentación de reporte         | 50.00         |
|                                    | <b>Total</b>                    | <b>998.00</b> |

**Fuente:** Tesis “ANÁLISIS METALOGRAFICO NO DESTRUCTIVO MEDIANTE RÉPLICAS PARA EVALUAR LA MICROESTRUCTURA EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO A36 – POSICIÓN 1G”, Ing. Luis Salán. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato. 2010

## 2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



## **2.6 HIPÓTESIS**

Con el uso de polímeros para el análisis metalográfico mediante réplicas se disminuirá los costos del ensayo metalográfico no destructivo en uniones soldadas de acero A36

## **2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.7.1 Variable Independiente**

El uso de polímeros para el análisis metalográfico mediante réplicas

### **2.7.2 Variable Dependiente**

Los costos del ensayo metalográfico no destructivo en uniones soldadas de acero A36.

### **2.7.3 Término de relación**

Disminuirá

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

El enfoque utilizado en la presente investigación tiene una tendencia hacia el paradigma cualitativo, debido a que en esta investigación se privilegia técnicas cualitativas buscando la comprensión de los fenómenos para orientarse hacia la formación de hipótesis que permiten solucionar la temática de esta investigación.

De la misma manera de acuerdo al paradigma mencionado se hace énfasis en el proceso y materiales que actualmente son utilizados para la obtención de las réplicas metalográficas así como también las normas bajo las cuales se desarrolla dicho proceso.

#### **3.2 MODALIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación tiene un diseño basado en las siguientes modalidades de investigación:

**Aplicada.-** debido a que los resultados de ésta investigación se utilizan para la solución de la problemática tratada en la misma, es decir el estudio de materiales alternativos para el análisis metalográfico mediante réplicas y su incidencia en el costo del ensayo metalográfico no destructivo en uniones soldadas de acero A36.

**De laboratorio.-** pues la presente investigación es desarrollada en un ambiente controlado, en este caso el laboratorio de Materiales de la Universidad Técnica de Ambato.

**Descriptiva.-** ya que a través de esta investigación se logra fomentar la tecnología e interés por el ensayo metalográfico no destructivo mediante réplicas, utilizando para el mismo, materiales alternativos que resulten ser más económicos que los que actualmente utilizados.

### **3.3 NIVELES DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación alcanzó el primer nivel exploratorio de investigación pues se reconoció variables de interés investigativo, como la temática de los materiales utilizados en el ensayo metalográfico no destructivo mediante réplicas; además se tomó en cuenta un problema poco estudiado en el ámbito de carácter mecánico.

Esta investigación tiene un alcance del segundo nivel descriptivo de investigación debido a que se realizaron preguntas directrices, y se analizaron variables de manera aislada en la parte de red de categorías, describiendo las características de cada variable como costos de materiales y técnicas utilizadas en la obtención de las réplicas necesarias para el ensayo metalográfico no destructivo. Con este trabajo investigativo se evalúa la diferencia de costos de los materiales alternativos encontrados frente a los utilizados actualmente, del mismo modo se mide el grado de relación entre variables.



### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1 Población**

En esta investigación la población está definida por los siguientes objetos:

1. Uniones Soldadas de Acero A36
2. Polímeros adecuados para réplicas metalográficas

#### **3.4.2 Muestra**

En la presente investigación la muestra está determinada por:

1. Uniones Soldadas de Acero A36  
4 Probetas en placas de acero A36
2. Polímeros adecuados para réplicas metalográficas
  - Hojas de acetato de celulosa
  - Alcohol Polivinílico
  - Silicona de bajo costo (3 tipos)
  - Acrílicos de bajo costo (3 tipos)
  - Pinturas Plásticas (3 tipos)

### 3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.5.1 Variable independiente:

El uso de polímeros para el análisis metalográfico mediante réplicas.

| Conceptualización   | Dimensiones           | Indicadores  | Ítems   | Técnicas e Instrumentos                                |
|---|-----------------------|--|---|--|
| Los materiales utilizados para la obtención de las réplicas dan como resultado una fiel reproducción de la microestructura del elemento analizado y garantizan una muy buena resolución | Materiales utilizados | ¿Qué materiales se utilizan para la obtención de réplicas?           | -Hojas de acetato de celulosa<br>-Alcohol Polivinílico<br>-Silicona | Observación directa<br>Observación Bibliográfica       |
|   | Réplicas              | ¿Cuáles son los parámetros que influyen en la obtención de réplicas? | Material<br>Tiempo<br>Composición                                   | Observación directa                                    |
|   | Microestructura       | ¿Qué se determina en la microestructura que se observa?              | Constituyentes metalográficos<br>Tamaño de grano                    | Observación directa<br>Software<br>Método planimétrico |

### 3.5.2 Variable dependiente:

Los costos del ensayo metalográfico no destructivo en uniones soldadas de acero A36.

| Conceptualización  | Dimensiones  | Indicadores  | Ítems  | Técnicas e Instrumentos                                      |
|--|--|--|--|--|
| La metalografía no destructiva o réplica metalográfica es una de las técnicas contempladas en los ensayos no destructivos, utilizada en forma no rutinaria para detectar cambios microestructurales que se manifiestan en equipos y componentes en servicio. Realizada mediante hojas de acetato o barniz los cuales son de elevados costos. | Costo de los ensayos metalográficos destructivos                               | ¿Cuál es el costo de los ensayos metalográficos destructivos?                                | Factibilidad de aplicación                             | Observación de campo   |
|  | Costo de los ensayos metalográficos no destructivos                            | ¿Cuál es el costo de los ensayos metalográficos no destructivos?                             | Factibilidad de aplicación<br><br>Tiempo de aplicación | Observación bibliográfica<br><br>Observación de laboratorio. |
|  | Costo de los materiales utilizados para ensayos metalográficos no destructivos | ¿Cuál es el costo de los materiales utilizados para la obtención de réplicas metalográficas? | Costo de los materiales                                | Observación bibliográfica                                    |

### **3.6 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN**

En la presente investigación se utilizan técnicas para la recolección de la información tales como la observación pues se requiere observar y analizar la información que sirve como guía en la investigación, recolección de información de libros e Internet, análisis y pruebas en el laboratorio, inspección visual externa e interna lógicamente con el empleo de diversos medios e instrumentos de medición, los cuales permitan recoger la información de forma correcta y eficiente.

### **3.7 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

- Revisión crítica de la información bibliográfica recogida.
- Selección de la información más importante y puntual.
- Tabulación de la información, como tamaño de grano y demás aspectos considerados de importancia dentro de la investigación.
- Representación con fotografías de la microestructura de las uniones estudiadas y de las réplicas obtenidas de las mismas.
- Análisis e interpretación de resultados.
- Desarrollo de la propuesta.

### **3.8 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

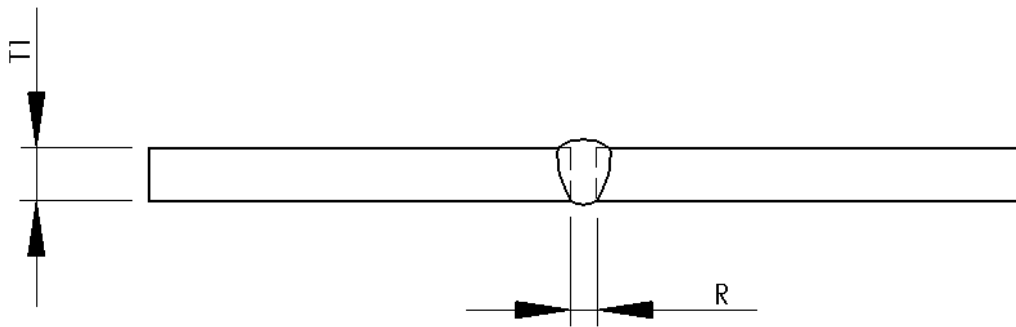
- Análisis microestructural de la muestra.
- Análisis microestructural de la réplica obtenida de la muestra.
- Interpretación de los resultados con apoyo del marco teórico.
- Comprobación de la hipótesis
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Diseño de la junta soldada.

De acuerdo con la norma AWS D1.1 (Anexo A1); el diseño de la junta soldada es como se indica a continuación.



**Gráfico 12. Diseño de la junta soldada**

Fuente: Autor

Donde:

$T_1 = \frac{1}{4}$  in (espesor)

R = abertura de raiz

$$R = \frac{T_1}{2} \text{mínimo} \quad (4.1)$$

$$R = \frac{1/4}{2} \text{mínimo}$$

$$R = \frac{1}{8} \text{ in (mínimo)}$$

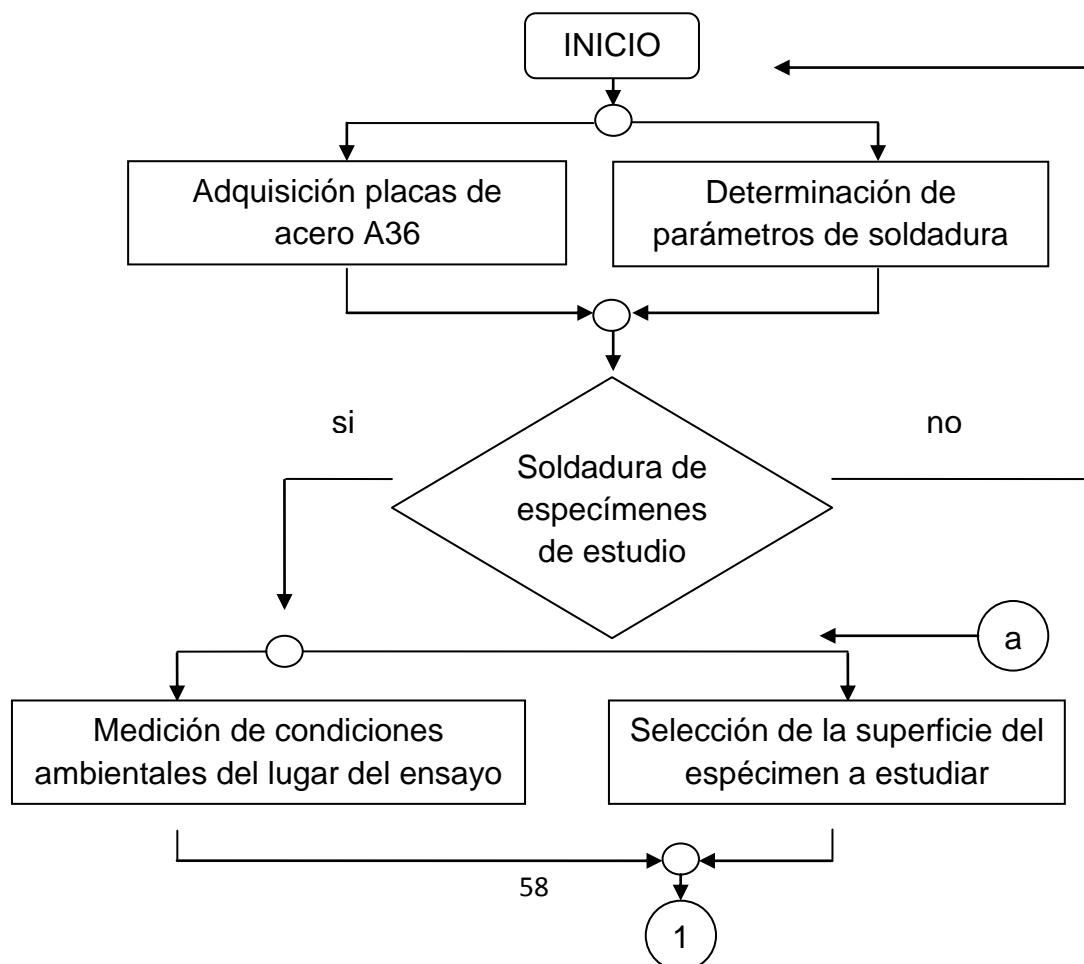
#### 4.1.1 Elección del tipo de electrodo.

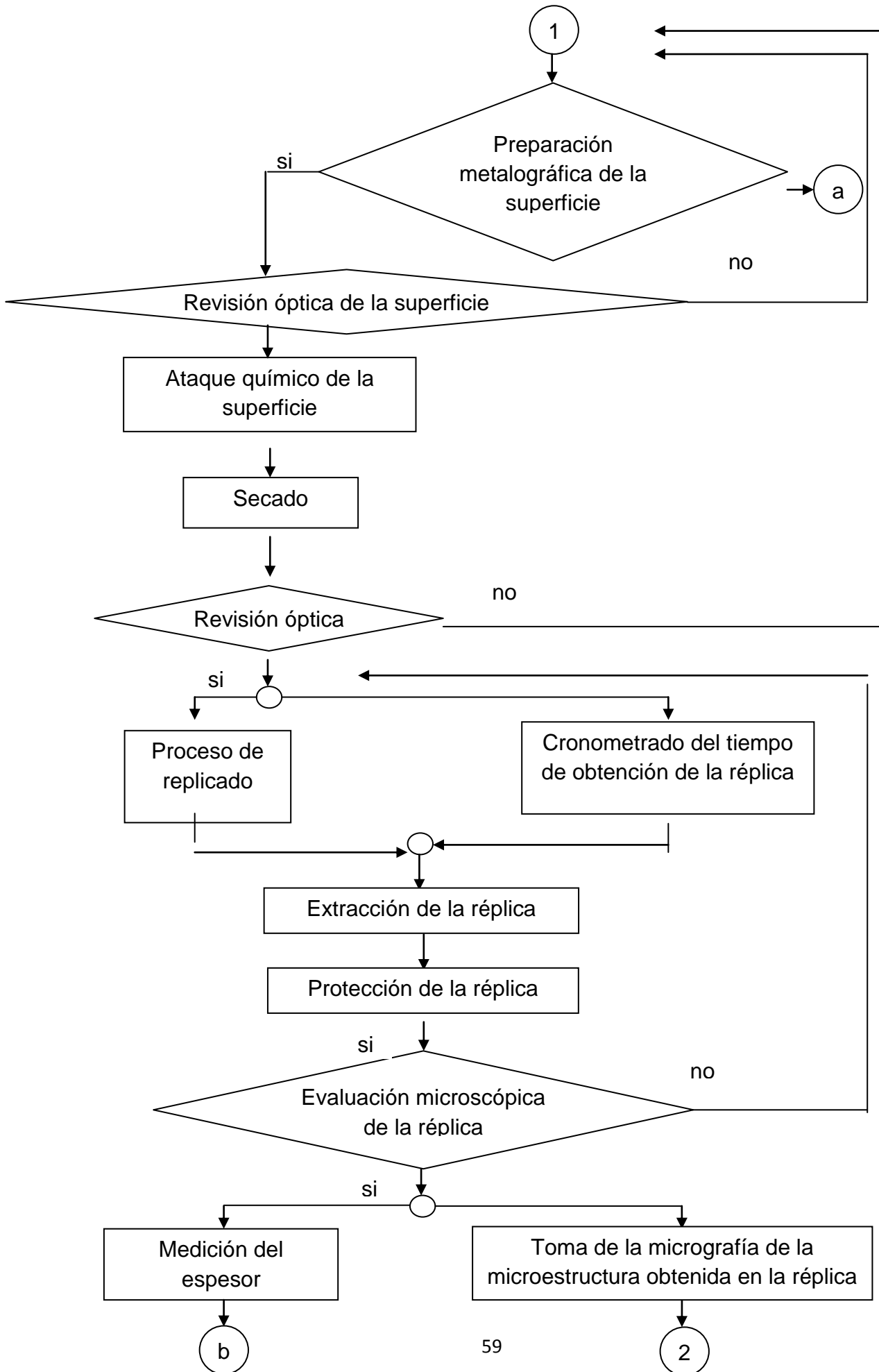
El tipo de electrodo usado para la preparación de las juntas soldadas es el E6011 de 1/8 de pulgada, seleccionado según la tabla 10 de la página 27 de la norma AWS A5.1 (Anexo A2) además se ha tomado en cuenta las recomendaciones descritas en el Anexo A3.

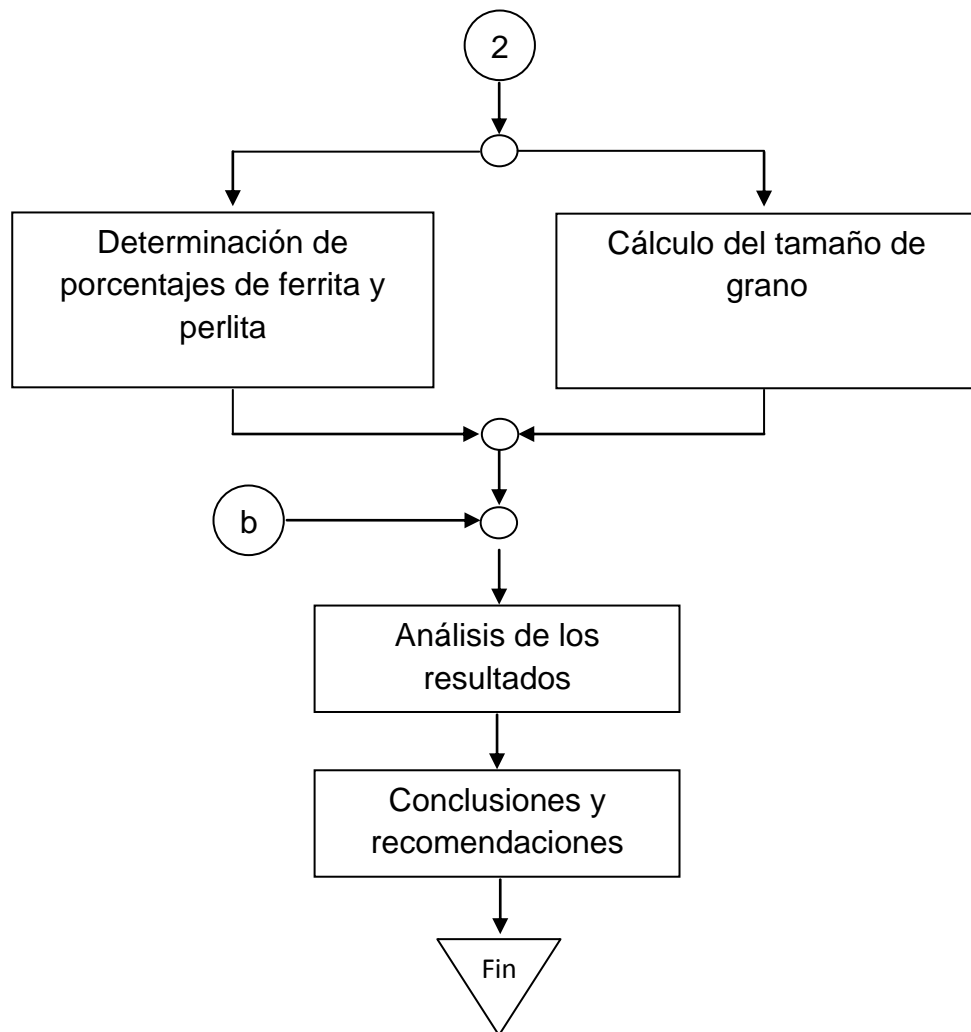
Las características y aplicaciones de este electrodo se encuentran en el Anexo A4.

#### 4.2 Proceso de Análisis de Resultados

Luego de varias pruebas se considera el siguiente diagrama para el desarrollo y toma de resultados del ensayo metalográfico por réplicas, tomado de acuerdo a fuentes bibliográficas.







**Fuente:** Tesis: Ing. SALÁN Luis, (2010) "Análisis metalográfico no destructivo mediante réplicas para evaluar la microestructura en uniones soldadas de acero A36 – posición 1G",

### 4.3 Presentación de resultados

A continuación se presentan los resultados de los ensayos realizados con distintos materiales, los cuales se consideraron para probar su aplicabilidad o descartarlos como medios replicantes.






| REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS  |                            |                 |                          |                |                   |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------|----------------|-------------------|
| Probeta:                        | Nº 01                      | Autorizado por: | Ing. Manolo Córdova      | Realizado por: | Alejandra Lascano |
| Lugar de realización:           | Taller de soldadura (FICM) |                 | Fecha de ejecución:      | 05/01/2011     |                   |
| Temperatura ambiente del lugar: | 22.2°C                     |                 | Flujo de aire del medio: | Estático       |                   |

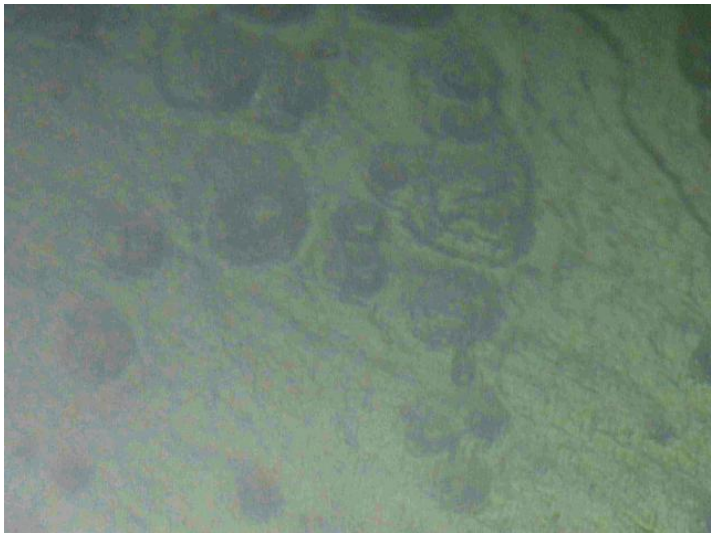
| ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA |           |               |                   |                     |                   |
|---|-----------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Diseño de la junta:                       |           |               | Posición:         | Plana horizontal 1G |                   |
| Tipo:                                     | Soldadura | Un solo lado: | si                | Técnica:            | Cordón rectilíneo |
|   |           | Ambos lados:  | no                |                     | Pasada única      |
| Abertura de raíz:                         | 1/8 in    |               | Proceso:          | SMAW                |                   |
| Tipo de unión:                            | A tope    |               | Tipo:             | Manual              |                   |
| <b>METALES BASE</b>                       |           |               |                   |                     |                   |
| Especificaciones del material:            |           |               | Acero estructural |                     |                   |
| Tipo o grado:                             |           |               | ASTM - A36        |                     |                   |
| Espesor:                                  |           |               | ¼ in              |                     |                   |
| Longitud de la probeta:                   |           |               | 282 mm            |                     |                   |
| Característica:                           |           |               | Platina           |                     |                   |
| Metal de aporte:                          |           |               | AWS - 6011        |                     |                   |
| Amperaje / Voltaje:                       |           |               | 90 A / 35 V       |                     |                   |



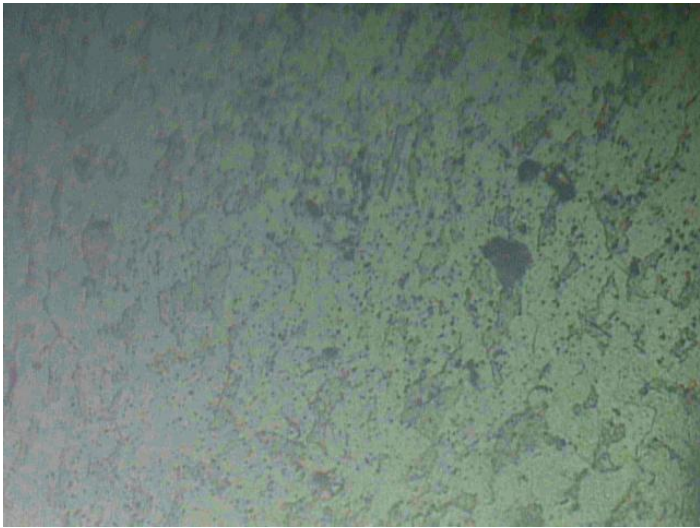


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 01                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 24/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                               |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 25.4 °C   | Radiación:            | 470.2 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                               |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Transparente ( uso general )                |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                             | 24.6 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 55 min  | Espesor:              | 0.75 mm                |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|      |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada. |   |                       |                        |

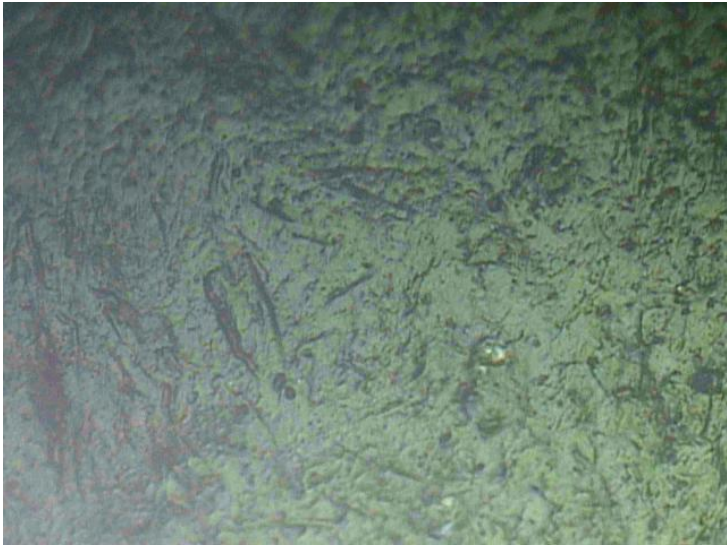


| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 02                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 24/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 22.3 °C   | Radiación:            | 228.2 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 0.7 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                             |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 24.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Silicón Transparente ( uso general )                |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 24.5 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 55 min  | Espesor:              | 0.75 mm                |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |



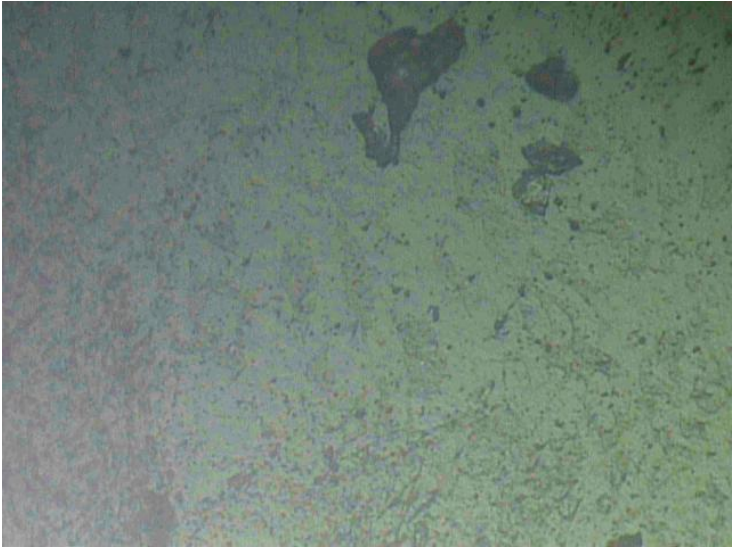
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 03                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 24/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 25.2 °C   | Radiación:            | 345.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.9 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 24.8 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Transparente ( uso general )                |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23.1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 60 min  | Espesor:              | 1 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, se observa con poca claridad algunos bordes de grano.   |   |                       |                        |



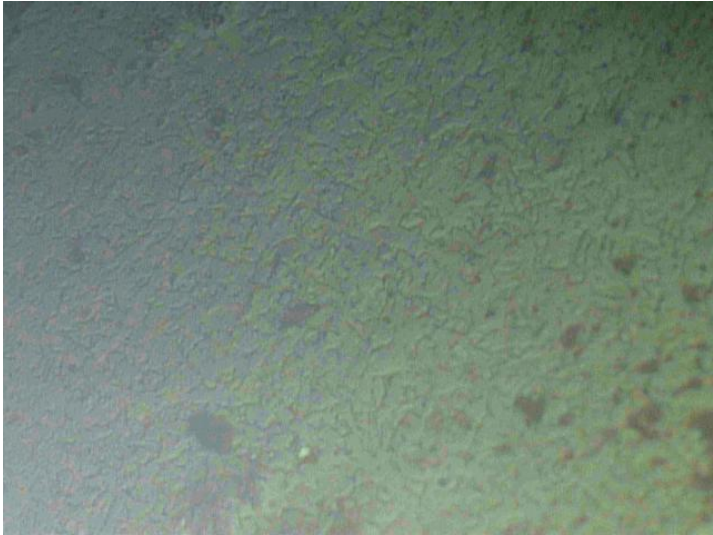
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 04                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 24/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 25.6 °C   | Radiación:            | 389.7 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 0.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                             |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 25.5 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Silicón Transparente ( uso general )                |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 24.8 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 53 min  | Espesor:              | 0.8 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |






| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 05                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 24/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                               |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 22.6 °C   | Radiación:            | 218.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.7m/s  | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                               |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 24.4 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Transparente ( uso general )                |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                             | 21. 2°C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 54 min  | Espesor:              | 0.75 mm                |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|      |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada. |   |                       |                        |



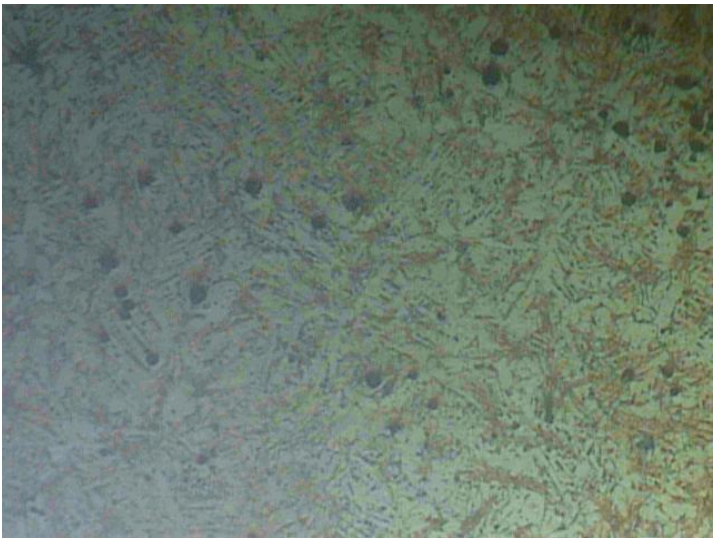
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 06                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 25/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 18.3 °C   | Radiación:            | 569.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.9 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 17.9 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Rojo ( uso profesional)                     |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 18.8 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 1.5 horas   | Espesor:              | 1.9 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, se observa con poca claridad algunos bordes de grano    |   |                       |                        |




| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 07                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 25/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 19.4 °C   | Radiación:            | 608.3 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 21.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Rojo ( uso profesional)                     |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 22,4 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 1.3 horas   | Espesor:              | 1.2 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, se observa con poca claridad algunos bordes de grano    |   |                       |                        |



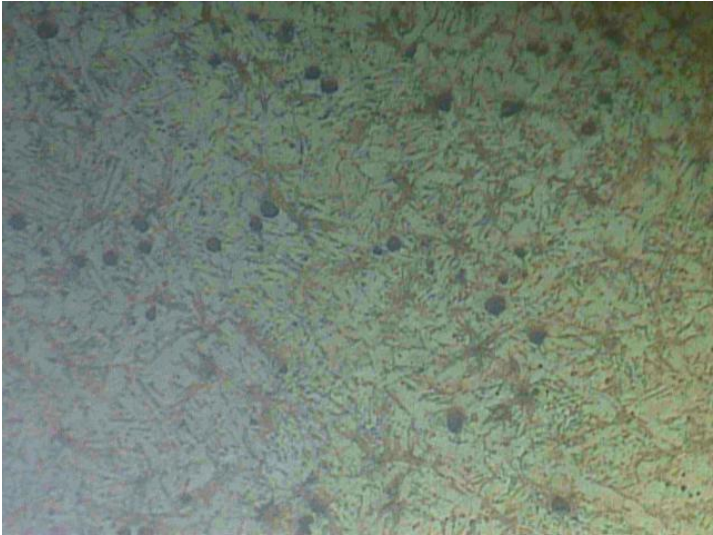


| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 08                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 26/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.7 °C   | Radiación:            | 501.2 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.6 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 25.3 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Alcohol Polivinílico                                |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 25.6 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 3 horas   | Espesor:              | 0.2 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano.                     |   |                       |                        |

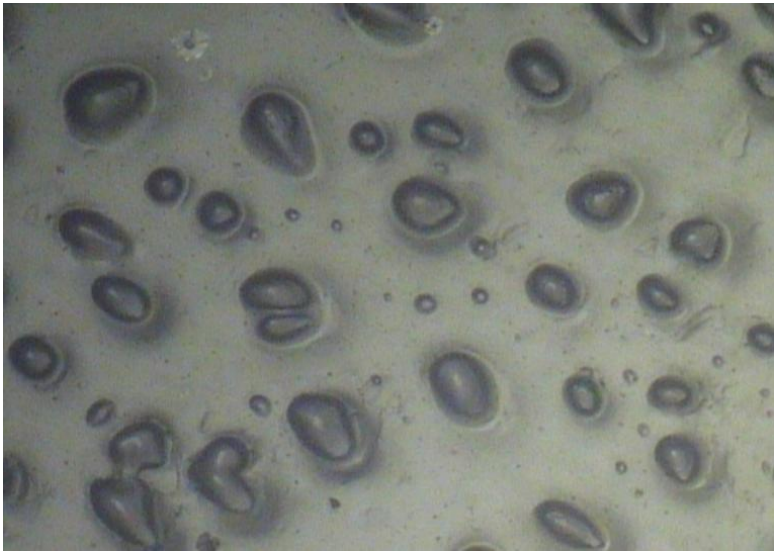


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 09                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 26/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.7 °C   | Radiación:            | 212.5 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.6 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 22.4 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Alcohol Polivinílico                                |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23,1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 3.2 horas   | Espesor:              | 0.2 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan los bordes de grano.                       |   |                       |                        |



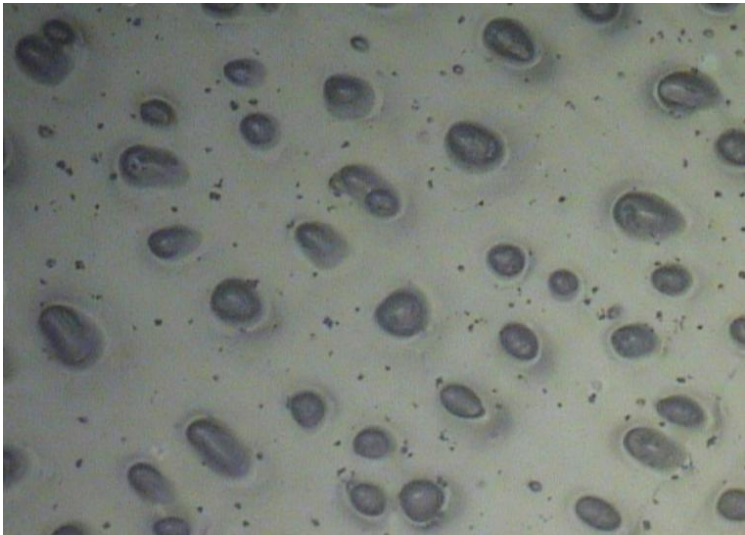
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 10                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 26/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 24.3 °C   | Radiación:            | 321.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.6 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Alcohol Polivinílico                                |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23,6 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 3 horas   | Espesor:              | 0,2 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano.                     |   |                       |                        |



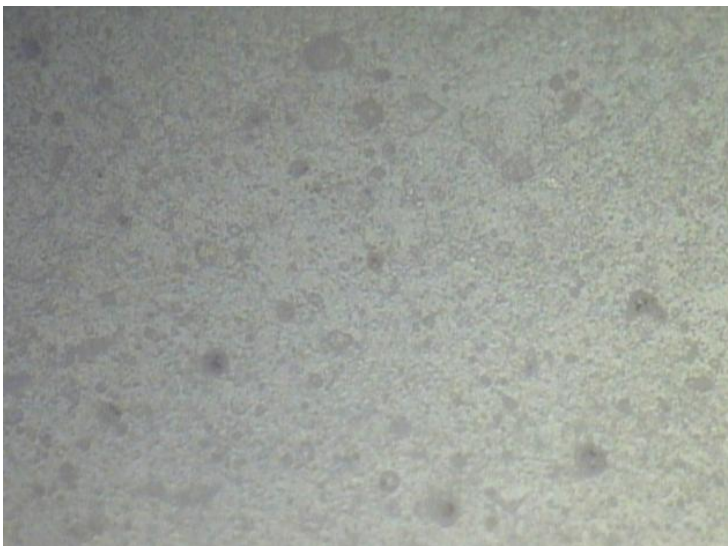
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 11                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 28/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 22.3 °C   | Radiación:            | 278.9 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 23.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Cinta Adhesiva                                      |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 24.8 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 10 s  | Espesor:              | 0.1 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |



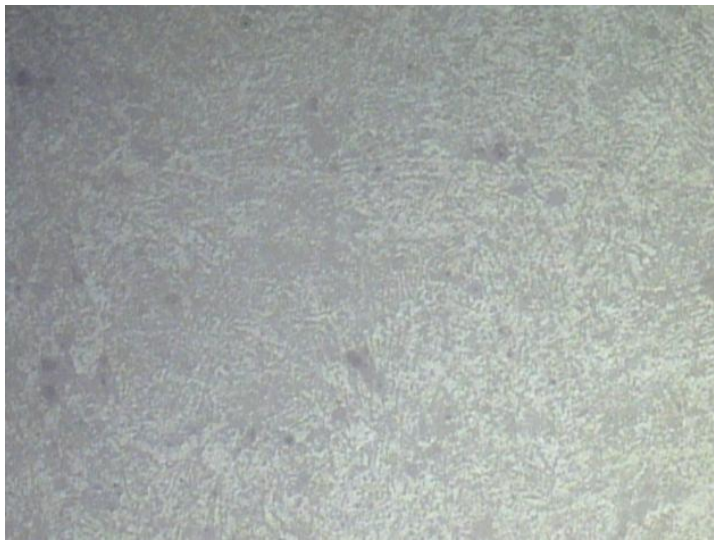


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 12                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 28/01/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 23.6 °C   | Radiación:            | 127.3 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 0.9 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 24.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Cinta Adhesiva                                      |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 24.3 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 10 s  | Espesor:              | 0.1 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |




| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 13                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 02/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 17.1 °C   | Radiación:            | 100.7 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 0.4 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 20.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Goma y Pintura                                      |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 21,1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 1.5 horas   | Espesor:              | 0.4 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |



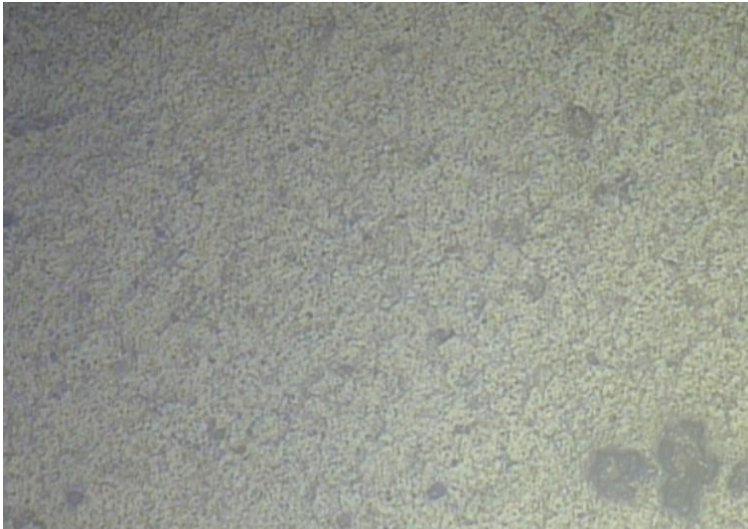
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 14                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 02/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 23.9 °C   | Radiación:            | 214.7 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 0.4 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                             |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 24.4 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Goma y Pintura                                      |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 23.4 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 1.5 horas   | Espesor:              | 0.4 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |



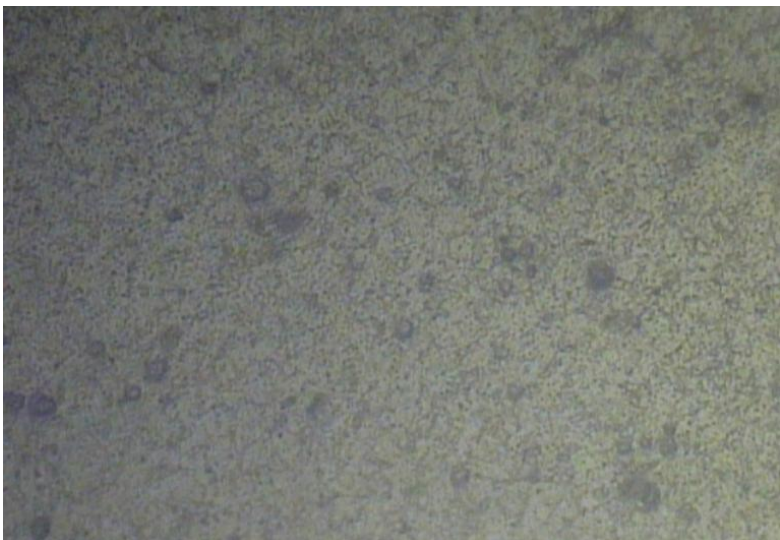
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 15                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 02/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 24.1 °C   | Radiación:            | 200.2 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 0.4 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 22.2 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Goma y Pintura                                      |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 22.4 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 1.5 horas   | Espesor:              | 0.4 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |



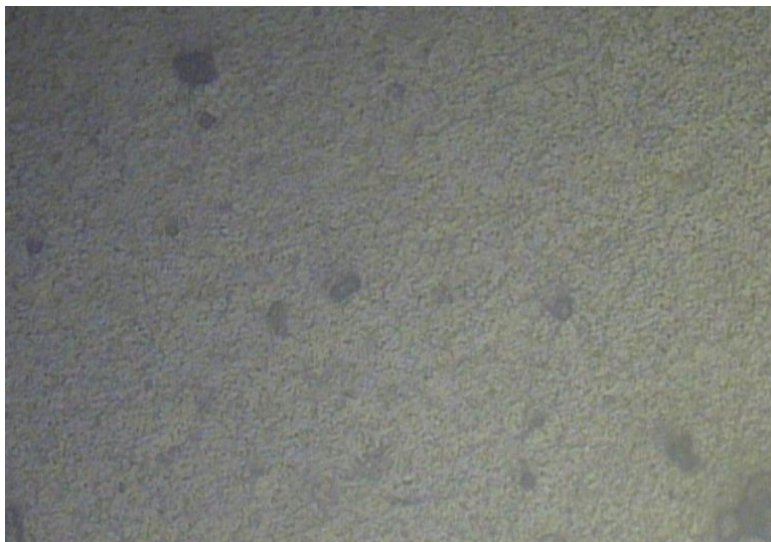


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 16                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 07/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 23.7°C  | Radiación:            | 140.5 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 1.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 25.5 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Leche de Caucho                                     |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 24.6 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 2 horas   | Espesor:              | 0.1mm                  |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |

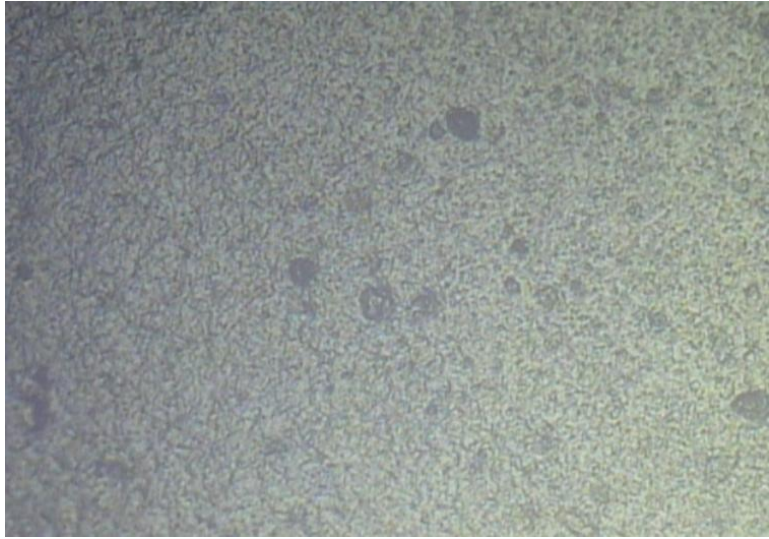


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 17                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 07/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 22.5 °C   | Radiación:            | 105.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 1.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 22.8 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Leche de Caucho                                     |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 22.1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 2 horas   | Espesor:              | 0.1 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |



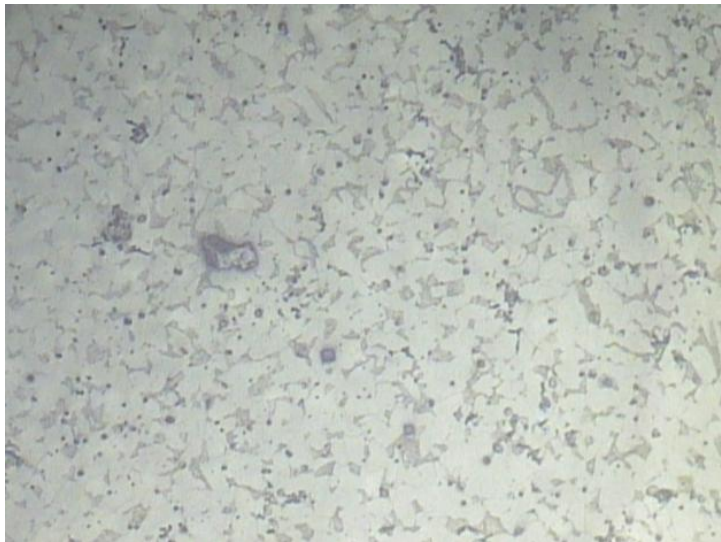
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                       |
|---|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 18                    |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                       |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 07/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                       |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente  | 21.1 °C   | Radiación:            | 82.3 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 1.7 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido   | 22.4 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:  | Leche de Caucho                                     |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 21.3 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 2 horas   | Espesor:              | 0,1 mm                |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                       |
|     |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                       |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                       |



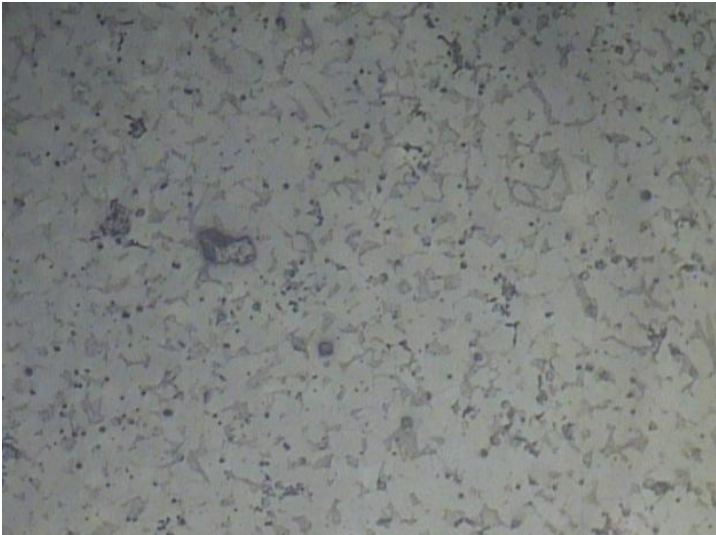
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS   |  |                       |                       |
|---|--|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |  |                       |                       |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                               | Ensayo N°             | 19                    |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01  |                       |                       |
| Parte específica a replicar:  | Metal base   |                       |                       |
| Solicitado por:   | UTA - FICM   | Fecha:                | 10/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                     |                       |                       |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                    | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |  |                       |                       |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA  |                       |                       |
| Temperatura ambiente  | 19.3 °C  | Radiación:            | 91.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 1.1 m/s  | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                             |  |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM   | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                      |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido   | 18.9 °C  | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4  | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:  | Plástico LDPE (polietileno de baja densidad) Quemado |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 19.4 °C  |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 25 s   | Espesor:              | 2 mm                  |
| <b>RESULTADO</b>  |  |                       |                       |
|     |  |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |  |                       |                       |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |  |                       |                       |



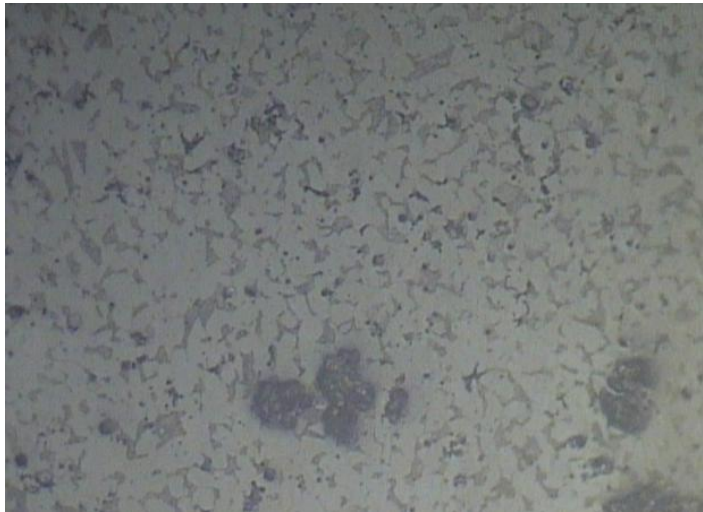


| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 20                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 11/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 19.1 °C   | Radiación:            | 94.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 19.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Goma  |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 19.4 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 30 min  | Espesor:              | 0.2 mm                |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Calidad de replicación buena, se observan claramente los bordes de grano.            |   |                       |                       |



| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 21                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 11/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 19.7 °C   | Radiación:            | 89.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 19.9 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Goma  |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 20.1 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 30 min  | Espesor:              | 0.2mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Calidad de replicación buena, se observan claramente los bordes de grano.            |   |                       |                       |

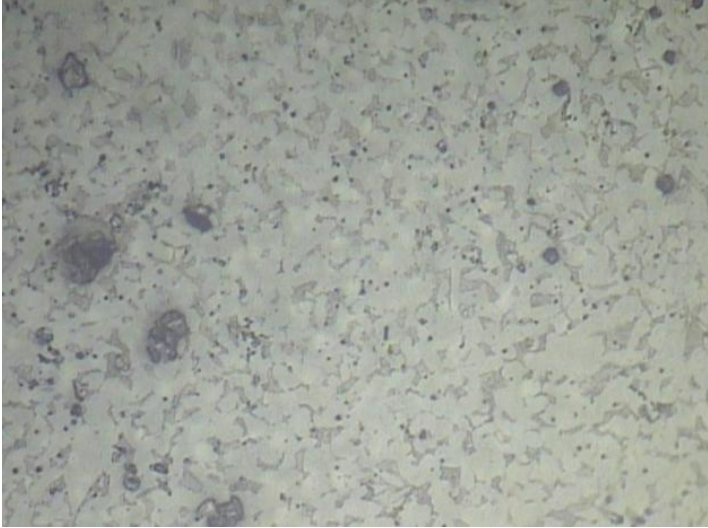


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 22                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 11/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 20.4 °C   | Radiación:            | 72.9 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 19.8 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Goma  |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 19.9°C  |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 30 min  | Espesor:              | 0,2 mm                |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano.                     |   |                       |                       |




UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



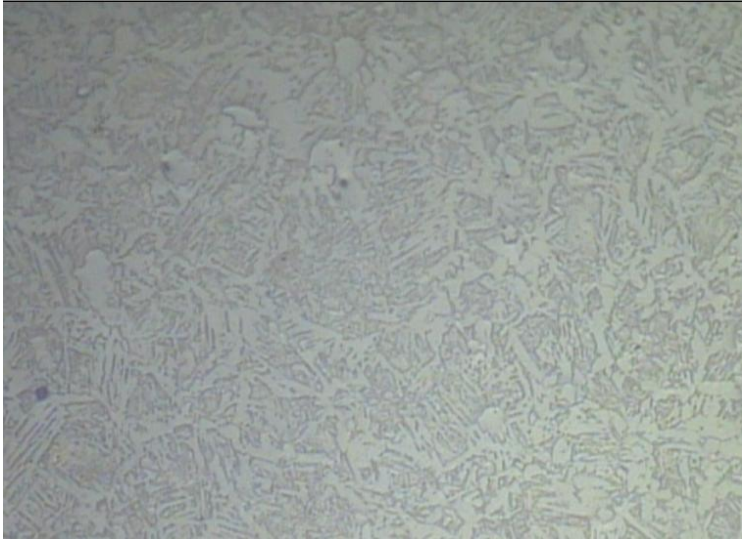
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 23                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 11/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 19.8 °C   | Radiación:            | 80.5 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 19.4°C  | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Goma  |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 20 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 30min   | Espesor:              | 0.2 mm                |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Calidad de replicación buena, se observan claramente los bordes de grano.            |   |                       |                       |



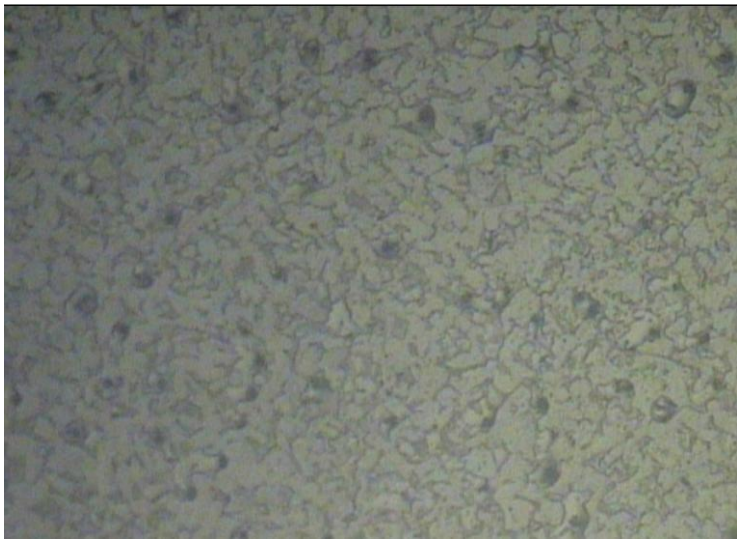


| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 24                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 14/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 24.4 °C   | Radiación:            | 299.2 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.5 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Goma  |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 21,5 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 31 min  | Espesor:              | 0.2mm                  |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano.                     |   |                       |                        |



| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 25                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Zona parcialmente fundida                           |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 14/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.3 °C   | Radiación:            | 213.3 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.4 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 24.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Goma  |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 25,4 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 31 min  | Espesor:              | 0,2 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano.                     |   |                       |                        |

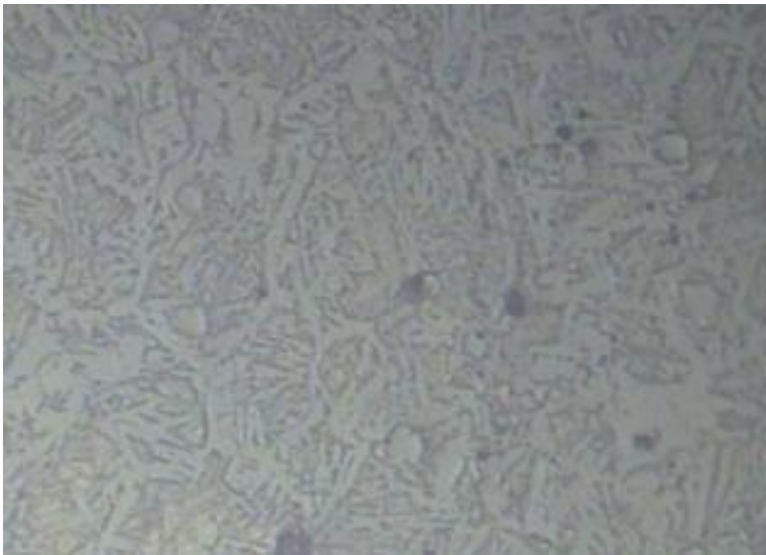


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 26                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 14/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 23.1 °C   | Radiación:            | 79.7 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.4 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 24.4 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 24.2°C  |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2 min   | Espesor:              | 3.9 mm                |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano.                     |   |                       |                       |

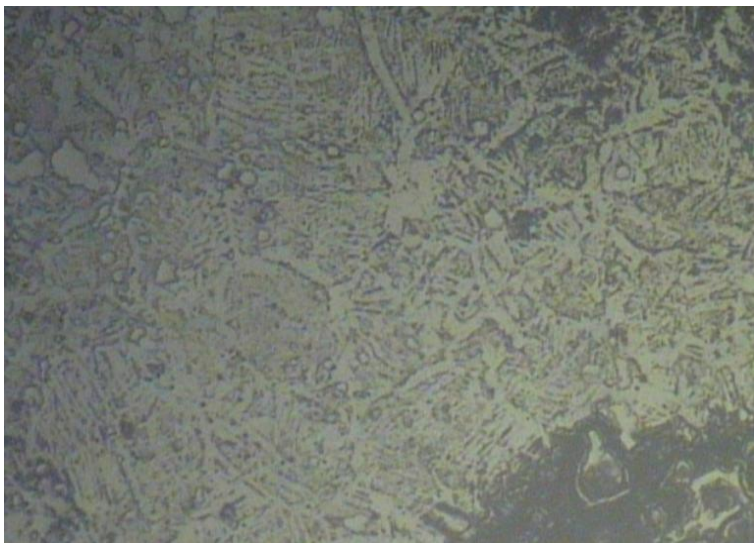


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 27                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Zona parcialmente fundida                           |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 14/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 23.1 °C   | Radiación:            | 81.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.4 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 24.3 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 22.3 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2 min   | Espesor:              | 0.4 mm                |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Calidad de replicación buena, se observan claramente los bordes de grano.            |   |                       |                       |



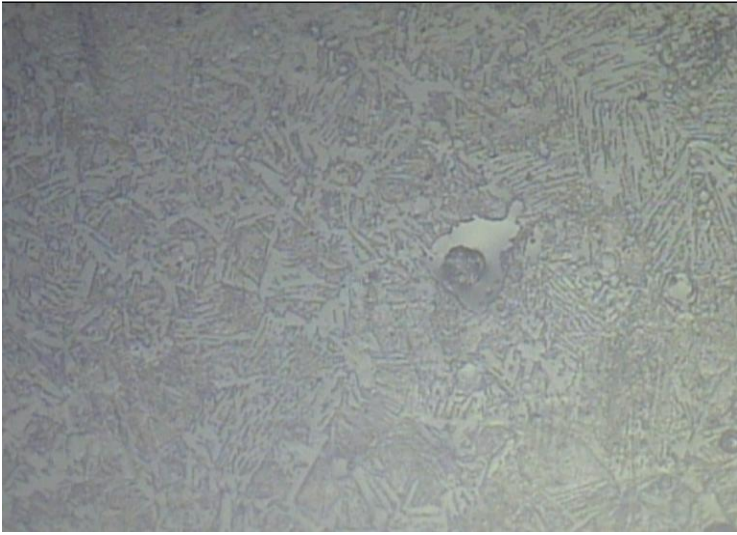
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 28                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Zona parcialmente fundida                           |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 14/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 21.4 °C   | Radiación:            | 91.6 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.4 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 22.8°C  | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 21.4 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2 min   | Espesor:              | 4 mm                  |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano.                     |   |                       |                       |






UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA




| NSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 29                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Zona parcialmente fundida                           |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 14/02/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 22.7°C  | Radiación:            | 73.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.4 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 23.1°C  | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23.4°C  |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2 min   | Espesor:              | 3.3 mm                |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Calidad de replicación buena, se observan los bordes de grano.                       |   |                       |                       |



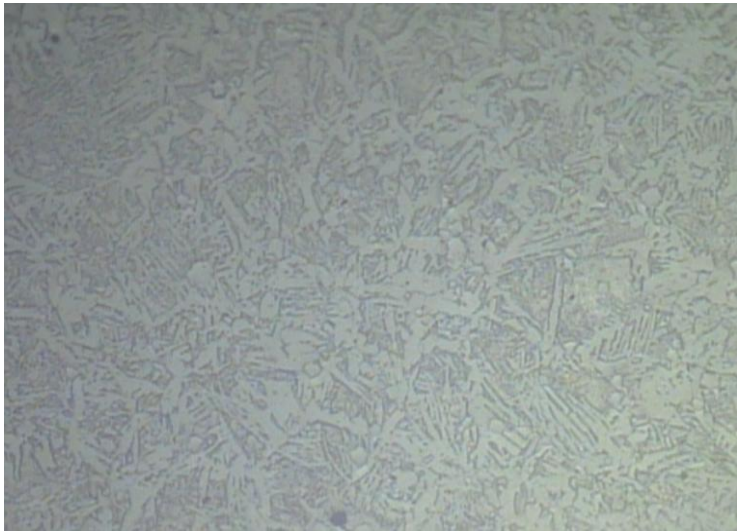
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 30                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 15/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 24.1 °C   | Radiación:            | 230.5 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 24.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 24.6°C  |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2min  | Espesor:              | 4 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan los bordes de grano.                       |   |                       |                        |



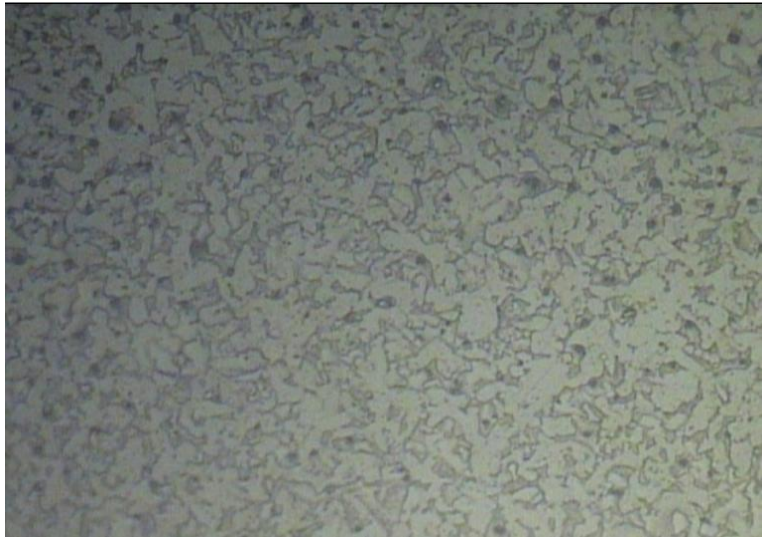
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 31                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 15/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.7°C  | Radiación:            | 231.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 22.9 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23.3 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2 min   | Espesor:              | 4.2 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano.                     |   |                       |                        |



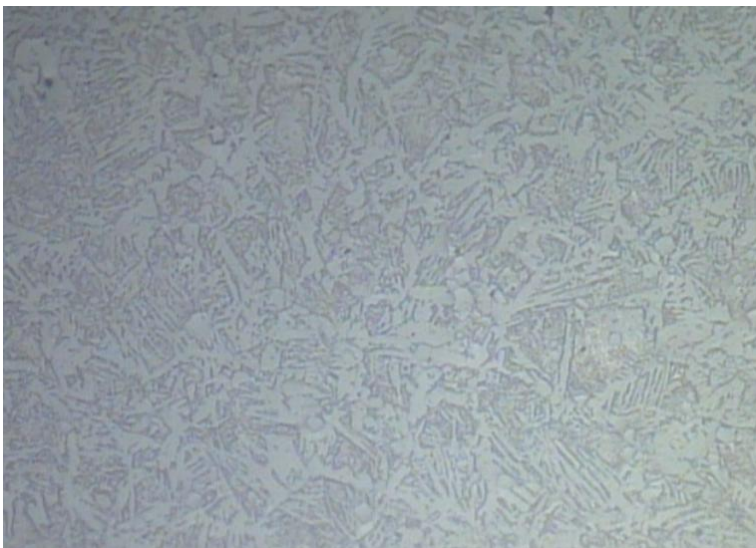


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 32                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Zona parcialmente fundida                           |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 15/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.2 °C   | Radiación:            | 235.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 25.2 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 24.1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2 min   | Espesor:              | 3 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan los bordes de grano.                       |   |                       |                        |




| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 33                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 15/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 22.5°C  | Radiación:            | 267.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 22.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 22.9 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2 min   | Espesor:              | 3.5 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan claramente los bordes de grano.            |   |                       |                        |



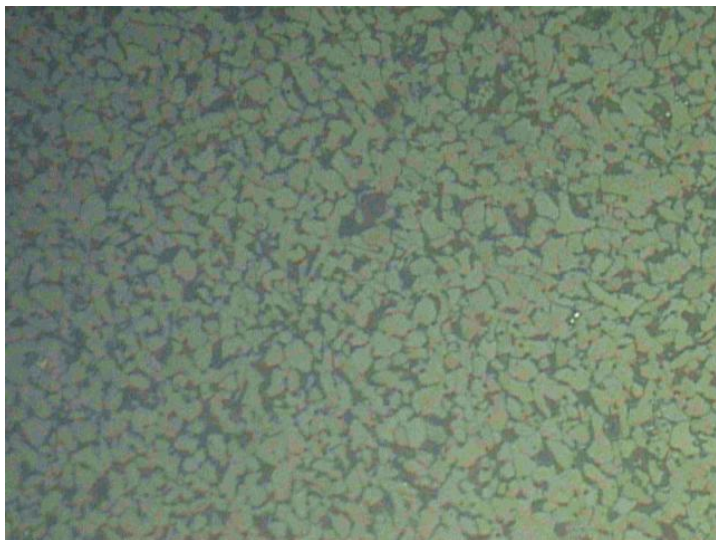
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 34                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Zona parcialmente fundida                           |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 16/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 25.3 °C   | Radiación:            | 205.9 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 25.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Silicón Caliente                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 24.8 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 2 min   | Espesor:              | 4 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan claramente los bordes de grano.            |   |                       |                        |



| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 35                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Zona térmicamente afectada                          |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 17/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 21.9°C  | Radiación:            | 215.5 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 2.1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 21.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster (Amarilla)                         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 22.5 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 17 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación muy buena, se observan claramente los bordes de grano.        |   |                       |                        |



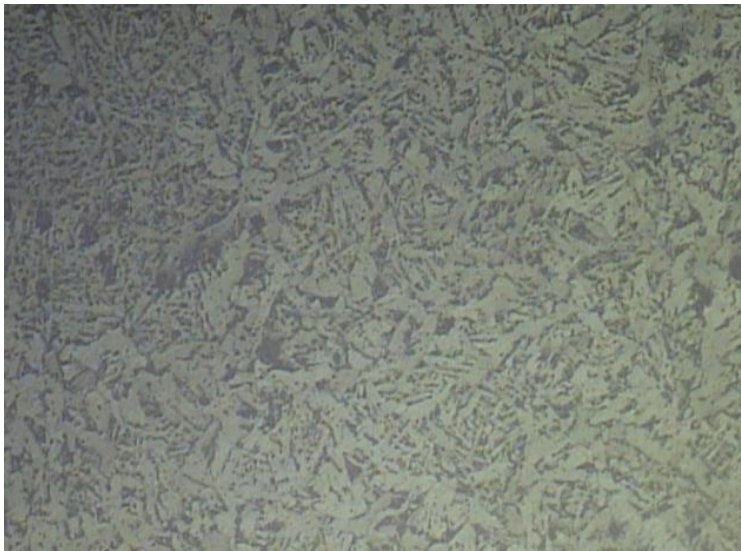


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 36                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 17/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 22.4 °C   | Radiación:            | 226.2 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 2.1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.3 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster (Amarilla)                         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23.7 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 17 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación muy buena, se observan claramente los bordes de grano.        |   |                       |                        |

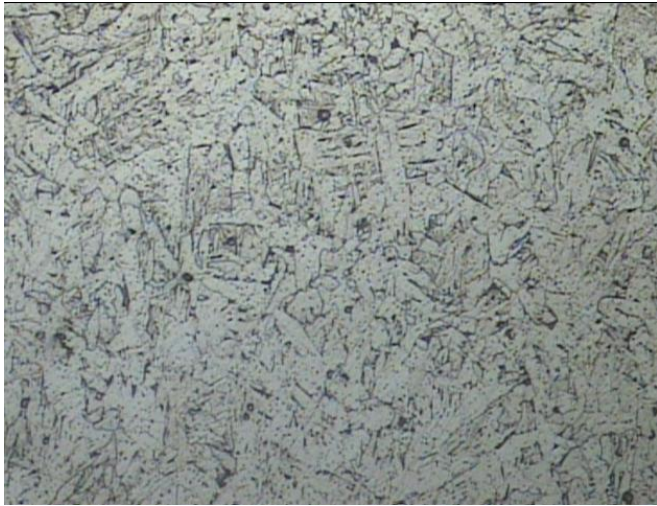


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

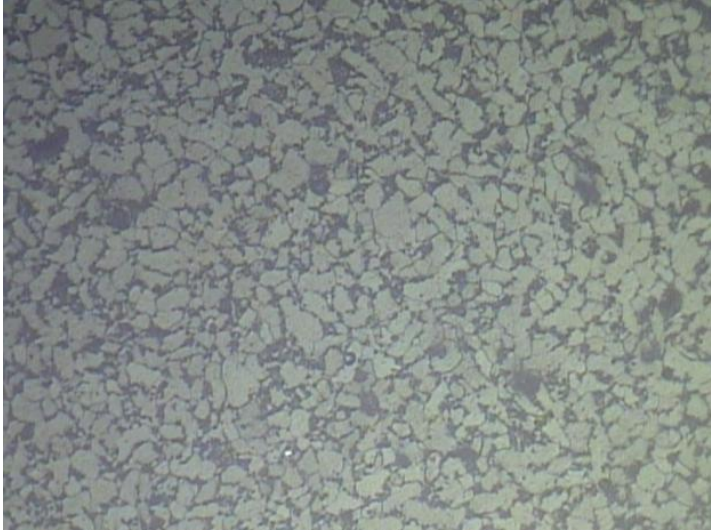


| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 37                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 17/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 25.1 °C   | Radiación:            | 205.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 2.1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 25.3 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster (Amarilla)                         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 25.4 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 17 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan claramente los bordes de grano.            |   |                       |                        |



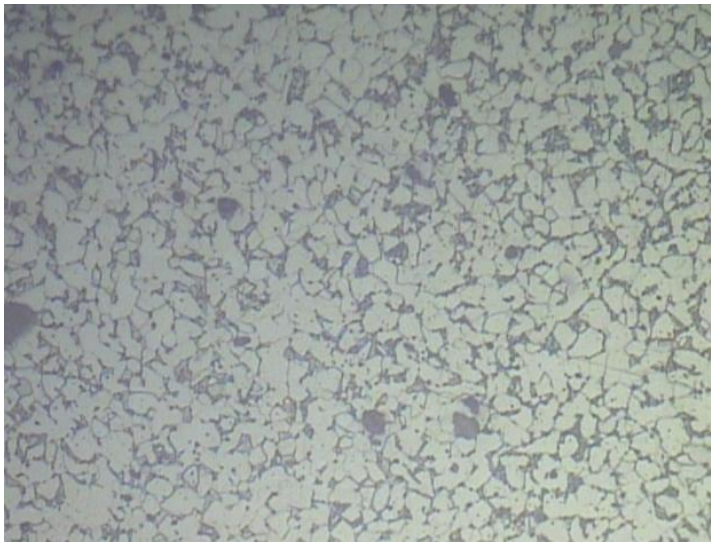
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 38                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 17/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 21.5 °C   | Radiación:            | 211.4 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 2.2 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.2°C  | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster (Amarilla)                         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23.6 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 18 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Alta calidad de replicación, se observan claramente los bordes de grano.             |   |                       |                        |



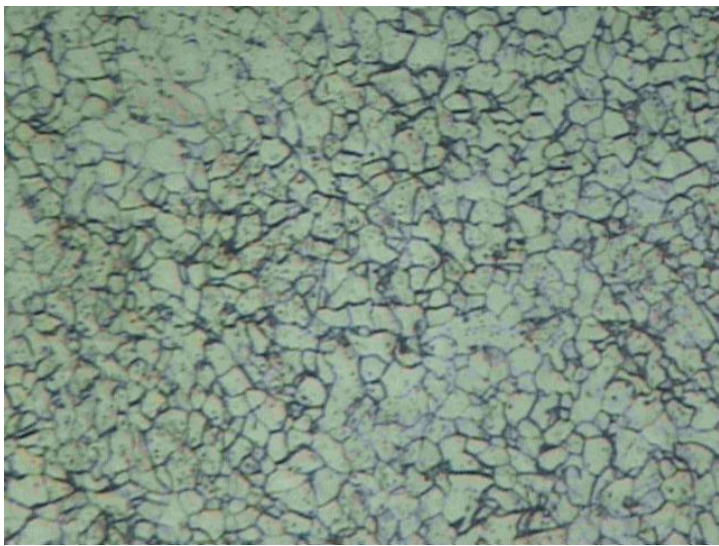
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 39                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 17/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 22.7 °C   | Radiación:            | 203.5 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 2.1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster (Amarilla)                         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 24.6°C  |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 18 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación muy buena, se observan claramente los bordes de grano.        |   |                       |                        |



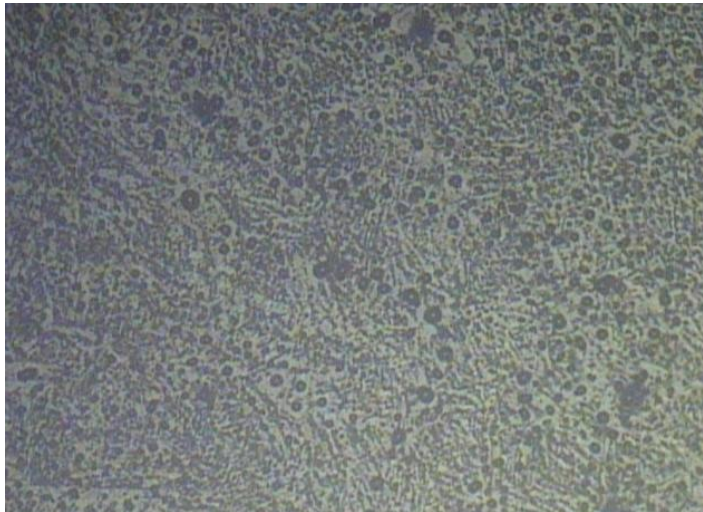


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 40                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 17/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 20.1 °C   | Radiación:            | 230.5 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 20.8 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster (café)                             |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 19.8°C  |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 18 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Alta calidad de replicación, se observan claramente los bordes de grano.             |   |                       |                        |

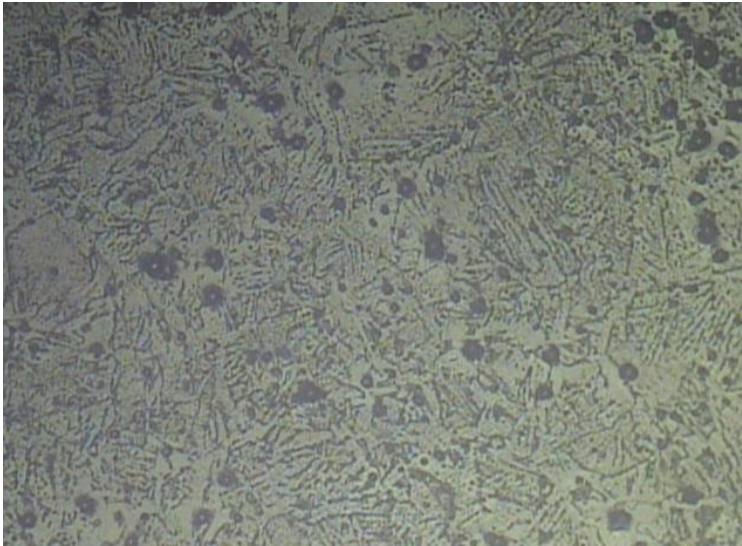


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 41                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 17/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.1 °C   | Radiación:            | 232.6 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.7m/s  | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 24.2 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster (café)                             |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23.7°C  |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 18 min  | Espesor:              | 2.1 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Alta calidad de replicación, se observan claramente los bordes de grano.             |   |                       |                        |



| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 42                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 23.4 °C   | Radiación:            | 321.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 1.7 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 23.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Resina Poliéster con pigmento negro en pasta        |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 23.9 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 25 min  | Espesor:              | 1 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |



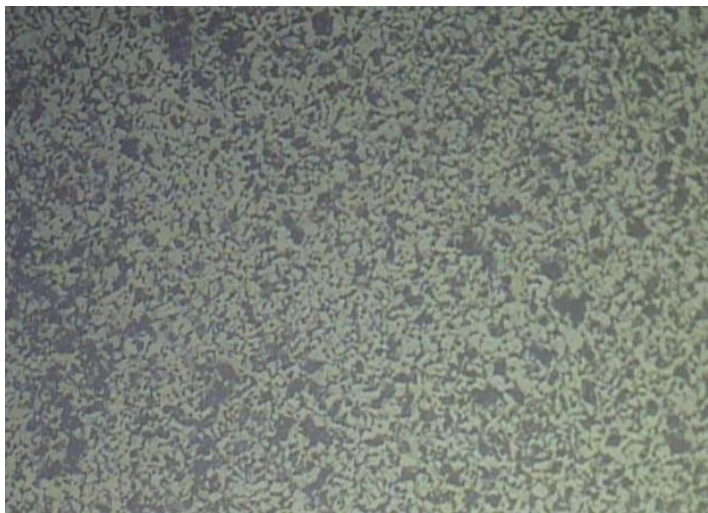
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 43                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>   |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 22.8°C  | Radiación:            | 270.2 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.6 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>   |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 21.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con pigmento negro en pasta        |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:   | 24.6°C  |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 25 min  | Espesor:              | 1 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|    |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan los bordes de grano sin embargo las partículas de pigmento dificultan la visualización de los componentes de la microestructura. |   |                       |                        |



