



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

Trabajo estructurado de manera independiente previo a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico

TEMA:

**“ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SUB-CERO MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO SÓLIDO EN LOS
ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140, Y SU INCIDENCIA EN LAS
PROPIEDADES MECÁNICAS”**

AUTOR:

Washington Vladimir Malán Castro

TUTOR:

Ing. César Arroba, Mg.

AMBATO – ECUADOR

2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de investigación, previo a la obtención del título de Ingeniera Mecánica, con el tema: “ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO SÓLIDO EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140, Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”, elaborado por el señor Washington Vladimir Malán Castro, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisada en cada uno de sus capítulos.
- Está concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Abril del 2015

.....
Ing. César Arroba, Mg.

Tutor

AUTORÍA

La responsabilidad de los criterio, opiniones, críticas y comentarios emitidas en el trabajo de investigación estructurado de manera independiente con tema: ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO SÓLIDO EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140, Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, son de exclusiva responsabilidad de autor Washington Vladimir Malán Castro, en tutoría de presente proyecto de grado.

Egdo. Washington Vladimir Malán Castro

C.I. 180464220-3

Autor

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a mis padres, quienes son un ejemplo de fuerza, perseverancia, amor y lucha, que diariamente supieron ayudarme a conseguir mis objetivos y metas de vida.

A mis hermanos que han sido pilares fundamentales de apoyo, ejemplo y esfuerzo mutuo para lograr las metas.

A mi esposa y a mi hijo, quienes son el motor y razón de mi vida, ya que gracias a nuestro hogar, me han llenado de amor y tranquilidad impulsándome aún más al logro de mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de tener una vida plena y llena de gracia para disfrutar de mi familia, tanto como padres, hermanos, esposa y mi hijo.

A todos mis amigos de curso y de vida, gracias a las locuras del aula, esfuerzo y consejos durante la vida estudiantil universitaria que han sido de gran ayuda para así juntos llegar a la meta trazada.

A mis maestros de cátedra quienes me han nutrido de conocimientos y experiencia propias para poder formarme en mi vida profesional venidera.

A todos quienes me han apoyado, ya sea con un consejo o con gran aliento, me han motivado para ser siempre seguir adelante y con mi frente en alto pese a la adversidad.

ÍNDICE DE PÁGINAS PRELIMINARES

TEMA	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE PÁGINAS PRELIMINARES	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xvii
RESUMEN EJECUTIVO	xviii

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN	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	4
1.2.5 Preguntas directrices	4
1.2.6 Delimitación del problema.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN	5
1.4. OBJETIVOS	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos	6
CAPÍTULO II	7
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	7
2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	9
2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	9
2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	10
2.4.1. Ingeniería de materiales	10
2.4.2 Tratamiento Térmicos.....	15
2.4.3. Tratamiento sub-cero	20
2.4.4. Resistencia de Materiales.....	23
2.4.5. Ensayos de Materiales	23

2.4.6. Microestructura de los Aceros al Carbono	34
2.4.7. Propiedades Mecánicas.....	37
2.5 HIPÓTESIS.....	40
2.6 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES	40
 CAPÍTULO III.....	 41
3. METODOLOGÍA	41
3.1 ENFOQUE.....	41
3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
3.2.1 Modalidad	41
3.2.2 Tipo.....	42
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	42
3.3.1 Población	42
3.3.2 Muestra	43
3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	44
3.4.1 Variable independiente	44
3.4.2 Variable dependiente	45
3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	46
3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	46
 CAPÍTULO IV.....	 48
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	48
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS	48
4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	51
4.2.1 Especificaciones de acero AISI 1045 en estado de suministro.....	54
4.2.2 Especificaciones de Temple y Revenido realizados a las probetas de acero AISI 1045 previo a los tratamientos Sub-cero.	54
4.2.3 Evaluación de Acero AISI 1045 en estado de Suministro.....	55

4.2.4 Evaluación de Acero AISI 1045 Templadas.....	62
4.2.5 Evaluación de Acero AISI 1045 Templadas y Revenidas.....	69
4.2.6 Evaluación de Acero AISI 1045 Tratamiento Sub-cero durante 1 hora.	77
4.2.7 Evaluación de Acero AISI 1045 Tratamiento Sub-cero durante 3 horas.	87
4.2.8 Evaluación de Acero AISI 1045 Tratamiento Sub-cero durante 6 horas.	97
4.2.9 Especificaciones de acero AISI 4140 en estado de suministro.....	107
4.2.10 Especificaciones de Temple y Revenido realizados a las probetas de acero AISI 4140 previo a los tratamientos Sub-cero.	107
4.2.11 Evaluación de Acero AISI 4140 en estado de Suministro.....	108
4.2.12 Evaluación de Acero AISI 4140 Templadas.....	115
4.2.13 Evaluación de Acero AISI 4140 Templadas y Revenidas.....	122
4.2.14 Evaluación de Acero AISI 4140 Tratamiento Sub-cero durante 1 hora.	130
4.2.15 Evaluación de Acero AISI 4140 Tratamiento Sub-cero durante 3 horas.....	140
4.2.16 Evaluación de Acero AISI 4140 Tratamiento Sub-cero durante 6 horas.....	150
4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	160
4.3.1 Interpretación de Resultados de los ensayos en el Acero AISI 1045 .	160
4.3.2 Interpretación de Resultados de los ensayos en el Acero AISI 4140	168
4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS	175
4.4.1 Verificación del acero AISI 1045	176
4.4.2 Verificación del acero AISI 4140	182
CAPÍTULO V	188
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	188
5.1 CONCLUSIONES	188
5.2 RECOMENDACIONES	190

CAPÍTULO VI.....	192
6. PROPUESTA.....	192
6.1 DATOS INFORMATIVOS	192
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	194
6.3 JUSTIFICACIÓN	194
6.4 OBJETIVOS	195
6.4.1 Objetivo General.....	195
6.4.2 Objetivos Específicos	195
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	195
6.5.1 Análisis Económico	196
6.5.2 Análisis Tecnológico	197
6.6 FUNDAMENTACIÓN	197
6.7 METODOLOGÍA (PROCEDIMIENTO).....	198
6.8 ADMINISTRACIÓN.....	235
6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	236
BIBLIOGRAFÍA	237
ANEXOS	240

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Relación del aumento de la micro-dureza de la matriz con el aumento en la resistencia al desgaste mediante la aplicación de tratamiento criogénico.	2
Tabla 2.1. Ejemplos, Aplicaciones y Propiedades representativas de cada familia de materiales	12
Tabla 2.2. Tipos de durezas y su Aplicaciones	29
Tabla 2.3. Reactivos químicos	34
Tabla 3.1. Casos de estudios del acero AISI 1045	43
Tabla 3.2. Casos de estudios del acero AISI 4140	43
Tabla 3.3. Operacionalización de la variable independiente.....	44
Tabla 3.4. Operacionalización de la variable dependiente.....	45
Tabla 4.1. Denominación de probetas para ensayo del acero AISI 1045	52
Tabla 4.2. Denominación de probetas para ensayo del acero AISI 4140	53
Tabla 4.3. Microestructuras del acero AISI 1045	160
Tabla 4.4. Valores del promedio de dureza superficial en HRC.....	161
Tabla 4.5. Valores y promedio del Sut en MPa.	162
Tabla 4.6. Valores y promedios de los porcentajes de elongación	164
Tabla 4.7. Valores y Promedios de los porcentajes de reducción de áreas	165
Tabla 4.8. Valores y promedio de la energía absorbida durante el impacto.	166
Tabla 4.9. Valores y promedio de la resistencia al impacto.....	167

Tabla 4.10. Microestructuras del acero AISI 4140	168
Tabla 4.11. Valores del promedio de dureza superficial en HRC.....	169
Tabla 4.12 . Valores y promedio del Sut en MPa.	170
Tabla 4.13. Valores y promedios de los porcentajes de elongación	171
Tabla 4.14. Valores y Promedios de los porcentajes de reducción de áreas.....	172
Tabla 4.15. Valores y promedio de la energía absorbida durante el impacto.	173
Tabla 4.16. Valores y promedio de la resistencia al impacto.....	174
Tabla 4.17. Comparación de los valores de dureza HRC	176
Tabla 4.18. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	176
Tabla 4.19. Comparación de los valores de SUT en MPa.	177
Tabla 4.20. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	177
Tabla 4.21. Comparación de los valores del % de Elongación	178
Tabla 4.22. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	178
Tabla 4.23. Comparación de los valores del % de Reducción de Área	179
Tabla 4.24. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	179
Tabla 4.25. Comparación de los valores de resistencia al impacto en J/mm ²	180
Tabla 4.26. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales.....	180
Tabla 4.27. Valores de pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales entre tratamiento sub-cero de 1 hora y temple y revenido en el acero AISI 1045.....	181

Tabla 4.28. Comparación de los valores de dureza HRC	182
Tabla 4.29. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	182
Tabla 4.30. Comparación de los valores de SUT en MPa	183
Tabla 4.31. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	183
Tabla 4.32. Comparación de los valores del % de Elongación	184
Tabla 4.33. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	184
Tabla 4.34. Comparación de los valores del % de Reducción de Área	185
Tabla 4.35. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	185
Tabla 4.36. Comparación de los valores de resistencia al impacto en J/mm ²	186
Tabla 4.37. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales	186
Tabla 4.38. Valores de pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales entre tratamiento sub-cero de 1 hora y temple y revenido en el acero AISI 4140.....	187
Tabla 6.1. Presentación de costos directos del trabajo de investigación.....	196
Tabla 6.2. Presentación de costos indirectos.....	197
Tabla 6.3. Datos inicial del acero AISI 1045	215
Tabla 6.4. Datos inicial del acero AISI 1045	218
Tabla 6.5. Administración y Costos de Investigación.....	235

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Categorías Fundamentales	10
Figura 2.2. Combinación del Conocimiento de los Materiales a partir de la Ciencia de Materiales y de la Ingeniería de Materiales.....	11
Figura 2.3. Tipos Metales	13
Figura 2.4. Representación de la Microestructura	15
Figura 2.5. Diagrama de temple y revenido	17
Figura 2.6. Efecto de la Temperatura de revenido sobre las Propiedades Mecánicas de un Acero.	19
Figura 2.7. Cambio de la molecular de la Microestructura.....	21
Figura 2.8. Esquema de ensayo a Tracción.....	24
Figura 2.9. Dimensiones de probetas a tracción normalizadas	25
Figura 2.10. Penetradores para dureza Brinell y Rockwell.....	28
Figura 2.11. Procedimiento de Ensayo Charpy.....	30
Figura 2.12. Dimensiones y tipo de probetas para ensayo Charpy con muesca. .	31
Figura 6.1. Ejes de acero en estado de suministro	204
Figura 6.2. Probetas para todo los ensayos elaboradas bajo normas especificas	205
Figura 6.3. Diagrama Temperatura vs. Tiempo del procedimientos de Tratamiento Sub-cero.	206
Figura 6.4. Horno de mufla a temperatura de 840 °C despues del tiempo establecido para el temple.	207

Figura 6.5. Sumergimiento de probetas en agua para el temple.	208
Figura 6.6. Sumergimiento en CO ₂ para el tratamiento Sub-cero.....	209
Figura 6.7. Calentamiento de probetas hasta temperatura ambiente.....	210
Figura 6.8. Probetas en el horno térmico para el tratamiento de revenido.....	211
Figura 6.9. Deformación controlada en la maquina universal	212
Figura 6.10. Ensayo Charpy	213
Figura 6.11. Registros de Datos	214
Figura 6.12. Detalle de Ruptura acero AISI 1045	221
Figura 6.13. Detalle de Ruptura acero AISI 4140.....	222
Figura 6.14. Corte de las muestras para metalografías	223
Figura 6.15. Desbaste superficial de muestras metalográficas	224
Figura 6.16. Pulido y secado de Probetas	225
Figura 6.17. Ataque Químico.....	226
Figura 6.18. Visualización en el microscopio.....	227
Figura 6.19. Ensayo de Dureza	232

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Comparación de la dureza superficial	162
Gráfico 4.2. Comparación de los promedio del Sut	163
Gráfico 4.3. Comparación de los promedio de los porcentajes de elongación ...	164
Gráfico 4.4. Comparación de los promedios de los porcentajes de reducción de área.	165
Gráfico 4.5. Comparación de los promedio de la energía absorbida durante el impacto.....	166
Gráfico 4.6. Comparación de los promedios de la resistencia al impacto.	167
Gráfico 4.7. Comparación de la dureza superficial	169
Gráfico 4.8. Comparación de los promedio del Sut	170
Gráfico 4.9. Comparación de los promedio de los porcentajes de elongación ...	171
Gráfico 4.10. Comparación de los promedios de los porcentajes de R. A.....	172
Gráfico 4.11. Comparación de los promedio de la energía absorbida durante el impacto.....	173
Gráfico 4.12. Comparación de los promedios de la resistencia al impacto.	174

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1	25
Ecuación 2.2	25
Ecuación 2.3	26
Ecuación 2.4	26
Ecuación 2.5	27
Ecuación 2.6	27
Ecuación 2.7	28
Ecuación 2.8	32
Ecuación 2.9	32

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

Autor: Washington Malán Castro

Tutor: Ing. César Arroba, Mg.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación muestra el comportamiento de los aceros AISI 1045 y AISI 4140 ante la aplicación del tratamiento Sub-cero, previamente templado en agua. El tratamiento Sub-cero es un tratamiento criogénico a una temperatura de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, para lo cual se aplicó dióxido de carbono sólido previamente granulado en contacto directo con estos materiales, ya que gracias a la conductividad térmica de los materiales, estos alcanzan un equilibrio térmico a dicha temperatura.

Este tratamiento se lo realizó en una caja térmica aislada para evitar las pérdidas de frío interno durante el mismo. El conjunto de tratamientos aplicados son; temple, Sub-cero y revenido, realizados en probetas normalizadas, estos tratamientos se los realizó en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, ya que estos cuentan con los equipos necesarios para estos tratamientos.

Los ensayos de tracción, charpy, dureza y metalográficos se los realizó en los laboratorios de la facultad, para poder comparar resultados y determinar el tratamiento más adecuado. Una vez analizados los resultados, se obtuvo que el tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora es el más idóneo para ambos materiales, ya que proporciona un incremento significativo en la resistencia a la tracción en ambos materiales y conserva las otras propiedades ensayadas en el aceros AISI 1045 y AISI 4140, en comparación con un temple en agua y un revenido de alivio de tensiones convencionales.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO SÓLIDO EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140, Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización

A nivel mundial los procedimientos de tratamientos térmicos en aceros son procesos comúnmente aplicados para mejorar las propiedades mecánicas, durante la fabricación de los aceros para uso industrial.

Estos tratamientos se los pueden realizar a diferentes temperaturas, sean estos por calentamiento o enfriamiento de los mismos, de acuerdo a las normas establecidas, dando un cambio en la microestructura para mejor las propiedades mecánicas en ellos, incrementando la vida útil durante sus aplicaciones.

El tratamiento térmico Sub-cero un procedimiento utilizado a nivel de mundial en industrial dedicadas a la fabricación de elementos de máquinas de alta resistencia , para mejora la dureza y su resistencia, principalmente en aceros de herramientas, este tratamiento es un conjunto de técnicas utilizadas para enfriar un material a temperaturas bajo cero, para modificar su microestructura y lograr mejoras sustanciales en resistencia al desgaste, la fatiga, la corrosión, estabilidad dimensional y eliminación de las tensiones internas, reduciendo la austenita retenida (Bohler Peru S.A., 2010).

En países de Latinoamérica como Perú ya se están realizando estudios y evaluaciones sobre los tratamientos criogénicos a temperaturas bajo cero, y los efectos que este tiene sobre los tratamientos comúnmente realizados en los aceros para mejorar las propiedades mecánicas de estos, en la Tabla 1.1 nos muestra los resultados del aumento de la resistencia al desgaste en relación con la microdureza de algunos materiales sometidos a tratamientos criogénicos.

Tabla 1.1. Relación del aumento de la micro-dureza de la matriz con el aumento en la resistencia al desgaste mediante la aplicación de tratamiento criogénico.

TIPO DE ACERO	% AUMENTO EN LA MICRODUREZA
A2	12,3%
D2	0,0%
D3	6,3%
D6	1,2%
H13	3,0%
M2	4,7%
O1	5,6%
P20	8,2%
S1	0,9%
420	4,9%

Fuente: Calmet. (2009). Aplicación de la Criogenia en el Tratamiento Térmico de aceros para trabajo en frío.

En nuestro país, estos tratamientos han empezado a desarrollarse en empresas privadas, esto se debe a la exclusividad de productos que brindan dichas empresas al mercado nacional, también se debe al conocimiento sobre los tratamientos térmicos a temperaturas bajo cero, ya que el diseño de equipos y el control a bajas temperaturas no se ha desarrollado de forma amplia en nuestro país, de tal manera que el estudio de este a nivel educacional se lo realiza de manera empírica y experimental por la falta de información de estos procedimientos.

En la Universidad Técnica de Ambato no se han realizado estudios sobre los tratamientos Sub-cero en los aceros, para determinar la variación y ventajas que este tratamiento pueda brindar a las propiedades mecánicas como; la dureza,

resistencia a la tracción, tenacidad y su estructura, las cuales podrían modificarse mejorando su funcionamiento e incrementando la vida útil de las pizas realizadas con estos aceros y sometidos a dicho tratamiento.