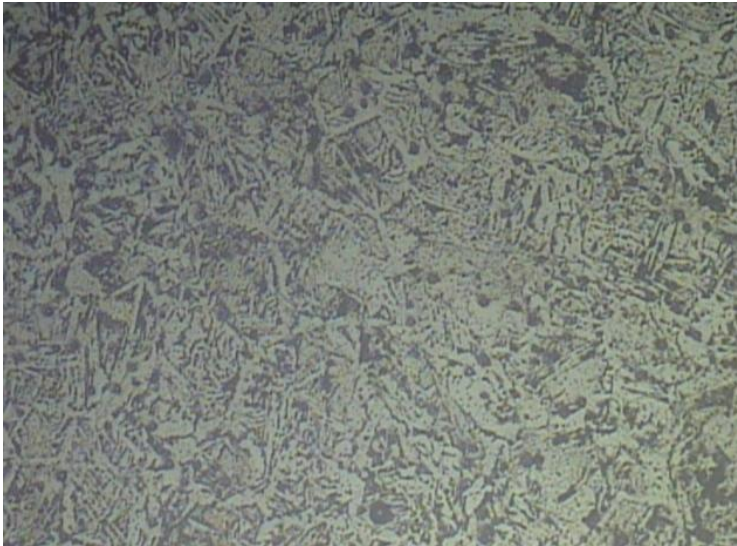


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

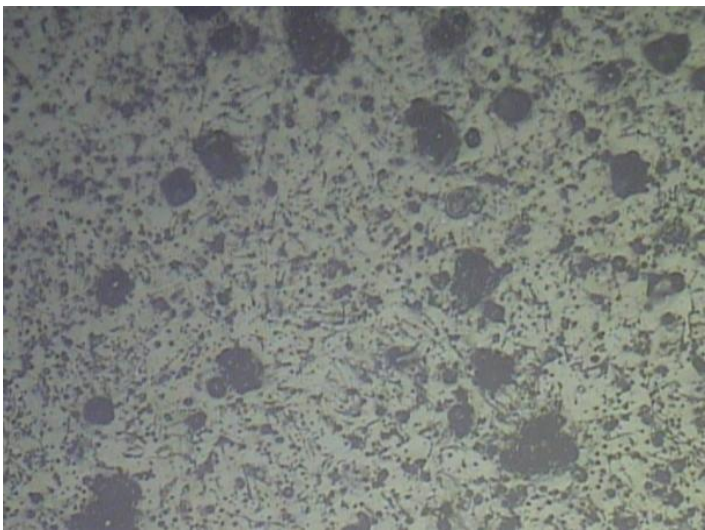


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 44                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 23.1 °C   | Radiación:            | 208.6 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 1.2 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 22.8 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Resina Poliéster con pigmento negro en pasta        |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 21.9 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 25 min  | Espesor:              | 1 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |

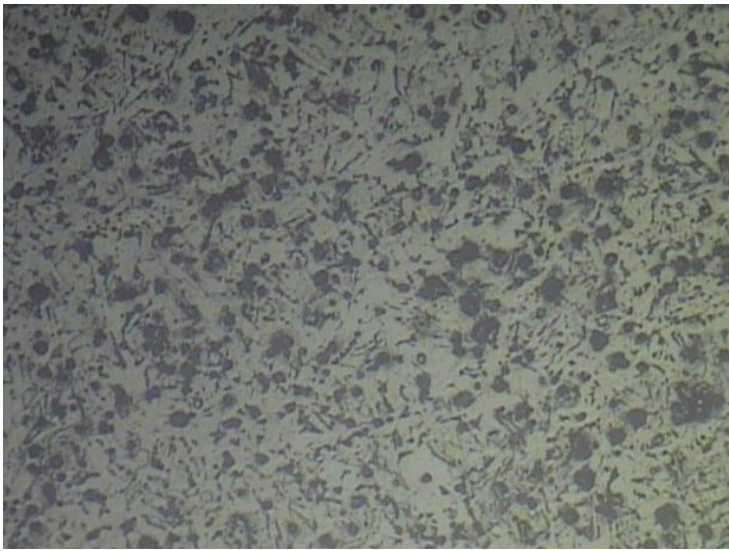


| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 45                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.4 °C   | Radiación:            | 267.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.9 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.1 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con pigmento negro en pasta        |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 22.7 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 25 min  | Espesor:              | 1 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan los bordes de grano.                       |   |                       |                        |



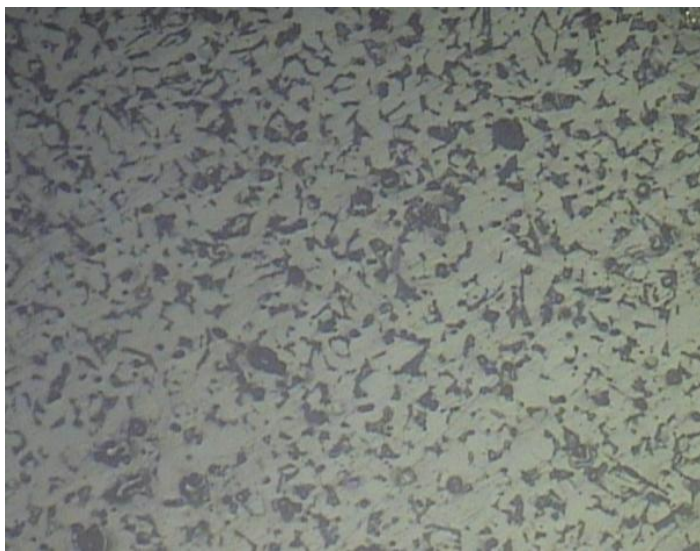
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 46                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>   |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 22.9 °C   | Radiación:            | 412.5 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.4 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>   |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.4 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con pigmento negro líquido         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:   | 21.7 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 30 min  | Espesor:              | 1.5 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|    |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observan algunos bordes de grano sin embargo las partículas de pigmento dificultan la visualización de los componentes de la microestructura. |   |                       |                        |



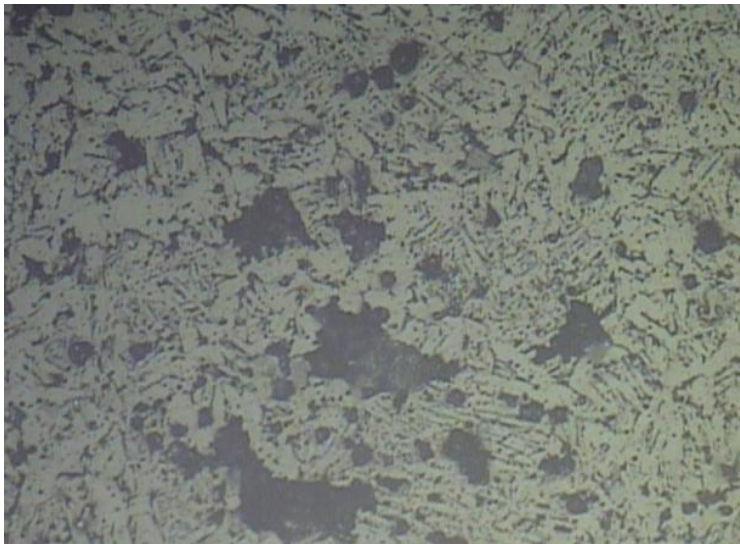
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 47                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>  |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 22.7°C  | Radiación:            | 411.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 2.2 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>   |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 21.9 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Resina Poliéster con pigmento negro líquido         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:  | 23.1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 30 min  | Espesor:              | 1.5 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|   |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Calidad de replicación mala, se observan algunos bordes de grano sin embargo las partículas de pigmento dificultan la visualización de los componentes de la microestructura. |   |                       |                        |



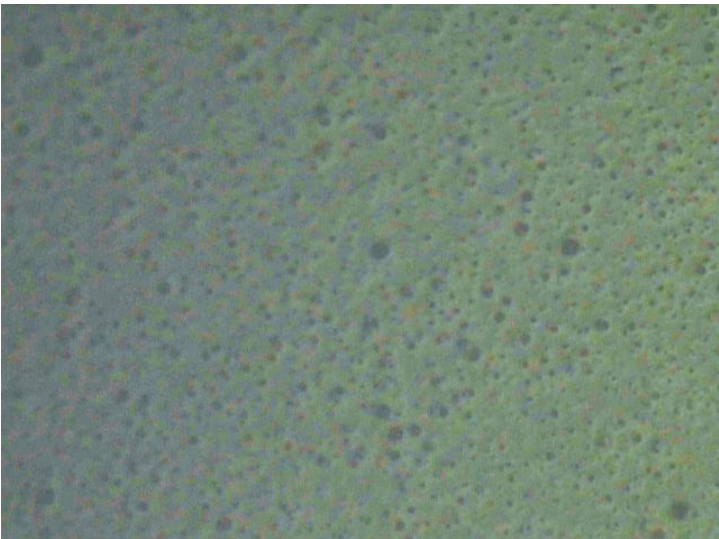


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 48                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 22.2 °C   | Radiación:            | 240.6 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.4 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.5 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con pigmento negro líquido         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 22.9 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 30 min  | Espesor:              | 1.5 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación buena, se observan los bordes de grano.                       |   |                       |                        |

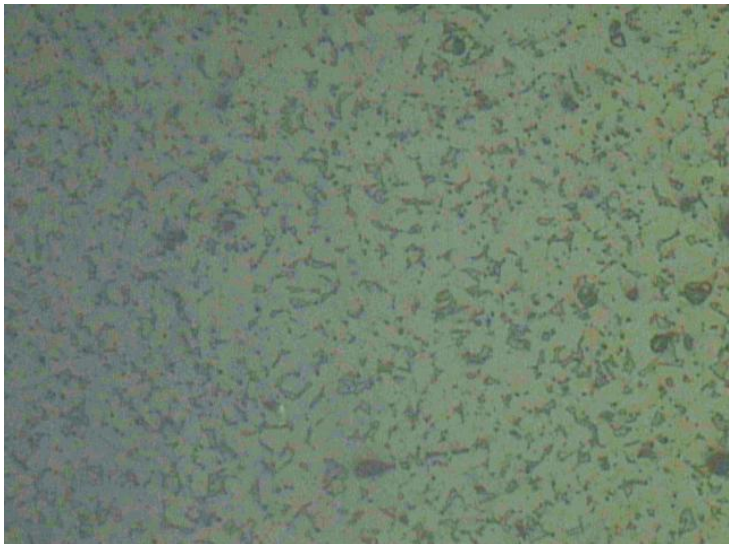


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 49                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>   |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.1 °C   | Radiación:            | 368.7 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.2 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>   |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 22.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con pigmento negro líquido         |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:   | 23.9 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 30 min  | Espesor:              | 1.5 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|    |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observan los bordes de grano sin embargo las partículas de pigmento dificultan la visualización de los componentes de la microestructura. |   |                       |                        |



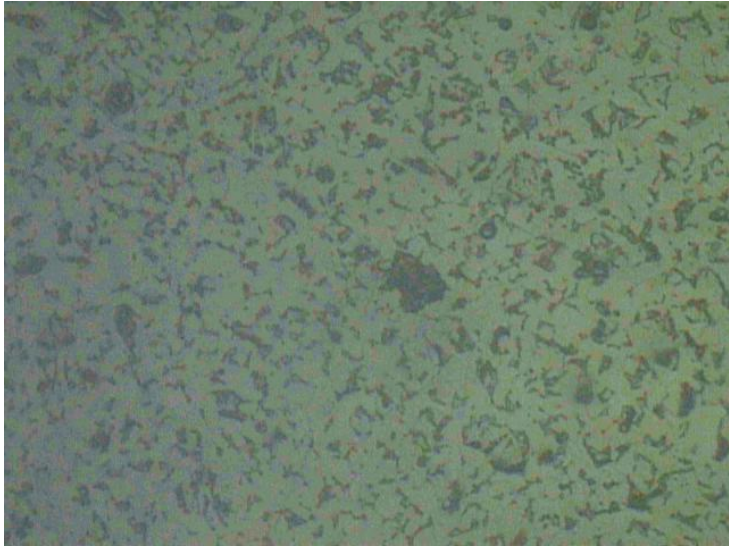
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 50                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                               |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 22.8 °C   | Radiación:            | 309.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.8 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                               |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 21.9 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con pigmento en polvo y estireno   |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                             | 21.7 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 45 min  | Espesor:              | 1.5 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|      |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada. |   |                       |                        |



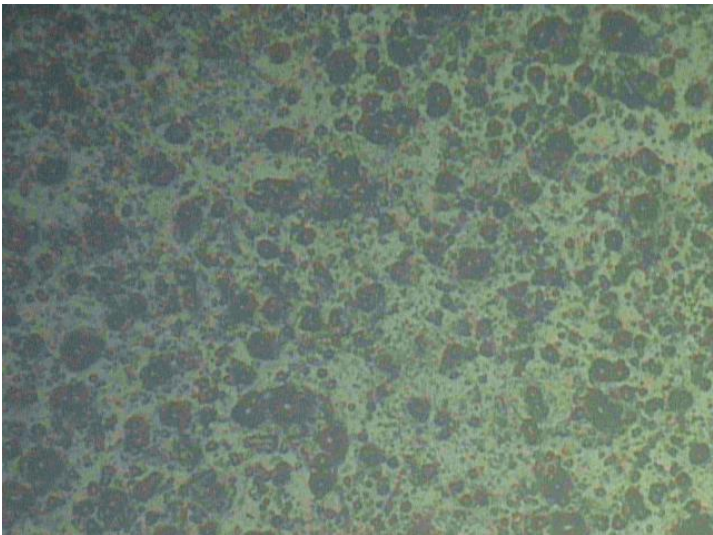
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 51                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 18.3 °C   | Radiación:            | 380.9 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 19.2 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con pigmento en polvo y estireno   |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 19.8 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 45 min  | Espesor:              | 1.2 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observa con poca claridad algunos bordes de grano |   |                       |                        |



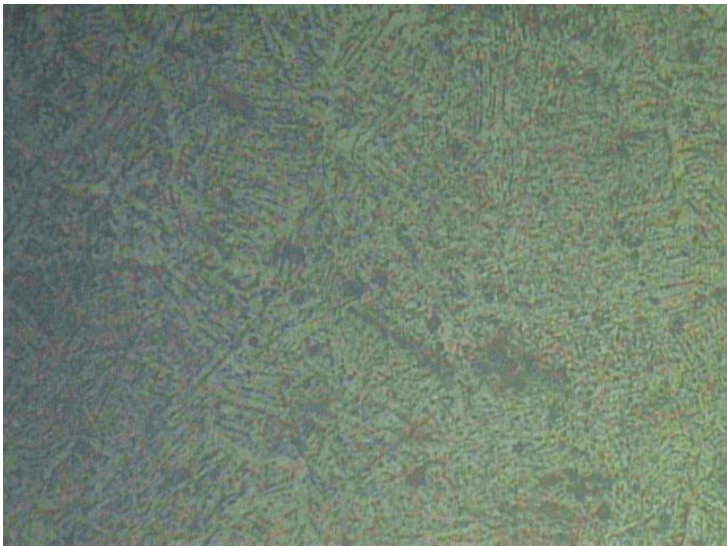


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 52                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 23.2 °C   | Radiación:            | 237.6 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 2.1 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 24.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con pigmento en polvo y estireno   |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 25.8 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 45 min  | Espesor:              | 1.2 mm                 |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Calidad de replicación regular, se observa con poca claridad algunos bordes de grano |   |                       |                        |



| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 53                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Metal base  |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 21/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                               |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 18.6 °C   | Radiación:            | 519.2 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.4 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                               |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 19.3°C  | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster con talco chino                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                             | 20.1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 30 min  | Espesor:              | 3 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|      |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada. |   |                       |                        |



| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|---|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>  |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:  | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 54                     |
| Identificación del componente de estudio:   | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:  | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:   | UTA - FICM  | Fecha:                | 21/02/2011             |
| Centro de estudio y análisis:   | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:  | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                              |   |                       |                        |
| Lugar:  | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente  | 24.7 °C   | Radiación:            | 275.3 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:   | 1.6 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                              |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:  | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:   | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido   | 23.9 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:  | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:  | Resina Poliéster con talco chino                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                            | 24.1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:   | 55 min  | Espesor:              | 3 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>  |   |                       |                        |
|     |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |   |                       |                        |
| Baja calidad de replicación, no se observa ningún componente de la superficie replicada |   |                       |                        |

#### 4.4 Análisis de costos para la realización del ensayo metalográfico por réplicas

Luego de realizar varios ensayos se determina que usando como medio replicante *goma, resina poliéster y silicón caliente*; se han obtenido réplicas en las cuales se pueden observar los componentes de las superficies replicadas, sin embargo la calidad de replicado varía de acuerdo al medio replicante que se use, la calidad de replicado, tiempos de secado, facilidad de desprendimiento y demás factores que intervienen al realizar el ensayo metalográfico por réplicas con cada uno de los medios replicantes ya mencionados serán detallados en el Capítulo V.

En esta parte de la investigación es necesario conocer los costos de la inversión inicial, necesaria para realizar el ensayo metalográfico por réplicas usando como medio replicante *goma, resina poliéster y silicón caliente* respectivamente.

**Tabla 4. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, usando Goma como medio replicante. (Inversión inicial)**

| PROCESO                            | MATERIALES O ELEMENTOS          | COSTO (USD)  |
|------------------------------------|---------------------------------|--------------|
| Acondicionamiento de la superficie | Pulidora manual Black Decker 6´ | 50,80        |
|                                    | Paño metalográfico              | 25,00        |
|                                    | Lijas Nº 240-320-400-600        | 12,00        |
| Ataque químico                     | Reactivo Nital4, 4ml NHO3       | 10,00        |
| Replicado                          | Goma (1Kg)                      | 5,50         |
| Ejecución u Operación              | Asesoría Técnica                | 100,00       |
| Evaluación                         | Presentación de reporte         | 50,00        |
|                                    | <b>Total</b>                    | <b>253,3</b> |

Fuente: Autor



**Tabla 5. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, usando Resina Poliéster como medio replicante. (Inversión inicial)**

| <b>PROCESO</b>                     | <b>MATERIALES O ELEMENTOS</b>   | <b>COSTO (USD)</b> |
|------------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Acondicionamiento de la superficie | Pulidora manual Black Decker 6´ | 50,80              |
|                                    | Paño metalográfico              | 25,00              |
|                                    | Lijas Nº 240-320-400-600        | 12,00              |
| Ataque químico                     | Reactivo Nital4, 4ml NHO3       | 10,00              |
| Replicado                          | Resina Poliéster 1Kg            | 3,21               |
|                                    | Cobalto 12% 60 cc               | 1,34               |
|                                    | Meck Peróxido 60 cc             | 0,49               |
|                                    | Recipiente de preparación       | 1,00               |
|                                    | Moldes de aplicación            | 2,00               |
| Ejecución u Operación              | Asesoría Técnica                | 100,00             |
| Evaluación                         | Presentación de reporte         | 50,00              |
|                                    | <b>Total</b>                    | <b>255,84</b>      |

**Fuente:** Autor

**Tabla 6. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, usando Silicón Caliente como medio replicante. (Inversión inicial)**

| PROCESO                            | MATERIALES O ELEMENTOS                           | COSTO (USD)  |
|------------------------------------|--|--------------|
| Acondicionamiento de la superficie | Pulidora manual Black Decker 6´                  | 50,80        |
|                                    | Paño metalográfico                               | 25,00        |
|                                    | Lijas N° 240-320-400-600                         | 12,00        |
| Ataque químico                     | Reactivo Nital4, 4ml NHO3                        | 10,00        |
| Replicado                          | Pistola de Silicón para trabajo en caliente      | 7,9          |
|                                    | Barras de silicón para trabajo en caliente (1Kg) | 28,0         |
| Ejecución u Operación              | Asesoría Técnica                                 | 100,00       |
| Evaluación                         | Presentación de reporte                          | 50,00        |
|                                    | <b>Total</b>                                     | <b>283,7</b> |

Fuente: Autor

#### **4.4.1 Comparación de los costos para la realización del ensayo metalográfico por réplicas.**

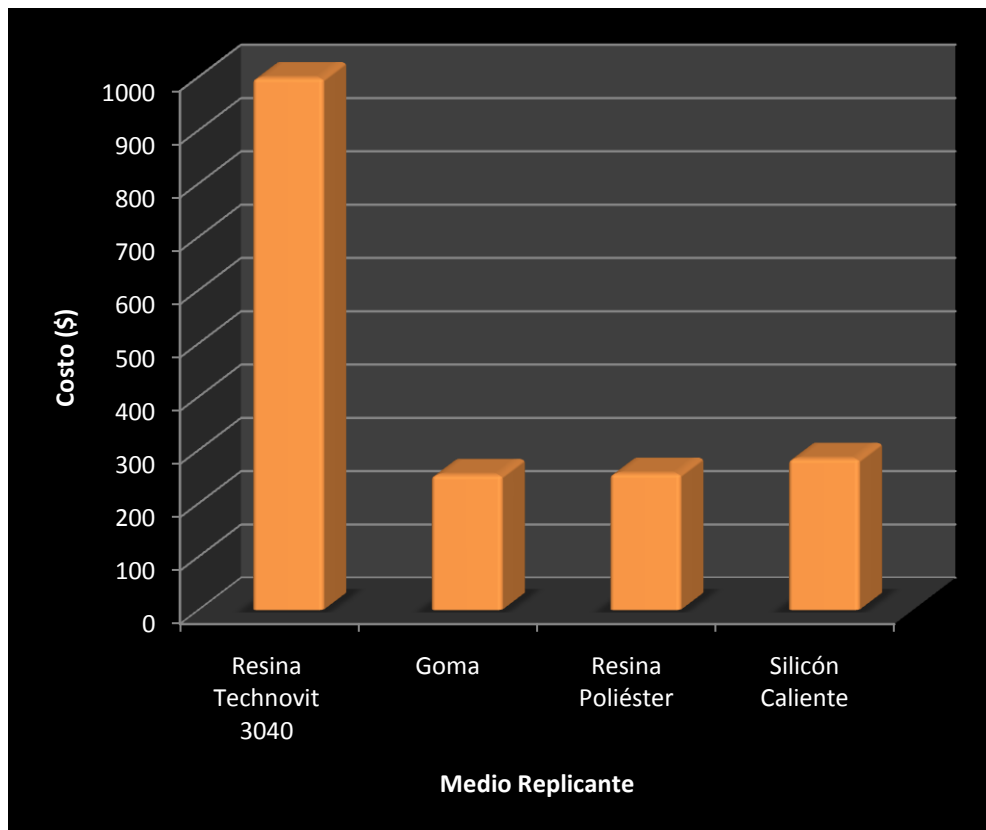
Para poder realizar un ensayo metalográfico no destructivo mediante “Réplicas Metalográficas” usando como medio replicante Goma, Resina Poliéster y Silicón caliente se necesita la compra de ciertos materiales los cuales facilitarán el desarrollo del ensayo, dichos materiales se detallaron anteriormente en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, obteniendo un costo total, el cual se compara en el siguiente gráfico con el costo total para realizar el mismo ensayo “Réplicas Metalográficas” pero usando como medio replicante la Resina Technovit 3040 ya que es el material actualmente

utilizado para la realización de dicho ensayo, este costo se encuentra en la Tabla 3 del marco teórico de esta investigación.

**Tabla 7. Costo total para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Materiales alternativos vs Resina Technovit 3040 (Inversión inicial).**

| Medio Replicante      | Costo total (\$) |
|-----------------------|------------------|
| Resina Technovit 3040 | 998,0            |
| Goma                  | 253,3            |
| Resina Poliéster      | 255,84           |
| Silicón Caliente      | 283,7            |

Fuente: Autor



**Gráfico 13. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Materiales alternativos vs Resina Technovit 3040**

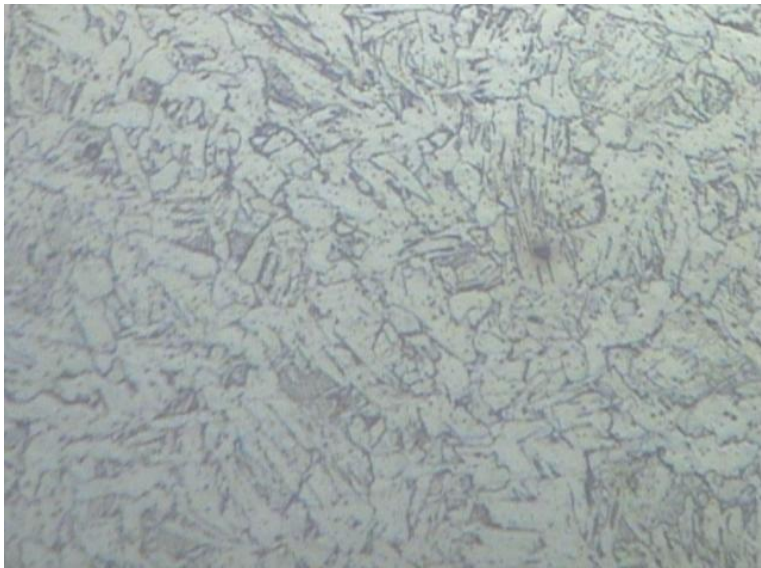
Fuente: Autor

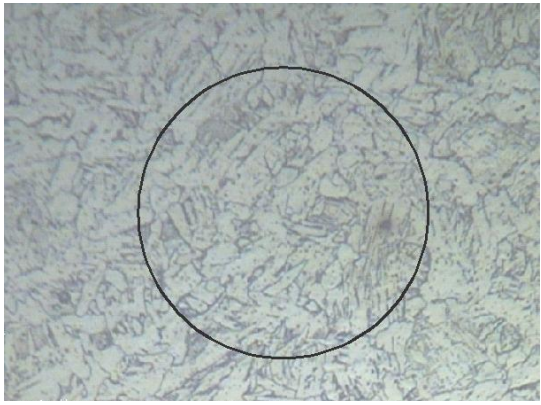
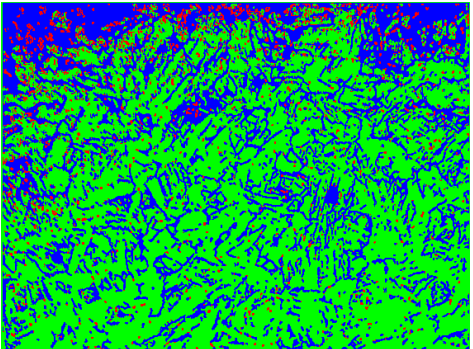
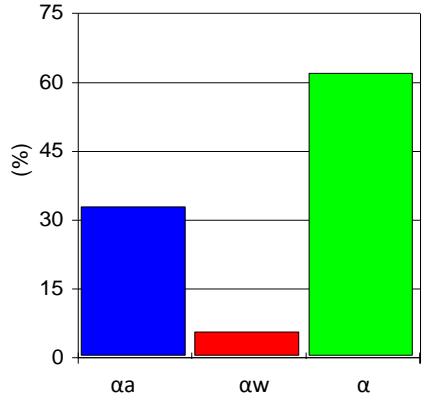
Al observar el Gráfico 13, se puede apreciar claramente la disminución del costo necesario para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, dicha disminución se produce por la notable diferencia de precios de los materiales alternativos encontrados frente a la Resina Technovit 3040.

Con los resultados obtenidos en los distintos ensayos y sabiendo que el material utilizado para la obtención de las réplicas (medio replicante), debe dar como resultado una fiel reproducción de la microestructura del elemento analizado y debe garantizar una muy buena resolución, se determina que la Resina Poliéster usada como medio replicante cumple con estas características, por lo cual la evaluación de las probetas de uniones soldadas de acero A36 se llevan a cabo con el uso de la Resina Poliéster como medio replicante.

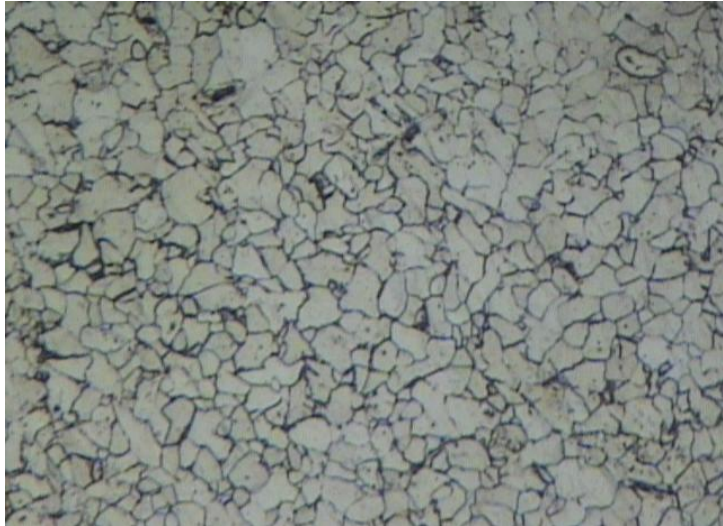
#### **4.5 Evaluación de las probetas de uniones soldadas de acero A36 usando como medio replicante la Resina Poliéster.**

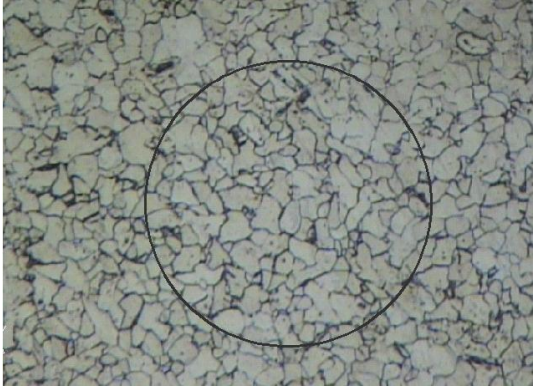
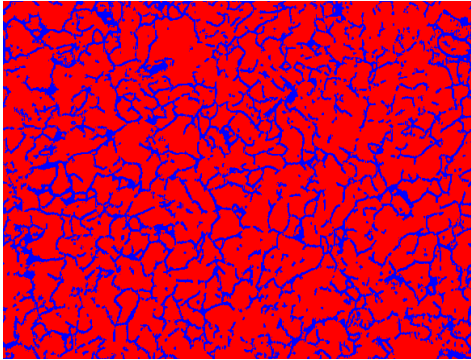
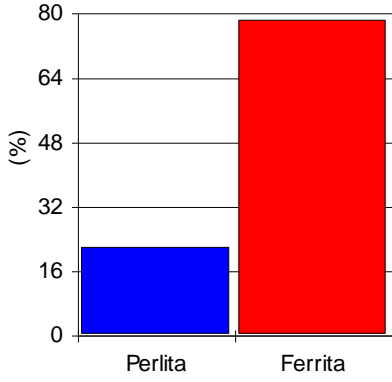


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 55                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 15/03/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 25.1 °C   | Radiación:            | 368.7 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.2 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 24.7 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23.9 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 19 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Alta calidad de replicado, se observan claramente los bordes de grano.               |   |                       |                        |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:  |                 |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
|--|-----------------|---|------------|----------------|------------|------|------------|-----|----------|------|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b>  |                 | <b>Microestructura:</b>   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Método (ASTM E 112) :</b>   |                 | <b>Magnificación : 200x</b>   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Cálculo:</b>  |                 |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| $NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 73 + \frac{43}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$ $NA = 8 * 94,5 = 756$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(756) - 2.954$   |                 |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Tamaño de grano:</b>  | 6,6 $\cong$ 6.5 |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Componentes:</b> Ferrita Acicular ( $\alpha a$ ), Ferrita de Widmanstaetten ( $\alpha w$ ), Ferrita Alotriomórfica ( $\alpha$ ),  |                 |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Componentes microestructurales:</b>   |                 | <b>Porcentajes:</b>   |            |                |            |      |            |     |          |      |
|   |                 |  <table border="1"> <caption>Porcentajes de Componentes Microestructurales</caption> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\alpha a</math></td> <td>32,8</td> </tr> <tr> <td><math>\alpha w</math></td> <td>5,5</td> </tr> <tr> <td><math>\alpha</math></td> <td>61,7</td> </tr> </tbody> </table> | Componente | Porcentaje (%) | $\alpha a$ | 32,8 | $\alpha w$ | 5,5 | $\alpha$ | 61,7 |
| Componente   | Porcentaje (%)  |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha a$   | 32,8            |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha w$   | 5,5             |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha$   | 61,7            |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Interpretación de resultados:</b>   |                 |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <p>La microestructura estudiada está compuesta por un 32,8 % de Ferrita Acicular (<math>\alpha a</math>), 5,5 % de Ferrita de Widmanstaetten (<math>\alpha w</math>) y 61,7 % de Ferrita Alotriomórfica (<math>\alpha</math>), presentando un tamaño de 6,5. Estos componentes dan lugar a un cordón de soldadura de características mecánicas aceptables, pues el alto contenido de Ferrita Alotriomórfica (<math>\alpha</math>), el cual reduce la tenacidad de la junta soldada se ve compensado con el porcentaje de Ferrita Acicular (<math>\alpha a</math>) la cual mejora significativamente la tenacidad de la junta soldada, presentándose un cordón de soldadura de tenacidad media.</p> |                 |   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Microestructura formada:</b> Buena  |                 |   |            |                |            |      |            |     |          |      |



| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 56                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 01                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Zona térmicamente afectada                          |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 15/03/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 25.2 °C   | Radiación:            | 235.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 25.2 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 24.1 °C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 19 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Alta calidad de replicado, se observan claramente los bordes de grano.               |   |                       |                        |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:   |   |
|---|---|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b>   |   |
| <b>Método (ASTM E 112) :</b>  | <b>Microestructura:</b>   |
| <b>Cálculo:</b>   | <b>Magnificación : 200x</b>   |
| $NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 141 + \frac{47}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$ $NA = 8 * 164,5 = 1316$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(1316) - 2.954$  |   |
| <b>Tamaño de grano:</b>   | 7,4 $\cong$ 7.5   |
| <b>Componentes:</b> Ferrita y Perlita   |   |
| <b>Componentes microestructurales:</b>  | <b>Porcentajes:</b>   |
|    |  |
| <b>Resistencia a la tracción aproximada (R.T.A):</b>  |   |
| <b>Cálculo:</b>   |   |
| $R.T.A = \frac{28 * (\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} = \frac{28 * 78,2 + 84 * 21,8}{100}$  |   |
| <b>R.T.A = 40,2 Kg/mm<sup>2</sup></b>   |   |
| <b>Interpretación de resultados:</b>  |   |
| <p>La microestructura estudiada está compuesta por un 78,2 % de Ferrita y 21,8 % de Perlita, presentando un tamaño de grano 7.5. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 40,2 Kg/mm<sup>2</sup>. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del acero estructural A36 es de 41 ≤ RT ≤ 56 Kg/mm<sup>2</sup> (Anexo A6)</p> |   |
| <b>Microestructura formada:</b> Buena   |   |





| REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS         |                            |                        |                                 |   |
|--|----------------------------|------------------------|---------------------------------|---|
| <b>Probeta:</b>                        | N° 02                      | <b>Autorizado por:</b> | Ing. Manolo Córdova             | <b>Realizado por:</b> Alejandra Lascano |
| <b>Lugar de realización:</b>           | Taller de soldadura (FICM) |                        | <b>Fecha de ejecución:</b>      | 05/01/2011                              |
| <b>Temperatura ambiente del lugar:</b> | 25.2°C                     |                        | <b>Flujo de aire del medio:</b> | Estático                                |

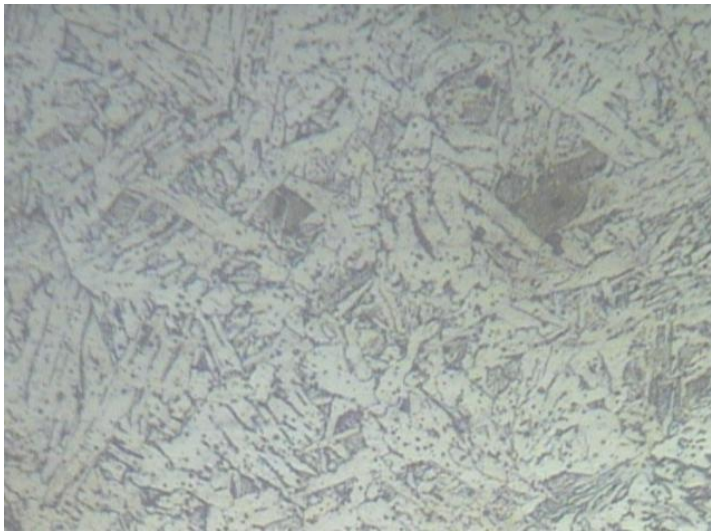
| ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA |           |                      |                   |                     |                   |
|---|-----------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| <b>Diseño de la junta:</b>                |           |                      | <b>Posición:</b>  | Plana horizontal 1G |                   |
| <b>Tipo:</b>                              | Soldadura | <b>Un solo lado:</b> | si                | <b>Técnica:</b>     | Cordón rectilíneo |
|   |           | <b>Ambos lados:</b>  | no                |                     | Pasada única      |
| <b>Abertura de raíz:</b>                  | 1/8 in    |                      | <b>Proceso:</b>   | SMAW                |                   |
| <b>Tipo de unión:</b>                     | A tope    |                      | <b>Tipo:</b>      | Manual              |                   |
| <b>METALES BASE</b>                       |           |                      |                   |                     |                   |
| <b>Especificaciones del material:</b>     |           |                      | Acero estructural |                     |                   |
| <b>Tipo o grado:</b>                      |           |                      | ASTM - A36        |                     |                   |
| <b>Espesor:</b>                           |           |                      | ¼ in              |                     |                   |
| <b>Longitud de la probeta:</b>            |           |                      | 310mm             |                     |                   |
| <b>Característica:</b>                    |           |                      | Platina           |                     |                   |
| <b>Metal de aporte:</b>                   |           |                      | AWS - 6011        |                     |                   |
| <b>Amperaje / Voltaje:</b>                |           |                      | 90 A / 35 V       |                     |                   |