1.2.2 Análisis crítico

Los tratamiento térmicos nos ayudan a seleccionar adecuadamente un material para el momento del diseño, ya que estos nos permiten incrementar la vida útil de los materiales, haciéndolos más resistentes, pero no debemos limitarnos a los tratamientos térmicos convencionales, ya que con la innovación de la industria a nivel mundial y los requerimientos de la maquinaria se utilizan otros tratamientos que pueden mejorar algunas propiedades en los materiales que se requieran para su funcionamiento, permitiendo un mejor aprovechamiento de la industria para la manufactura de elementos de máquinas.

El presente trabajo de investigación analizará la variación de las propiedades mecánicas como; dureza, resistencia a la tracción y tenacidad en los materiales así también como la variación de la microestructura en los acero al AISI 1045 y AISI 4140, sometido al tratamiento termino Sub-cero, a temperaturas bajo 0 °C aplicando el dióxido de carbono sólido, es decir ,se llevarán a los materiales a una temperatura -78,5 °C, que es la temperatura del CO₂ en estado sólido, posterior a un temple en agua, este tratamiento en frío nos permitirá deducir la ausentita retenida producida durante el temple, esto se realizará mediante ensayos experimentales en los laboratorios dela carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, y se determinará el tiempo de permanecía adecuado temperatura bajo 0°C que influya circunstancialmente en los acero antes mencionado, para determinar mediante ensayos la variación de las propiedades mecánicas que han sufrido los aceros sometidos al tratamiento Sub-cero.

1.2.3 Prognosis

De no llevarse a cabo este estudio sobre el tratamiento Sub-cero en los acero AISI 1045 y AISI 4140 sobre la influencia en las propiedades mecánicas, no se podrá contribuir la industria con las ventajas y aplicación que brindan estos

procedimientos que mejoran las propiedades de los materiales, por ende el rendimiento y la vida útil durante su servicio, la cual puede ayudar a la misma industria, reduciendo los costos de mantenimiento y garantizando una mayor fiabilidad a las mismas empresas.

Es importante recalcar las posibles ventajas que este estudio puede brindar a estudiantes e ingenieros como fuente de referencia para contribuir con otro tipo de estudios similares ya sean en distintos materiales u otro tipo de aplicación que estén enfocados a la determinación del comportamiento de un acero u otro material que sean sometidos a tratamientos térmicos a temperaturas bajo cero.

1.2.4 Formulación del problema

¿El tratamiento térmico Sub-cero mediante la aplicación de CO₂ sólido podrá mejorar las propiedades mecánicas en los aceros AISI 1045 y AISI 4140?

1.2.5 Preguntas directrices

- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas iniciales de los aceros que deseamos mejorar para realizar los tratamientos térmicos?
- ¿A qué temperaturas se puede alcanzar la austenización y aliviar tensiones en los materiales a evaluar para el presente estudio?
- ¿Cuál será el tiempo óptimo de permanencia a temperatura bajo cero que influya en las propiedades de las muestras de los aceros?
- ¿Cómo se verificará la variación de la dureza, resistencia a la tracción, tenacidad y características metalográficas antes y después del tratamiento térmico?

1.2.6 Delimitación del problema

1.2.6.1 De contenido

Campo: Ingeniería Mecánica

Área: Tratamientos térmicos, Metalurgia Física, Ingeniería de Materiales.

1.2.6.2 Espacial

La investigación se realizó en la Universidad Técnica de Ambato, ubicada en la Av. de Los Chasquis y Av. Los Atis, entre Rio Guayllabamba y Rio Payamino, específicamente en el Laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y en el Laboratorios de Análisis de Esfuerzo y Vibración de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional.

1.2.6.3 Temporal

La presente investigación se la realizó durante el período Junio del 2014 y Marzo del 2015.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los aceros de alto contenido de carbono son los materiales más utilizados en la fabricación de elementos de máquinas y de herramientas, por su maquinabilidad, bajo costo y su resistencia a los diversos tratamientos térmicos. Pero si los tratamientos térmicos no se los realiza de manera correcta, también pueden hacerlos frágiles, cambiando otras propiedades que no se desean variar debido a la aplicación, sufriendo cambios en la microestructura o produciendo agrietamientos en los materiales, convirtiendo en una desventajas a los tratamiento sobre los aceros.

Mediante la aplicación de las técnicas para el tratamiento Sub-cero se podrá incrementar la vida útil del acero al carbono, debido a que por medio del enfriamiento a temperaturas bajo 0 °C, se puede reducir la austenita retenida de los materiales producida durante el temple, dándole una mayor dureza y resistencia al material, para lo cual se debe verificar el tiempo más adecuado que influya sobre la microestructura del material.

Para dicho enfriamiento se aplicará CO₂ sólido, ya que este compuesto puede alcanzar temperaturas aproximadas de -78.5 °C, produciendo una atmosfera casi inerte. El CO₂ sólido puede enfriar hasta una temperatura similar, gracias a la alta

conductividad que tienen los aceros, ya que a esa temperatura se puede reducir la austenita retenida durante el temple.

Por lo cual mediante este trabajo se determinará el procedimiento adecuado que se deberá realizar para un tratamiento térmico Sub-cero, que permita mejorar las propiedades de los aceros.

Para las temperaturas de temple y revenido que se realizará antes y después del tratamiento térmico Sub-cero respectivamente, se seleccionarán de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, tanto la temperatura de austenización de los aceros AISI 1045 y AISI 4140, así como también la temperatura de revenido de alivio de tensión en dichos acero según las recomendaciones de los catálogo de los fabricante.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Estudiar el tratamiento térmico Sub-cero mediante la aplicación de CO₂ sólido en los aceros AISI 1045 y AISI 4140 y su influencia en las propiedades mecánicas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Verificar las propiedades mecánicas y porcentaje de carbono de los aceros AISI 1045 y AISI 4140 en estado de suministro para la elaboración de probetas a ensayar.
- Determinar temperaturas de austenización de los aceros para el temple y la temperatura de revenido de los mismos para un alivio de tensiones.
- Determinar el tiempo de permanecía adecuado a temperatura bajo cero mediante CO₂ sólido que permita mejora las propiedades de los aceros.
- Evaluar la dureza, tenacidad y resistencia a la tracción de las probetas al finalizar los tratamientos necesarios para completar el tratamiento Sub-cero.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el presente estudio se ha tomado como referencia investigaciones realizadas con anterioridad, las mismas que se detallarán a continuación y se enunciarán sus conclusiones:

En la investigación realizada por el Ing. David Marco Rusiñol con el tema: “EFECTO DEL TRATAMIENTO CRIOGÉNICO EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTA DE TRABAJO EN FRÍO”, realizado en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona en el año 2004 se concluye:

- El tratamiento criogénico efectuado al UNIVERSAL y al HWS no aporta ninguna mejora significativa en cuanto a la dureza, la tenacidad o la resistencia al desgaste sea ésta puramente abrasiva o adhesiva. En cambio, para el WNr. 1.2379 cuando se realiza el mismo tratamiento criogénico y se reviene a baja temperatura se obtiene un importante aumento en la dureza y en la resistencia al desgaste adhesivo pero no en cambio en la resistencia al desgaste abrasivo.
- La resistencia al desgaste de los 3 aceros de herramienta tratados criogénicamente presenta una fuerte dependencia del mecanismo dominante. Cuando este mecanismo es puramente abrasivo ninguno de los 3 materiales estudiados obtiene un aumento significativo en la resistencia al desgaste, en cambio cuando el mecanismo prominente es adhesivo, los resultados obtenidos dependen del esfuerzo aplicado. Se obtienen mejoras para los 3 materiales respecto al tratamiento clásico de temple y revenido cuando se aplican bajas presiones, aunque sólo para el WNr. 1.2379 son significativas.

En la investigación realizada por la Ing. Gissela Lira Calmet con el tema: “APLICACIÓN DE LA CRIOGENIA EN EL TRATAMIENTO TÉRMICO DE ACEROS PARA TRABAJO EN FRÍO: K100 (AISI D3), realizado en la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ” en el año 2009 se concluye:

- Para el tratamiento de temple convencional, donde se encontraron los valores de austenita residual más altos, se midieron los valores de dureza más bajos. Para el caso de las probetas con tratamiento de temple + criogenia a $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$, se midieron los menores contenidos de austenita residual, y a su vez dieron los valores de durezas más altos.
- Para el caso de temple + criogenia a $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$, los resultados del ensayo de difracción por rayos X nos muestran una gran disminución en el contenido de austenita retenida y se registra un pequeño aumento en el contenido de martensita. Por lo tanto, a más bajas temperaturas de tratamiento, la cantidad de austenita residual es menor.
- A temperaturas más bajas de tratamiento criogénico, la dureza del acero aumenta. Sin embargo, la variación de resultados a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en comparación con los de a $-193\text{ }^{\circ}\text{C}$ es muy pequeña (1% máximo); esto indicaría, desde el punto de vista ingenieril, que no se justifica el tratamiento térmico de estos aceros a temperaturas criogénicas más bajas de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aun así, desde el punto de vista académico podemos decir que a temperaturas más bajas de tratamiento criogénico, la dureza aumenta.