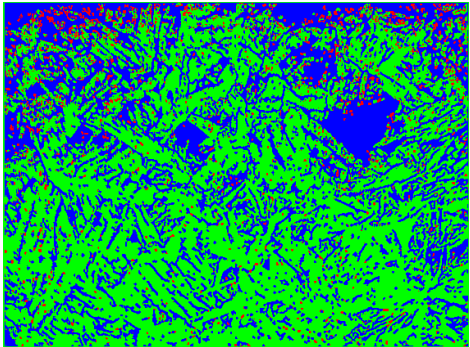
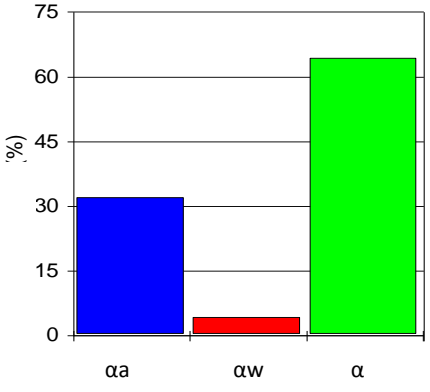




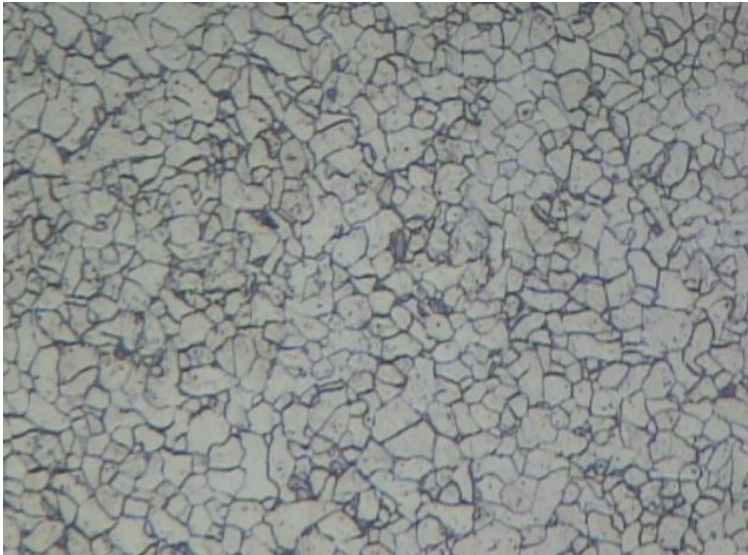
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

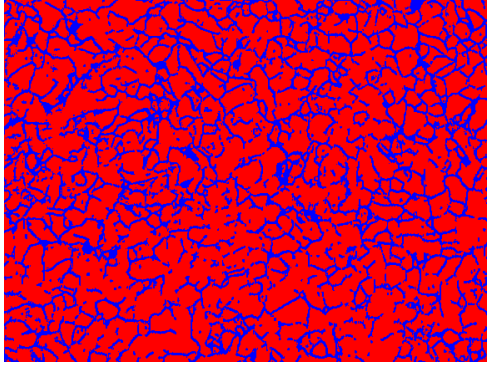
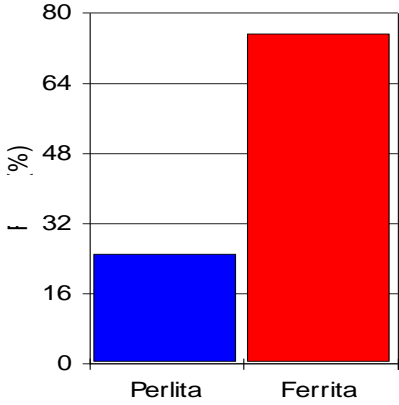


| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 57                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 02                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/03/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 18.1 °C   | Radiación:            | 94.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 19.6 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Resina Poliéster                                    |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 19.4 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 20 min  | Espesor:              | 2 mm                  |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Alta calidad de replicado, se observan claramente los bordes de grano.               |   |                       |                       |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:   |  |            |                |            |      |            |     |          |      |
|---|--|------------|----------------|------------|------|------------|-----|----------|------|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b>   |  |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Método (ASTM E 112) :</b>  | <b>Microestructura:</b>  |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Cálculo:</b>   | <b>Magnificación : 200x</b>  |            |                |            |      |            |     |          |      |
| $NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 40 + \frac{34}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$ $NA = 8 * 57 = 456$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(456) - 2.954$  |  |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Tamaño de grano:</b>   | 5,88 $\cong$ 6   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Componentes:</b> Ferrita Acicular ( $\alpha_a$ ), Ferrita de Widmanstaetten ( $\alpha_w$ ), Ferrita Alotriomórfica ( $\alpha$ ),   |  |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Componentes microestructurales:</b>  | <b>Porcentajes:</b>  |            |                |            |      |            |     |          |      |
|    |  <table border="1"> <caption>Datos del gráfico de porcentajes</caption> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\alpha_a</math></td> <td>31,8</td> </tr> <tr> <td><math>\alpha_w</math></td> <td>4,1</td> </tr> <tr> <td><math>\alpha</math></td> <td>64,1</td> </tr> </tbody> </table> | Componente | Porcentaje (%) | $\alpha_a$ | 31,8 | $\alpha_w$ | 4,1 | $\alpha$ | 64,1 |
| Componente  | Porcentaje (%)   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha_a$  | 31,8   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha_w$  | 4,1  |            |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha$  | 64,1   |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Interpretación de resultados:</b>  |  |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <p>La microestructura estudiada está compuesta por un 31,8 % de Ferrita Acicular (<math>\alpha_a</math>), 4,1 % de Ferrita de Widmanstaetten (<math>\alpha_w</math>) y 64,1 % de Ferrita Alotriomórfica (<math>\alpha</math>), presentando un tamaño de grano de 6. Estos componentes dan lugar a un cordón de soldadura de características mecánicas aceptables, pues el alto contenido de Ferrita Alotriomórfica (<math>\alpha</math>), el cual reduce la tenacidad de la junta soldada se ve compensado con el porcentaje de Ferrita Acicular (<math>\alpha_a</math>) la cual mejora significativamente la tenacidad de la junta soldada, presentándose un cordón de soldadura de tenacidad media.</p> |  |            |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Microestructura formada:</b> Buena   |  |            |                |            |      |            |     |          |      |



| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 58                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 02                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Zona térmicamente afectada                          |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 18/03/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 19.4 °C   | Radiación:            | 94.1 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.3 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 19.5°C  | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Resina Poliéster                                    |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 19.9 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 20 min  | Espesor:              | 2 mm                  |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Alta calidad de replicado, se observan claramente los bordes de grano.               |   |                       |                       |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:  |  |            |                |         |      |         |      |
|--|--|------------|----------------|---------|------|---------|------|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b>  | <b>Microestructura:</b>  |            |                |         |      |         |      |
| <b>Método (ASTM E 112) :</b>   | <b>Magnificación : 200x</b>  |            |                |         |      |         |      |
| <b>Cálculo:</b>  |  |            |                |         |      |         |      |
| $NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 173 + \frac{55}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$ $NA = 8 * 200,5 = 1604$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(1604) - 2.954$   |  |            |                |         |      |         |      |
| <b>Tamaño de grano:</b>  | 7,69 $\cong$ 7,5   |            |                |         |      |         |      |
| <b>Componentes:</b> Ferrita y Perlita  |  |            |                |         |      |         |      |
| <b>Componentes microestructurales:</b>   | <b>Porcentajes:</b>  |            |                |         |      |         |      |
|   |  <table border="1"> <caption>Datos del gráfico de barras</caption> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perlita</td> <td>24,9</td> </tr> <tr> <td>Ferrita</td> <td>75,1</td> </tr> </tbody> </table> | Componente | Porcentaje (%) | Perlita | 24,9 | Ferrita | 75,1 |
| Componente   | Porcentaje (%)   |            |                |         |      |         |      |
| Perlita  | 24,9   |            |                |         |      |         |      |
| Ferrita  | 75,1   |            |                |         |      |         |      |
| <b>Resistencia a la tracción aproximada (R.T.A):</b>   |  |            |                |         |      |         |      |
| <b>Cálculo:</b>  |  |            |                |         |      |         |      |
| $R.T.A = \frac{28 * (\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} = \frac{28 * 75,1 + 84 * 24,9}{100}$   |  |            |                |         |      |         |      |
| <b>R.T.A = 40,2 Kg/mm<sup>2</sup></b>  |  |            |                |         |      |         |      |
| <b>Interpretación de resultados:</b>   |  |            |                |         |      |         |      |
| <p>La microestructura estudiada está compuesta por un 75,1% de Ferrita y 24,9 % de Perlita, presentando un tamaño de 7,5. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 41,9 Kg/mm<sup>2</sup>. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada en mayor grado, puesto que la resistencia a la tracción del acero estructural A36 es de 41 ≤ RT ≤ 56 Kg/mm<sup>2</sup> (Anexo A6)</p> |  |            |                |         |      |         |      |
| <b>Microestructura formada:</b> Buena  |  |            |                |         |      |         |      |



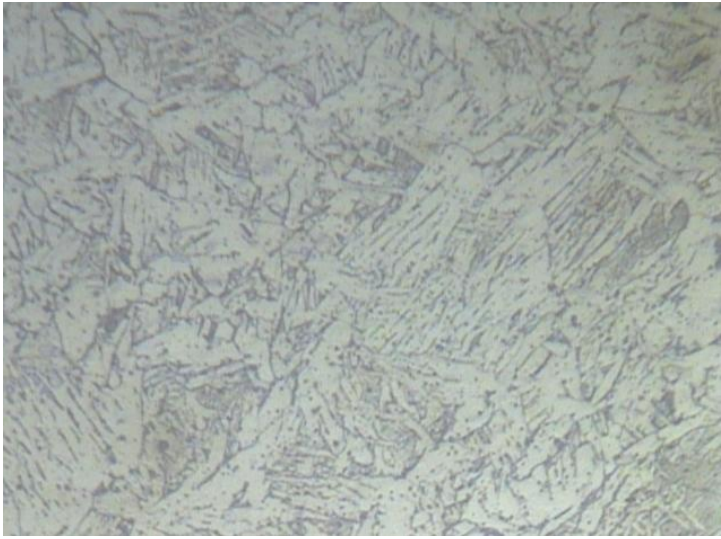



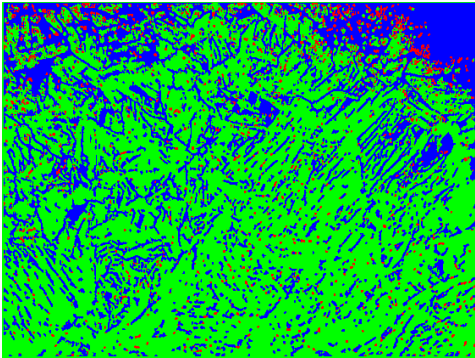
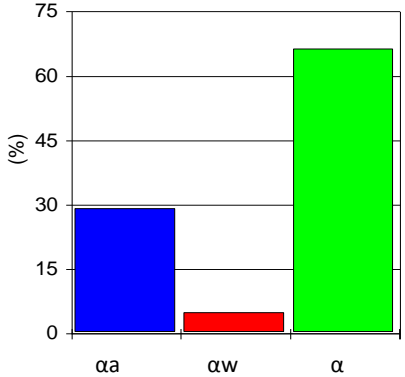
| REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS  |       |                            |                     |                          |                   |
|---------------------------------|-------|----------------------------|---------------------|--------------------------|-------------------|
| Probeta:                        | N° 03 | Autorizado por:            | Ing. Manolo Córdova | Realizado por:           | Alejandra Lascano |
| Lugar de realización:           |       | Taller de soldadura (FICM) |                     | Fecha de ejecución:      | 05/01/2011        |
| Temperatura ambiente del lugar: |       |                            | 25.2°C              | Flujo de aire del medio: | Estático          |

| ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA |           |               |                   |           |                     |
|---|-----------|---------------|-------------------|-----------|---------------------|
| Diseño de la junta:                       |           |               |                   | Posición: | Plana horizontal 1G |
| Tipo:                                     | Soldadura | Un solo lado: | si                | Técnica:  | Cordón rectilíneo   |
|   |           | Ambos lados:  | no                |           | Pasada única        |
| Abertura de raíz:                         |           | 1/8 in        |                   | Proceso:  | SMAW                |
| Tipo de unión:                            |           | A tope        |                   | Tipo:     | Manual              |
| METALES BASE                              |           |               |                   |           |                     |
| Especificaciones del material:            |           |               | Acero estructural |           |                     |
| Tipo o grado:                             |           |               | ASTM - A36        |           |                     |
| Espesor:                                  |           |               | ¼ in              |           |                     |
| Longitud de la probeta:                   |           |               | 300 mm            |           |                     |
| Característica:                           |           |               | Platina           |           |                     |
| Metal de aporte:                          |           |               | AWS - 6011        |           |                     |
| Amperaje / Voltaje:                       |           |               | 90 A / 35 V       |           |                     |



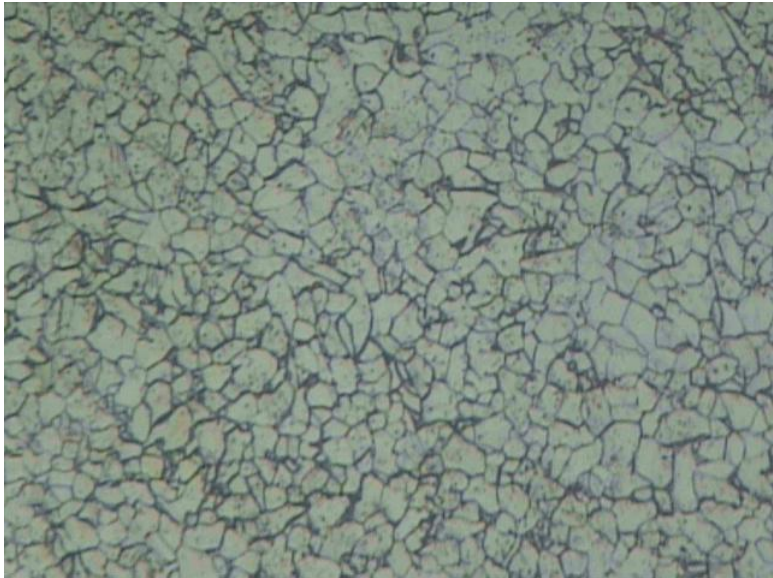


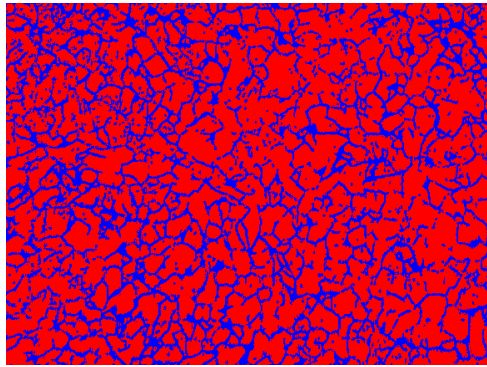
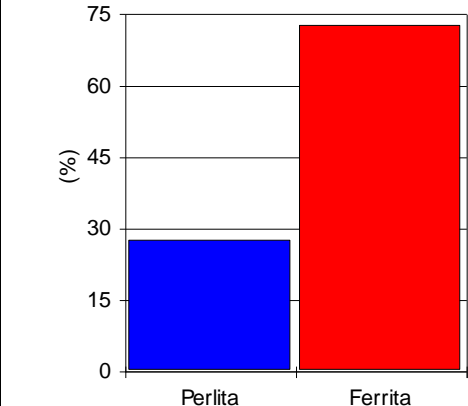
| ENSAYO METALOGRAFICO POR RÉPLICAS  |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 59                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 03                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de soldadura                                 |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 23/03/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 21.6 °C   | Radiación:            | 218.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.7m/s  | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRAFICA:</b>                          |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 23.4 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 23. 2°C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 17 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Alta calidad de replicado, se observan claramente los bordes de grano.               |   |                       |                        |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:   |   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
|---|---|------------------|----------------|------------|------|------------|-----|----------|------|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b>   |   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Método (ASTM E 112) :</b>  | <b>Microestructura:</b>   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Cálculo:</b>   | <b>Magnificación : 200x</b>   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| $NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 26 + \frac{29}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$ $NA = 8 * 40,5 = 324$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(324) - 2.954$  |   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Tamaño de grano:</b>   |   | 5,38 $\cong$ 5,5 |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Componentes:</b> Ferrita Acicular ( $\alpha_a$ ), Ferrita de Widmanstaetten ( $\alpha_w$ ), Ferrita Alotriomórfica ( $\alpha$ ),   |   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Componentes microestructurales:</b>  | <b>Porcentajes:</b>   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
|    |  <table border="1"> <caption>Porcentajes de Componentes Microestructurales</caption> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>Porcentaje (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\alpha_a</math></td> <td>29,1</td> </tr> <tr> <td><math>\alpha_w</math></td> <td>4,8</td> </tr> <tr> <td><math>\alpha</math></td> <td>66,2</td> </tr> </tbody> </table> | Componente       | Porcentaje (%) | $\alpha_a$ | 29,1 | $\alpha_w$ | 4,8 | $\alpha$ | 66,2 |
| Componente  | Porcentaje (%)  |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha_a$  | 29,1  |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha_w$  | 4,8   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| $\alpha$  | 66,2  |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Interpretación de resultados:</b>  |   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| <p>La microestructura estudiada está compuesta por: 29,1 % de Ferrita Acicular (<math>\alpha_a</math>), 4,8% de Ferrita de Widmanstaetten (<math>\alpha_w</math>) y 66,2 % de Ferrita Alotriomórfica (<math>\alpha</math>), presentando un tamaño de grano de 5,5. Estos componentes dan lugar a un cordón de soldadura de características mecánicas aceptables, pues el alto contenido de Ferrita Alotriomórfica (<math>\alpha</math>), el cual reduce la tenacidad de la junta soldada se ve compensado con el porcentaje de Ferrita Acicular (<math>\alpha_a</math>) la cual mejora significativamente la tenacidad de la junta soldada,</p> |   |                  |                |            |      |            |     |          |      |
| <b>Microestructura formada:</b> Buena   |   |                  |                |            |      |            |     |          |      |





| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                        |
|--|---|-----------------------|------------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                        |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 60                     |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 03                                       |                       |                        |
| Parte específica a replicar:   | Zona térmicamente afectada                          |                       |                        |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 23/03/2011             |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                        |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova    |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                        |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                        |
| Temperatura ambiente   | 21,6 °C   | Radiación:            | 218.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 0.7m/s  | Otros:                |                        |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                        |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96            |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                        |
| Temperatura durante el pulido  | 22.4 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                 |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                    |
| Material replicante:   | Resina Poliéster                                    |                       |                        |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 21. 2°C   |                       |                        |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 17 min  | Espesor:              | 2 mm                   |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                        |
|  |   |                       |                        |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                        |
| Alta calidad de replicado, se observan claramente los bordes de grano.               |   |                       |                        |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:  |  |
|--|--|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b>  |  |
| <b>Método (ASTM E 112) :</b>   | <b>Microestructura:</b>  |
| <b>Cálculo:</b>  | <b>Magnificación : 200x</b>  |
| $NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 183 + \frac{57}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$ $NA = 8 * 211,5 = 1692$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(1692) - 2.954$   |  |
| <b>Tamaño de grano:</b>  | 7,77 $\cong$ 8   |
| <b>Componentes:</b> Ferrita y Perlita  |  |
| <b>Componentes microestructurales:</b>   | <b>Porcentajes:</b>  |
|   |  |
| <b>Resistencia a la tracción aproximada (R.T.A):</b>   |  |
| <b>Cálculo:</b>  |  |
| $R.T.A = \frac{28 * (\%Ferrita) + 84(\%Perlita)}{100} = \frac{28 * 72,6 + 84 * 27,4}{100}$   |  |
| <b>R.T.A = 43,3 Kg/mm<sup>2</sup></b>  |  |
| <b>Interpretación de resultados:</b>   |  |
| <p>La microestructura estudiada está compuesta por un 72,6% de Ferrita y 27,4 % de Perlita, presentando un tamaño de grano de 8. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 43,3 Kg/mm<sup>2</sup>. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada, puesto que la resistencia a la tracción del acero estructural A36 es de 41 ≤ RT ≤ 56 Kg/mm<sup>2</sup> (Anexo A6)</p> |  |
| <b>Microestructura formada:</b> Buena  |  |

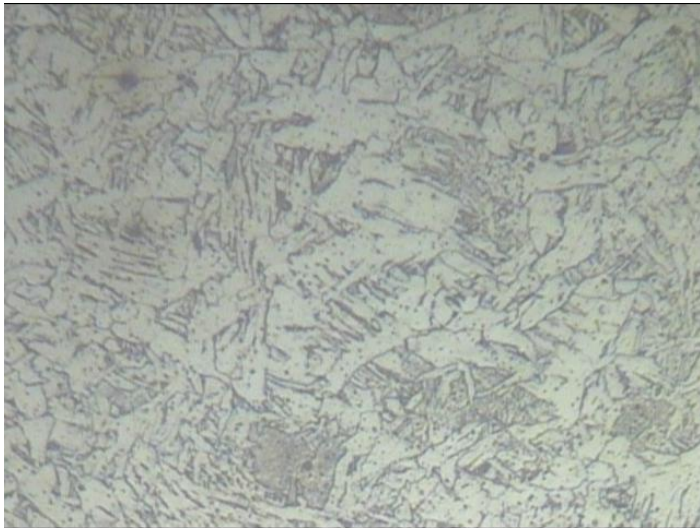


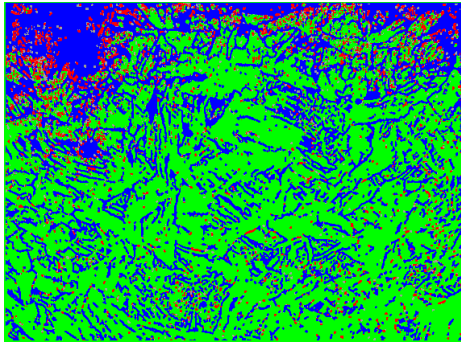
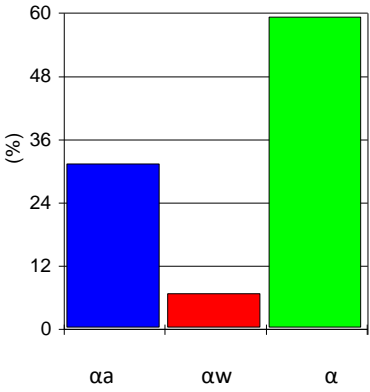
| REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS  |                            |                 |                          |                |                   |
|---------------------------------|----------------------------|-----------------|--------------------------|----------------|-------------------|
| Probeta:                        | N° 04                      | Autorizado por: | Ing. Manolo Córdova      | Realizado por: | Alejandra Lascano |
| Lugar de realización:           | Taller de soldadura (FICM) |                 | Fecha de ejecución:      | 05/01/2011     |                   |
| Temperatura ambiente del lugar: | 25.2°C                     |                 | Flujo de aire del medio: | Estático       |                   |

| ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA |           |               |                   |                     |                   |
|---|-----------|---------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Diseño de la junta:                       |           |               | Posición:         | Plana horizontal 1G |                   |
| Tipo:                                     | Soldadura | Un solo lado: | si                | Técnica:            | Cordón rectilíneo |
|   |           | Ambos lados:  | no                |                     | Pasada única      |
| Abertura de raíz:                         |           | 1/8 in        |                   | Proceso:            | SMAW              |
| Tipo de unión:                            |           | A tope        |                   | Tipo:               | Manual            |
| <b>METALES BASE</b>                       |           |               |                   |                     |                   |
| Especificaciones del material:            |           |               | Acero estructural |                     |                   |
| Tipo o grado:                             |           |               | ASTM - A36        |                     |                   |
| Espesor:                                  |           |               | ¼ in              |                     |                   |
| Longitud de la probeta:                   |           |               | 310mm             |                     |                   |
| Característica:                           |           |               | Platina           |                     |                   |
| Metal de aporte:                          |           |               | AWS - 6011        |                     |                   |
| Amperaje / Voltaje:                       |           |               | 90 A / 35 V       |                     |                   |



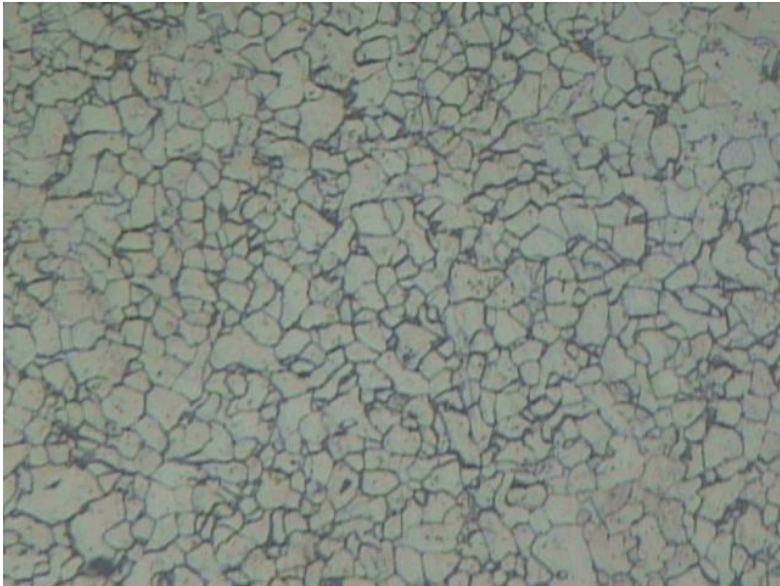


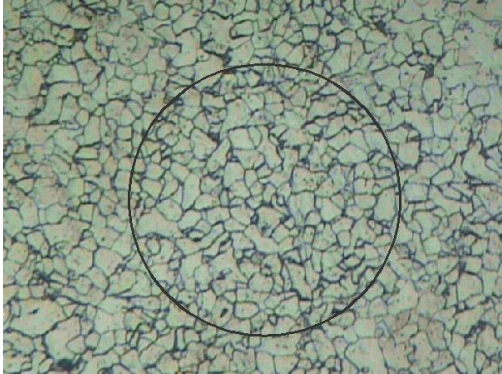
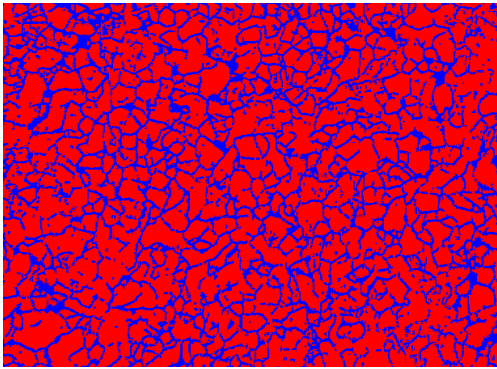
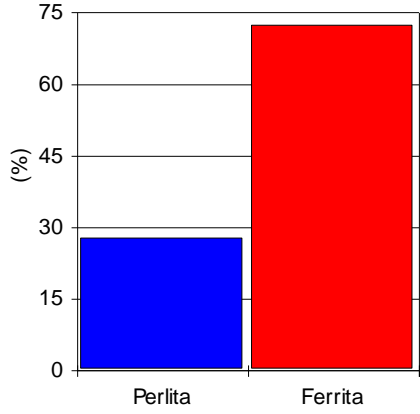
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 61                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 04                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Cordón de Soldadura                                 |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 25/03/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 19.5 °C   | Radiación:            | 91.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.1 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 18.8 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Resina Poliéster                                    |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 19.7°C  |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 19 min  | Espesor:              | 2 mm                  |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Alta calidad de replicado, se observan claramente los bordes de grano.               |   |                       |                       |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:   |  |
|---|--|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b>   |  |
| <b>Método (ASTM E 112) :</b>  | <b>Microestructura:</b>  |
| <b>Cálculo:</b>   | <b>Magnificación : 200x</b>  |
| $NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 41 + \frac{31}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$ $NA = 8 * 56,5 = 452$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(452) - 2.954$  |  |
| <b>Tamaño de grano:</b>   | 5,86 $\cong$ 6   |
| <b>Componentes:</b> Ferrita Acicular ( $\alpha_a$ ), Ferrita de Widmanstaetten ( $\alpha_w$ ), Ferrita Alotriomórfica ( $\alpha$ ),   |  |
| <b>Componentes microestructurales:</b>  | <b>Porcentajes:</b>  |
|    |  |
| <b>Interpretación de resultados:</b>  |  |
| <p>La microestructura estudiada está compuesta por: 31,3 % de Ferrita Acicular (<math>\alpha_a</math>), 6,7% de Ferrita de Widmanstaetten (<math>\alpha_w</math>) y 59,1 % de Ferrita Alotriomórfica (<math>\alpha</math>), presentando un tamaño de grano de 6. Estos componentes dan lugar a un cordón de soldadura de características mecánicas aceptables, pues el alto contenido de Ferrita Alotriomórfica (<math>\alpha</math>), el cual reduce la tenacidad de la junta soldada se ve compensado con el porcentaje de Ferrita Acicular (<math>\alpha_a</math>) la cual mejora significativamente la tenacidad de la junta soldada,</p> |  |
| <b>Microestructura formada:</b> Buena   |  |





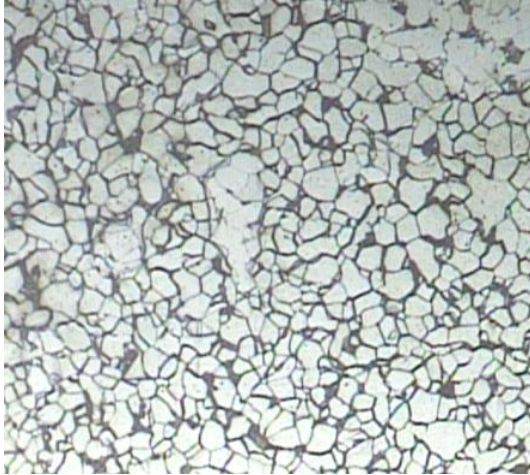
| ENSAYO METALGRÁFICO POR RÉPLICAS   |   |                       |                       |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>   |   |                       |                       |
| Tipo de estudio:   | De campo y laboratorio                              | Ensayo N°             | 62                    |
| Identificación del componente de estudio:  | Probeta N° 04                                       |                       |                       |
| Parte específica a replicar:   | Zona térmicamente afectada                          |                       |                       |
| Solicitado por:  | UTA - FICM  | Fecha:                | 25/03/2011            |
| Centro de estudio y análisis:  | Laboratorio de Materiales - FICM                    |                       |                       |
| Realizado por:   | Alejandra Lascano                                   | Supervisado por:      | Ing. Manolo Córdova   |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>                           |   |                       |                       |
| Lugar:   | Sector de Huachi Chico / Campus Universitario - UTA |                       |                       |
| Temperatura ambiente   | 19.7 °C   | Radiación:            | 91.8 W/m <sup>2</sup> |
| Velocidad del aire circundante:  | 1.1 m/s   | Otros:                |                       |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALGRÁFICA:</b>                           |   |                       |                       |
| Realizado bajo la norma:   | ASTM  | Designación           | E 1351 - 96           |
| Acondicionamiento de la superficie por:  | Pulido mecánico                                     |                       |                       |
| Temperatura durante el pulido  | 19,2 °C   | Superficie óptima en: | 90 min                |
| Ataque químico de la superficie con:   | Nital 4   | Tiempo de ataque:     | 7 s                   |
| Material replicante:   | Resina Poliéster                                    |                       |                       |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica:                         | 19 °C   |                       |                       |
| Tiempo de extracción de la réplica:  | 19 min  | Espesor:              | 2 mm                  |
| <b>RESULTADO</b>   |   |                       |                       |
|  |   |                       |                       |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |                       |                       |
| Alta calidad de replicado, se observan claramente los bordes de grano.               |   |                       |                       |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:  |  |
|--|--|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b>  | <b>Microestructura:</b>  |
| <b>Método (ASTM E 112) :</b>   | <b>Magnificación : 200x</b>  |
| <b>Cálculo:</b>  |    |
| $NA = f \left( Ni + \frac{Nint}{2} \right) = f \left( 174 + \frac{59}{2} \right)$ $f = 8 \text{ por Jeffries (200x)}$ $NA = 8 * 203,5 = 1628$ $G = 3,321918 * \log NA - 2.954$ $G = 3,321918 * \log(1628) - 2.954$   |  |
| <b>Tamaño de grano:</b>  | 7,71 $\cong$ 7,5   |
| <b>Componentes:</b> Ferrita y Perlita  |  |
| <b>Componentes microestructurales:</b>   | <b>Porcentajes:</b>  |
|   |  |
| <b>Resistencia a la tracción aproximada (R.T.A):</b>   |  |
| <b>Cálculo:</b>  |  |
| $R.T.A = \frac{28 * (\%Ferrita) + 84 * (\%Perlita)}{100} = \frac{28 * 72,3 + 84 * 27,7}{100}$  |  |
| <b>R.T.A = 43,5 Kg/mm<sup>2</sup></b>  |  |
| <b>Interpretación de resultados:</b>   |  |
| <p>La microestructura estudiada está compuesta por un 72,3% de Ferrita y 27,7 % de Perlita, presentando un tamaño de grano de 7,5. Determinando una resistencia a la tracción teórica de 43,5 Kg/mm<sup>2</sup>. La resistencia mecánica del material no se ha visto afectada, puesto que la resistencia a la tracción del acero estructural A36 es de 41 ≤ RT ≤ 56 Kg/mm<sup>2</sup> (Anexo A6)</p> |  |
| <b>Microestructura formada:</b> Buena  |  |

**4.5.1 Resultado comparativo entre microfotografías de la metalurgia de la soldadura, analizadas directamente y por réplicas.**

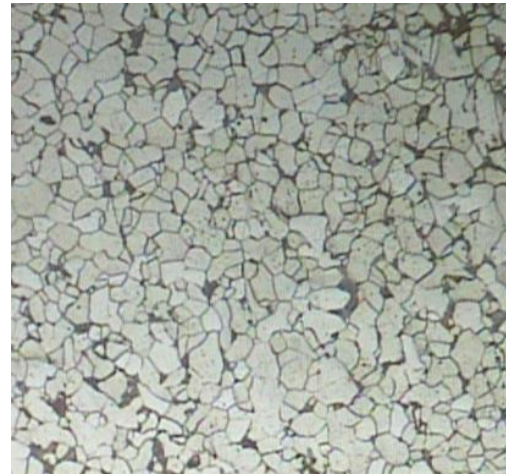
**Microestructura analizada**

**directamente**



Acero A36 Metal base 100x\_Nital4\_6s

**Microestructura replicada**



Acero A36 Metal base 100x\_Nital4\_6s

(Resina Poliéster)

**Fuente:** Autor

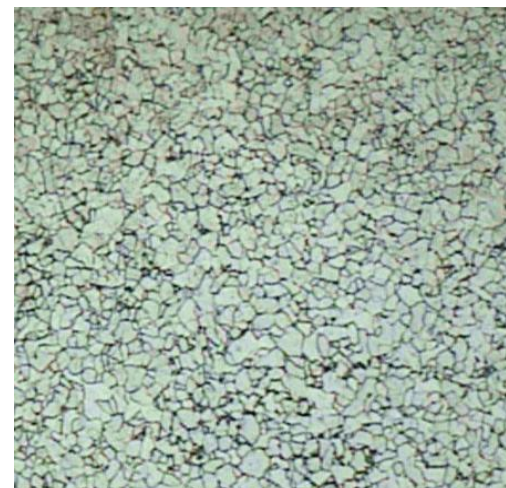
**Microestructura analizada**



Acero A36 ZAT 100x\_Nital4\_7s

**Microestructura replicada**

**directamente**



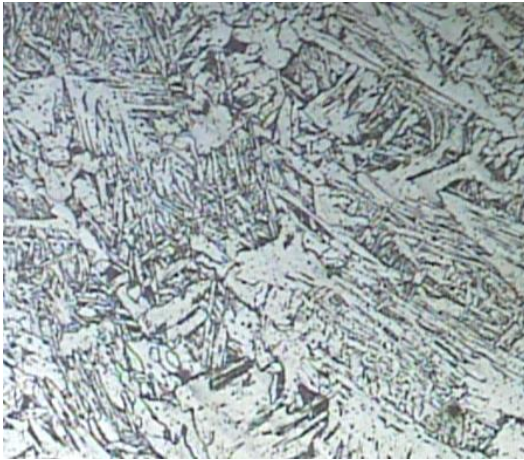
Acero A36 ZAT 100x\_Nital4\_7s

(Resina Poliéster)

**Fuente:** Autor



**Microestructura analizada  
directamente**



Acero A36 Cordón de soldadura  
100x\_Nital4\_6s

**Microestructura replicada**



Acero A36 Cordón de soldadura  
100x\_Nital4\_6s  
(Resina Poliéster)

**Fuente:** Autor

Las imágenes anteriores muestran la microestructura analizada directamente frente a la microestructura replicada, con lo cual se aprecia claramente la excelente calidad de replicado de la Resina Poliéster.

#### **4.6 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Luego de haber ensayado con varios materiales y de haber obtenido distintas muestras las cuales fueron analizadas y evaluadas tanto por inspección visual, toma de tiempos de secado, facilidad de desprendimiento y calidad de replicado, se ha determinado que con el uso de un polímero como medio replicante se puede llevar a cabo el ensayo metalográfico mediante réplicas.

Además al comparar los valores totales de inversión inicial para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, se verifica que con el uso de polímeros en el análisis metalográfico mediante réplicas, se disminuyen los costos del ensayo metalográfico no destructivo en uniones soldadas de acero A36, (los porcentajes de disminución de estos costos serán detallados en el Capítulo VI) y tomando en cuenta los ensayos metalográficos y resultados obtenidos, se encontró un material polimérico el cual reduce el costo del ensayo metalográfico por réplicas, ofreciendo la misma calidad y nitidez en la visualización de la microestructura replicada que cualquier otro material ya conocido por su uso como replicante, el tiempo de secado de éste polímero es de 19 a 25 minutos y es de fácil desprendimiento de la superficie en la cual se lo aplica, cumpliendo con las facilidades del método y evaluación de réplicas metalográficas contempladas en las normas técnicas ASTM E 1351-96.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

**5.1.1** En el presente trabajo investigativo se ha ensayado con distintos materiales tales como masillas epóxicas, siliconas, gomas, resinas con endurecedores epóxicos, caucho líquido, selladores, pinturas, resina de impregnación, alcohol polivinílico, resina microligante, resina poliéster, entre otros los cuales han presentado distintas características al momento del ensayo así:

- En el caso de las masillas epóxicas y resinas con endurecedores epóxicos no se obtuvieron resultados satisfactorios ya que su extracción de la superficie de análisis es complicada y al momento de extraerla tiende a romperse y en el peor de los casos no se desprende de la misma; por lo cual no se obtuvo réplica alguna con el uso de este material.
- Usando la goma como medio replicante se obtuvo una microestructura de buena calidad visual, como se puede observar en las réplicas obtenidas en los ensayos 20,21 y 23 del capítulo IV, pero el tiempo de secado es considerable, a esto se suma la dificultad de manipulación debido a que se obtiene una réplica muy delgada, la cual se deforma fácilmente alterando la forma de los granos de la microestructura replicada.