En la investigación realizada por los Sres. M. Preciado¹, M. Solaguren-Beascoa, P. M. Bravo, J. M. Alegre con el tema: “TRATAMIENTOS CRIOGÉNICOS SOBRE EL ACERO F1560 CEMENTADO PARA LA MEJORA DE PROPIEDADES A FATIGA”, realizado en el Departamento de Ingeniería Civil, EPS Campus de San Amaro, en el año 2008 se concluyó que:

- Después de un tratamiento criogénico, la dureza no se ve alterada por la transformación de austenita retenida en martensita.
- El desgaste es la propiedad que se mejora con el tratamiento criogénico, resultando un tratamiento sin revenido anterior al tratamiento criogénico y un revenido posterior al mismo.
- Finalmente, no parece que haya diferencia entre dar un tratamiento criogénico convencional o multi-etapa, desde el punto de vista de propiedades, resultando este

último más ventajoso desde el punto de vista industrial, por ser más corto.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El desarrollo de esta investigación está dirigido a la verificación de la variación de la dureza, resistencia a la tracción y los posibles cambio que puedan sufrir las micro-estructuras de los acero de alto contenido de carbono tales como los aceros AISI 1045 Y AISI 4140 ante el efecto de la aplicación del tratamiento térmico Sub-cero a una temperatura cercanas de $-78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, que es la temperatura del dióxido de carbono sólido, que previamente serán sometidos a un temple y posteriormente a un revenido, estableciendo el procedimiento adecuado para la realizar dicho tratamiento térmico Sub-cero en los aceros antes mencionados.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La normativa en la cual se sustentará en tema de investigación sobre el estudio planteado, es la siguiente:

- ◆ ASTM E-3.- Especificación Estándar para la preparación de muestras metalográficas.
- ◆ ASTM E-18.- Métodos de prueba estándar para determinarla dureza de Rockwell y Dureza Rockwell Superficial de los Materiales Metálicos.
- ◆ ASTM E-8.- Método de prueba estándar para ensayo de tracción de materiales metálicos.
- ◆ ASTM E-112.- Método de prueba para determinación del tamaño promedio de grano.
- ◆ ASTM E-23.- Métodos de pruebas de impacto de materiales metálicos.

2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

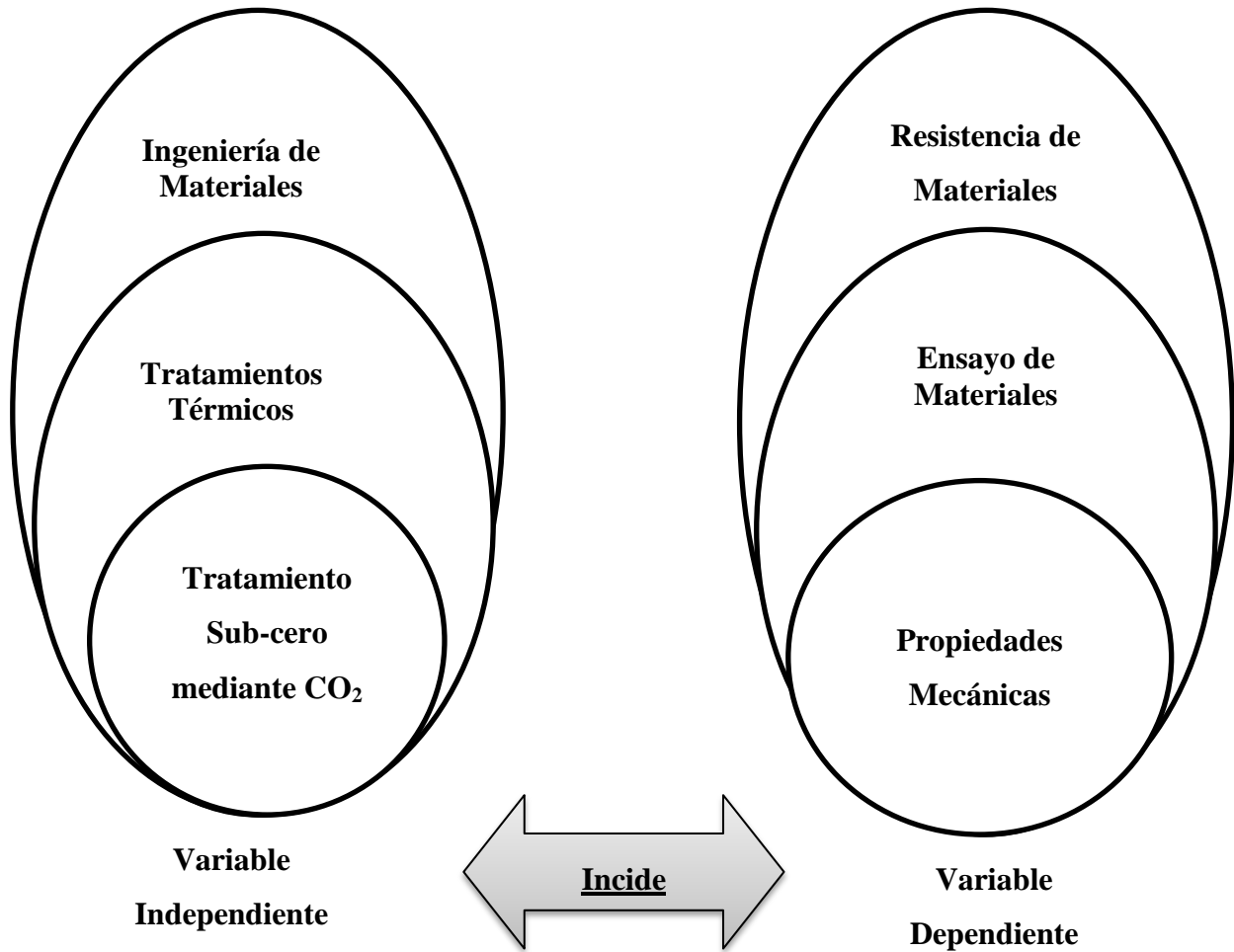


Figura 2.1. Categorías Fundamentales

Fuente: Autor

2.4.1 Ingeniería de materiales

La ingeniería de los materiales es una ciencia que se interesa principalmente por el emplear correctamente el conocimiento fundamental y aplicado acerca de los materiales, de modo que éstos puedan ser convertidos en los productos que la sociedad necesita o desea (Smith, 2006).

La ciencia e ingeniería es campo interdisciplinario que se busca descubrir o formar nuevos materiales y mejorar los materiales ya conocidos, mediante el desarrollo de un conocimiento más profundo de las relaciones entre microestructura, composición, síntesis y procesamiento.

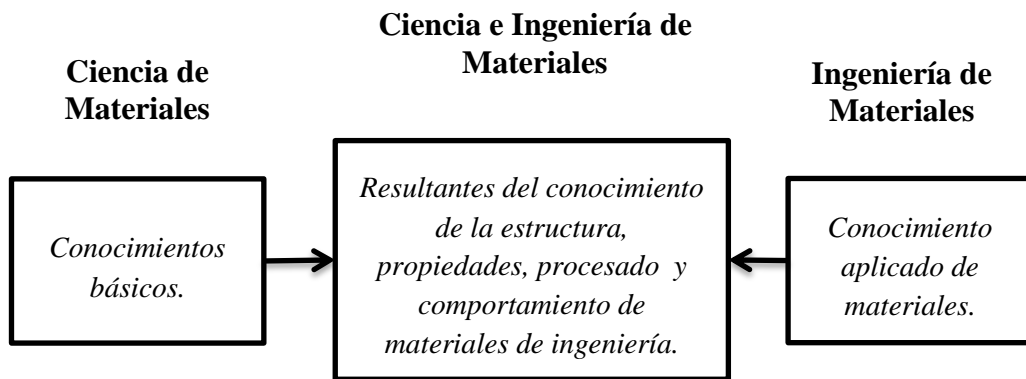


Figura 2.2. Combinación del Conocimiento de los Materiales a partir de la Ciencia de Materiales y de la Ingeniería de Materiales.

Fuente: Smith, W. (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales.

La composición indica la constitución química de un material. El término estructura significa una descripción del arreglo atómico, visto con distintos grados de detalle. La síntesis de un material indica la manera de fabricar a partir de elementos naturales o hechos por el hombre. El procesamiento indica el cálculo exacto en que se conforman los materiales en componentes útiles y para causar cambios en las propiedades de distintos materiales. Una de las funciones más importantes de los científicos e ingenieros en materiales es establecer las relaciones entre las propiedades y el funcionamiento de un material o de un dispositivo, así como la microestructura, la composición y la forma en la que el material se sintetizó y procesó. En la ciencia de materiales se subrayan las relaciones subyacentes entre la síntesis y el procesamiento, la estructura y las propiedades de los materiales. En la ingeniería de materiales el enfoque es hacia cómo convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles (Askeland, 1998).