- Al usar el alcohol Polivinílico se obtienen réplicas de buena calidad visual (ensayo 9 del capítulo IV); pero presentándose las mismas dificultades mencionadas anteriormente en el uso de la goma.
- En lo que respecta a las siliconas, este material es de fácil aplicación pero de difícil extracción, y las réplicas que se obtuvieron son de baja calidad de replicado. Sin embargo al utilizar el silicón caliente se obtiene una réplica de fácil extracción, buena calidad visual y un tiempo de secado de 2 minutos (ensayo 27, 29, 30, 32, 33 y 34 del capítulo IV).
- Con el uso de caucho líquido, pinturas, resina de impregnación y resina microligante, a pesar de su facilidad de extracción no se obtuvo réplica alguna al momento de visualizar éstas en el microscopio.
- Al utilizar la Resina Poliéster como medio replicante se obtuvo una réplica de fácil extracción, tiempo de secado razonable y excelente calidad de replicado al momento de visualizar la microestructura replicada en el microscopio. (Ensayo 38, 39, 40 y 41 del capítulo IV).
- En el caso de la Resina Poliéster se ensayaron con distintas marcas de la misma dando como resultado similar calidad de replicado.
- Al adicionar una carga (talco chino) a la Resina Poliéster, se obtiene una réplica de baja calidad debido a que al momento de visualizar ésta, en el microscopio se observan las partículas de talco chino dificultando la visualización de la microestructura replicada.

- Cuando se mezcla la Resina Poliéster con algún tipo de pigmento ya sea éste, en pasta o líquido, se tiene similar dificultad que lo mencionado anteriormente, es decir la presencia de partículas de pigmento que dificultan la visualización de la microestructura replicada.
- Luego de ensayar con distintos materiales se determinan las características físicas adecuadas del polímero que se puede utilizar en el ensayo metalográfico mediante réplicas, las cuales son rápido secado y fácil desprendimiento de la superficie en análisis.
- Luego de varios ensayos metalográficos con distintos materiales los cuales se aplicaron a modo de prueba y error; se encontraron tres materiales los cuales pueden servir como medio replicante como son el silicón caliente, goma y Resina Poliéster.
- De lo mencionado anteriormente se concluye que la Resina Poliéster, usada como medio replicante proporciona una excelente calidad de replicado por lo cual se cumple con los objetivos de esta investigación, pues se ha encontrado un material alternativo para usarlo en el análisis metalográfico mediante réplicas el cual disminuye el costo de dicho ensayo.
- Se ha encontrado un material alternativo de especie polímero, el cual permite evaluar con un alto grado de exactitud, el estado metalúrgico superficial de las uniones soldadas de acero A36, mediante el uso del microscopio óptico del Laboratorio de Materiales y el cual cumple con las facilidades del método y evaluación de réplicas metalográficas contempladas en las normas técnicas ASTM E 1351-96 (Anexo B1).

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para la obtención de réplicas metalográficas de uniones soldadas de acero A36 se recomienda usar como medio replicante la Resina Poliéster, tanto por su excelente calidad de replicado, facilidad de desprendimiento y aplicación, como por su bajo costo.
- Se recomienda elaborar un procedimiento para el uso de la Resina Poliéster como medio replicante.
- Durante todo el proceso de preparación de la superficie a replicar, se debe tener presente que ésta superficie debe ser completamente plana.
- Durante el proceso de pulido mantener lubricada (usando agua) la superficie sometida al contacto con el paño, para evitar un sobrecalentamiento de la misma.
- Al concluir el proceso de pulido se debe tener cuidado en que la superficie de replicado no tenga rayaduras, lo cual se consigue con una inspección visual de ésta, usando una lupa.
- Se debe controlar y registrar el tiempo de ataque químico, a fin de no tener un ataque excesivo ya que puede quemar la superficie de replicado y complicar el desarrollo del ensayo.
- Luego del ataque químico, se debe dejar secar la superficie a fin de que el material replicante entre en contacto directo con la superficie a replicar.

- En la preparación del medio replicante tener cuidado de no mezclar directamente (solos), el catalizador (meck o peróxido) y acelerante (cobalto) ya que reaccionan violentamente.
- Preparar la cantidad necesaria de material replicante, de acuerdo a la o las superficies a replicar, para evitar desperdicio del mismo.
- El replicante se debe colocar en la superficie a replicar inmediatamente luego de ser preparado.
- La réplica obtenida debe ser completamente plana para su visualización en el microscopio.
- Se recomienda no utilizar masillas epóxicas y resinas con endurecedores epóxicos en la extracción de réplicas, pues se adhieren fuertemente a la superficie de análisis y no se logra replicar dicha superficie.
- Para la remoción de la resina de impregnación y resina microligante se recomienda el uso de vinagre blanco, pues con el uso de éste se logra separar dichas resinas de la superficie de análisis.
- Si el material a utilizar para el proceso de replicado es la Resina Poliéster, no se debe utilizar ningún tipo de carga como el polvo chino o algún tipo de pigmento, ya que dificultan la visualización en el microscopio de la microestructura replicada.
- En el caso de utilizar silicón caliente, con el uso de esmalte negro se debe pintar la parte posterior de la réplica, o sentarlas sobre un vidrio negro, con el propósito de que la luz del microscopio se

refleje en la réplica y se pueda visualizar la microestructura al momento del análisis metalográfico.



## **CAPÍTULO VI**

### **PROPUESTA**

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

Los ensayos metalográficos se los realizará en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica, campus Huachi.

Los datos básicos para la ejecución del presente trabajo en lo que respecta a la obtención de réplicas metalográficas principalmente son; determinar el material replicante que ofrezca excelentes resultados, establecer el costo de dicho material y el costo total de todo el proceso hasta la obtención de la réplica, tamaño de la réplica y registro de la temperatura, velocidad de viento y radiación, estos registros se los realizará con la ayuda de un anemómetro (mide temperatura y velocidad de viento) y de un piranómetro.

Basándose en los distintos ensayos realizados y en el análisis de resultados se ha determinado que el material utilizado para la extracción de la réplica será la Resina Poliéster por ofrecer excelente calidad de replicado.

En lo concerniente a los elementos de los cuales se obtendrán las réplicas se toma la población (uniones soldadas de acero A36) determinada anteriormente en el presente trabajo investigativo con su respectiva muestra (probetas en placas de acero A36).

Tomando en cuenta la Norma ASTM E 1351 – 96 (Anexo B1) la cual rige el proceso de “Evaluación Metalográfica Por Réplicas” se destaca que el tamaño longitudinal de la réplica sea de 13mm y que la superficie que va ser replicada debe encontrarse en la zona térmicamente afectada o sobre la línea de fusión (corona de la soldadura).

## **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Anteriormente en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica se realizó una tesis sobre réplicas metalográficas bajo el nombre de “ANÁLISIS METALOGRAFICO NO DESTRUCTIVO MEDIANTE RÉPLICAS PARA EVALUAR LA MICROESTRUCTURA EN UNIONES SOLDADAS DE ACERO A36 – POSICIÓN 1G” en la cual se propone el ensayo metalográfico mediante réplicas como una alternativa para evaluar las microestructuras en uniones soldadas de acero A36 mediante el uso de la Resina en polvo Technovit 3040 a base de Metacrilato de Metilo la cual es un polímero de uso industrial pero de elevado costo.

## **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Es necesario realizar un procedimiento, el cual se pueda seguir a fin de obtener réplicas metalográficas de excelente calidad, usando un material alternativo como medio replicante, ya que al analizar los antecedentes de esta propuesta se tiene claro que es posible evaluar la microestructura en uniones soldadas de acero A36, aplicando un ensayo no destructivo mediante réplicas, sin embargo el material utilizado actualmente para obtención de estas réplicas es la Resina en polvo Technovit 3040 a base de Metacrilato de Metilo, pero el inconveniente de usar este tipo de resina es que tiene un elevado costo y es de difícil adquisición, por lo cual en el presente trabajo investigativo, en base a ensayos realizados y resultados obtenidos se propone realizar el ensayo no destructivo mediante réplicas

utilizando como medio replicante la Resina Poliéster, pues es de bajo costo, fácil adquisición, fácil desprendimiento y ofrece similar calidad de replicado que la Resina en polvo Technovit 3040 a base de Metacrilato de Metilo.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar un procedimiento para la realización del ensayo metalográfico por réplicas en uniones soldadas de acero A36, usando como medio replicante la Resina Poliéster, a fin de disminuir los costos de dicho ensayo.

### **6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la composición y reacción química de los componentes establecidos para el medio replicante.
- Establecer la relación de dosificación de los componentes replicantes, a fin de lograr menor tiempo de secado y buena calidad de replicado.
- Analizar y evaluar los costos de realizar el ensayo metalográfico no destructivo mediante réplicas, con el uso de la Resina Poliéster.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

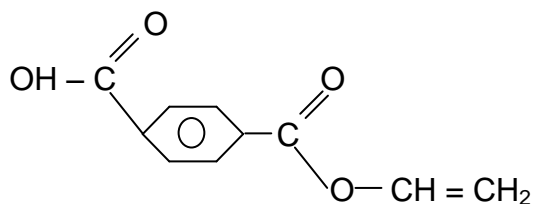
De la Tabla 5, se determina que la elaboración de la propuesta es factible de realizarse, ya que se cuenta con información necesaria, como son las normas ASTM E112-96, ASTM E1351- 96 (Anexo B1 y B2), además del recurso humano, materiales e instrumentos que fueron facilitados por el

Laboratorio de Materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, sumado a esto se toma en cuenta que todos los elementos considerados para el desarrollo de la propuesta son de costo moderado y se encuentran en el mercado por lo que son de fácil adquisición haciendo que este proyecto sea factible de realizarse.

## 6.6 FUNDAMENTACIÓN

### 6.6.1 Reacción química de la mezcla replicante.

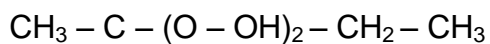
La Resina Poliéster se presenta en forma de líquido algo viscoso. La estructura química de ésta es la siguiente:



Para que la Resina Poliéster adquiera un estado sólido se requieren del agregado de un catalizador y de un acelerador.

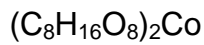
El catalizador es el que inicia la reacción, su estructura química es:

Catalizador: Hidroxi Metil Etil Cetona (HMEC)

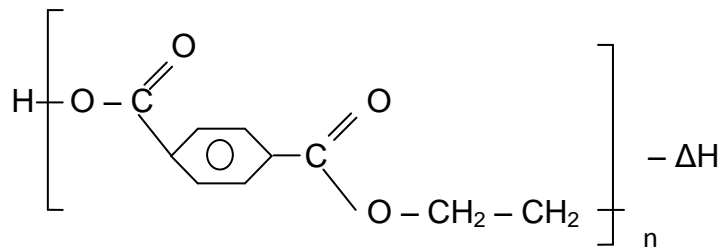


A los compuestos anteriores se adiciona el acelerador, éste es el componente que regula los tiempos de la reacción de secado

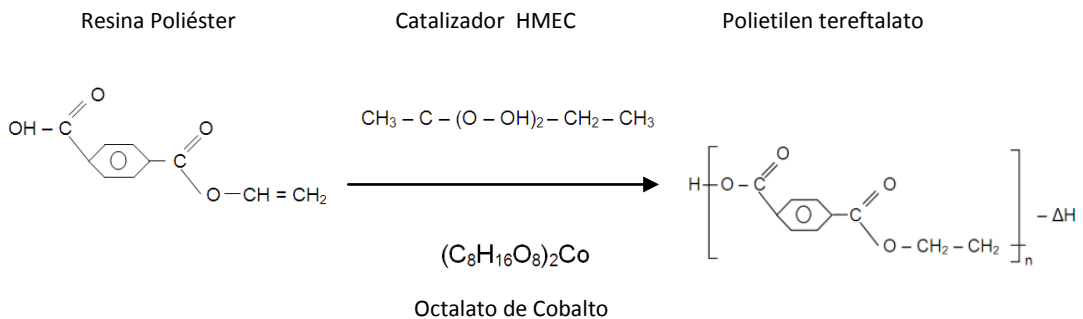
Cobalto: Octalato de Cobalto



Dando como resultado el Polietilen tereftalato cuya estructura química es:

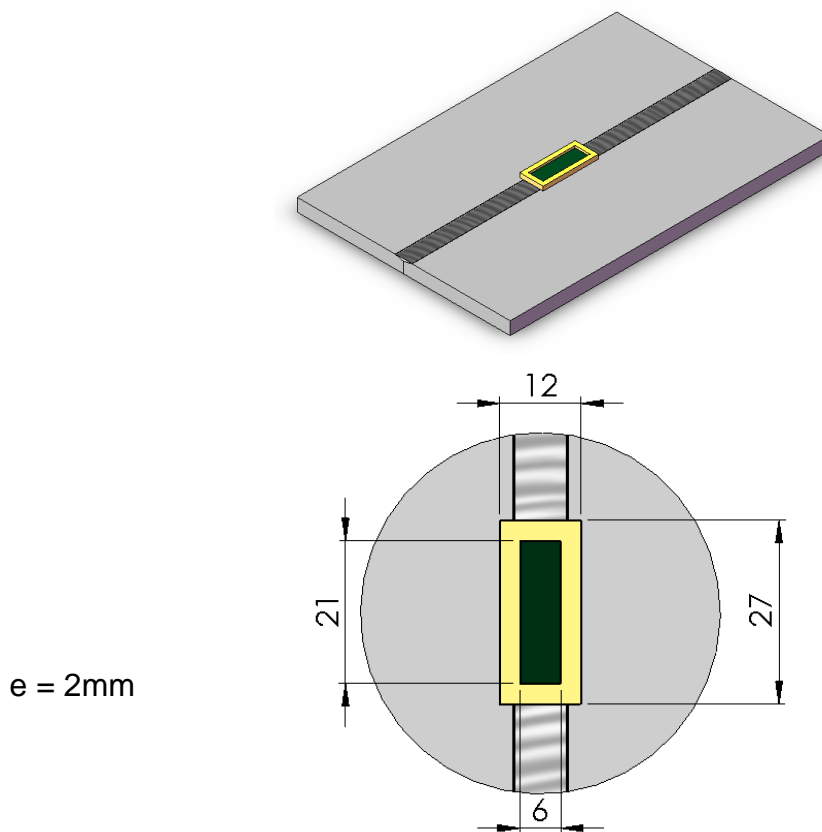


Entonces la ecuación química es:



### 6.6.2 Medidas consideradas para la superficie a replicar y de la réplica metalográfica.

En la norma ASTM E 1351 – 96 (Anexo B1) se especifica la medida longitudinal de la réplica, por lo cual para no incumplir con dicha norma tanto para la superficie a replicar y la réplica metalográfica; se toman las siguientes dimensiones:



**Gráfico 14. Medidas consideradas para la superficie a replicar y de la réplica metalográfica**

Fuente: Autor

Por tanto el área de la réplica ( $A_R$ ) es de:

$$A_R = 21 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$$

$$A_R = 126 \text{ mm}^2$$

### 6.6.3 Dosificación de la mezcla replicante

La dosificación de la mezcla replicante, es de 3 ml de Resina Poliéster + 1ml de catalizador (meck o peróxido) + 1 ml de acelerante (cobalto); estas cantidades de cada sustancia se determinan de acuerdo a los distintos ensayos realizados.

#### 6.6.4 Evaluación de costos y beneficios económicos del análisis metalográfico por réplicas usando resina poliéster.

Al ser uno de los objetivos principales de esta investigación el reducir los costos del ensayo metalográfico por réplicas, en esta parte de la investigación, es necesario realizar la comparación entre los distintos costos para la realización de los ensayos metalográficos tanto destructivos como no destructivos (réplicas metalográficas), cabe destacar que en el caso del ensayo por réplicas metalográficas se cuenta con información de una investigación realizada previamente por otro investigador sobre los costos de éste ensayo con el uso de Resina Technovit 3040, por lo cual las comparaciones se realizarán con respecto a dichos costos; del mismo modo se realiza el diagrama de proceso con el fin de conocer los pasos que se siguen en toda la secuencia de actividades destinadas al ensayo metalográfico por réplicas, éste diagrama muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones y márgenes de tiempo.

##### 6.6.4.1 Diagrama de proceso.

|   |  |                |   |
|---|--|----------------|---|
| <b>Elemento:</b><br>Réplica metalográfica | <b>Hoja 01 de 01</b>                     | <b>Resumen</b> |   |
|   |  |                |   |
| <b>Departamento:</b><br>Materiales        | <b>Diagramado por:</b> A.Lascano         | ○ Operación    | 3 |
| <b>Diagrama:</b> N° 01                    | <b>Fecha:</b><br>29-03-2011              | Ⓛ Demora       | 1 |
| <b>Cantidad:</b> 01                       | <b>Aprobado por:</b> Ing. Manolo Córdova | □ Inspección   | 3 |
|   |  | ⇒ Transporte   | 0 |
|   |  | △ Almacenar    | 0 |

| Número | Tiempo (min) | Símbolo   | Descripción                                |
|--------|--------------|-----------|--|
| 1      | 6            | ○ D □ ⇌ △ | Selección de la superficie de análisis     |
| 2      | 91           | ○ D □ ⇌ △ | Preparación metalográfica de la superficie |
| 3      | 5            | ○ D □ ⇌ △ | Revisión óptica de la superficie           |
| 4      | 2            | ○ D □ ⇌ △ | Ataque químico de la superficie            |
| 5      | 3            | ○ D □ ⇌ △ | Secado                                     |
| 6      | 20           | ○ D □ ⇌ △ | Operación de replicado                     |
| 7      | 30           | ○ D □ ⇌ △ | Evaluación y resultado                     |

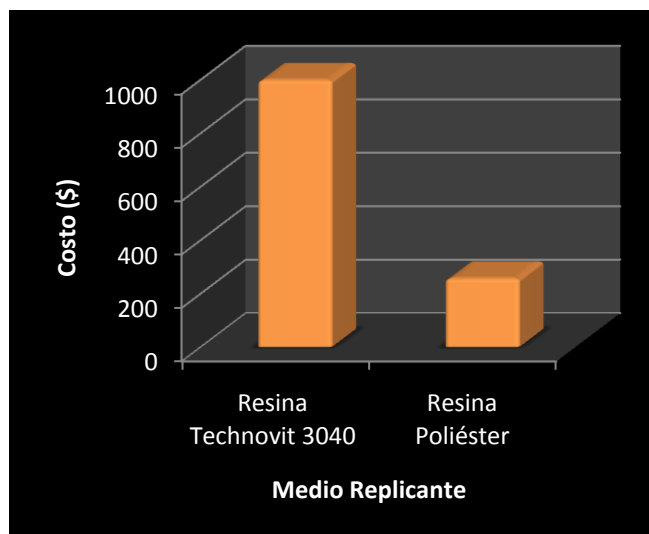
#### 6.6.4.2 Comparación de los costos para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Resina Poliéster vs Resina Technovit 3040

Tabla 8. Costo total de la inversión inicial para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Resina Poliéster vs Resina Technovit 3040

| Medio Replicante      | Costo total (\$) |
|-----------------------|------------------|
| Resina Technovit 3040 | 998,0            |
| Resina Poliéster      | 255,84           |

Fuente: Autor





**Gráfico 15. Costo para la realización del ensayo metalográfico por réplicas. Resina Poliéster vs Resina Technovit 3040**

Fuente: Autor

En el Gráfico 15, se observa la disminución en los costos de la inversión inicial para la realización del ensayo metalográfico por réplicas, el porcentaje de ésta disminución es del 74,4 %, con lo cual se cumple uno de los objetivos de esta investigación.

#### **6.6.4.3 Valoración económica por muestra analizada**

##### **6.6.4.3.1 Valoración económica por muestra analizada a través de metalografía convencional (ensayo destructivo)**

**- Cálculo de la energía total consumida en la operación de pulido en el ensayo de metalografía convencional**

$$P = V * I \quad (6.1)^{21}$$

Donde:

P = Potencia (W)

<sup>249</sup> GARCIA TRASANCOS, José (2009), Electrotecnia, Paraninfo.

V = Tensión (V)

I = Intensidad (A)

Entonces de los datos de la pulidora tenemos:

V = 220 V

I = 10 A

P = 220 V \* 10 A

P = 2200 W

**E = P \* t** **(6.2)**<sup>21</sup>

Donde:

E = Energía (kW-h)

P = Potencia (kW)

t = Tiempo (h)

E = 2,2 kW \* 0,75 h

E = 1,65 kW.h

**- Cálculo del costo de la energía consumida (CC):**

**CC = E \* costo de Energía Eléctrica (Dólares / kW.h)** **(6.3)**<sup>21</sup>

CC = 1,65 kW.h \* 0.12 \$ / kW.h

CC= 0.198 \$

**- Cálculo del costo de la mano de obra en el ensayo de metalografía convencional**

Tomando en cuenta que el ensayo debe ser realizado por personas capacitadas se toma como base el salario de un ayudante de laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato el cual es de: 286.55 \$

**- Cálculo del costo mano de obra (CMO).**

**CMO = CHO x T** **(6.4)**<sup>21</sup>

---

<sup>501</sup> GARCIA TRASANCOS, José (2009), Electrotecnia, Paraninfo.

Dónde:

CHO =Costo hora operario (\$/h)

T = Tiempo requerido de mano de obra

T = 95 min = 1,58 h

CHO: 286,55 Dólares/por mes = 1,79 dólares/hora; (jornada de 8 horas diarias)

CMO = (1,79 \$/h) (1,58 h)

CMO = 2,83 \$

**Tabla 9. Costo por muestra analizada a través de metalografía convencional**

| Nº                  | Etapas     | Descripción de materiales            | Tiempo de uso (min) | Cantidad   | Valor (U.S.D) |
|---------------------|------------|--------------------------------------|---------------------|------------|---------------|
| 1                   | Desbaste   | Lija Nº 240                          | 15                  | 1/3 pliego | 0,2           |
|                     |            | Lija Nº 320                          | 10                  | 1/3 pliego | 0,2           |
|                     |            | Lija Nº 400                          | 10                  | 1/3 pliego | 0,2           |
|                     |            | Lija Nº 600                          | 10                  | 1/3 pliego | 0,2           |
| 2                   | Pulido     | Pulidora de paño (energía eléctrica) | 45                  | -          | 0,198         |
|                     |            | Paño metalográfico                   | 15                  | 1/2 pliego | 0,8           |
|                     |            | Alúmina                              | 1                   | 1 gr       | 0,331         |
| 3                   | Ataque     | Reactivo Nital 4 – 4ml NHO3          | 2                   | 0,5 ml     | 0,25          |
| 4                   | Secado     | Secador                              | 2                   | -          | 0,06          |
| 5                   | Desarrollo | Mano de obra                         | 95                  | 1 persona  | 2,83          |
| 6                   | Evaluación | Profesional encargado                | -                   | -          | 30            |
| <b>Total(U.S.D)</b> |            |                                      |                     |            | <b>35,269</b> |

Fuente: Autor

**6.6.4.3.2 Valoración económica por muestra analizada a través de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster (Ensayo no destructivo).**

**- Cálculo de la energía total consumida en la operación de pulido en el ensayo por réplicas metalográficas (E)**

Los datos de la pulidora manual son:

$$V = 120 \text{ V}$$

$$I = 7,5 \text{ A}$$

Usando la ecuación 6.1 tenemos:

$$P = V * I$$

$$P = 120 \text{ V} * 7,5 \text{ A}$$

$$P = 900 \text{ W}$$

$$t = \text{Tiempo (h)} = 20 \text{ min}$$

Por tanto usando la ecuación 6.2 tenemos:

$$E = P * t$$

$$E = 0,9 \text{ kW} * 0,33 \text{ h}$$

$$E = 0,297 \text{ kW.h}$$

**- Cálculo del costo de la energía consumida (CC):**

Con la ecuación 6.3 tenemos:

$$CC = E * \text{costo de Energía Eléctrica (Dólares / kW.h)}$$

$$CC = 0,297 \text{ kW.h} * 0.12 \text{ \$ / kW.h}$$

$$CC = 0.036 \text{ \$}$$

**- Cálculo del costo de la mano de obra en el ensayo por réplicas metalográficas.**

**- Costo de la mano de obra (CMO).**

Con la ecuación 6.4 tenemos:

$$\text{CMO} = \text{CHO} \times T$$

T = 93 min = 1,55h y CHO = 1,79 dólares/hora

Por tanto:

$$\text{CMO} = (1,79 \text{ \$/h})(1,55 \text{ h})$$

$$\text{CMO} = 2,77 \text{ \$}$$

**Tabla 10. Costo por muestra analizada a través de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster.**

| Nº                  | Etapa      | Descripción de materiales                           | Tiempo de uso (min) | Cantidad   | Valor (U.S.D) |
|---------------------|------------|---|---------------------|------------|---------------|
| 1                   | Desbaste   | Lija N° 240   | 20                  | 1/3 pliego | 0,2           |
|                     |            | Lija N° 320   | 20                  | 1/3 pliego | 0,2           |
|                     |            | Lija N° 400   | 15                  | 1/3 pliego | 0,2           |
|                     |            | Lija N° 600   | 15                  | 1/3 pliego | 0,2           |
| 2                   | Pulido     | Pulidora manual Black Decker 6' (Energía eléctrica) | 20                  | -          | 0,036         |
|                     |            | Paño metalográfico                                  | 45                  | 1/4 pliego | 0,4           |
|                     |            | Alúmina   | 1                   | 1 gr       | 0,331         |
| 3                   | Ataque     | Reactivo Nital 4 – 4ml NHO3                         | 2                   | 0,5 ml     | 0,25          |
| 4                   | Replicado  | Resina Poliéster                                    | -                   | 3gr        | 0,00963       |
|                     |            | catalizador (meck, peróxido)                        | -                   | 1 ml       | 0,022         |
|                     |            | acelerante (cobalto)                                | -                   | 1ml        | 0,008         |
| 5                   | Desarrollo | Mano de obra  | 93                  | 1 persona  | 2,77          |
| 6                   | Evaluación | Profesional encargado                               | -                   | -          | 30            |
| <b>Total(U.S.D)</b> |            |   |                     |            | <b>34,63</b>  |

Fuente: Autor

**6.6.4.3.3 Valoración económica por muestra analizada a través de réplicas metalográficas usando Resina en polvo Technovit 3040 a base de Metacrilato de Metilo.**

**Tabla 11. Costo por réplica metalográfica (Usando Resina Technovit 3040)**

| Nº                  | Etapa      | Descripción de materiales                      | Tiempo de uso (min) | Cantidad   | Valor (U.S.D) |
|---------------------|------------|--|---------------------|------------|---------------|
| 1                   | Desbaste   | Lija N° 240                                    | 20                  | 1/2 pliego | 0,6           |
|                     |            | Lija N° 320                                    | 20                  | 1/2 pliego | 0,6           |
|                     |            | Lija N° 400                                    | 15                  | 1/4 pliego | 0,3           |
|                     |            | Lija N° 600                                    | 10                  | 1/4 pliego | 0,3           |
| 2                   | Pulido     | Pulidora manual DW887                          | 15                  | -          | 0,45          |
|                     |            | Paño metalográfico                             | 15                  | 1/4 pliego | 0,4           |
|                     |            | Alúmina  | 1                   | 40 ml      | 0,35          |
|                     |            | Energía eléctrica                              | 15                  | -          | 0,4           |
| 3                   | Ataque     | Reactivo Nital 4 – 4ml NHO <sub>3</sub>        | 2                   | 0,5 ml     | 0,25          |
| 4                   | Replicado  | Resina Technovit 3040 - Metacrilato de Metilo. | -                   | 2gr        | 5             |
| 5                   | Desarrollo | Mano de obra                                   | 100                 | 1 persona  | 2             |
| 6                   | Evaluación | Profesional encargado                          | -                   | -          | 30            |
| <b>Total(U.S.D)</b> |            |  |                     |            | <b>40,65</b>  |

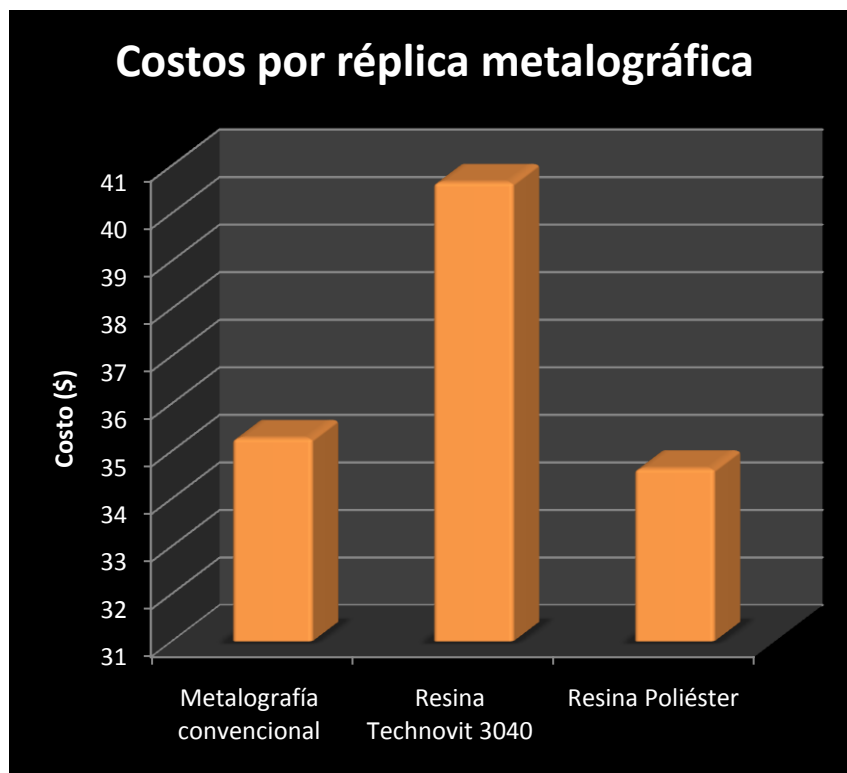
**Fuente:** Tesis: Ing. SALÁN Luis, (2010) “Análisis metalográfico no destructivo mediante réplicas para evaluar la microestructura en uniones soldadas de acero A36 – posición 1G”, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.

**6.6.4.3.4 Comparación de costos entre muestras analizadas con ensayos destructivos y no destructivos**

**Tabla 12. Costos por muestras analizadas con ensayos destructivos y no destructivos.**

|                |  |                    |                           |          |
|----------------|--|--------------------|---------------------------|----------|
| Tipo de ensayo | Destructivo                                  |                    | Metalografía convencional | 35,27 \$ |
|                | No destructivos<br>(Réplicas Metalográficas) | Medios replicantes | Resina Technovit 3040     | 40,65 \$ |
|                |  |                    | Resina Poliéster          | 34,63 \$ |

Fuente: Autor



**Gráfico 16. Costos por muestras analizadas con ensayos destructivos y no destructivos.**

Fuente: Autor

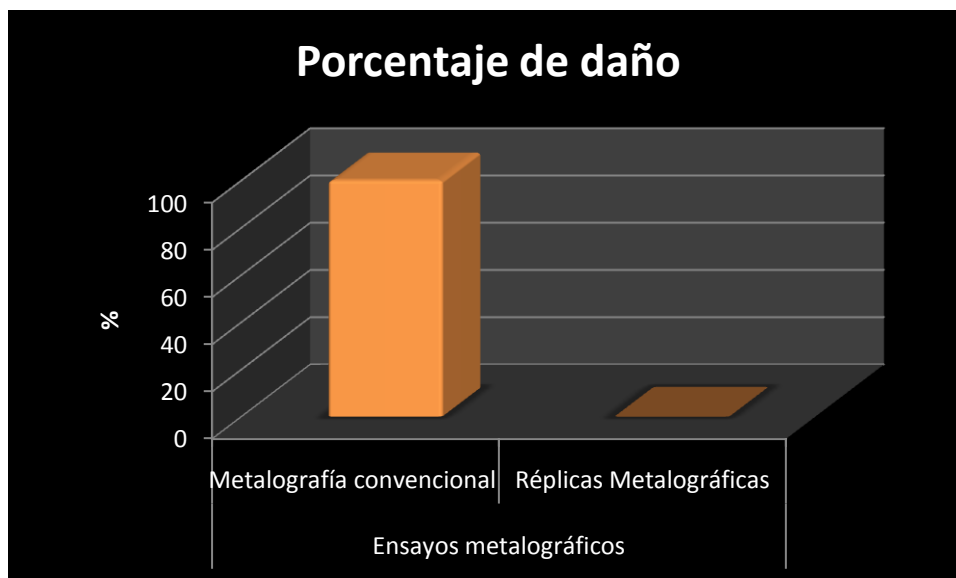
Al visualizar el Gráfico 16, se nota claramente la diferencia de costos entre los distintos ensayos realizados, teniendo así, el menor costo en el ensayo metalográfico mediante réplicas con el uso de la Resina Poliéster como medio replicante. Estos costos varían en un porcentaje de:

La metalografía convencional disminuye los costos en un porcentaje de 13,3 % frente al ensayo metalográfico mediante réplicas con el uso de la Resina Technovit 3040 como medio replicante.

El ensayo metalográfico mediante réplicas con el uso de la Resina Poliéster como medio replicante disminuye los costos en un 14,8 % frente al mismo tipo de ensayo pero usando como medio replicante la Resina Technovit 3040; y en un 1,82% frente a la metalografía convencional.

Del análisis anterior se tiene que la diferencia de costos del ensayo metalográfico mediante Réplicas con el uso de la Resina Poliéster, frente a los costos de la metalografía convencional es del 1,82% lo cual no es muy significativa, sin embargo se debe considerar el tipo de ensayo; pues al ser el análisis metalográfico convencional un ensayo destructivo, crea una seria limitación en el caso de análisis metalográfico de control o análisis de fallas en servicio, por el contrario la metalografía no destructiva al dar información sobre el estado microestructural de los componentes con la posibilidad de proceder a un pulido local sin necesidad de la destrucción de la pieza, rompe estas limitaciones, ya que durante la operación y mantenimiento de componentes, particularmente en este caso de uniones soldadas de acero, es importante poder evaluar su integridad, esto se demuestra con el siguiente gráfico el cual representa en porcentaje el daño que sufre la pieza o componente a ser analizado.





**Gráfico 17. Porcentaje de daño a la pieza o elemento para el análisis por ensayos metalográficos**

Fuente: Autor

#### **6.6.4.4 Costo y número de réplicas obtenidas.**

En esta parte de la investigación se analiza solamente el número de réplicas que se pueden obtener de 1kg de Resina Poliéster y su costo frente al mismo número de muestras obtenidas pero con 1kg de Resina Technovit 3040.

El costo de 1kg de Resina Poliéster es de 3,21 \$ y para obtener una muestra se necesitan 3gr de la misma entonces:

Nm = Número de muestras obtenidas

$Nm = 1000 \text{ g} / 3 \text{ g}$

Nm= 333,33

Por tanto 333 muestras se pueden obtener de 1kg de Resina Poliéster a un costo de 0,00963 \$ cada una.

El costo de 1kg de Resina Technovit 3040 es de 435 \$ y para obtener una muestra se necesitan 2gr de la misma entonces:

$$Nm = 1000 \text{ g} / 2 \text{ g}$$

$$Nm = 500$$

Por tanto 500 muestras se pueden obtener de 1kg de Resina Technovit 3040 a un costo de 0,87 \$ cada una.

Entonces para poder comparar tenemos:

Para obtener 500 muestras con Resina Poliéster se tiene un costo de:

$$\mathbf{Ctm = Cum * Nm} \qquad \mathbf{(6.5)}$$

Donde:

Ctm = costo total

Cum = costo unitario de las muestras

Por tanto de la ecuación 6.5 tenemos:

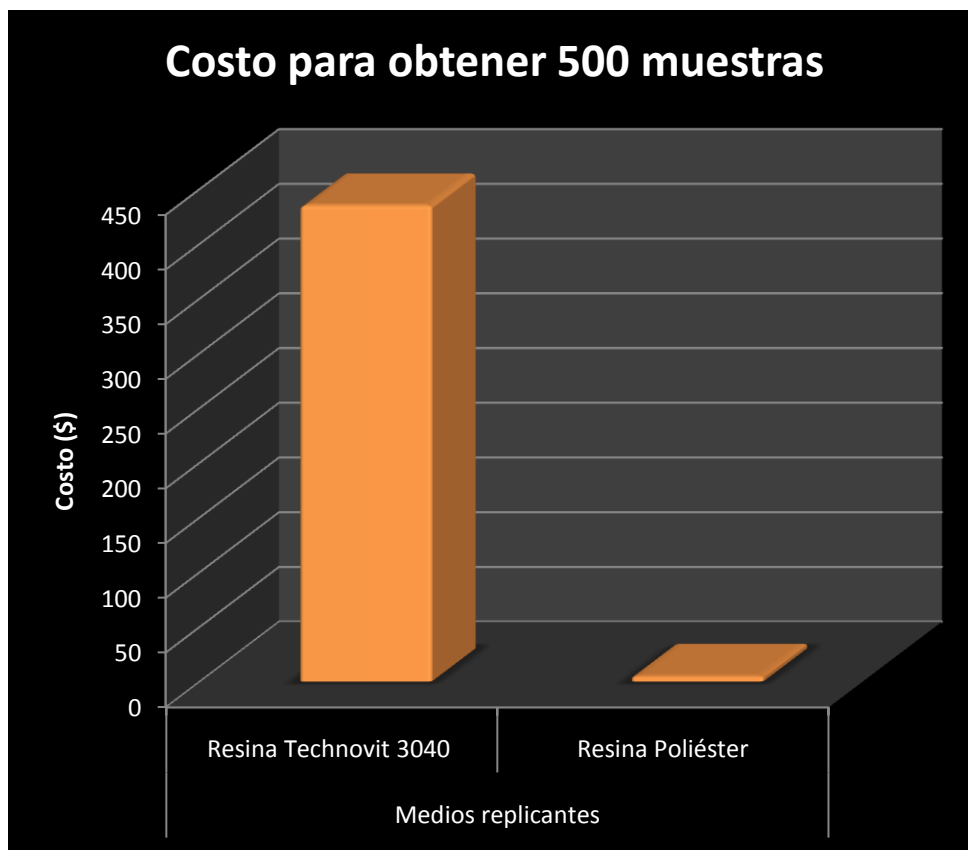
$$Ctm = 0,00963 \$ * 500$$

$$Ctm = 4,82 \$$$

Entonces con los datos obtenidos se tiene que:

Para obtener 500 muestras con Resina Technovit 3040 se necesita de 435 \$ y para obtener la misma cantidad de muestras con el uso de Resina Poliéster se requiere de 4,82 \$.