2.4.1.1 Tipos de Materiales

Por facilidad y una mayor comprensión de los materiales utilizados en ingeniería se dividen en tres grupos principales: materiales metálicos, poliméricos y cerámicos, pero a estos grupos también se puede adicionar los semiconductores y los materiales compuestos. Cada uno de estos grupos de materiales posee estructuras y propiedades distintas, en la Tabla 2,1 se muestra algunos de los materiales de los diferentes grupos de acuerdo a las propiedades y las aplicaciones que estos poseen.

Tabla 2.1. Ejemplos, Aplicaciones y Propiedades representativas de cada familia de materiales

Aplicaciones		Propiedades
Metales		
Cobre	Alambre conductor eléctrico	Alta conductividad eléctrica, buena formabilidad
Hierro fundido gris	Bloques para motor de automóvil	Moldeable, maquinable, absorbe vibraciones
Aleación de aceros	Llaves	Endurecidas de manera significativa mediante tratamientos térmicos
Cerámicos		
SiO ₂ -Na ₂ O-CaO	Vidrio para ventana	Ópticamente útil, aislante térmico
Al ₂ O ₃ , MgO, SiO ₂	Refractarios para contener metal fundido	Aislantes térmicos, se funden a alta temperatura, relativamente inertes ante metal fundido
Titanato de bario	Transductores para equipo de audio	Convierten sonido en electricidad (comportamiento piezoeléctrico)
Polímeros		
Poliétileno	Empacado de alimentos	Fácilmente conformable en delgadas películas flexibles e impermeables
Epóxicos	Encapsulado de circuitos integrados	Eléctricamente aislante y resistente a la humedad
Fenólicos	Adhesivos para unir capas de madera laminada	Fuertes, resistentes a la humedad
Semiconductores		
Silicio	Transistores y circuitos integrados	Comportamiento eléctrico único
GaAs	Sistemas de fibras ópticas	Convierte señales eléctricas en luz
Compuestos		
Grafito en matriz epóxica	Componentes para aeronaves	Relación elevada resistencia-peso
Carburo de tungsteno-cobalto	Herramientas de corte de carburo para maquinado	Alta dureza, y de una buena resistencia al impacto
Acero recubierto de titanio	Recipientes para reactores	Tiene el bajo costo y la alta resistencia del acero, con la resistencia a la corrosión del titanio

Fuente: Askeland, (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

2.4.1.2 Metales

Los materiales metálicos son combinaciones de elementos metálicos. La mayoría de las propiedades de los metales se atribuyen a los electrones deslocalizados que no pertenecen a ningún átomo (Callister Jr., 2007).

Los metales y sus aleaciones, ya sean de hierro fundido, acero, cobre, etc., son buenos conductores de electricidad y de calor, tienen alta resistencia, rigidez y resistencia al impacto, son utilizados principalmente en estructuras o también en piezas sometidas a cargas. Las aleaciones de metales nos proporcionan mejoras notables en algunas propiedades particularmente deseables según las aplicaciones a las que estas serán sometidas, mediante la combinación de las propiedades de los materiales a combinarse (Callister Jr., 2007)



Figura 2.3. Tipos Metales

Fuente: Berlanga, M. (2012), Evolución de los Metales en la Pre-historia. Recuperado de <http://snakefoxhound.blogspot.com/2012/05/evolucion-historica-de-los-metales-en.html>

Los metales y las aleaciones suelen dividirse en dos clases: aleaciones y metales ferrosos que contienen un alto porcentaje de hierro, como el acero y el hierro fundido, y aleaciones y metales no ferrosos que carecen de hierro o contienen sólo cantidades relativamente pequeñas de éste. Son ejemplos de metales no ferrosos el aluminio, el cobre, el zinc, el titanio y el níquel. La distinción entre aleaciones ferrosas y no ferrosas se hace debido al empleo y producción considerablemente mayores de aceros y hierros fundidos en comparación con otras aleaciones (Smith, 2006).

Los metales también podemos encontrar dividido en dos grupos notables; los metales ferrosos y los metales no ferrosos.

Los metales ferrosos se basan en el hierro: el grupo incluye acero y hierro colado. Dichos metales constituyen el grupo comercial más importante más de las $\frac{3}{4}$ partes del peso total de los metales de todo el mundo. El hierro puro tiene un uso comercial limitado, pero cuando se mezcla con el carbono tiene más usos y mayor valor comercial que cualquier otro metal. Las aleaciones de hierro y carbono forman acero y hierro colado.

El acero se define como una aleación de hierro carbón que contiene 0,02% - 2,11% de carbono. Es la categoría más importante de metales ferrosos. Es frecuente que su composición incluya otros elementos de aleación tales como manganeso, cromo, níquel, molibdeno, para mejorar las propiedades del metal. Entre las aplicaciones del acero incluyen la construcción como por ejemplo: puentes, vigas tipo I y clavos, transporte como por ejemplo los camiones, rieles y equipo rodante para vías férreas y productos de consumo como son automóviles y aparatos (Groover, 1997).

El hierro colado es una aleación de hierro y carbono de 2% al 4% que se utiliza en el modelado. El silicio también está presente en la aleación en cantidades que van de 0,5% a 3%, y es frecuente que también se agreguen otros elementos para obtener propiedades deseables en el elemento fundido, El hierro colado se encuentra para obtener propiedades deseables en el elemento fundido. El hierro colado se encuentra disponible en distintas formas, de las que la más común es el hierro colado gris, sus aplicaciones incluyen bloques y cabezas para motores de combustión interna (Groover, 1997).

Los metales no ferrosos incluyen los demás elementos metálicos y aleaciones. En casi todos, los casos, las aleaciones tienen más importancia comercial que los metales puros. Los metales no ferrosos incluyen puros y aleaciones de aluminio, cobre, oro, magnesio, níquel, plata, estaño, titanio, zinc y otros metales. (Groover, 1997).

2.4.2 Tratamiento Térmicos

El postulado de Chernov acerca de que las propiedades de los aceros se determinan por la estructura y que esta depende de la temperatura de calentamiento y de la rapidez del enfriamiento, fue generalmente reconocido y durante los decenios siguientes, los investigadores establecieron la relación entre la estructura y las condiciones de su formación (principalmente la temperatura de calentamiento y la velocidad de enfriamiento). En los años 20 y 30 de este siglo investigadores como el soviético S.Steinberg, los norteamericanos Mell y Bain y los alemanes Weber, Hannerman y Esser, con sus numerosas y profundas investigaciones establecieron la cinética de las transformaciones del acero en sus diferentes composiciones químicas. (Alpizar Torres, 2004).

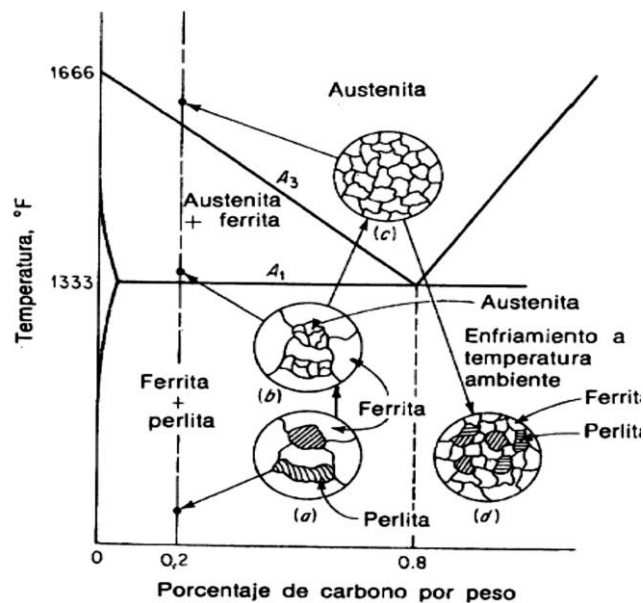


Figura 2.4. Representación de la Microestructura

Fuente: Avner, Introducción al Metalurgia Física, 1978

El Tratamiento Térmico involucra varios procesos de calentamiento y enfriamiento para efectuar cambios estructurales en un material, los cuales modifican sus propiedades mecánicas (Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2008). El objetivo de los tratamientos térmicos es proporcionar a los materiales unas propiedades específicas adecuadas para su conformación o uso final. No modifican la composición química de los materiales, pero si otros factores tales como los constituyentes estructurales y la granulometría, como consecuencia las

propiedades mecánicas, en la figura 2.3 podemos observar algunas de las micro estructuras de acuerdo al diagrama hierro-carbono (Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2008).

2.2.4.1 Etapas del tratamiento térmico

Un tratamiento térmico consta de tres etapas:

- Calentamiento hasta la temperatura fijada: La elevación de temperatura debe ser uniforme en la pieza.
- Permanencia a la temperatura fijada: Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida. Puede considerarse suficiente una permanencia de unos 2 minutos por milímetro de espesor.
- Enfriamiento: Este enfriamiento tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice.

Existen varios tipos de Tratamientos Térmicos, en tres los cuales los principalmente utilizados en la industria son el Recocido, Temple y Revenido.

2.2.4.2 Recocido

Es un tratamiento térmico que normalmente consiste en calentar un material metálico a temperatura elevada durante largo tiempo, con objeto de bajar la dureza del material haciéndolo más dúctil (Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2008).

El Recocido se realiza principalmente para:

- Alterar la estructura del material para obtener las propiedades mecánicas deseadas, ablandando el metal y mejorando su maquinabilidad.
- Recristalizar los metales trabajados en frío.
- Para aliviar los esfuerzos residuales.

Las operaciones de Recocido se ejecutan algunas veces con el único propósito de aliviar los esfuerzos residuales en la pieza de trabajo causadas por los procesos de formado previo. Este tratamiento es conocido como Recocido para Alivio de

Esfuerzos, el cual ayuda a reducir la distorsión y las variaciones dimensionales que pueden resultar de otra manera en las partes que fueron sometidas a esfuerzos (Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2008). Esto produce una estructura de grano más grueso, que se puede maquinar con mayor facilidad si el material es un acero de bajo carbono.

Se debe tener en cuenta que el Recocido no proporciona generalmente las características más adecuadas para la utilización del acero. Por lo general, al material se le realiza un tratamiento posterior con el objetivo de obtener las características óptimas deseadas (Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2008).

2.2.4.3 Temple

El temple es el enfriamiento rápido o brusco del acero desde una temperatura elevada sumergiendo la pieza en agua, aceite, sal o aplicando aire comprimido, esto produce que los elementos sometidos a este tratamiento deben formar una microestructura dura, es decir, que en la microestructura del acero se debe formar una matriz martensítica, posterior a este tratamiento se recomienda revenir la pieza templada.

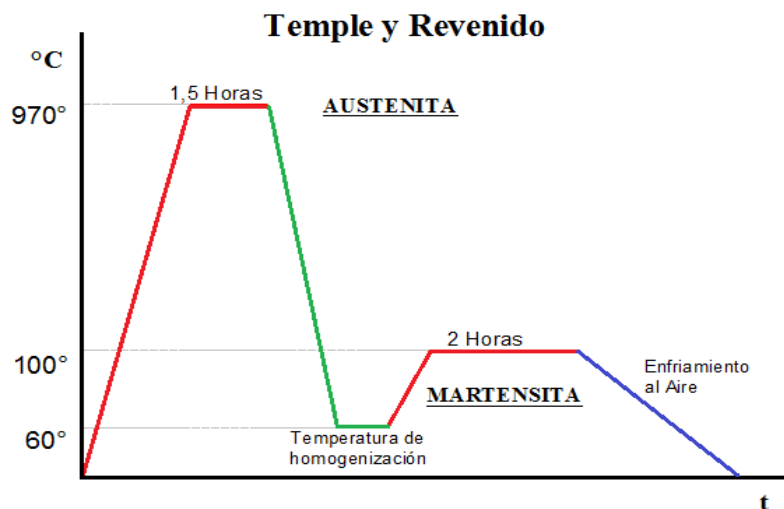


Figura 2.5. Diagrama de temple y revenido

Fuente: Ortiz, (2012), Diagrama Fe-C, recuperado de <http://ortizalvarosua12.blogspot.com/2012/12/diagrama-fe-c.html>

En la figura 2.4 tenemos un diagrama de temperatura vs tiempo que no indica el procedimiento a realizar a un elemento para someterlo a un tratamiento de temple y revenido.

El tratamiento térmico en general depende de la composición química del acero, por lo cual debemos conocer la composición del acero a tratar. Los factores que se consideran en el temple son, calentamiento hasta la temperatura de austenización, tiempo de permanencia a la temperatura de austenización y los medios de enfriamiento.

El Temple ordinario o directo es el método más ampliamente usado para tratar el acero. Se realiza calentando el acero hasta una temperatura aproximadamente unos 30 a 50 °C por encima de la temperatura de austenización y enfriando con una velocidad mayor que la crítica de temple, de modo que se produzca un endurecimiento notable, el cual se debe a la formación de martensita, esta puede ser superficial o en toda la pieza, esto depende de la capacidad de temple del acero, espesor de la pieza y tiempo de permanencia a temperatura de austenización.

El temple directo es relativamente simple y económico cuando se aplica a piezas cuyo servicio no es demasiado exigente. Este tratamiento no se debe aplicar en piezas que sean de materiales sensibles a la distorsión y el agrietamiento debido a lo brusco del enfriamiento. A veces se realiza por enfriamiento desde la temperatura de laminación o de forja inmediatamente después de la deformación en caliente.

Según Para templar una pieza y obtener mayor dureza de la misma podemos utilizar algunos medios de enfriamiento de acuerdo a nuestros requerimientos. El agua y las soluciones acuosas de sales inorgánicas tienen altas velocidades de enfriamiento, así también se puede realizar temple en aceite para evitar un enfriamiento demasiado rápido en los elementos a tratar.

Para prevenir un aumento de temperatura en el medio durante el temple, siempre es necesario proporcionar suficiente volumen del medio. De ser necesario en algunos casos, se recomienda insertar serpentines de enfriamiento en el tanque de temple, para controlar la temperatura del medio.

2.2.4.4 Revenido

El Revenido es un tratamiento complementario del Temple, que generalmente se lo realiza después del mismo, los aceros suelen quedar demasiados duros y frágiles para su uso, por lo cual para corregir la fragilidad en los metales se realiza el tratamiento térmico de revenido, que disminuye la dureza y la fragilidad excesiva.

Este tratamiento térmico consiste en calentar el acero después de haberle realizado un temple a una temperatura inferior al punto crítico o temperatura de recristalización, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretende resultados altos en tenacidad, o lentos, cuando se pretende reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones (Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2008).

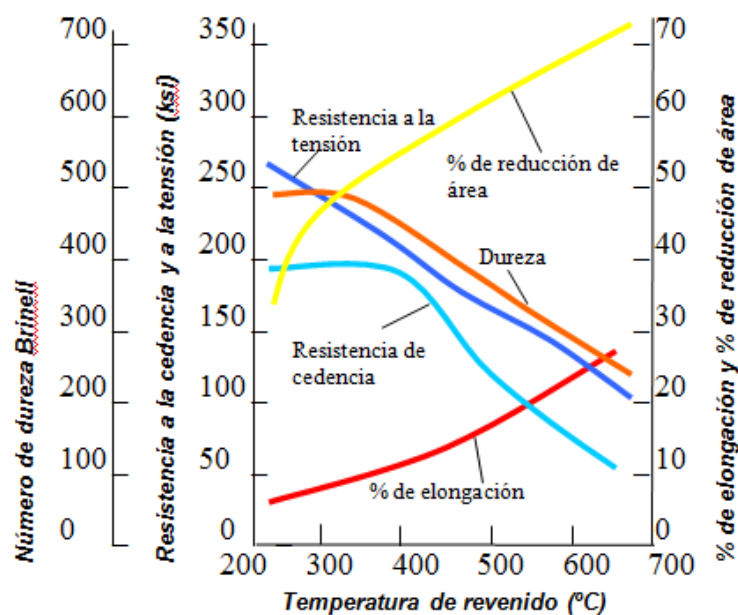


Figura 2.6. Efecto de la Temperatura de revenido sobre las Propiedades Mecánicas de un Acero.

Fuente: Facultad Ingeniería Industrial- Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2010, Tratamientos Térmicos.

La selección de la temperatura se la debe seleccionar de acuerdo a las propiedades que deseamos conseguir en el material y su aplicación, en la figura 2.5 tenemos un diagrama sobre los efectos en las propiedades mecánicas de acuerdo a la temperatura de revenido, es decir, la temperatura de revenido y la influencia sobre

las propiedades que deseemos conseguir en un acero, por lo cual es de gran importancia seleccionar una temperatura adecuada acorde a las necesidades de funcionamiento.

Revenido de aceros templados de realizarse mediante calentamiento de la pieza por períodos del orden de 1 a 3 horas a temperaturas menores que la de austenización de acuerdo a la composición de cada material y a las propiedades que se necesiten.

2.4.3 Tratamiento Sub-cero

El tratamiento criogénico consiste en enfriar los materiales a una velocidad de 2.5 °C/min. a 4.5 °C/min de temperatura ambiente a temperaturas bajo 0° C, mantener esta temperatura por un intervalo mínimo de 1 hora por pulgada de espesor, dejar regresar el material a temperatura ambiente por convección natural dentro de la cámara criogénica y finalmente aplicar un revenido a durante ahora a 3 horas por pulgada de sección transversal de la pieza, sin embargo se encuentra que a mayor tiempo de sostenimiento se puede mejorar la respuesta mecánica del material (I.Q.Msc. Johnny F. Obando., 2006).