Obteniendo así con nuestra propuesta una diferencia en porcentaje de costos del 98%.



**Gráfico 18. Costo del medio replicante para obtener 500 muestras**

**Fuente:** Autor

Entonces tenemos que anteriormente un análisis por réplicas metalográficas tenía un costo de 40,65 \$ por muestra analizada el cual con la propuesta de esta investigación ha sido disminuido a 34,63 \$ por lo cual se tiene un ahorro de 6,02 \$, con este ahorro se tiene un beneficio económico de 2004,66 \$ por cada Kilogramo de Resina Poliéster usado como medio replicante.

En este caso por no tratarse de activos fijos sino de productos consumibles no se calcula el tiempo de recuperación de la inversión con parámetros financieros como, la TMAR (tasa mínima aceptable de retorno), VAN (valor actual neto) y la TIR (tasa interna de retorno).

## **6.7 METODOLOGÍA**

Para el establecimiento de la metodología, se ejecuta un procedimiento para el uso de la Resina Poliéster como medio replicante, dicho procedimiento toma en cuenta la estructura recomendada por el instituto de seguridad e higiene del trabajo INSHT en el cual se enuncia que un procedimiento debe seguir siempre un mismo guión en cuanto a su estructura (Anexo D). Así:

- A. OBJETO: Establece con claridad el "por qué" del procedimiento.
- B. ALCANCE: Define los límites de aplicación del procedimiento.
- C. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA: Cita la documentación en base a la cual se ha elaborado el procedimiento.
- D. GENERALIZACIÓN: Da información de carácter general que ayude a comprender el procedimiento.
- E. REALIZACIÓN: Describe:
  - Las actividades que son objeto del procedimiento.
  - Formas de realizar las actividades.
  - Responsabilidades.
  - Registros a efectuar y formatos.
- F. ANEXOS: Se relaciona un ejemplo de cada registro o formato, así como cualquier otra información que se precise.

Todos los procedimientos contendrán obligatoriamente los apartados A, B, C y E, siendo los D y F opcionales, según sean o no necesarios.

### **6.7.1 Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas.**



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA



Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster como medio replicante.

**1. OBJETO:** Establecer las distintas acciones a seguir para la obtención de réplicas metalográficas.

**2. ALCANCE:** Este procedimiento está desarrollado para la obtención de réplicas metalográficas de uniones soldadas de acero A36 posición 1G.

**3. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA:** El desarrollo del presente procedimiento se encuentra sustentado en el marco teórico investigado en el capítulo II.

**4. GENERALIZACIÓN:**

La metalografía no destructiva o réplica metalográfica es una de las técnicas contempladas en los ensayos no destructivos, utilizada en forma no rutinaria para detectar heterogeneidades y defectos superficiales que se manifiestan en equipos y componentes en servicio, toda vez que no se pueda extraer una muestra metalográfica para conocer los cambios microestructurales que hubiesen ocurrido. La réplica metalográfica consiste en copiar la textura y relieves (interfases como juntas de grano, límites de grano, microgrietas, etc.) de la superficie de cualquier aleación o metal mediante la utilización de medio replicante, el cual se prepara adecuadamente y se coloca sobre la superficie preparada en forma similar a cualquier probeta metalográfica de laboratorio.

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA



Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas usando  
Resina Poliéster como medio replicante.

## 5. REALIZACIÓN:

El proceso para la obtención de las réplicas metalográficas será desarrollado por el ayudante del Laboratorio de Materiales, el mismo registrará las características de la superficie donde se realiza el ensayo metalográfico por réplicas, las distintas medidas de temperatura, velocidad de viento, radiación y resultados obtenidos en los formatos correspondientes a cada ensayo, dichos formatos se encuentran en el Anexo C1.

### 5.1 Actividades a realizar para para la obtención de la réplica metalográfica.

Las actividades necesarias para la obtención de la réplica metalográfica se han dividido en las siguientes etapas:

1. Preparación de la probeta.
2. Selección y preparación metalográfica de la superficie de análisis
3. Ataque químico de la superficie y Secado
4. Operación de replicado
5. Evaluación y resultado

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA



Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster como medio replicante.

## 5.2 Preparación de la probeta.

### 5.2.1 Selección del material base:

Seleccionar el material para realizar las probetas, en este caso el material del cual se realiza la probeta es el acero A36 por ser el planteado en el presente trabajo investigativo. Las propiedades del Acero A36 se encuentran en el Anexo A5.



**Gráfico 19. Platinas de acero A36**

Fuente: Autor

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



### 5.2.2 Proceso de soldadura.

Se utilizará soldadura de arco eléctrico manual con electrodo revestido (SMAW) .



**Gráfico 20. Electroodos E6011**

Fuente: Autor

Además se debe seleccionar el tipo de electrodo que se utilizará para éste proceso; en este caso el electrodo que se utilizará es el E 6011, según calificación AWS de 1/8 de pulgada (ANSI / AWS A5.1-91, 1991), la soldadura será en posición 1G con una corriente de 90A.

Antes de comenzar a soldar, observar todas las reglas de seguridad y limpieza del metal por soldar.

|             |       |         |         |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Nombre  | Nombre  |
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |





UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA



Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster como medio replicante.

### 5.2.2.1 Reglas de Seguridad

Observar todas las precauciones para seguridad. He aquí las reglas básicas:

1. Guardar todo material combustible a una distancia prudente.
2. No usar guantes ni otra ropa que contenga aceite o grasa.
3. Estar seguro que todo alambrado eléctrico esté instalado y mantenido correctamente.
4. Siempre comprobar que la máquina está correctamente conectada a la tierra. Nunca trabaje en un área húmeda.
5. Apagar la máquina soldadora antes de hacer reparaciones o ajustes, para evitar choques.
6. Proteja a otros con una pantalla y a usted mismo con un escudo protector. Las chispas volantes representan un peligro para sus ojos. Los rayos del arco también pueden causar quemaduras dolorosas.
7. Siempre procure tener equipo extinguidor de fuego al fácil alcance en todo momento.

### 5.2.2.2 Para Limpiar el Material por Soldar

Limpie pintura, polvo o cualquier otro cuerpo extraño de las juntas del metal por soldar. Asegúrese también que los metales estén libres de aceite.

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA



Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster como medio replicante.

Una vez revisadas todas las reglas de seguridad y limpieza del metal por soldar, proceder a soldar las piezas.



**Gráfico 21. Soldadura de las probetas.**

Fuente: Autor

Una vez terminado el proceso de soldadura dejar enfriar el cordón; a continuación retirar la escoria de éste.



**Gráfico 22. Limpieza del cordón de soldadura**

Fuente: Autor

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



### 5.3 Selección y preparación metalográfica de la superficie de análisis

Seleccionar una superficie de análisis:



**Gráfico 23. Selección de la superficie de análisis**

Fuente: Autor

Para la preparación metalográfica de la superficie seleccionada se deberán seguir los siguientes pasos:

#### 5.3.1 Desbastado de la superficie

El desbastado de la superficie se llevará a cabo cuando se tenga la presencia de oxidación, o cualquier proceso químico que deje depósitos de sales para lo cual es necesario utilizar una *amoladora portátil* para eliminar estas capas de metal degradado que no permiten observar la microestructura real del componente.

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



**Gráfico 24. Amoladora portátil**

Fuente: Autor

### 5.3.2 Pulido grueso

Una vez concluida la etapa de desbaste grosero (amolado), se empieza un pulido grueso con la hoja de lija #240, la etapa de pulido grueso debe durar el tiempo suficiente para extraer toda la deformación abrasiva. En la práctica con 1 minuto de pulido bastaría para asegurarse la eliminación de la deformación del papel anterior, pero eso dependerá de la habilidad del operador.

### 5.3.3 Pulido Intermedio

Luego del pulido grueso, pasar sobre la superficie de análisis la hoja de lija #320, posteriormente la #400 y #600; las cuales son lijas que contienen abrasivos finos. Antes de pulir con la siguiente lija se debe girar 90° en el sentido de lijado, a fin de eliminar el rayado realizado con la lija anterior. Estas operaciones de pulido intermedio se hacen en húmedo

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



**Gráfico 25. Desbastado de la superficie**

Fuente: Autor

#### 5.3.4 Pulido Fino

El pulido fino se realiza mediante un disco giratorio cubierto con un paño especial, húmedo, cargado con partículas abrasivas, como es el óxido de aluminio (Alúmina Alpha  $1\mu\text{m}$ ). Una vez concluido este paso se deberá tener una superficie brillante libre de rayas.



**Gráfico 26. Pulido fino**

Fuente: Autor

|  |       |         |         |
|--|-------|---------|---------|
| <b>5.4 Ataque químico de la superficie y secado.</b> |       | Nombre  | Nombre  |
|  |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION  | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECÁNICA



Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster como medio replicante.

Una vez lista la superficie se procede al ataque químico, con el reactivo Nital 4, el cual permite poner en evidencia la estructura del metal.

El ataque químico puede hacerse colocando una gota del reactivo sobre la superficie de la muestra (cara pulida), o pasar sobre la cara pulida un algodón embebido en dicho reactivo.

Luego se rocía la superficie con agua para detener el ataque, y se seca en una corriente de aire. Revisar visualmente que la superficie que será analizada no esté quemada por un excesivo tiempo de ataque.



**Gráfico 27. Ataque químico**

Fuente: Autor

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |





### 5.5 Operación de replicado

Preparar la mezcla replicante; Resina Poliéster, catalizador (meck o peróxido) y acelerante (cobalto). Los componentes de la mezcla replicante se deben mezclar como sigue:

Tomar 3 ml de Resina Poliéster:



**Gráfico 28. Dosificación de la Resina poliéster**

Fuente: Autor

Mezclar la Resina con 1ml de acelerante y mezclar.



**Gráfico 29. Adición del acelerante (cobalto)**

Fuente: Autor

|             |       |         |         |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Nombre  | Nombre  |
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |



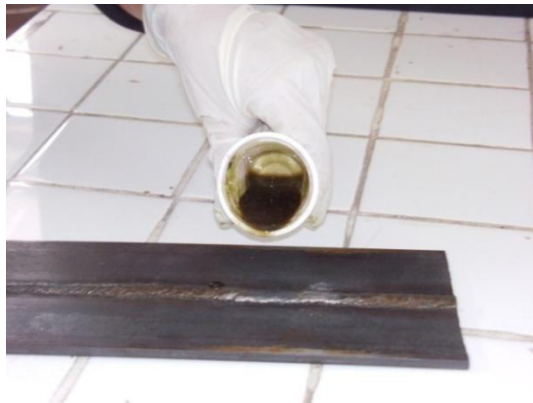
A la mezcla anterior añadir 1 ml de catalizador.



**Gráfico 30. Adición catalizador (Peróxido o MEK)**

Fuente: Autor

Inmediatamente luego de haber realizado la mezcla colocar una fina película de ésta mezcla sobre la superficie preparada anteriormente;



**Gráfico 31. Aplicación del medio replicante.**

Fuente: Autor

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |





UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y MECANICA  
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA



Procedimiento para la obtención de réplicas metalográficas usando Resina Poliéster como medio replicante.

Esperar a que la Resina Poliéster se seque, mientras ésta se seca, se registraran los datos de: temperatura ambiente, velocidad de viento y radiación solar.

Pasado el tiempo de secado (19 a 25 minutos) el cual también debe ser registrado, se procede a la extracción de la réplica de la superficie de análisis.

### 5.6 Evaluación y resultado

Una vez obtenida la réplica con el uso del microscopio metalográfico analizar y evaluar la microestructura obtenida en la misma. El tamaño de grano debe ser analizado bajo la norma ASTM E112 (Anexo B2)

|             |       | Nombre  | Nombre  |
|-------------|-------|---------|---------|
|             |       | Firma   | Firma   |
| DESCRIPCION | FECHA | ELABORO | APRUEBA |

## 6.8 ADMINISTRACIÓN.

En esta sección se redacta en una tabla con los valores económicos, los cuales se presentaron durante el desarrollo de ésta investigación:

**Tabla 13. Costo total de la investigación.**

| CANTIDAD                   | DETALLE  | PRECIO UNITARIO (\$) | TOTAL (\$) |
|----------------------------|--|----------------------|------------|
| <b>RECURSOS MATERIALES</b> |  |                      |            |
| 1                          | Platina de acero ASTM A36 (1/8 x 1 ")          | 8,3                  | 8,3        |
| 1                          | Kilo de electrodo AGA 6011 de 3/32             | 2,2                  | 2,2        |
| 2                          | Platina de acero ASTM A36 (1/4 x 1 ")          | 12,5                 | 25         |
| 2                          | Kilo de electrodo AGA 6011 de 3/32             | 3,54                 | 7,08       |
| 1                          | Hoja de sierra para metal                      | 0,5                  | 0,5        |
| 1                          | Mascara para soldar de vidrio levantable       | 6,2                  | 6,2        |
| 1                          | Lima de media caña (fina)                      | 2,05                 | 2,05       |
| 6                          | Pliegos de lija N° 240                         | 0,6                  | 3,6        |
| 6                          | Pliegos de lija N° 320                         | 0,6                  | 3,6        |
| 6                          | Pliegos de lija N° 400                         | 0,6                  | 3,6        |
| 6                          | Pliegos de lija N° 600                         | 0,6                  | 3,6        |
| 1                          | Corte de paño metalográfico (aprox 15 pliegos) | 24                   | 24         |
| 1                          | Libra de alúmina                               | 150                  | 150        |
| 1                          | Pulidora manual Black Decker 6´                | 50,8                 | 50,8       |
| 1                          | Frasco de Reactivo Nital 4 – 4ml NHO3          | 10                   | 10         |
| 1                          | Lupa   | 5,3                  | 5,3        |
| 2                          | Pega epoxi alta resistencia                    | 5,75                 | 11,5       |
| 2                          | Pega epoxi alta resistencia para metales       | 5,27                 | 10,54      |
| 2                          | Super caucho blanco 1/16 Indualca (pintura)    | 1,67                 | 3,34       |
| 2                          | Sellante polipropileno 50cc                    | 4,28                 | 8,56       |
| 2                          | Sellante asfáltico IMPTEKSEAL CHOVA            | 5,06                 | 10,12      |
| 2                          | Silicón ABRO rojo alta temperatura             | 2,29                 | 4,58       |
| 2                          | Silicón transparente de uso general            | 2,35                 | 4,7        |
| 1                          | Pistola de silicón para trabajo en frio        | 4,3                  | 4,3        |
| 2                          | Protector Silicón UV3 300cc CITRUS             | 3,91                 | 7,82       |
| 2                          | Masilla epoxi Rally 50gr                       | 1,59                 | 3,18       |
| 2                          | Kilogramos de Resina Poliester color café      | 3,21                 | 6,42       |

|                            |  |                     |          |
|----------------------------|--|---------------------|----------|
| 3                          | Frascos de 60cc de catalizador para resina (Meck peróxido) | 0,49                | 1,47     |
| 3                          | Frascos de 60cc de cobalto para resina                     | 1,34                | 4,02     |
| 1                          | Kilo de Resina microligante 754                            | 2,85                | 2,85     |
| 1                          | Kilo de Resina de impregnación                             | 3,4                 | 3,4      |
| 3                          | Frasco de vinagre blanco de 100ml                          | 0,3                 | 0,9      |
| 6                          | Docenas de recipientes para realizar mezclas               | 0,7                 | 4,2      |
| 6                          | Docenas de cucharitas para mezclar                         | 0,5                 | 3        |
| 1                          | Kilo de leche de caucho                                    | 5,8                 | 5,8      |
| 1                          | Kilogramos de Resina Poliester transparente                | 3,95                | 3,95     |
| 1                          | Kilogramos de Resina Poliester preacelerada                | 4,1                 | 4,1      |
| 1                          | Kilogramo de talco chino                                   | 1,85                | 1,85     |
| 1                          | Kilogramo de pigmento negro líquido para Resina Poliéster  | 5,66                | 5,66     |
| 1                          | Kilogramo de pigmento negro en pasta para Resina Poliéster | 15,5                | 15,5     |
| 1                          | Kilogramo de Caucho de silicón                             | 34,6                | 34,6     |
| 1                          | Frasco de 60cc de catalizador para caucho de silicón       | 6,6                 | 6,6      |
| 1                          | Frasco de 10ml de goma blanca                              | 0,3                 | 0,3      |
| 6                          | Barras de silicón para trabajo en caliente                 | 0,35                | 2,1      |
| 1                          | Pistola de Silicón para trabajo en caliente                | 7,9                 | 7,9      |
|                            |  | TOTAL               | 489,09   |
| <b>RECURSOS ECONOMICOS</b> |  |                     |          |
|                            | Transporte   | 250                 | 250      |
|                            | Material de Escritorio                                     | 150                 | 150      |
| 500                        | Impresiones  | 0,2                 | 100      |
| 3                          | Empastados   | 9                   | 27       |
|                            | Derecho de tutor   | 140                 | 140      |
|                            |  | <b>SUB-TOTAL</b>    | 1156,09  |
|                            |  | IMPREVISTOS<br>10%  | 115,609  |
|                            |  | <b>TOTAL GASTOS</b> | 1271,699 |

Fuente: Autor

## **6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

Una vez realizado el trabajo de investigación, el mismo que fue realizado en su totalidad en el laboratorio de la carrera de Ingeniería Mecánica la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi, se sugiere tomar en cuenta todas las conclusiones y recomendaciones presentes en éste trabajo, a fin de prevenir inconvenientes al momento de realizarse este tipo de ensayo.

Adicionalmente se sugiere una investigación posterior a este trabajo, en la cual se investigue la aplicabilidad de la propuesta de esta investigación a otro tipo de juntas o materiales.

## 1. Bibliografía

- PERRY, Roberth, (2001), Manual del Ingeniero Químico, Fareso. España.
- RUBIN, Irvin, (2004), Materiales Plásticos Propiedades y Aplicaciones, Noriega. México, México D.F.
- Autores Varios, (2004). “ASM Handbook for Materials Research and Engineering, Tomo 2 : Applications”, Metallography and Microstructures
- KALPAKJIAN, Scrope, (2002). Manufactura Ingeniería y Tecnología. Pearson Educación. México, México D.F.
- Tesis: Ing. SALÁN Luis, (2010) “Análisis metalográfico no destructivo mediante réplicas para evaluar la microestructura en uniones soldadas de acero A36 – posición 1G”, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato.
- Tecn. VENANCIO, Yohanka, Lic. ORIA, Víctor (2004) “Caracterización de uniones soldadas de aceros disímiles mediante Replicas Metalográficas”, Centro de Investigaciones de Soldadura. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas.
- SMITH, William, (2005). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Concepción Fernández. España, Madrid.

- GALLEGO, Francisco, (2002). Resina Poliéster, Elaboración y diseño en formato PDF, por la Oficina General del Sistema de Bibliotecas y Biblioteca Central UNMSM

### **Páginas web**

- [http://www.aaende.org.ar/aaende\\_end/material/099.pdf](http://www.aaende.org.ar/aaende_end/material/099.pdf)
- [http://soldadura.org.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=187:soldabilidad-de-los-aceros&catid=20:investigacion-desarrollo&Itemid=70](http://soldadura.org.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=187:soldabilidad-de-los-aceros&catid=20:investigacion-desarrollo&Itemid=70)
- [http://www.laboratorio.de.metalografia.y.soldadura\\_UNIVERSIDAD\\_NACIONAL\\_DEL\\_COMAHUE.1972DiegoM.Seiro](http://www.laboratorio.de.metalografia.y.soldadura_UNIVERSIDAD_NACIONAL_DEL_COMAHUE.1972DiegoM.Seiro)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Silicona>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Pintura\\_acr%C3%ADlica](http://es.wikipedia.org/wiki/Pintura_acr%C3%ADlica)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster\\_%28pol%C3%ADmero%29](http://es.wikipedia.org/wiki/Poli%C3%A9ster_%28pol%C3%ADmero%29)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopl%C3%A1stico>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Polietileno>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Polipropileno>
- <http://pslc.ws/spanish/plastic.htm>
- <http://html.rincondelvago.com/polimeros-termoplasticos.html>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico\\_termoestable](http://es.wikipedia.org/wiki/Pl%C3%A1stico_termoestable)
- <http://www.monografias.com/trabajos/plastitermoe/plastitermoe.shtml>
- <http://www.mailxmail.com/curso-replicas-metalograficas-1/pasos-seguir-obtener-replica-metalografica-1>
- <http://gyninspecciones.com/servicios.html>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Poliestireno>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Nylon>
- <http://www.aaende.org.ar/sitio/biblioteca/material/CORENSOLARI.pdf>

- <http://www.slideshare.net/diales/ensayo-de-uniones-soldadas>
- <http://gyninspecciones.com/servicios.html>
- <http://www.scribd.com/doc/23285784/mt-2285-20-guia>
- <http://www.scribd.com/doc/24453211/Principios-de-La-Tecnologia-de-END-Omar-Quintero-Sayago>
- <http://personal.iddeo.es/javiarias/pintura.htm>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Polimetilmetacrilato>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Policloruro\\_de\\_vinilo](http://es.wikipedia.org/wiki/Policloruro_de_vinilo)
- [http://www.construmatica.com/construpedia/Pintura\\_PI%C3%A1stica](http://www.construmatica.com/construpedia/Pintura_PI%C3%A1stica)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Acetato\\_de\\_polivinilo](http://es.wikipedia.org/wiki/Acetato_de_polivinilo)
- [http://www.construmatica.com/construpedia/Pintura\\_PI%C3%A1stica](http://www.construmatica.com/construpedia/Pintura_PI%C3%A1stica)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Politereftalato\\_de\\_etileno](http://es.wikipedia.org/wiki/Politereftalato_de_etileno)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Tefl%C3%B3n>

**ANEXOS**



# **ANEXO A**

# ANEXO A1

## AWS D1.1

SECTION 3. PREQUALIFICATION OF WPSs

AWS D1.1/D1.1M:2004

See Notes on Page 72

| Square-groove weld (1)<br>Butt joint (B) |                      |   |                |                         |                             |                           |                                 |                       |       |
|--|----------------------|---|----------------|-------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------|-------|
|  |                      | Base Metal Thickness<br>(U = unlimited) |                | Groove Preparation      |                             |                           | Allowed<br>Welding<br>Positions | Weld Size<br>(E)      | Notes |
| Welding<br>Process                       | Joint<br>Designation | T <sub>1</sub>                          | T <sub>2</sub> | Root Opening            | Tolerances                  |                           |                                 |                       |       |
|  |                      |   |                |                         | As Detailed<br>(see 3.12.3) | As Fit-Up<br>(see 3.12.3) |                                 |                       |       |
| SMAW                                     | B-P1a                | 1/8                                     | —              | R = 0 to 1/16           | +1/16, -0                   | ±1/16                     | All                             | T <sub>1</sub> - 1/32 | 2, 5  |
|  | B-P1c                | 1/4 max                                 | —              | R = $\frac{T_1}{2}$ min | +1/16, -0                   | ±1/16                     | All                             | $\frac{T_1}{2}$       | 2, 5  |

| Square-groove weld (1)<br>Butt joint (B) |                      |   |                |                     |                             |                           |                                 |  |       |
|--|----------------------|---|----------------|---------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|-------|
|  |                      | Base Metal Thickness<br>(U = unlimited) |                | Groove Preparation  |                             |                           | Allowed<br>Welding<br>Positions | Total<br>Weld Size<br>(E <sub>1</sub> + E <sub>2</sub> ) | Notes |
| Welding<br>Process                       | Joint<br>Designation | T <sub>1</sub>                          | T <sub>2</sub> | Root Opening        | Tolerances                  |                           |                                 |  |       |
|  |                      |   |                |                     | As Detailed<br>(see 3.12.3) | As Fit-Up<br>(see 3.12.3) |                                 |  |       |
| SMAW                                     | B-P1b                | 1/4 max                                 | —              | R = $\frac{T_1}{2}$ | +1/16, -0                   | ±1/16                     | All                             | $\frac{3T_1}{4}$   | 5     |

Figure 3.3—Prequalified PJP Groove Welded Joint Details (see 3.12) (Dimensions in Inches)

## ANEXO A2

### NORMA AWS A5.11 (SPECIFICATION FOR COVERED CARBON STEEL ARC WELDING ELECTRODOS)

**Table 10**  
**Requirements for preparation of fillet weld test assemblies**

| AWS<br>Classification | Electrode size      |                    | Plate size <sup>a</sup> |    |            |    |                               |          | Position of<br>welding | Size of fillet weld |    |
|-----------------------|---------------------|--------------------|-------------------------|----|------------|----|-------------------------------|----------|------------------------|---------------------|----|
|                       |                     |                    | Thickness (T)           |    | Width, min |    | Length <sup>b</sup> , min (L) |          |                        |                     |    |
|                       | in.                 | mm                 | in.                     | mm | in.        | mm | in.                           | mm       |                        | in.                 | mm |
| E6010 and<br>E6011    | 3/32 & 1/8          | 2.4 & 3.2          | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   | -  |
|                       | 5/32                | 4.0                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | V and OH | 1/4 max                | 6.4                 |    |
|                       | 3/16                | 4.8                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | V and OH | 5/16 max               | 8.0                 |    |
|                       | 7/32                | 5.6                | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 1/4                 | 6.4                | 1/2 12.7                | 3  | 75         | 18 | 450                           | H        | 1/4 min                | 6.4                 |    |
|                       | 5/16                | 8.0                | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
| E6012 and<br>E6013    | 1/16 to 1/8 (incl.) | 1.6 to 3.2 (incl.) | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 5/32                | 4.0                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | V and OH | 1/4 max                | 6.4                 |    |
|                       | 3/16                | 4.8                | 1/2 12.7                | 3  | 75         | 12 | 300                           | V and OH | 3/8 max                | 9.5                 |    |
|                       | 7/32                | 5.6                | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 1/4                 | 6.4                | 1/2 12.7                | 3  | 75         | 18 | 450                           | H        | 5/16 min               | 8.0                 |    |
|                       | 5/16                | 8.0                | 1/2 12.7                | 3  | 75         | 18 | 450                           | H        | 5/16 min               | 8.0                 |    |
| E7014                 | 3/32 & 1/8          | 2.4 & 3.2          | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 5/32                | 4.0                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | V and OH | 5/16 max               | 8.0                 |    |
|                       | 3/16                | 4.8                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | H        | 1/4 min                | 6.4                 |    |
|                       | 7/32                | 5.6                | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 1/4                 | 6.4                | 1/2 12.7                | 3  | 75         | 18 | 450                           | H        | 5/16 min               | 8.0                 |    |
|                       | 5/16                | 8.0                | 1/2 12.7                | 3  | 75         | 18 | 450                           | H        | 5/16 min               | 8.0                 |    |
| E7015 and<br>E7016    | 3/32 & 1/8          | 2.4 & 3.2          | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 5/32                | 4.0                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | V and OH | 5/16 max               | 8.0                 |    |
|                       | 3/16                | 4.8                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | H        | 3/16 min               | 4.8                 |    |
|                       | 7/32                | 5.6                | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 1/4                 | 6.4                | 1/2 12.7                | 3  | 75         | 18 | 450                           | H        | 5/16 min               | 8.0                 |    |
|                       | 5/16                | 8.0                | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
| E7018                 | 3/32 & 1/8          | 2.4 & 3.2          | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 5/32                | 4.0                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | V and OH | 5/16 max               | 8.0                 |    |
|                       | 3/16                | 4.8                | 3/8 9.5                 | 3  | 75         | 12 | 300                           | H        | 1/4 min                | 6.4                 |    |
|                       | 7/32                | 5.6                | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |
|                       | 1/4                 | 6.4                | 1/2 12.7                | 3  | 75         | 18 | 450                           | H        | 5/16 min               | 8.0                 |    |
|                       | 5/16                | 8.0                | Not required            | -  | -          | -  | -                             | -        | -                      | -                   |    |

## ANEXO A3

### Recomendaciones para soldar principales aceros estructurales.

| Norma o Especific. | Designación el Acero | Clasificación de los electrodos según AWS |       |       |       |           |             |           |            |                  |             | Precalentamiento recomendado °C |
|--------------------|----------------------|---|-------|-------|-------|-----------|-------------|-----------|------------|------------------|-------------|---------------------------------|
|                    |                      | E6010                                     | E6011 | E6012 | E6013 | E6027 (*) | E7014 (***) | E7024 (*) | E7018 (**) | E7018 (**)<br>A1 | E8016<br>C1 |                                 |
| 203 Of 78          | A42-27ES             | •   | •     | •     | •     | •         | •           | •         | •          |                  |             | 90-150                          |
|                    | A52-34ES             |   |       |       |       |           |             |           | •          |                  | •           | 90-150                          |
| ASTM               | A36                  | •   | •     | •     | •     | •         | •           | •         | •          |                  |             | 90-150                          |
| SAE o AISI         | 1010 al 1020         | •   | •     | •     | •     | •         | •           | •         | •          | •                |             | Sobre 90                        |
|                    | 1033 al 1045         |   |       |       |       |           |             |           | •          |                  | •           | 150-260                         |

(\*) Posición a soldar; Plana, horizontal y Filete

(\*\*) Electrodo con bajo Hidrógeno

(\*\*\*) Electrodo con contenido de Carbono 0,08%

A1 Electrodo de acero con 0,5% de Molibdeno

C1 Electrodo de acero con 2,5% de Niquel y 1,2% de Manganeso.

**Fuente: Compendio de normas para productos de acero GERDAU AZA**

## ANEXO A4

**INDURA**

**INDURA PUNTO AZUL**

*Clasificación AWS: E-6011*

¥ Electrodo para acero al carbono  
 ¥ Corriente alterna  
 ¥ Revestimiento: Blanco  
 ¥ Con hierro en polvo

¥ Punto: Azul  
 ¥ Toda posición  
 ¥ Corriente continua. Electrodo positivo

### Descripción

El nuevo Punto Azul posee una formulación moderna capaz de brindar las más altas exigencias de trabajo.

Su arco suave y estable lo hace de fácil aplicación, en cualquier posición, logrando óptima calidad en la unión.

Esta nueva fórmula entrega además las siguientes características:

1. Alta velocidad de soldadura
2. Depósitos lisos
3. Bajo chisporroteo
4. Bajo índice de humos
5. Fácil remoción de escoria
6. Excelente penetración

### Usos

Es un electrodo de uso general en aceros dulces, especialmente cuando es necesario soldar chapas y perfiles delgados.

### Aplicaciones típicas

- Marcos de ventana
- Fabricación de rejillas
- Estanques
- Planchas galvanizadas
- Estructuras
- Reparaciones generales

### Procedimiento para soldar

Debe seguirse el mismo procedimiento utilizado para soldar un electrodo E-6010 ó E-6011.

### Composición química (típica) del metal depositado:

C 0,10%; Mn 0,55%; P 0,01%; S 0,02%; Si 0,25%

### Características típicas del metal depositado:

| Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte (según norma AWS: A5.1-91): | Requerimientos según norma AWS: A5.1-91: |
|---|--|
| Resistencia a la tracción : 72.100 lb/pulg <sup>2</sup> (497 MPa)                             | 60.000 lb/pulg <sup>2</sup> (414 MPa)    |
| Límite de fluencia : 55.000 lb/pulg <sup>2</sup> (381 MPa)                                    | 48.000 lb/pulg <sup>2</sup> (331 MPa)    |
| Alargamiento en 50 mm. : 29%  | 22%                                      |

### Amperajes recomendados:

| Diámetro pulg. | Electrodo mm. | Longitud pulg. | Electrodo mm. | Amperaje |      | Electrodos x kg. aprox. |
|----------------|---------------|----------------|---------------|----------|------|-------------------------|
|                |               |                |               | min.     | máx. |                         |
| 3/32           | 2,4           | 12             | 300           | 50       | 90   | 70                      |
| 1/8            | 3,2           | 14             | 350           | 80       | 130  | 35                      |
| 5/32           | 4,0           | 14             | 350           | 120      | 160  | 25                      |
| 3/16           | 4,8           | 14             | 350           | 140      | 220  | 17                      |

**Propiedades Mecánicas (Valores típicos)**

| Electrodos<br>INDURA | PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL DEPOSITADO |                       |                   |                       |                       |
|----------------------|--|-----------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
|                      | Resist. a la tracción                      |                       | Punto de fluencia |                       | Alargam.<br>en 2" (%) |
|                      | MPa  | lbs/pulg <sup>2</sup> | MPa               | lbs/pulg <sup>2</sup> |                       |
| 6010                 | 500  | 72.500                | 441               | 64.000                | 26                    |
| 230                  | 461  | 68.800                | 412               | 59.700                | 28                    |
| 230-S                | 453  | 65.700                | 384               | 55.600                | 29                    |
| Punto Azul           | 497  | 72.100                | 381               | 55.000                | 29                    |
| Punto Verde          | 500  | 72.500                | 380               | 55.100                | 30                    |
| 6011                 | 493  | 71.500                | 420               | 61.000                | 30                    |
| 90                   | 503  | 73.000                | 474               | 68.500                | 24                    |
| Facilarc 15          | 489  | 71.000                | 387               | 56.000                | 28                    |
| Facilarc 14          | 535  | 77.600                | 455               | 66.000                | 25                    |
| Facilarc 13          | 562  | 81.500                | 421               | 61.000                | 24                    |
| Facilarc 12          | 562  | 81.500                | 421               | 61.000                | 24                    |
| 8010-G               | 610  | 88.500                | 540               | 78.200                | 25                    |
| 7010-A1              | 551  | 80.000                | 462               | 67.000                | 29                    |
| 7011-A1              | 538  | 78.000                | 414               | 60.000                | 29                    |
| 7016                 | 508  | 74.000                | 426               | 62.000                | 30                    |
| 7018-RH              | 505  | 73.000                | 437               | 63.390                | 30                    |
| 7018-A1              | 559  | 81.000                | 492               | 71.000                | 30                    |
| 8016-C1              | 565  | 82.000                | 476               | 69.000                | 31                    |
| 8016-B2              | 579  | 84.000                | 469               | 68.000                | 28                    |
| 8018-B2              | 614  | 89.000                | 538               | 78.000                | 26                    |
| 8018-C1              | 573  | 83.000                | 503               | 73.000                | 30                    |
| 8018-C3              | 573  | 83.000                | 496               | 72.000                | 31                    |
| 8018-G               | 607  | 88.000                | 524               | 76.000                | 25                    |
| 9016-B3              | 648  | 94.000                | 602               | 87.400                | 23                    |
| 9018-M               | 672  | 97.400                | 579               | 84.000                | 25                    |
| 10018-M              | 710  | 103.000               | 662               | 96.000                | 23                    |
| 11018-M              | 780  | 113.000               | 717               | 104.000               | 23                    |
| 19-9                 | 621  | 90.000                | -                 | -                     | 42                    |
| 308-L                | 640  | 92.700                | -                 | -                     | 44                    |
| 309-L                | 594  | 86.000                | -                 | -                     | 40                    |
| 309-Mo               | 622  | 90.100                | -                 | -                     | 37                    |
| 25-20                | 623  | 91.000                | -                 | -                     | 36                    |
| 29-9                 | 632  | 120.000               | -                 | -                     | 36                    |
| 18-12 Mo             | 638  | 92.400                | -                 | -                     | 38                    |
| 316-L                | 579  | 83.900                | -                 | -                     | 41                    |
| 347                  | 751  | 109.000               | -                 | -                     | 35                    |
| 317-L                | 594  | 86.200                | -                 | -                     | 38                    |
| Nicromo 3            | 773  | 112.000               | -                 | -                     | 27                    |
| 410-NiMo             | 746  | 110.000               | -                 | -                     | 17                    |
| 502                  | 441  | 64.000                | -                 | -                     | 22                    |
| 904-L                | 621  | 90.000                | -                 | -                     | 40                    |
| 77                   | -  | -                     | -                 | -                     | -                     |
| 375                  | -  | -                     | -                 | -                     | -                     |
| 70                   | 276  | 40.000                | -                 | -                     | 22                    |
| Timang               |  |                       |                   |                       |                       |

Dureza: depósito 46-55 Rc después de trabajar

**Fuente: Catalogo de INDURA**

# ANEXO A5

## ACERO A 36

**TABLE 2 Chemical Requirements**

NOTE 1— Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

| Product                                       | Shapes <sup>A</sup>   |  | Plates <sup>B</sup>                     |   |                 |                       | Bars                                   |                                   |                 |
|---|-----------------------|--|---|---|-----------------|-----------------------|--|-----------------------------------|-----------------|
|   | To ¾<br>[20],<br>incl | Over ¾<br>to 1½<br>[20 to 40],<br>incl | Over 1½<br>to 2½<br>[40 to 65],<br>incl | Over 2½<br>to 4<br>[65 to 100],<br>incl | Over 4<br>[100] | To ¾<br>[20],<br>incl | Over ¾<br>to 1½<br>[20 to 40],<br>incl | Over 1½<br>to 4<br>[100],<br>incl | Over 4<br>[100] |
| Thickness, in. [mm]                           | All                   |  |   |   |                 |                       |  |                                   |                 |
| Carbon, max, %                                | 0.26                  | 0.25                                   | 0.26                                    | 0.27                                    | 0.29            | 0.26                  | 0.27                                   | 0.28                              | 0.29            |
| Manganese, %                                  | ...                   | 0.80–1.20                              | 0.80–1.20                               | 0.85–1.20                               | 0.85–1.20       | ...                   | 0.60–0.90                              | 0.60–0.90                         | 0.60–0.90       |
| Phosphorus, max, %                            | 0.04                  | 0.04                                   | 0.04                                    | 0.04                                    | 0.04            | 0.04                  | 0.04                                   | 0.04                              | 0.04            |
| Sulfur, max, %                                | 0.05                  | 0.05                                   | 0.05                                    | 0.05                                    | 0.05            | 0.05                  | 0.05                                   | 0.05                              | 0.05            |
| Silicon, %                                    | 0.40 max              | 0.40 max                               | 0.15–0.40                               | 0.15–0.40                               | 0.15–0.40       | 0.40 max              | 0.40 max                               | 0.40 max                          | 0.40 max        |
| Copper, min, % when copper steel is specified | 0.20                  | 0.20                                   | 0.20                                    | 0.20                                    | 0.20            | 0.20                  | 0.20                                   | 0.20                              | 0.20            |

<sup>A</sup> Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lb/ft [634 kg/m].