Se debe llevar el material alrededor de los -80° C, para la transformación de la austenita retenida en martensita para cualquier acero, por lo que se obtiene una estructura de matriz martensítica. Esta estructura es dimensionalmente estable, ya que la martensita no se transforma en otra estructura a temperatura ambiente, además de ser más resistente al desgaste (Irias Rendón & Stackpole Armendáriz, 2001).

Para cualquier otro material no ferroso o ferroso sin tratamiento térmico, la estructura cristalina se perfecciona, eliminando vacancias, traslapos, dislocaciones, etc., transformación que resulta en una liberación de esfuerzos residuales muy considerable, haciendo más tenaz al material tratado. (Irias Rendón & Stackpole Armendáriz, 2001)

Este tratamiento es permanente y no es un sustituto del temple sino una continuación del mismo. Transforma la austenita retenida en martensita en los

aceros templados y perfecciona la red molecular en todo el material. (Irias Rendón & Stackpole Armendáriz, 2001)

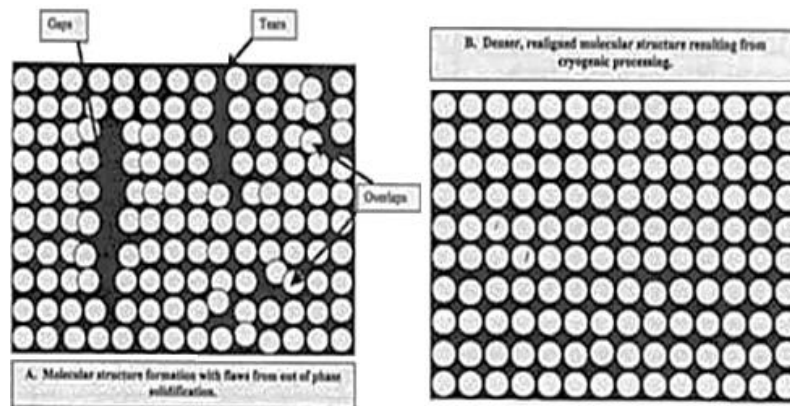


Figura 2.7. Cambio de la molecular de la Microestructura

Fuente: Irias Rendón, A., & Stackpole Armendáriz, C. (2001). Aplicación de Tratamientos Térmicos Criogénicos

El tratamiento Sub-cero logra aumentar la dureza del acero entre 2 y 3 puntos Rockwell C, como producto de la transformación, adicionalmente, este tratamiento también genera la precipitación de nano carburos en los límites de grano, los cuales aumentan la resistencia al desgaste, a la tensión y la fatiga, estabiliza dimensionalmente los materiales, mejora la tenacidad y reduce tensiones en el material. (I.Q.Msc. Johnny F. Obando., 2006)

En este proceso se utiliza como materia prima principal el dióxido de carbono en estado sólido (hielo seco), cuyo punto de sublimación es de $-78,5^{\circ}\text{C}$. También se emplea nitrógeno líquido, en algunos casos se hacen combinaciones de hielo seco con solventes para obtener menores temperaturas, pero su uso es muy limitado por su impacto ambiental, además de generar problemas de corrosión en los equipos refrigerantes o neveras empleados en el proceso (I.Q.Msc. Johnny F. Obando., 2006).

2.4.3.1. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es comúnmente conocido como Hilo Seco, su temperatura es de $-78,6^{\circ}\text{C}$ ($194,51^{\circ}\text{K}$). A temperatura ambiente se transferirá directamente al estado gaseoso sin residuos. Este procedimiento se conoce como sublimación.

Esto está asociado a un importante aumento en el volumen: 1 kg de hielo seco produce aproximadamente 541 litros de gas CO₂ (Linde S.A., 2008).

El Gas CO₂ no es inflamable y no tiene olor ni sabor. No es tóxico, está aprobado como aditivo alimentario.

Dado que el CO₂ es 1,5 veces más pesado que el aire, por lo general se hunde hasta el nivel del suelo de cualquier habitación. Esta propiedad conduce a algunas reglas importantes, que por consiguiente hay que tener en cuenta cuando se utiliza hielo seco (Linde S.A., 2008).

.El impacto de la respiración en bajos volúmenes de CO₂ es fisiológicamente insignificante. Sin embargo, las altas concentraciones de CO₂ pueden provocar asfixia.

El efecto del CO₂ es totalmente independiente de los efectos de bajas concentraciones de oxígeno. La concentración de oxígeno en el aire no es una medida eficaz de los riesgos potenciales de alta concentraciones de CO₂: es posible tener un nivel aceptable (bajo) de la concentración de oxígeno de, por ejemplo, el 18%, pero al mismo tiempo que una peligrosa concentración de CO₂ superior al 5% (Linde S.A., 2008).

Es muy recomendable, por tanto, medir de forma continua las concentraciones con de CO₂ en ubicaciones con riesgo por ejemplo, mediante el uso de un detector personal de gases.

El valor límite de exposición laboral es 5.000 ppm (0,5% en volumen) que se calcula como un promedio de concentración en el aire durante un período de 8 horas. La concentración máxima de trabajo permitida es de 10.000 ppm (1% en volumen) por no más de dos veces por hora o 4 veces al día (Linde S.A., 2008).

Debido al elevado peso molecular del CO₂ que se acumula rápidamente en los niveles más bajos de los ambientes cerrados y se quedará allí a menos que la sala esté equipada con una ventilación efectiva o un sistema de extracción.

El rescate de personas heridas en atmósfera enriquecida en CO₂ sólo se permite cuando se utiliza con suministro de aire de protección respiratoria.

La temperatura del hielo seco es de $-78,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y da lugar a congelaciones si entra en contacto directo con la piel. Durante la manipulación de hielo seco es obligatorio el uso de guantes aislantes y de protección para los ojos, en particular durante las proyecciones y las actividades de limpieza (Linde S.A., 2008).

2.4.4. Resistencia de Materiales

La Resistencia de Materiales es una simplificación de la Teoría de la Elasticidad de los materiales. El origen de la simplificación es una serie de hipótesis sobre la forma geométrica de los sólidos elásticos que se analizan y sobre la cinemática o manera en que tiene lugar la deformación de los mismos (Askeland, 1998).

2.4.4.1. Teoría de la Elasticidad.

La Resistencia de Materiales es una disciplina con empleo permanente en la práctica de la ingeniería desde la segunda mitad del siglo XIX. En consecuencia, sus hipótesis se encuentran muy sancionadas por la experiencia, ya que han servido de forma generalizada para el día a día del proyecto de estructuras, maquinas, recipientes a presión, vehículos terrestres, buques y aeronaves (Askeland, 1998).

2.4.5. Ensayos de Materiales

Es de principal importancia realizar una adecuada selección de materiales para ciertas condiciones de servicio requeridas, acorde a las propiedades mecánicas de los materiales. Principalmente el proceso para seleccionar una material requiere de un análisis de la aplicación a la que será sometido, para determinar las características más importantes que debe tener el material. Ya conocidas las propiedades requeridas por la aplicación se puede realizar una selección adecuada mediante los manuales y catálogos de proveedores.

Pero también es de importancia saber cómo determina las propiedades de los materiales que no indican los catálogos. Las propiedades de los materiales de las puede determinar mediante diversos ensayos como por ejemplo los ensayos que se detallan a continuación.

2.4.5.1. Ensayos de Tracción

Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o gradualmente aplicada. La probeta es colocada en la máquina universal de pruebas y se aplica una carga como se muestra en la figura 2.7. Para poder medir el alargamiento de dicha probeta se utiliza un deformímetro.

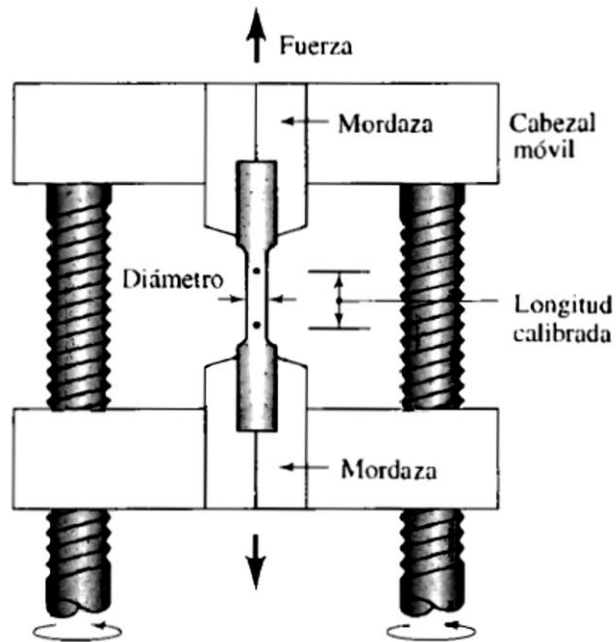


Figura 2.8. Esquema de ensayo a Tracción

Fuente: Askeland, d. R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

El deformímetro es un instrumento de medición que se utiliza para comparar cotas mediante la medición indirecta del desplazamiento de una punta de contacto esférica cuando el aparato está fijo en un soporte. Consta de un mecanismo de engranajes o palancas que amplifica el movimiento del vástago en un movimiento circular de las agujas sobre escalas graduadas circulares que permiten obtener medidas con una precisión de centésimas o milésimas de milímetro (Askeland, 1998).