<sup>B</sup> For each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

## ANEXO A6

### Comparación de propiedades mecánicas de aceros ASTM A36 Y A42-27ES.

| Características  | Espesor, e al que se aplica, mm                         |          | Unidad de medida (*)    | Grados de aceros      |                       |
|--|---|----------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|
|  | A42-27ES  | ASTM A36 |                         | A42-27ES              | ASTM A36              |
| Resistencia a la Tracción, $R_m$                                   | Todos   | (**)     | Kgf/mm <sup>2</sup>     | $42 \leq R_m \leq 52$ | $41 \leq R_m \leq 56$ |
| Límite de Fluencia mínimo, $R_e$                                   | $e \leq 16$   | (**)     | Kgf/mm <sup>2</sup>     | 27                    | 25                    |
| Alargamiento Porcentual de Rotura, A, en Probetas de $L_0 = 50$ mm | $e \leq 5$<br>$5 \leq e \leq 16$<br>$16 \leq e \leq 50$ | (**)     | % mín<br>% mín<br>% mín | 22<br>20<br>18        | 19                    |

\* De acuerdo con NCh 22,  $1 \text{ Kgf/mm}^2 = 9,80665 \text{ MPa}$

\*\* Para perfiles de sección inferior a  $645 \text{ mm}^2$ , o barras de diámetro inferior a 13 mm, no se exige ensayo de tracción al fabricante.

**Fuente: Compendio de normas para productos de acero GERDAU AZA**



# **ANEXO B**

# ANEXO B1

## NORMA ASTM E1351-96 (EVALUACIÓN METALGRÁFICA POR RÉPLICAS)



Designation: E 1351 – 96

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS  
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428  
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

### Standard Practice for Production and Evaluation of Field Metallographic Replicas<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 1351; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

#### INTRODUCTION

Replication is a nondestructive sampling procedure which records and preserves the topography of a metallographic specimen as a negative relief on a plastic film. The microstructural replica can be examined using a light microscope (LM) or scanning electron microscope (SEM) for subsequent analysis. Specimens examined in the SEM are vacuum coated with vaporized carbon or a suitable metal to provide contrast and conductivity. The convenience of the replication process makes it suitable for obtaining microstructures from field locations for subsequent examination and analysis in a laboratory. The proper preparation of the test surface and of the replica itself is of paramount importance and must receive careful attention. Because of the diversity of metallographic equipment available and the wide range of environments in which replication is conducted, the preparation of replicas of high quality should be viewed as a skilled process for which there exists a variety of techniques that achieve satisfactory results.

This practice presents some guidelines on the preparation of metallic surfaces and production of replicas and guidelines on evaluation of replica quality. It does not attempt to limit the variations in technique developed by skilled metallographers, each of which may produce acceptable replicas.

#### 1. Scope

1.1 This practice covers recognized methods for the preparation and evaluation of cellulose acetate or plastic film replicas which have been obtained from metallographically prepared surfaces. It is designed for the evaluation of replicas to ensure that all significant features of a metallographically prepared surface have been duplicated and preserved on the replica with sufficient detail to permit both LM and SEM examination with optimum resolution and sensitivity.

1.2 This practice may be used as a controlling document in commercial situations.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units given in parentheses are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### 2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*  
A 335/A 335M Specification for Seamless Ferritic Alloy-

Steel Pipe for High-Temperature Service<sup>2</sup>

E 3 Methods of Preparation of Metallographic Specimens<sup>3</sup>

E 7 Terminology Relating to Metallography<sup>3</sup>

E 407 Practice for Microetching Metals and Alloys<sup>3</sup>

#### 3. Terminology

3.1 Definitions—For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology E 7.

#### 4. Significance and Use

4.1 Replication is a nondestructive sampling procedure that records and preserves the topography of a metallographically prepared surface as a negative relief on a plastic film (replica). The replica permits the examination and analysis of the metallographically prepared surface on the LM or SEM.

4.2 Enhancement procedures for improving replica contrast for microscopic examination are utilized and sometimes necessary (see 8.1).

NOTE 1—It is recommended that the purchaser of a field replication service specify that each replicator demonstrate proficiency by providing field prepared replica metallography and direct LM and SEM comparison to laboratory prepared samples of an identical material by grade and service exposure.

#### 5. Evaluation Methods

5.1 A suitable replica should accurately reproduce all the

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Selection and Preparation of Samples.

Current edition approved Oct. 10, 1996. Published December 1996. Originally published as E 1351 – 90. Last previous edition E 1351 – 90.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 01.01.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

microstructural features present on the surface that was replicated.

5.2 No visible loss of resolution is permitted over the normal range of magnifications on the LM as shown in Figs. 1-3.

5.3 The resolution of the structural detail in the replica should exceed  $0.1\ \mu\text{m}$  to permit SEM examination at high magnifications (up to  $5000\times$ ). See Figs. 4-6.

## 6. Metal Surface Preparation

6.1 If magnetic particle testing was previously used on the work-piece, demagnetize the piece before beginning surface preparation.

6.2 Surface preparation may be accomplished using manual, mechanical, or electrolytic polishing methods.

NOTE 2—Electrolytic preparation always carries the risk of pitting, and of enlarging existing voids such as creep cavities and porosity.

6.3 Prepare the surface to be replicated using the methods suggested in Methods E 3 modified for field use, as appropriate, in such a way as to obtain a surface free of deformation, scratches, polishing defects, etch pits, and other artifacts which may obscure the true microstructural features.

NOTE 3—The presence of decarburization can be detected with a portable hardness tester during the grinding steps. Further grinding to reach a surface free of decarburization can be monitored with the hardness tester. A replica may also be made on the decarburized surface, if it serves the purpose of the investigation.

6.4 Do not remove any precipitates, carbides, nonmetallic inclusions such as oxides and sulfides during the polishing or etching operations.

6.5 Etching procedures for surface metallographic examination should be performed in accordance with Practice E 407.

6.6 The quality of the surface preparation should be controlled by the use of a portable field microscope.

6.7 To prevent possible contamination of any components, the etched area should be prepared carefully and thoroughly washed after replication.

## 7. Replication Technique

7.1 In general, a replicated area of 12 by 18 mm (0.5 by 0.75 in.) is satisfactory.

7.2 A replica is produced by one of the two methods described below. Both methods produce acceptable replicas.

7.2.1 A replica may be produced by wetting one side of a sheet of plastic film with a suitable solvent, such as acetone or methyl acetate, and applying the wetted side of the film to the prepared metal surface.

7.2.2 Alternatively, a replica may be produced by wetting the prepared metallic surface with a suitable solvent, such as acetone or methyl acetate, and applying the strip of plastic film (usually cellulose acetate) to the wet surface. The film is pressed against the surface for several seconds to ensure adherence.

7.3 The replica shall be prepared as soon as possible after specimen preparation of the original surface is completed, to minimize transfer of post-preparation oxidation and contamination to the replicating film.

7.4 After the film has dried, remove the replica and permanently mount on a rigid slide to facilitate analysis of the replica and to protect it from damage during subsequent transport and storage. The mounting may be accomplished using a double-sided adhesive tape, either applied to the back side of the dried replica film while it remains on the prepared surface or applied to the slide before transferring the replica on the tape surface. Using the rounded end of a glass rod to apply the replica on the tape is usually beneficial in reducing air bubbles and ensuring a flat replica. Some metallographers prefer to coat the back side of the replica with an opaque substance such as black paint or ink prior to applying tape to improve the contrast when the

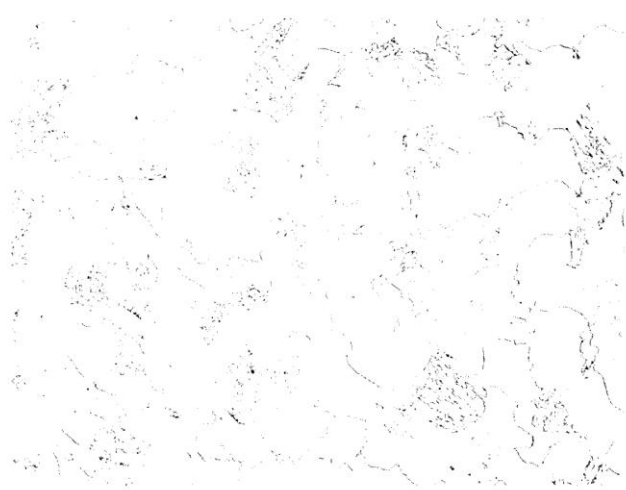


FIG. 1 Example of Replica Microstructure at  $100\times$  LM. Material: See Specification A 335/A 335M, Grade P22. Etchant: 2 % Nital

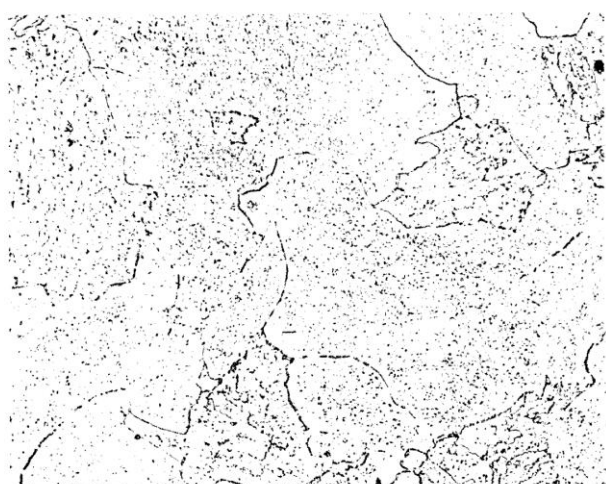


FIG. 2 Example of Replica Microstructure at 400× LM. Material: See Specification A 335/A 335M, Grade P22. Etchant: 2 % Nital

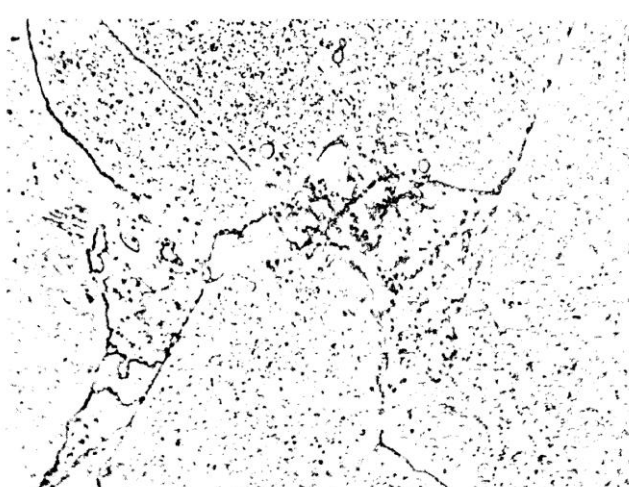


FIG. 3 Example of Replica Microstructure at 1000× LM. Material: See Specification A 335/A 335M, Grade P22. Etchant: 2 % Nital

replica is subsequently examined.

7.5 Place identification on the slide, and store it in a durable slide container for safe, contamination-free transfer to the examination laboratory.

#### 8. Replica Examination

8.1 To enhance contrast of the replica for microscopic examination at low magnifications on the LM, the replica may be placed on an underlying polished surface, such as a mirror, which acts as a reflector. In addition, using a coating of black

ink or paint on the back side of the replica can improve the contrast. In some cases, the use of interference illumination will also improve contrast; however, optimum contrast for both LM and SEM can be achieved by coating the replica surface with a thin, highly reflective metallic layer material normally deposited in a vacuum coating unit. Aluminum, carbon, and chromium have been found to be satisfactory coatings for replicas to be evaluated by LM. If the replica is to be examined in the SEM, however, gold, which yields optimum contrast, is



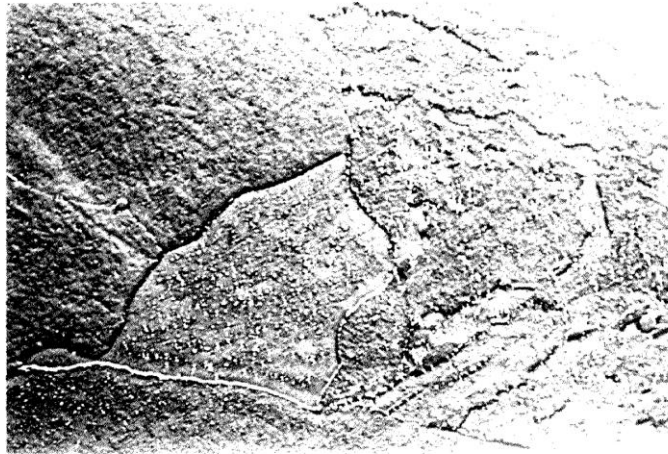


FIG. 4 Example of Replica Microstructure at 1000× SEM. Material: See Specification A 335/A 335M, Grade P22. Etchant: 2 % Nital

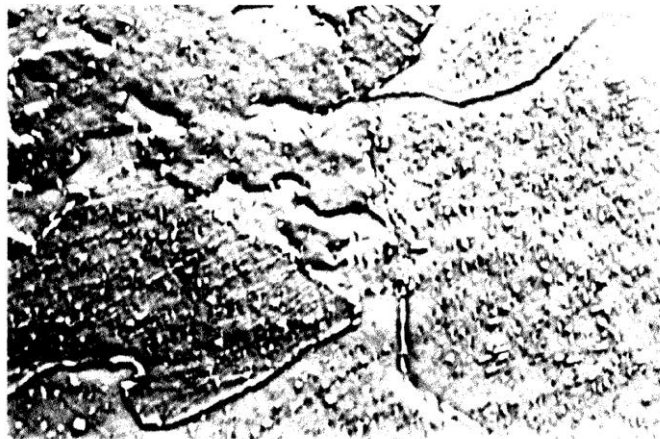


FIG. 5 Example of Replica Microstructure at 2000× SEM. Material: See Specification A 335/A 335M, Grade P22. Etchant: 2 % Nital

preferable. ASTM STP 547 is the suggested guide for electron metallographic techniques.<sup>4</sup>

8.2 The coating is generally applied at a 45° angle to provide a light to shadow length of 1 to 1. The coating thickness should be no greater than that required to provide full contrast in the replicated microstructure when examined in the LM and to prevent charging of the film when examined in the SEM. Documentation of the structural features of interest should then be made at the appropriate magnifications with the LM or SEM.

<sup>4</sup> *Manual on Electron Metallography Techniques, ASTM STP 547, ASTM, 1973.*

## 9. Replica Surface<sup>5</sup>

9.1 High quality replicas must meet the criteria listed in Section 5.

9.2 No folds or permanent deformation shall be allowed to develop in the replica film during processing.

9.3 Microstructural features should be clearly developed over an area of at least 6 mm (0.25 in.) in diameter.

9.4 Replicas taken at weldments should accurately record

<sup>5</sup> Examples of replicated microstructures. (Specification A 335/A 335M steel, Grade P22 shown, with 2 % Nital etch. This material exhibits a wide range of microstructures, not all of which are shown here.)



FIG. 6 Example of Replica Microstructure at 5000 $\times$  SEM. Material: See Specification A 335/A 335M, Grade P22. Etchant: 2 % Nital

the base metal, weld metal, and heat-affected-zone microstructure along the fusion line for a distance of at least 13 mm (0.5 in.).

9.5 All microstructural features shall be accurately rendered and photographic documentation shall be obtainable over the range of magnifications normally used for replica evaluation: 50 to 1000X for LM and 500 to 5000X for SEM.

9.6 All grain boundaries, grain boundary precipitates, cracks and cavities should be easily identified.

9.7 Precipitates and inclusions contained in the material that are greater than 0.1  $\mu\text{m}$  should be accurately recorded on the replica. In addition, neither precipitates, such as primary and secondary carbides and carbonitrides, nor nonmetallic inclusions, such as oxides and sulfides, shall be dislodged during polishing or etching regardless of their size.

#### 10. Documentation

10.1 Photomicrographic documentation of microstructural features shall be obtainable over the normal range of magnification: 50 to 1000X LM and 500 to 5000X SEM.

10.2 Each replica be adequately identified. Minimum identification should include the job or other identification number, the name, the presence and characteristics of any coating applied to either side of the replica, and the name of the preparer.

10.3 A statement shall be made on the conformance or non-conformance of the replica to this practice.

10.4 Replicas shall remain attached to their carrier slides, and shall be stored in dust-free biological slide cases, with proper indexing to permit retrieval where required for record.

#### 11. Precision and Bias

11.1 It is not possible to specify the precision or bias of this practice because no quantitative results are produced. However, all quantitative results produced through the examination of replicas can be influenced by the replication process.

#### 12. Keywords

12.1 replica; replication

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.*

## ANEXO B2

# NORMA ASTM E 112-96 (DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE GRANO)



Designation: E 112 – 96<sup>ε1</sup>

An American National Standard

### Standard Test Methods for Determining Average Grain Size<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 112; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

<sup>ε1</sup> NOTE—Equations A1.4, A1.5 and A1.6 were editorially revised in April 2000.

#### INTRODUCTION

These test methods of determination of average grain size in metallic materials are primarily measuring procedures and, because of their purely geometric basis, are independent of the metal or alloy concerned. In fact, the basic procedures may also be used for the estimation of average grain, crystal, or cell size in nonmetallic materials. The comparison method may be used if the structure of the material approaches the appearance of one of the standard comparison charts. The intercept and planimetric methods are always applicable for determining average grain size. However, the comparison charts cannot be used for measurement of individual grains.

#### 1. Scope

1.1 These test methods cover the measurement of average grain size and include the comparison procedure, the planimetric (or Jeffries) procedure, and the intercept procedures. These test methods may also be applied to nonmetallic materials with structures having appearances similar to those of the metallic structures shown in the comparison charts. These test methods apply chiefly to single phase grain structures but they can be applied to determine the average size of a particular type of grain structure in a multiphase or multiconstituent specimen.

1.2 These test methods are used to determine the average grain size of specimens with a unimodal distribution of grain areas, diameters, or intercept lengths. These distributions are approximately log normal. These test methods do not cover methods to characterize the nature of these distributions. Characterization of grain size in specimens with duplex grain size distributions is described in Test Methods E 1181. Measurement of individual, very coarse grains in a fine grained matrix is described in Test Methods E 930.

1.3 These test methods deal only with determination of planar grain size, that is, characterization of the two-dimensional grain sections revealed by the sectioning plane. Determination of spatial grain size, that is, measurement of the size of the three-dimensional grains in the specimen volume, is beyond the scope of these test methods.

1.4 These test methods describe techniques performed manually using either a standard series of graded chart images

for the comparison method or simple templates for the manual counting methods. Utilization of semi-automatic digitizing tablets or automatic image analyzers to measure grain size is described in Test Methods E 1382.

1.5 These test methods deal only with the recommended test methods and nothing in them should be construed as defining or establishing limits of acceptability or fitness of purpose of the materials tested.

1.6 The measured values are stated in SI units, which are regarded as standard. Equivalent inch-pound values, when listed, are in parentheses and may be approximate.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.8 The paragraphs appear in the following order:

| Section   | Number |
|---|--------|
| Scope   | 1      |
| Referenced Documents                                    | 2      |
| Terminology   | 3      |
| Significance and Use                                    | 4      |
| Generalities of Application                             | 5      |
| Sampling  | 6      |
| Test Specimens  | 7      |
| Calibration   | 8      |
| Preparation of Photomicrographs                         | 9      |
| Comparison Procedure                                    | 10     |
| Planimetric (Jeffries) Procedure                        | 11     |
| General Intercept Procedures                            | 12     |
| Heyn Linear Intercept Procedure                         | 13     |
| Circular Intercept Procedures                           | 14     |
| Hilliard Single-Circle Procedure                        | 14.2   |
| Abrams Three-Circle Procedure                           | 14.3   |
| Statistical Analysis                                    | 15     |
| Specimens with Non-equiaxed Grain Shapes                | 16     |
| Specimens Containing Two or More Phases or Constituents | 17     |

<sup>1</sup> These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and are the direct responsibility of Subcommittee E04.08 on Grain Size.

Current edition approved May 10, 1996. Published July 1996. Originally published as E 112 – 55 T. Last previous edition E 112 – 95.



|   |             |
|---|-------------|
| Report  | 18          |
| Precision and Bias  | 19          |
| Keywords  | 20          |
| Annexes:  |             |
| Basis of ASTM Grain Size Numbers                                | Annex A1    |
| Equations for Conversions Among Various Grain Size Measurements | Annex A2    |
| Austenite Grain Size, Ferritic and Austenitic Steels            | Annex A3    |
| Fracture Grain Size Method                                      | Annex A4    |
| Requirements for Wrought Copper and Copper-Base Alloys          | Annex A5    |
| Application to Special Situations                               | Annex A6    |
| Appendixes:   |             |
| Results of Interlaboratory Grain Size Determinations            | Appendix X1 |
| Referenced Adjuncts   | Appendix X2 |

**2. Referenced Documents**

- 2.1 *ASTM Standards:*  
 E 3 Practice for Preparation of Metallographic Specimens<sup>2</sup>  
 E 7 Terminology Relating to Metallography<sup>2</sup>  
 E 407 Practice for Microetching Metals and Alloys<sup>2</sup>  
 E 562 Practice for Determining Volume Fraction by Systematic Manual Point Count<sup>2</sup>  
 E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>3</sup>  
 E 883 Guide for Reflected-Light Photomicrography<sup>2</sup>  
 E 930 Test Methods for Estimating the Largest Grain Observed in a Metallographic Section (ALA Grain Size)<sup>2</sup>  
 E 1181 Test Methods for Characterizing Duplex Grain Sizes<sup>2</sup>  
 E 1382 Test Methods for Determining Average Grain Size Using Semiautomatic and Automatic Image Analysis<sup>2</sup>
- 2.2 ASTM Adjuncts:  
 2.2.1 For a complete adjunct list, see Appendix X2

**3. Terminology**

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in these test methods, see Terminology E 7.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *ASTM grain size number*—the ASTM grain size number,  $G$ , was originally defined as:

$$N_{AE} = 2^{G-1} \quad (1)$$

where  $N_{AE}$  is the number of grains per square inch at 100X magnification. To obtain the number per square millimetre at 1X, multiply by 15.50.

3.2.2 *grain*—that area within the confines of the original (primary) boundary observed on the two-dimensional plane-of-polish or that volume enclosed by the original (primary) boundary in the three-dimensional object. In materials containing twin boundaries, the twin boundaries are ignored, that is, the structure on either side of a twin boundary belongs to the grain.

3.2.3 *grain boundary intersection count*—determination of the number of times a test line cuts across, or is tangent to,

grain boundaries (triple point intersections are considered as 1-1/2 intersections).

3.2.4 *grain intercept count*—determination of the number of times a test line cuts through individual grains on the plane of polish (tangent hits are considered as one half an interception; test lines that end within a grain are considered as one half an interception).

3.2.5 *intercept length*—the distance between two opposed, adjacent grain boundary intersection points on a test line segment that crosses the grain at any location due to random placement of the test line.

3.3 *Symbols: Symbols:*

- $\alpha$  = matrix grains in a two phase (constituent) microstructure.
- $A$  = test area.
- $\frac{A}{A}$  = mean grain cross sectional area.
- $AI_{\ell}$  = grain elongation ratio or anisotropy index for a longitudinally oriented plane.
- $\bar{d}$  = mean planar grain diameter (Plate III).
- $\bar{D}$  = mean spatial (volumetric) grain diameter.
- $f$  = Jeffries multiplier for planimetric method.
- $G$  = ASTM grain size number.
- $\ell$  = mean lineal intercept length.
- $\bar{\ell}_{\alpha}$  = mean lineal intercept length of the  $\alpha$  matrix phase in a two phase (constituent) microstructure.
- $\bar{\ell}_{\ell}$  = mean lineal intercept length on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\bar{\ell}_t$  = mean lineal intercept length on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\bar{\ell}_p$  = mean lineal intercept length on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $\ell_0$  = base intercept length of 32.00 mm for defining the relationship between  $G$  and  $\ell$  (and  $N_{\ell}$ ) for macroscopically or microscopically determined grain size by the intercept method.
- $L$  = length of a test line.
- $M$  = magnification used.
- $M_b$  = magnification used by a chart picture series.
- $n$  = number of fields measured.
- $N_{\alpha}$  = number of  $\alpha$  grains intercepted by the test line in a two phase (constituent) microstructure.
- $N_A$  = number of grains per mm<sup>2</sup> at 1X.
- $N_{A\alpha}$  = number of  $\alpha$  grains per mm<sup>2</sup> at 1X in a two phase (constituent) microstructure.
- $N_{AE}$  = number of grains per inch<sup>2</sup> at 100X.
- $N_{A\ell}$  =  $N_A$  on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.
- $N_{At}$  =  $N_A$  on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.  
<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.



|                          |   |
|--------------------------|---|
| $N_{Ap}$                 | = $N_A$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.  |
| $N_j$                    | = number of intercepts with a test line.  |
| $N_{\text{Inside}}$      | = number of grains completely within a test circle.   |
| $N_{\text{Intercepted}}$ | = number of grains intercepted by the test circle.  |
| $N_L$                    | = number of intercepts per unit length of test line.  |
| $N_{L\ell}$              | = $N_L$ on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.  |
| $N_{Lt}$                 | = $N_L$ on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.  |
| $N_{Lp}$                 | = $N_L$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.  |
| $P_i$                    | = number of grain boundary intersections with a test line.  |
| $P_L$                    | = number of grain boundary intersections per unit length of test line.  |
| $P_{L\ell}$              | = $P_L$ on a longitudinally oriented surface for a non-equiaxed grain structure.  |
| $P_{Lt}$                 | = $P_L$ on a transversely oriented surface for a non-equiaxed grain structure.  |
| $P_{Lp}$                 | = $P_L$ on a planar oriented surface for a non-equiaxed grain structure.  |
| $Q$                      | = correction factor for comparison chart ratings using a non-standard magnification for microscopically determined grain sizes. |
| $Q_m$                    | = correction factor for comparison chart ratings using a non-standard magnification for macroscopically determined grain sizes. |
| $s$                      | = standard deviation.   |
| $S_V$                    | = grain boundary surface area to volume ratio for a single phase structure.   |
| $S_{V\alpha}$            | = grain boundary surface area to volume ratio for a two phase (constituent) structure.  |
| $t$                      | = students' $t$ multiplier for determination of the confidence interval.  |
| $V_{V\alpha}$            | = volume fraction of the $\alpha$ phase in a two phase (constituent) microstructure.  |
| 95 % CI                  | = 95 % confidence interval.   |
| % RA                     | = percent relative accuracy.  |

#### 4. Significance and Use

4.1 These test methods cover procedures for estimating and rules for expressing the average grain size of all metals consisting entirely, or principally, of a single phase. The test methods may also be used for any structures having appearances similar to those of the metallic structures shown in the comparison charts. The three basic procedures for grain size estimation are:

4.1.1 *Comparison Procedure*—The comparison procedure does not require counting of either grains, intercepts, or intersections but, as the name suggests, involves comparison of the grain structure to a series of graded images, either in the form of a wall chart, clear plastic overlays, or an eyepiece reticle. There appears to be a general bias in that comparison

grain size ratings claim that the grain size is somewhat coarser ( $1/2$  to 1  $G$  number lower) than it actually is (see X1.3.5). Repeatability and reproducibility of comparison chart ratings are generally  $\pm 1$  grain size number.

4.1.2 *Planimetric Procedure*—The planimetric method involves an actual count of the number of grains within a known area. The number of grains per unit area,  $N_A$ , is used to determine the ASTM grain size number,  $G$ . The precision of the method is a function of the number of grains counted. A precision of  $\pm 0.25$  grain size units can be attained with a reasonable amount of effort. Results are free of bias and repeatability and reproducibility are less than  $\pm 0.5$  grain size units. An accurate count does require marking off of the grains as they are counted.

4.1.3 *Intercept Procedure*—The intercept method involves an actual count of the number of grains intercepted by a test line or the number of grain boundary intersections with a test line, per unit length of test line, used to calculate the mean lineal intercept length,  $\bar{\ell}$ .  $\bar{\ell}$  is used to determine the ASTM grain size number,  $G$ . The precision of the method is a function of the number of intercepts or intersections counted. A precision of better than  $\pm 0.25$  grain size units can be attained with a reasonable amount of effort. Results are free of bias; repeatability and reproducibility are less than  $\pm 0.5$  grain size units. Because an accurate count can be made without need of marking off intercepts or intersections, the intercept method is faster than the planimetric method for the same level of precision.

4.2 For specimens consisting of equiaxed grains, the method of comparing the specimen with a standard chart is most convenient and is sufficiently accurate for most commercial purposes. For higher degrees of accuracy in determining average grain size, the intercept or planimetric procedures may be used. The intercept procedure is particularly useful for structures consisting of elongated grains.

4.3 In case of dispute, the intercept procedure shall be the referee procedure in all cases.

4.4 No attempt should be made to estimate the average grain size of heavily cold-worked material. Partially recrystallized wrought alloys and lightly to moderately cold-worked material may be considered as consisting of non-equiaxed grains, if a grain size measurement is necessary.

4.5 *Individual grain measurements should not be made based on the standard comparison charts.* These charts were constructed to reflect the typical log-normal distribution of grain sizes that result when a plane is passed through a three-dimensional array of grains. Because they show a distribution of grain dimensions, ranging from very small to very large, depending on the relationship of the planar section and the three-dimensional array of grains, the charts are not applicable to measurement of individual grains.

#### 5. Generalities of Application

5.1 It is important, in using these test methods, to recognize that the estimation of average grain size is not a precise measurement. A metal structure is an aggregate of three-dimensional crystals of varying sizes and shapes. Even if all these crystals were identical in size and shape, the grain cross

sections, produced by a random plane (surface of observation) through such a structure, would have a distribution of areas varying from a maximum value to zero, depending upon where the plane cuts each individual crystal. Clearly, no two fields of observation can be exactly the same.

5.2 The size and location of grains in a microstructure are normally completely random. No nominally random process of positioning a test pattern can improve this randomness, but random processes can yield poor representation by concentrating measurements in part of a specimen. *Representative* implies that all parts of the specimen contribute to the result, not, as sometimes has been presumed, that fields of average grain size are selected. Visual selection of fields, or casting out of extreme measurements, may not falsify the average when done by unbiased experts, but will in all cases give a false impression of high precision. For representative sampling, the area of the specimen is mentally divided into several equal coherent sub-areas and stage positions prespecified, which are approximately at the center of each sub-area. The stage is successively set to each of these positions and the test pattern applied blindly, that is, with the light out, the shutter closed, or the eye turned away. No touch-up of the position so selected is allowable. Only measurements made on fields chosen in this way can be validated with respect to precision and bias.

## 6. Sampling

6.1 Specimens should be selected to represent average conditions within a heat lot, treatment lot, or product, or to assess variations anticipated across or along a product or component, depending on the nature of the material being tested and the purpose of the study. Sampling location and frequency should be based upon agreements between the manufacturers and the users.

6.2 Specimens should not be taken from areas affected by shearing, burning, or other processes that will alter the grain structure.

## 7. Test Specimens

7.1 In general, if the grain structure is equiaxed, any specimen orientation is acceptable. However, the presence of an equiaxed grain structure in a wrought specimen can only be determined by examination of a plane of polish parallel to the deformation axis.

7.2 If the grain structure on a longitudinally oriented specimen is equiaxed, then grain size measurements on this plane, or any other, will be equivalent within the statistical precision of the test method. If the grain structure is not equiaxed, but elongated, then grain size measurements on specimens with different orientations will vary. In this case, the grain size should be evaluated on at least two of the three principle planes, transverse, longitudinal, and planar (or radial and transverse for round bar) and averaged as described in Section 16 to obtain the mean grain size. If directed test lines are used, rather than test circles, intercept counts on non-equiaxed grains in plate or sheet type specimens can be made using only two principle test planes, rather than all three as required for the planimetric method.

7.3 The surface to be polished should be large enough in area to permit measurement of at least five fields at the desired

magnification. In most cases, except for thin sheet or wire specimens, a minimum polished surface area of 160 mm<sup>2</sup> (0.25 in.<sup>2</sup>) is adequate.

7.4 The specimen shall be sectioned, mounted (if necessary), ground, and polished according to the recommended procedures in Practice E 3. The specimen shall be etched using a reagent, such as listed in Practice E 407, to delineate most, or all, of the grain boundaries (see also Annex A3).

**TABLE 1 Suggested Comparison Charts for Metallic Materials**

NOTE 1—These suggestions are based upon the customary practices in industry. For specimens prepared according to special techniques, the appropriate comparison standards should be selected on a structural-appearance basis in accordance with 8.2.

| Material                                     | Plate Number | Basic Magnification |
|--|--------------|---------------------|
| Aluminum                                     | I            | 100X                |
| Copper and copper-base alloys (see Annex A4) | III or IV    | 75X, 100X           |
| Iron and steel:                              |              |                     |
| Austenitic                                   | II or IV     | 100X                |
| Ferritic                                     | I            | 100X                |
| Carburized                                   | IV           | 100X                |
| Stainless                                    | II           | 100X                |
| Magnesium and magnesium-base alloys          | I or II      | 100X                |
| Nickel and nickel-base alloys                | II           | 100X                |
| Super-strength alloys                        | I or II      | 100X                |
| Zinc and zinc-base alloys                    | I or II      | 100X                |

## 8. Calibration

8.1 Use a stage micrometer to determine the true linear magnification for each objective, eyepiece and bellows, or zoom setting to be used within  $\pm 2\%$ .

8.2 Use a ruler with a millimetre scale to determine the actual length of straight test lines or the diameter of test circles used as grids.

## 9. Preparation of Photomicrographs

9.1 When photomicrographs are used for estimating the average grain size, they shall be prepared in accordance with Guide E 883.

## 10. Comparison Procedure

10.1 The comparison procedure shall apply to completely recrystallized or cast materials with equiaxed grains.

10.2 When grain size estimations are made by the more convenient comparison method, repeated checks by individuals as well as by interlaboratory tests have shown that unless the appearance of the standard reasonably well approaches that of the sample, errors may occur. To minimize such errors, the comparison charts are presented in four categories as follows:<sup>4</sup>

10.2.1 *Plate I*—Untwinned grains (flat etch). Includes grain size numbers 00, 0, 1/2, 1, 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2, 4, 4 1/2, 5, 5 1/2, 6, 6 1/2, 7, 7 1/2, 8, 8 1/2, 9, 9 1/2, 10, at 100X.

10.2.2 *Plate II*—Twinned grains (flat etch). Includes grain size numbers, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

<sup>4</sup> Plates I, II, III, and IV are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011201 (Plate I), ADJE011202 (Plate II), ADJE011203 (Plate III), and ADJE011204 (Plate IV). A combination of all four plates is also available. Order Adjunct: ADJE011214.



10.2.3 *Plate III*—Twinned grains (contrast etch). Includes nominal grain diameters of 0.200, 0.150, 0.120, 0.090, 0.070, 0.060, 0.050, 0.045, 0.035, 0.025, 0.020, 0.015, 0.010, 0.005 mm at 75X.

10.2.4 *Plate IV*—Austenite grains in steel (McQuaid-Ehn). Includes grain size numbers 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, at 100X.

10.3 Table 1 lists a number of materials and the comparison charts that are suggested for use in estimating their average grain sizes. For example, for twinned copper and brass with a contrast etch, use Plate III.

NOTE 1—Examples of grain-size standards from Plates I, II, III, and IV are shown in Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, and Fig. 4.

10.4 The estimation of microscopically-determined grain size should usually be made by direct comparison at the same magnification as the appropriate chart. Accomplish this by comparing a projected image or a photomicrograph of a representative field of the test specimen with the photomicrographs of the appropriate standard grain-size series, or with suitable reproductions or transparencies of them, and select the photomicrograph which most nearly matches the image of the test specimen or interpolate between two standards. Report this estimated grain size as the ASTM grain size number, or grain diameter, of the chart picture that most closely matches the image of the test specimen or as an interpolated value between two standard chart pictures.

10.5 Good judgment on the part of the observer is necessary to select the magnification to be used, the proper size of area (number of grains), and the number and location in the specimen of representative sections and fields for estimating the characteristic or average grain size. It is not sufficient to visually select what appear to be areas of average grain size. Recommendations for choosing appropriate areas for all procedures have been noted in 5.2.

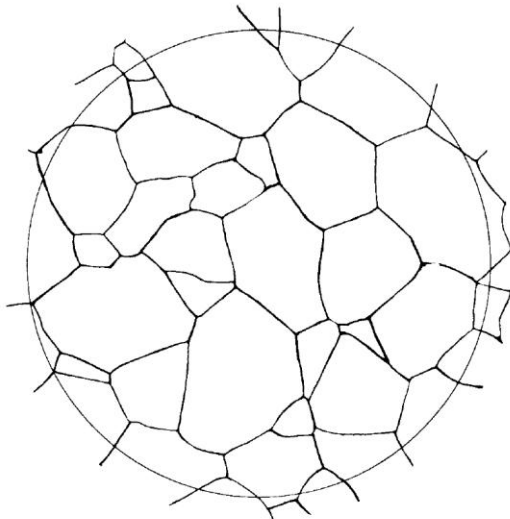


FIG. 1 Example of Untwinned Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

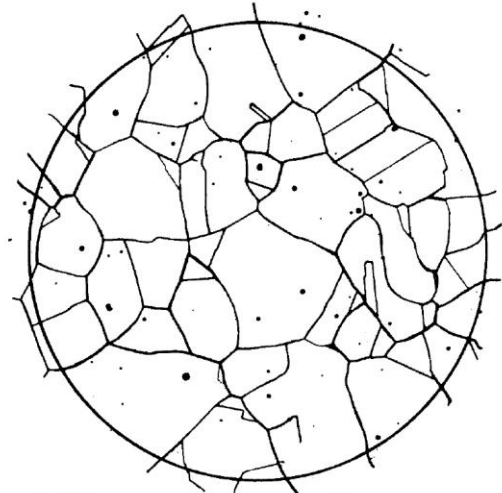


FIG. 2 Example of Twin Grains (Flat Etch) from Plate II. Grain Size No. 3 at 100X



FIG. 3 Example of Twin Grains (Contrast Etch) from Plate III. Grain Size 0.090 mm at 75X

10.6 Grain size estimations shall be made on three or more representative areas of each specimen section.

10.7 When the grains are of a size outside the range covered by the standard photographs, or when magnifications of 75X or 100X are not satisfactory, other magnifications may be employed for comparison by using the relationships given in Note 2 and Table 2. It may be noted that alternative magnifications

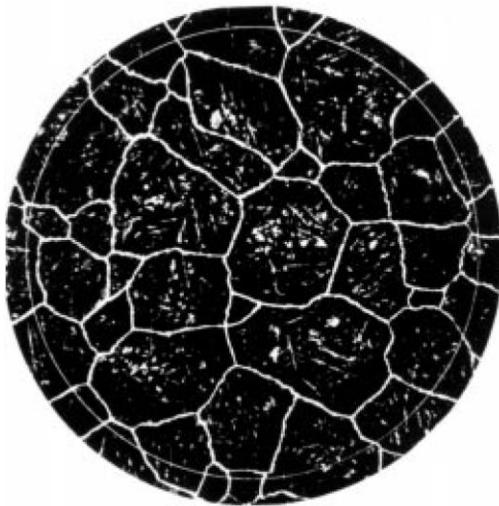


FIG. 4 Example of Austenite Grains in Steel from Plate IV. Grain Size No. 3 at 100X

10.8 The small number of grains per field at the coarse end of the chart series, that is, size 00, and the very small size of the grains at the fine end make accurate comparison ratings difficult. When the specimen grain size falls at either end of the chart range, a more meaningful comparison can be made by changing the magnification so that the grain size lies closer to the center of the range.

10.9 The use of transparencies<sup>5</sup> or prints of the standards, with the standard and the unknown placed adjacent to each other, is to be preferred to the use of wall chart comparison with the projected image on the microscope screen.

10.10 No particular significance should be attached to the fact that different observers often obtain slightly different results, provided the different results fall within the confidence limits reasonably expected with the procedure used.

10.11 There is a possibility when an operator makes repeated checks on the same specimen using the comparison method that they will be prejudiced by their first estimate. This disadvantage can be overcome, when necessary, by changes in magnification, through bellows extension, or objective or eyepiece replacement between estimates (1).<sup>6</sup>

10.12 Make the estimation of macroscopically-determined grain sizes (extremely coarse) by direct comparison, at a magnification of 1X, of the properly prepared specimen, or of a photograph of a representative field of the specimen, with

TABLE 2 Microscopically Determined Grain Size Relationships Using Plate III at Various Magnifications

NOTE 1—First line—mean grain diameter,  $d$ , in mm; in parentheses—equivalent ASTM grain size number,  $G$ .

NOTE 2—Magnification for Plate III is 75X (row 3 data).

| Magnification | Chart Picture Number (Plate III) |                   |                  |                  |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                 |                |
|---------------|----------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
|               | 1                                | 2                 | 3                | 4                | 5               | 6               | 7               | 8               | 9               | 10              | 11              | 12             | 13              | 14             |
| 25X           | 0.015<br>(9.2)                   | 0.030<br>(7.2)    | 0.045<br>(6.0)   | 0.060<br>(5.2)   | 0.075<br>(4.5)  | 0.105<br>(3.6)  | 0.135<br>(2.8)  | 0.150<br>(2.5)  | 0.180<br>(2.0)  | 0.210<br>(1.6)  | 0.270<br>(0.8)  | 0.360<br>(0)   | 0.451<br>(0/00) | 0.600<br>(00+) |
| 50X           | 0.0075<br>(11.2)                 | 0.015<br>(9.2)    | 0.0225<br>(8.0)  | 0.030<br>(7.2)   | 0.0375<br>(6.5) | 0.053<br>(5.6)  | 0.0675<br>(4.8) | 0.075<br>(4.5)  | 0.090<br>(4.0)  | 0.105<br>(3.6)  | 0.135<br>(2.8)  | 0.180<br>(2.0) | 0.225<br>(1.4)  | 0.300<br>(0.5) |
| 75X           | 0.005<br>(12.3)                  | 0.010<br>(10.3)   | 0.015<br>(9.2)   | 0.020<br>(8.3)   | 0.025<br>(7.7)  | 0.035<br>(6.7)  | 0.045<br>(6.0)  | 0.050<br>(5.7)  | 0.060<br>(5.2)  | 0.070<br>(4.7)  | 0.090<br>(4.0)  | 0.120<br>(3.2) | 0.150<br>(2.5)  | 0.200<br>(1.7) |
| 100X          | 0.00375<br>(13.2)                | 0.0075<br>(11.2)  | 0.0112<br>(10.0) | 0.015<br>(9.2)   | 0.019<br>(8.5)  | 0.026<br>(7.6)  | 0.034<br>(6.8)  | 0.0375<br>(6.5) | 0.045<br>(6.0)  | 0.053<br>(5.6)  | 0.067<br>(4.8)  | 0.090<br>(4.0) | 0.113<br>(3.4)  | 0.150<br>(2.5) |
| 200X          | 0.0019<br>(15.2)                 | 0.00375<br>(13.2) | 0.0056<br>(12.0) | 0.0075<br>(11.2) | 0.009<br>(10.5) | 0.013<br>(9.6)  | 0.017<br>(8.8)  | 0.019<br>(8.5)  | 0.0225<br>(8.0) | 0.026<br>(7.6)  | 0.034<br>(6.8)  | 0.045<br>(6.0) | 0.056<br>(5.4)  | 0.075<br>(4.5) |
| 400X          | —                                | 0.0025<br>(14.3)  | 0.0037<br>(13.2) | 0.005<br>(12.3)  | 0.006<br>(11.7) | 0.009<br>(10.7) | 0.011<br>(10.0) | 0.0125<br>(9.7) | 0.015<br>(9.2)  | 0.0175<br>(8.7) | 0.0225<br>(8.0) | 0.030<br>(7.2) | 0.0375<br>(6.5) | 0.050<br>(5.7) |
| 500X          | —                                | —                 | 0.003<br>(13.8)  | 0.004<br>(13.0)  | 0.005<br>(12.3) | 0.007<br>(11.4) | 0.009<br>(10.6) | 0.010<br>(10.3) | 0.012<br>(9.8)  | 0.014<br>(9.4)  | 0.018<br>(8.6)  | 0.024<br>(7.8) | 0.030<br>(7.2)  | 0.040<br>(6.3) |

are usually simple multiples of the basic magnifications.

NOTE 2—If the grain size is reported in ASTM numbers, it is convenient to use the relationship:

$$Q = 2 \log_2 (M/M_b) \quad (2)$$

$$= 6.64 \log_{10} (M/M_b)$$

where  $Q$  is a correction factor that is added to the apparent micro-grain size of the specimen, as viewed at the magnification,  $M$ , instead of at the basic magnification,  $M_b$  (75X or 100X), to yield the true ASTM grain-size number. Thus, for a magnification of 25X, the true ASTM grain-size number is four numbers lower than that of the corresponding photomicrograph at 100X ( $Q = -4$ ). Likewise, for 400X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher ( $Q = +4$ ) than that of the corresponding photomicrograph at 100X. Similarly, for 300X, the true ASTM grain-size number is four numbers higher than that of the corresponding photomicrograph at 75X.

photographs of the standard grain series shown in Plate I (for untwinned material) and Plates II and III (for twinned material). Since the photographs of the standard grain size series

<sup>5</sup> Transparencies of the various grain sizes in Plate I are available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE112010 for the set. Transparencies of individual grain size groupings are available on request. Order Adjunct: ADJE011205 (Grain Size 00), ADJE012206 (Grain Size 0), ADJE012207 (Grain Size 0.5), ADJE011208 (Grain Size 1.0), ADJE011209 (Grain Size 1.5), ADJE011210 (Grain Size 2.0), ADJE011211 (Grain Size 2.5), ADJE011212 (Grain Sizes 3.0, 3.5, and 4.0), ADJE011213 (Grain Sizes 4.5, 5.0, and 5.5), ADJE011214 (Grain Sizes 6.0, 6.5, and 7.0), ADJE011215 (Grain Sizes 7.5, 8.0, and 8.5), and ADJE011216 (Grain Sizes 9.0, 9.5, and 10.0). Charts illustrating grain size numbers 00 to 10 are on 8½ by 11 in. (215.9 by 279.4 mm) film. Transparencies for Plates II, III, and IV are not available.

<sup>6</sup> The boldface numbers in parentheses refer to the list of references appended to these test methods.



TABLE 3 Macroscopic Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

NOTE 1—Macroscopically determined grain size numbers M-12.3, M-13.3, M-13.8 and M-14.3 correspond, respectively, to microscopically determined grain size numbers (*G*) 00, 0, 0.5 and 1.0.

| Macro Grain Size No. | $\bar{N}_A$ Grains/Unit Area |                      | $\bar{A}$ Average Grain Area |                  | $\bar{D}$ Average Diameter |                  | $\bar{T}$ Mean Intercept |                  | $\bar{N}_L$<br>mm <sup>-1</sup> | $\bar{N}$<br>100 mm |
|----------------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------|----------------------------|------------------|--------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------|
|                      | No./mm <sup>2</sup>          | No./in. <sup>2</sup> | mm <sup>2</sup>              | in. <sup>2</sup> | mm                         | in.              | mm                       | in.              |                                 |                     |
| M-0                  | 0.0008                       | 0.50                 | 1290.3                       | 2.00             | 35.9                       | 1.41             | 32.00                    | 1.2              | 0.031                           | 3.13                |
| M-0.5                | 0.0011                       | 0.71                 | 912.4                        | 1.41             | 30.2                       | 1.19             | 26.91                    | 1.0              | 0.037                           | 3.72                |
| M-1.0                | 0.0016                       | 1.00                 | 645.2                        | 1.00             | 25.4                       | 1.00             | 22.63                    | 0.89             | 0.044                           | 4.42                |
| M-1.5                | 0.0022                       | 1.41                 | 456.2                        | 0.707            | 21.4                       | 0.841            | 19.03                    | 0.74             | 0.053                           | 5.26                |
| M-2.0                | 0.0031                       | 2.00                 | 322.6                        | 0.500            | 18.0                       | 0.707            | 16.00                    | 0.63             | 0.063                           | 6.25                |
| M-2.5                | 0.0044                       | 2.83                 | 228.1                        | 0.354            | 15.1                       | 0.595            | 13.45                    | 0.53             | 0.074                           | 7.43                |
| M-3.0                | 0.0062                       | 4.00                 | 161.3                        | 0.250            | 12.7                       | 0.500            | 11.31                    | 0.44             | 0.088                           | 8.84                |
| M-3.5                | 0.0088                       | 5.66                 | 114.0                        | 0.177            | 10.7                       | 0.420            | 9.51                     | 0.37             | 0.105                           | 10.51               |
| M-4.0                | 0.0124                       | 8.00                 | 80.64                        | 0.125            | 8.98                       | 0.354            | 8.00                     | 0.31             | 0.125                           | 12.50               |
| M-4.5                | 0.0175                       | 11.31                | 57.02                        | 0.0884           | 7.55                       | 0.297            | 6.73                     | 0.26             | 0.149                           | 14.87               |
| M-5.0                | 0.0248                       | 16.00                | 40.32                        | 0.0625           | 6.35                       | 0.250            | 5.66                     | 0.22             | 0.177                           | 17.68               |
| M-5.5                | 0.0351                       | 22.63                | 28.51                        | 0.0442           | 5.34                       | 0.210            | 4.76                     | 0.18             | 0.210                           | 21.02               |
| M-6.0                | 0.0496                       | 32.00                | 20.16                        | 0.0312           | 4.49                       | 0.177            | 4.00                     | 0.15             | 0.250                           | 25.00               |
| M-6.5                | 0.0701                       | 45.26                | 14.26                        | 0.0221           | 3.78                       | 0.149            | 3.36                     | 0.13             | 0.297                           | 29.73               |
| M-7.0                | 0.099                        | 64.00                | 10.08                        | 0.0156           | 3.17                       | 0.125            | 2.83                     | 0.11             | 0.354                           | 35.36               |
| M-7.5                | 0.140                        | 90.51                | 7.13                         | 0.0110           | 2.67                       | 0.105            | 2.38                     | 0.093            | 0.420                           | 42.05               |
|                      |                              |                      |                              | $\times 10^{-3}$ |                            | $\times 10^{-3}$ |                          | $\times 10^{-3}$ |                                 |                     |
| M-8.0                | 0.198                        | 128.0                | 5.04                         | 7.812            | 2.25                       | 88.4             | 2.00                     | 78.7             | 0.500                           | 50.00               |
| M-8.5                | 0.281                        | 181.0                | 3.56                         | 5.524            | 1.89                       | 74.3             | 1.68                     | 66.2             | 0.595                           | 59.46               |
| M-9.0                | 0.397                        | 256.0                | 2.52                         | 3.906            | 1.59                       | 62.5             | 1.41                     | 55.7             | 0.707                           | 70.71               |
| M-9.5                | 0.561                        | 362.1                | 1.78                         | 2.762            | 1.33                       | 52.6             | 1.19                     | 46.8             | 0.841                           | 84.09               |
| M-10.0               | 0.794                        | 512.0                | 1.26                         | 1.953            | 1.12                       | 44.2             | 1.00                     | 39.4             | 1.00                            | 100.0               |
| M-10.5               | 1.122                        | 724.1                | 0.891                        | 1.381            | 0.994                      | 37.2             | 0.841                    | 33.1             | 1.19                            | 118.9               |
| M-11.0               | 1.587                        | 1024.1               | 0.630                        | 0.977            | 0.794                      | 31.2             | 0.707                    | 27.8             | 1.41                            | 141.4               |
| M-11.5               | 2.245                        | 1448.2               | 0.445                        | 0.690            | 0.667                      | 26.3             | 0.595                    | 23.4             | 1.68                            | 168.2               |
| M-12.0               | 3.175                        | 2048.1               | 0.315                        | 0.488            | 0.561                      | 22.1             | 0.500                    | 19.7             | 2.00                            | 200.0               |
| M-12.3               | 3.908                        | 2521.6               | 0.256                        | 0.397            | 0.506                      | 19.9             | 0.451                    | 17.7             | 2.22                            | 221.9               |
| M-12.5               | 4.490                        | 2896.5               | 0.223                        | 0.345            | 0.472                      | 18.6             | 0.420                    | 16.6             | 2.38                            | 237.8               |
| M-13.0               | 6.349                        | 4096.3               | 0.157                        | 0.244            | 0.397                      | 15.6             | 0.354                    | 13.9             | 2.83                            | 282.8               |
| M-13.3               | 7.817                        | 5043.1               | 0.128                        | 0.198            | 0.358                      | 14.1             | 0.319                    | 12.5             | 3.14                            | 313.8               |
| M-13.5               | 8.979                        | 5793.0               | 0.111                        | 0.173            | 0.334                      | 13.1             | 0.297                    | 11.7             | 3.36                            | 336.4               |
| M-13.8               | 11.055                       | 7132.1               | 0.091                        | 0.140            | 0.301                      | 11.8             | 0.268                    | 10.5             | 3.73                            | 373.2               |
| M-14.0               | 12.699                       | 8192.6               | 0.079                        | 0.122            | 0.281                      | 11.0             | 0.250                    | 9.84             | 4.00                            | 400.0               |
| M-14.3               | 15.634                       | 10086.3              | 0.064                        | 0.099            | 0.253                      | 9.96             | 0.225                    | 8.87             | 4.44                            | 443.8               |

were made at 75 and 100 diameters magnification, grain sizes estimated in this way do not fall in the standard ASTM grain-size series and hence, preferably, should be expressed either as diameter of the average grain or as one of the macro-grain size numbers listed in Table 3. For the smaller macroscopic grain sizes, it may be preferable to use a higher magnification and the correction factor given in Note 3, particularly if it is desirable to retain this method of reporting.

NOTE 3—If the grain size is reported in ASTM macro-grain size numbers, it is convenient to use the relationship:

$$Q_m = 2 \log_2 M \tag{3}$$

$$= 6.64 \log_{10} M$$

where  $Q_m$  is a correction factor that is added to the apparent grain size of the specimen, when viewed at the magnification  $M$ , instead of at 1X, to yield the true ASTM macro-grain size number. Thus, for a magnification of 2X, the true ASTM macro-grain size number is two numbers higher ( $Q = +2$ ), and for 4X, the true ASTM macro-grain size number is four numbers higher ( $Q = +4$ ) than that of the corresponding photograph.

10.13 The comparison procedure shall be applicable for estimating the austenite grain size in ferritic steel after a McQuaid-Ehn test (see Annex A3, A3.2), or after the austenite grains have been revealed by any other means (see Annex A3,

A3.3). Make the grain-size measurement by comparing the microscopic image, at magnification of 100X, with the standard grain size chart in Plate IV, for grains developed in a McQuaid-Ehn test (see Annex A3); for the measurement of austenite grains developed by other means (see Annex A3), measure by comparing the microscopic image with the plate having the most nearly comparable structure observed in Plates I, II, or IV.

10.14 The so-called “Shepherd Fracture Grain Size Method” of judging grain size from the appearance of the fracture of hardened steel (2), involves comparison of the specimen under investigation with a set of standard fractures.<sup>7</sup> It has been found that the arbitrarily numbered fracture grain size series agree well with the correspondingly numbered ASTM grain sizes presented in Table 4. This coincidence makes the fracture grain sizes interchangeable with the austenitic grain sizes determined microscopically. The sizes observed microscopically shall be considered the primary standard, since they can be determined with measuring instruments.

<sup>7</sup> A photograph of the Shepherd standard fractures can be obtained from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE011224.

TABLE 4 Grain Size Relationships Computed for Uniform, Randomly Oriented, Equiaxed Grains

| Grain Size No.<br><i>G</i> | $\bar{N}_A$ Grains/Unit Area |                           | $\bar{A}$ Average Grain Area |                 | $\bar{d}$ Average Diameter |       | $\bar{T}$ Mean Intercept |       | $\bar{N}_L$<br>No./mm |
|----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------|----------------------------|-------|--------------------------|-------|-----------------------|
|                            | No./in. <sup>2</sup> at 100X | No./mm <sup>2</sup> at 1X | mm <sup>2</sup>              | μm <sup>2</sup> | mm                         | μm    | mm                       | μm    |                       |
| 00                         | 0.25                         | 3.88                      | 0.2581                       | 258064          | 0.5080                     | 508.0 | 0.4525                   | 452.5 | 2.21                  |
| 0                          | 0.50                         | 7.75                      | 0.1290                       | 129032          | 0.3592                     | 359.2 | 0.3200                   | 320.0 | 3.12                  |
| 0.5                        | 0.71                         | 10.96                     | 0.0912                       | 91239           | 0.3021                     | 302.1 | 0.2691                   | 269.1 | 3.72                  |
| 1.0                        | 1.00                         | 15.50                     | 0.0645                       | 64516           | 0.2540                     | 254.0 | 0.2263                   | 226.3 | 4.42                  |
| 1.5                        | 1.41                         | 21.92                     | 0.0456                       | 45620           | 0.2136                     | 213.6 | 0.1903                   | 190.3 | 5.26                  |
| 2.0                        | 2.00                         | 31.00                     | 0.0323                       | 32258           | 0.1796                     | 179.6 | 0.1600                   | 160.0 | 6.25                  |
| 2.5                        | 2.83                         | 43.84                     | 0.0228                       | 22810           | 0.1510                     | 151.0 | 0.1345                   | 134.5 | 7.43                  |
| 3.0                        | 4.00                         | 62.00                     | 0.0161                       | 16129           | 0.1270                     | 127.0 | 0.1131                   | 113.1 | 8.84                  |
| 3.5                        | 5.66                         | 87.68                     | 0.0114                       | 11405           | 0.1068                     | 106.8 | 0.0951                   | 95.1  | 10.51                 |
| 4.0                        | 8.00                         | 124.00                    | 0.00806                      | 8065            | 0.0898                     | 89.8  | 0.0800                   | 80.0  | 12.50                 |
| 4.5                        | 11.31                        | 175.36                    | 0.00570                      | 5703            | 0.0755                     | 75.5  | 0.0673                   | 67.3  | 14.87                 |
| 5.0                        | 16.00                        | 248.00                    | 0.00403                      | 4032            | 0.0635                     | 63.5  | 0.0566                   | 56.6  | 17.68                 |
| 5.5                        | 22.63                        | 350.73                    | 0.00285                      | 2851            | 0.0534                     | 53.4  | 0.0476                   | 47.6  | 21.02                 |
| 6.0                        | 32.00                        | 496.00                    | 0.00202                      | 2016            | 0.0449                     | 44.9  | 0.0400                   | 40.0  | 25.00                 |
| 6.5                        | 45.25                        | 701.45                    | 0.00143                      | 1426            | 0.0378                     | 37.8  | 0.0336                   | 33.6  | 29.73                 |
| 7.0                        | 64.00                        | 992.00                    | 0.00101                      | 1008            | 0.0318                     | 31.8  | 0.0283                   | 28.3  | 35.36                 |
| 7.5                        | 90.51                        | 1402.9                    | 0.00071                      | 713             | 0.0267                     | 26.7  | 0.0238                   | 23.8  | 42.04                 |
| 8.0                        | 128.00                       | 1984.0                    | 0.00050                      | 504             | 0.0225                     | 22.5  | 0.0200                   | 20.0  | 50.00                 |
| 8.5                        | 181.02                       | 2805.8                    | 0.00036                      | 356             | 0.0189                     | 18.9  | 0.0168                   | 16.8  | 59.46                 |
| 9.0                        | 256.00                       | 3968.0                    | 0.00025                      | 252             | 0.0159                     | 15.9  | 0.0141                   | 14.1  | 70.71                 |
| 9.5                        | 362.04                       | 5611.6                    | 0.00018                      | 178             | 0.0133                     | 13.3  | 0.0119                   | 11.9  | 84.09                 |
| 10.0                       | 512.00                       | 7936.0                    | 0.00013                      | 126             | 0.0112                     | 11.2  | 0.0100                   | 10.0  | 100.0                 |
| 10.5                       | 724.08                       | 11223.2                   | 0.000089                     | 89.1            | 0.0094                     | 9.4   | 0.0084                   | 8.4   | 118.9                 |
| 11.0                       | 1024.00                      | 15872.0                   | 0.000063                     | 63.0            | 0.0079                     | 7.9   | 0.0071                   | 7.1   | 141.4                 |
| 11.5                       | 1448.15                      | 22446.4                   | 0.000045                     | 44.6            | 0.0067                     | 6.7   | 0.0060                   | 5.9   | 168.2                 |
| 12.0                       | 2048.00                      | 31744.1                   | 0.000032                     | 31.5            | 0.0056                     | 5.6   | 0.0050                   | 5.0   | 200.0                 |
| 12.5                       | 2896.31                      | 44892.9                   | 0.000022                     | 22.3            | 0.0047                     | 4.7   | 0.0042                   | 4.2   | 237.8                 |
| 13.0                       | 4096.00                      | 63488.1                   | 0.000016                     | 15.8            | 0.0040                     | 4.0   | 0.0035                   | 3.5   | 282.8                 |
| 13.5                       | 5792.62                      | 89785.8                   | 0.000011                     | 11.1            | 0.0033                     | 3.3   | 0.0030                   | 3.0   | 336.4                 |
| 14.0                       | 8192.00                      | 128976.3                  | 0.000008                     | 7.9             | 0.0028                     | 2.8   | 0.0025                   | 2.5   | 400.0                 |

### 11. Planimetric (or Jeffries') (3) Procedure

11.1 In the planimetric procedure inscribe a circle<sup>8</sup> or rectangle of known area (usually 5000 mm<sup>2</sup> to simplify the calculations) on a micrograph or on the ground-glass screen of the metallograph. Select a magnification which will give at least 50 grains in the field to be counted. When the image is focused properly, count the number of grains within this area. The sum of all the grains included completely within the known area plus one half the number of grains intersected by the circumference of the area gives the number of equivalent whole grains, measured at the magnification used, within the area. If this number is multiplied by the Jeffries' multiplier,  $f$ , in the second column of Table 5 opposite the appropriate magnification, the product will be the number of grains per square millimetre  $N_A$ . Count a minimum of three fields to ensure a reasonable average. The number of grains per square millimetre at 1X,  $N_A$ , is calculated from:

$$N_A = f \left( N_{\text{Inside}} + \frac{N_{\text{Intercepted}}}{2} \right) \quad (4)$$

where  $f$  is the Jeffries' multiplier (see Table 5),  $N_{\text{Inside}}$  is the number of grains completely inside the test circle and  $N_{\text{Intercepted}}$  is the number of grains that intercept the test circle. The average grain area,  $\bar{A}$ , is the reciprocal of  $N_A$ , that is,  $1/N_A$ , while the mean grain diameter,  $\bar{d}$ , as listed on Plate III (see 10.2.3), is the square root of  $\bar{A}$ . This grain diameter has no

<sup>8</sup>A transparent grid for the planimetric method is available from ASTM Headquarters. The transparency consists of two test circles, one with a diameter of 79.8 mm (5000 mm<sup>2</sup> area) and the other with a diameter of 159.6 mm (20 000 mm<sup>2</sup> area). Order Adjunct: ADJE011223.

TABLE 5 Relationship Between Magnification Used and Jeffries' Multiplier,  $f$ , for an Area of 5000 mm<sup>2</sup> (a Circle of 79.8-mm Diameter) ( $f = 0.0002 M^2$ )

| Magnification Used, $M$ | Jeffries' Multiplier, $f$ , to Obtain Grains/mm <sup>2</sup> |
|-------------------------|--|
| 1                       | 0.0002   |
| 10                      | 0.02   |
| 25                      | 0.125  |
| 50                      | 0.5  |
| 75 <sup>A</sup>         | 1.125  |
| 100                     | 2.0  |
| 150                     | 4.5  |
| 200                     | 8.0  |
| 250                     | 12.5   |
| 300                     | 18.0   |
| 500                     | 50.0   |
| 750                     | 112.5  |
| 1000                    | 200.0  |

<sup>A</sup>At 75 diameters magnification, Jeffries' multiplier,  $f$ , becomes unity if the area used is 5625 mm<sup>2</sup> (a circle of 84.5-mm diameter).

physical significance because it represents the side of a square grain of area  $\bar{A}$ , and grain cross sections are not square.

11.2 To obtain an accurate count of the number of grains completely within the test circle and the number of grains intersecting the circle, it is necessary to mark off the grains on the template, for example, with a grease pencil or felt tip pen. The precision of the planimetric method is a function of the number of grains counted (see Section 19). The number of grains within the test circle, however, should not exceed about 100 as counting becomes tedious and inaccurate. Experience suggests that a magnification that produces about 50 grains within the test circle is about optimum as to counting accuracy per field. Because of the need to mark off the grains to obtain an accurate count, the planimetric method is less efficient than



the intercept method (see Section 12).

11.3 Fields should be chosen at random, without bias, as described in 5.2. Do not attempt to choose fields that appear to be typical. Choose the fields blindly and select them from different locations on the plane of polish.

11.4 By original definition, a microscopically-determined grain size of No. 1 has 1.000 grains/in.<sup>2</sup> at 100X, hence 15.500 grains/mm<sup>2</sup> at 1X. For areas other than the standard circle, determine the actual number of grains per square millimetre,  $N_A$ , and find the nearest size from Table 4. The ASTM grain size number,  $G$ , can be calculated from  $N_A$  (number of grains per mm<sup>2</sup> at 1X) using (Eq 1) in Table 6.

**12. General Intercept Procedures**

12.1 Intercept procedures are more convenient to use than the planimetric procedure. These procedures are amenable to use with various types of machine aids. It is strongly recommended that at least a manual tally counter be used with all intercept procedures in order to prevent normal errors in counting and to eliminate bias which may occur when counts appear to be running higher or lower than anticipated.

12.2 Intercept procedures are recommended particularly for all structures that depart from the uniform equiaxed form. For anisotropic structures, procedures are available either to make separate size estimates in each of the three principal directions, or to rationally estimate the average size, as may be appropriate.

12.3 There is no direct mathematical relationship between the ASTM grain size number,  $G$ , and the mean lineal intercept, unlike the exact relationship between  $G$ ,  $N_{AE}$ ,  $N_A$  and  $\bar{A}$  (Eq 1) for the planimetric method. The relationship

$$\ell = \left(\frac{\pi}{4} \bar{A}\right)^{1/2} \tag{5}$$

between the mean lineal intercept,  $\ell$ , and the average grain area,  $\bar{A}$ , is exact for circles but not quite exact for a structure of uniform equiaxed grains (see A2.2.2). Consequently, the relationship between the ASTM grain size number  $G$  and the mean lineal intercept has been defined so that ASTM No. 0 has a mean intercept size of precisely 32.00 mm for the macroscopically determined grain size scale and of 32.00 mm on a field of view at 100X magnification for the microscopically determined grain size scale. Thus:

$$G = 2\log_2 \frac{\ell_0}{\ell} \tag{6}$$

**TABLE 6 Grain Size Equations Relating Measured Parameters to the Microscopically Determined ASTM Grain Size,  $G$**

NOTE 1—Determine the ASTM Grain Size,  $G$ , using the following equations:

NOTE 2—The second and third equations are for single phase grain structures.

NOTE 3—To convert micrometres to millimetres, divide by 1000.

NOTE 4—A calculated  $G$  value of  $-1$  corresponds to ASTM  $G = 00$ .

| Equation                                     | Units                     |
|--|---------------------------|
| $G = (3.321928 \log_{10} \bar{N}_A) - 2.954$ | $N_A$ in mm <sup>-2</sup> |
| $G = (6.643856 \log_{10} N_L) - 3.288$       | $N_L$ in mm <sup>-1</sup> |
| $G = (6.643856 \log_{10} P_L) - 3.288$       | $P_L$ in mm <sup>-1</sup> |
| $G = (-6.643856 \log_{10} \ell) - 3.288$     | $\ell$ in mm              |

$$G = 10.00 - 2\log_2 \ell \tag{7}$$

$$G = 10.00 + 2\log_2 \bar{N}_L \tag{8}$$

where  $\ell_0$  is 32 mm and  $\bar{\ell}$  and  $\bar{N}_L$  are in millimetres at 1X or number of intercepts per mm for the macroscopically determined grain size numbers and in millimetres or number per mm on a field at 100X for the microscopically determined grain size numbers. Using this scale, measured grain size numbers are within about 0.01  $G$  units of grain size numbers determined by the planimetric method, that is, well within the precision of the test methods. Additional details concerning grain size relationships are given in Annex A1 and Annex A2.

12.4 The mean intercept distance,  $\bar{\ell}$ , measured on a plane section is an unbiased estimate of the mean intercept distance within the solid material in the direction, or over the range of directions, measured. The grain boundary surface area-to-volume ratio is given exactly by  $S_v = 2 N_L$  when  $N_L$  is averaged over three dimensions. These relations are independent of grain shape.

**13. Heyn (4) Lineal Intercept Procedure**

13.1 Estimate the average grain size by counting (on the ground-glass screen, on a photomicrograph of a representative field of the specimen, or on the specimen itself) the number of grains intercepted by one or more straight lines sufficiently long to yield at least 50 intercepts. It is desirable to select a combination of test line length and magnification such that a single field will yield the required number of intercepts. One such test will nominally allow estimation of grain size to the nearest whole ASTM size number, at the location tested. Additional lines, in a predetermined array, should be counted to obtain the precision required. The precision of grain size estimates by the intercept method is a function of the number of grain interceptions counted (see Section 19). Because the ends of straight test lines will usually lie inside grains (see 14.3), precision will be reduced if the average count per test line is low. If possible, use either a longer test line or a lower magnification.

13.2 Make counts first on three to five blindly selected and widely separated fields to obtain a reasonable average for the specimen. If the apparent precision of this average (calculated as indicated in Section 15) is not adequate, make counts on sufficient additional fields to obtain the precision required for the specimen average.

13.3 An *intercept* is a segment of test line overlaying one grain. An *intersection* is a point where a test line is cut by a grain boundary. Either may be counted, with identical results in a single phase material. When counting intercepts, segments at the end of a test line which penetrate into a grain are scored as half intercepts. When counting intersections, the end points of a test line are not intersections and are not counted except when the end appears to exactly touch a grain boundary, when 1/2 intersection should be scored. A tangential intersection with a grain boundary should be scored as one intersection. An intersection apparently coinciding with the junction of three grains should be scored as 1 1/2. With irregular grain shapes, the test line may generate two intersections with different parts of the same grain, together with a third intersection with the

# **ANEXO C**



# ANEXO C1

## Formatos



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



| REGISTRO DE DATOS INFORMATIVOS  |  |                 |  |                          |  |
|---------------------------------|--|-----------------|--|--------------------------|--|
| Probeta:                        |  | Autorizado por: |  | Realizado por:           |  |
| Lugar de realización:           |  |                 |  | Fecha de ejecución:      |  |
| Temperatura ambiente del lugar: |  |                 |  | Flujo de aire del medio: |  |

| ESPECIFICACIONES DEL PROCESO DE SOLDADURA |  |               |          |           |  |
|---|--|---------------|----------|-----------|--|
| Diseño de la junta:                       |  |               |          | Posición: |  |
| Tipo:                                     |  | Un solo lado: |          | Técnica:  |  |
|   |  | Ambos lados:  |          |           |  |
| Abertura de raíz:                         |  |               | Proceso: |           |  |
| Tipo de unión:                            |  |               | Tipo:    |           |  |
| METALES BASE                              |  |               |          |           |  |
| Especificaciones del material:            |  |               |          |           |  |
| Tipo o grado:                             |  |               |          |           |  |
| Espesor:                                  |  |               |          |           |  |
| Longitud de la probeta:                   |  |               |          |           |  |
| Característica:                           |  |               |          |           |  |
| Metal de aporte:                          |  |               |          |           |  |
| Amperaje / Voltaje:                       |  |               |          |           |  |
|   |  |               |          |           |  |



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA



| ENSAYO METALOGRÁFICO POR RÉPLICAS                            |  |                       |  |
|--|--|-----------------------|--|
| <b>DATOS INFORMATIVOS:</b>                                   |  |                       |  |
| Tipo de estudio:   |  | Ensayo N°             |  |
| Identificación del componente de estudio:                    |  |                       |  |
| Parte específica a replicar:                                 |  |                       |  |
| Solicitado por:  |  | Fecha:                |  |
| Centro de estudio y análisis:                                |  |                       |  |
| Realizado por:   |  | Supervisado por:      |  |
| <b>PARÁMETROS AMBIENTALES DEL LUGAR DURANTE EL ENSAYO:</b>   |  |                       |  |
| Lugar:   |  |                       |  |
| Temperatura ambiente   |  | Radiación:            |  |
| Velocidad del aire circundante:                              |  | Otros:                |  |
| <b>PARÁMETROS DE OBTENCIÓN DE LA RÉPLICA METALOGRÁFICA:</b>  |  |                       |  |
| Realizado bajo la norma:                                     |  | Designación           |  |
| Acondicionamiento de la superficie por:                      |  |                       |  |
| Temperatura durante el pulido                                |  | Superficie óptima en: |  |
| Ataque químico de la superficie con:                         |  | Tiempo de ataque:     |  |
| Material replicante:   |  |                       |  |
| Temperatura superficial durante la aplicación de la réplica: |  |                       |  |
| Tiempo de extracción de la réplica:                          |  | Espesor:              |  |
| <b>RESULTADO</b>   |  |                       |  |
|  |  |                       |  |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |  |                       |  |
|  |  |                       |  |

| EVALUACIÓN DE LA MICROESTRUCTURA:         |                         |
|---|-------------------------|
| <b>Determinación del tamaño de grano:</b> | <b>Microestructura:</b> |
| <b>Método ( ):</b>                        | <b>Magnificación :</b>  |
| <b>Cálculo:</b>                           |                         |
|   |                         |
| <b>Tamaño de grano:</b>                   |                         |
|   |                         |
| <b>Componentes:</b>                       |                         |
| <b>Componentes microestructurales:</b>    | <b>Porcentajes:</b>     |
|   |                         |
|   |                         |
| <b>Cálculo:</b>                           |                         |
|   |                         |
|   |                         |
| <b>Interpretación de resultados:</b>      |                         |
|   |                         |
| <b>Microestructura formada:</b>           |                         |

# **ANEXO D**

## ANEXO D1

### **MÓDULO 7. GESTIÓN DE LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

#### **U.D. 7.4: Sistemas de gestión de la prevención de riesgos laborales: Comunicación y formación**

Para el cumplimiento por parte de la empresa de los requisitos normativos debe llevar a establecer un procedimiento de "selección, actualización, distribución y registro de la legislación aplicable en P.R.L."

Este procedimiento debe contener:

- a) Cómo y qué persona en la empresa debe obtener información y de qué fuentes.
- b) A qué personas de la empresa hay que facilitar la información obtenida.
- c) Quién ha de diseñar y poner en marcha la cadena de acciones necesaria para cumplir con la nueva información.
- d) Quién y con qué método se comprobará la eficacia de las sesiones emprendidas.
- e) Qué tipo de registros documentales han de guardarse que justifiquen las acciones emprendidas.
- f) Quién debe y cómo debe actuar ante fallos detectados.

Un procedimiento debe seguir siempre un mismo guión en cuanto a su estructura.

- A. **OBJETO:** Establece con claridad el "por qué" del procedimiento.
- B. **ALCANCE:** Define los límites de aplicación del procedimiento.
- C. **DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA:** Cita la documentación en base a la cual se ha elaborado el procedimiento.
- D. **GENERALIZACIÓN:** Da información de carácter general que ayude a comprender el procedimiento.

E. REALIZACIÓN: Describe:

- Las actividades que son objeto del procedimiento.
- Formas de realizar las actividades.
- Responsabilidades.
- Interrelaciones entre los departamentos.
- Registros a efectuar y formatos.

F. ANEXOS: Se relaciona un ejemplo de cada registro o formato, así como cualquier otra información que se precise.

Todos los procedimientos contendrán obligatoriamente los apartados a, b, c y e, siendo los d y f opcionales, según sean o no necesarios.

**Fuente:** ASOCIACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES (1997) Guía de un plan de acción preventivo en la empresa, Madrid: Fundación Confemetal.

# **ANEXO E**

## **Anexo E1**

### **LEY ORGANICA DE DEFENSA DEL CONSUMIDOR**

**(04 febrero 2009)**

#### **CONTROL DE CALIDAD**

Art. 64.- BIENES Y SERVICIOS CONTROLADOS.- El Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN, determinará la lista de bienes y servicios, provenientes tanto del sector privado como del sector público, que deban someterse al control de calidad y al cumplimiento de normas técnicas, códigos de práctica, regulaciones, acuerdos, instructivos o resoluciones. Además, en base a las informaciones de los diferentes ministerios, y de otras instituciones del sector público, el INEN elaborará una lista de productos que se consideren peligrosos para el uso industrial o agrícola y para el consumo. Para la importación y/o expendio de dichos bienes, el ministerio correspondiente, bajo su responsabilidad, extenderá la debida autorización.

Art. 68.- UNIDADES DE CONTROL.- El Instituto Ecuatoriano de Normalización –INEN promoverá la creación y funcionamiento de los departamentos de control de calidad, dentro de cada empresa pública o privada, proveedora de bienes o prestadora de servicios. Así mismo, reglamentará la posibilidad de que, alternativamente, se contraten laboratorios de las universidades y escuelas politécnicas o laboratorios privados debidamente calificados para cumplir con dicha labor.