Las dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción deben ser realizadas bajo norma, es decir, se la debe realizar acorde a los estándares internacionales, en este caso este tipo de ensayos están regidos por la norma ASTM E-8, donde se utilizan una variedad de probetas de acuerdo a la sección transversal, para los

ensayos se utilizarán probetas de circulares la lo cual las dimensiones deberán ser como las de la figura 2.10., de acuerdo con la norma.

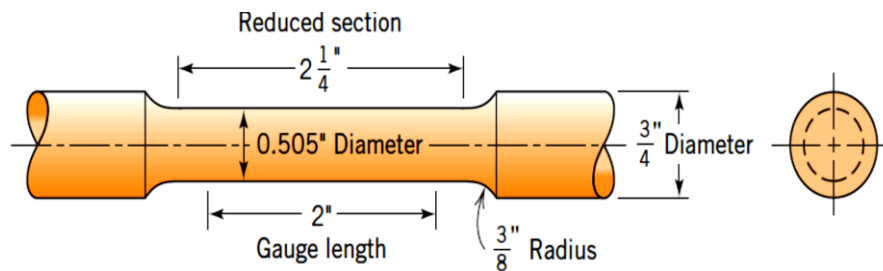


Figura 2.9. Dimensiones de probetas a tracción normalizadas
Fuente: Callister (2007), Materials Science and Engineerig.

Los diagramas de deformación - esfuerzo ingenieril, se pueden realizar a partir de de los datos obtenidos durante el ensayo, la elongación que se produce en una longitud calibrada a través de carga controlada (Askeland, 1998). El esfuerzo ingenieril está definida por la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Ecuación 2.1

Dónde:

- F : es la carga aplicada a la probeta, Newton [N] o libras [lb],
- A_0 : es el área de la sección original antes de aplicar la carga [m^2 o $pulg^2$].

Para calcular el área de la sección transversal inicial antes de aplicar la carga se lo puedes hacer mediante la siguiente ecuación:

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

Ecuación 2.2

Dónde:

- d_0 : es el diámetro inicial de la probeta en mm.

Por lo que el esfuerzo esta dado en fuerza sobre área, por lo cuan las unidades pueden ser [PSI] o también dadas en [MPa]

Mientras que la deformación ingenieril está definida por la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Ecuación 2.3.

Dónde:

- l_0 : es la longitud original antes de aplicar la carga,
- l : es la longitud después de aplicar la carga.

Mediante este ensayo podemos determinar las siguientes propiedades:

Resistencia a Tracción.- Es el esfuerzo necesario para continuar la deformación pastica en los metales aumenta hasta un máximo, y disminuye hasta que finalmente se produce la fractura (Askeland, 1998). La resistencia a tracción (S_{ut}) es el esfuerzo en el punto máximo que puede soportar una estructura sometida a tracción; si este esfuerzo aplicado se mantiene, se producirá la fractura, esta propiedad se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$S_{ut} = \frac{P_{Max}}{A_0}$$

Ecuación 2.4

Dónde:

- P_{Max} : es la carga máxima durante el ensayo.
- A_0 : es el área transversal inicial de la probeta.

Ductilidad.- Se mide por el grado de deformación que puede soportar un material sin romperse (Askeland, 1998). Es la medida de la distancia entre las marcas calibradas en una probeta antes y después del ensayo. El porcentaje de elongación

representa la distancia que la probeta se alarga plásticamente antes de la fractura y se determina mediante la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100$$

Ecuación 2.5

Dónde:

- l_f : Es la distancia entre las marcas calibradas después de la ruptura del material.

También se lo puede calcular por el porcentaje de reducción del área transversal en el punto de fractura de la probeta, es decir, el porcentaje de reducción del área transversal, para lo cual se puede aplicar la ecuación:

$$\% \text{ de reducción del Área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100$$

Ecuación 2.6

Dónde:

- A_f : Es el área de la sección transversal de fractura.

La ductilidad es una de las propiedades más importantes al momento del diseño. Por lo que al momento de diseñar piezas se desea un porcentaje de ductilidad específico para la aplicación, para evitar fallar durante su servicio.

2.4.5.2 Ensayo de Dureza

Los ensayos de dureza se los realiza sobre la superficie de un material, y se lo mide por la penetración que tenga otro objeto duro. Para esto se ha inventado una variedad de pruebas de dureza pero lo más comunes utilizados son los ensayos Rockwell y Brinell, así como diferentes penetrador de acuerdo al tipo de dureza que se desee medir , en la figura 2.9 tenemos algunos penetradores de acuerdo a

los ensayos de durezas más comúnmente utilizados en los aceros (Askeland, 1998).

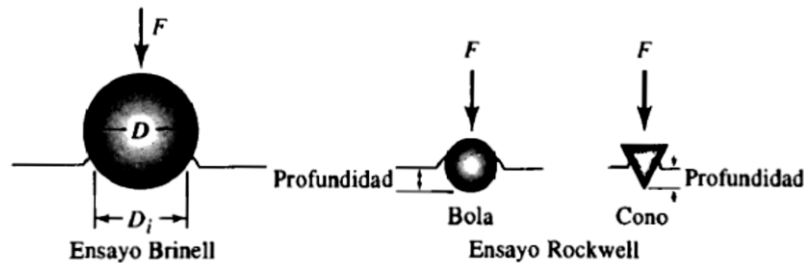


Figura 2.10. Penetradores para dureza Brinell y Rockwell

Fuente: Askeland, d. R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

Ensayo de Dureza Brinell.- Se lo realiza mediante una esfera de acero duro, esta esfera puede ser de diferente diámetro, que se aplica sobre la superficie del material, después se procede a medir el diámetro de la impresión y se calcula el número de dureza o índice de dureza Brinell [*HB*] mediante la aplicación de la ecuación:

$$HB = \frac{F}{D(\pi/2) \left(D - \sqrt{D^2 - D_i^2} \right)}$$

Ecuación 2.7

Dónde:

- *F*: es la carga aplicada [kg].
- *D*: es el diámetro del penetrador [mm].
- *D_i*: es el diámetro de la impresión de la esfera [mm].

Ensayo de dureza Rockwell.- Se caracteriza por la utilización de diferentes penetradores, como por ejemplo, para materiales blandos se utiliza una bola de acero, mientras que para materiales duros se utiliza un cono de diamante. La profundidad de la penetración es medida automáticamente por la maquina utilizada para el ensayo, conocida como Durómetro, y se convierte a índice de dureza Rockwell [*HR*] (Askeland, 1998).

También tenemos otros métodos de medición de la dureza en los materiales como son los ensayos Vicker [HV] y Koop [HK], estas son pruebas de micro-dureza, que realizan penetraciones tan pequeñas y para la determinación de estas durezas se utiliza también un microscopio para obtener la dureza (Askeland, 1998).

En la tabla 2.2, tenemos las dimensiones de los penetradores y cargas a utilizarse de acuerdo al tipo de dureza a medir según el material y tipo de dureza.

Tabla 2.2. Tipos de durezas y su Aplicaciones

Ensayo	Penetrador	Carga (Kg)	Aplicación
Brinell	Bola de 10 mm	3000	Hierro y aceros fundidos
Brinell	Bola de 10 mm	500	Aleaciones no ferrosas
Rockwell A	Cono de diamante	60	Materiales muy duros
Rockwell B	Bola de 1/6 plg	100	Latón, acero de baja resistencia
Rockwell C	Cono de diamante	150	Acero de alta resistencia
Rockwell D	Cono de diamante	100	Acero de alta resistencia
Rockwell E	Bola de 1/8 plg	100	Materiales muy suaves
Rockwell F	Bola de 1/16 plg.	60	Aluminio, materiales suaves
Vickers	Pirámide de diamante	10	Materiales duros
Knoop	Pirámide de diamante	500	Todos los materiales

Fuente: Askeland, d. R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

La dureza tiene una íntima relación con la resistencia al desgaste con el material, ya que para elementos para molienda se necesita que este sea más duro y de esta manera asegurarse que no se desgastará debido a las materiales a moler, también de manera similar podemos tener en los dientes de engranes y otras piezas que estén sometidas a desgaste.

2.4.5.2. Ensayos Charpy

Este ensayo consiste en someter el material a un golpe súbito e intenso, en mismo que posee una alta velocidad al momento de la aplicación del esfuerzo, en este tipo de ensayo el material puede tener un comportamiento más frágil que durante el ensayo de tracción (Askeland, 1998).

Para este ensayo se utiliza un péndulo pesado, la posición inicial del péndulo de estar a una altura determinada (h_o), el mismo que al caer describe un arco para golpear y romper la probeta y llegar a una altura (h_f), la cual será menor que la inicial, como se puede observar en la figura 2.10.

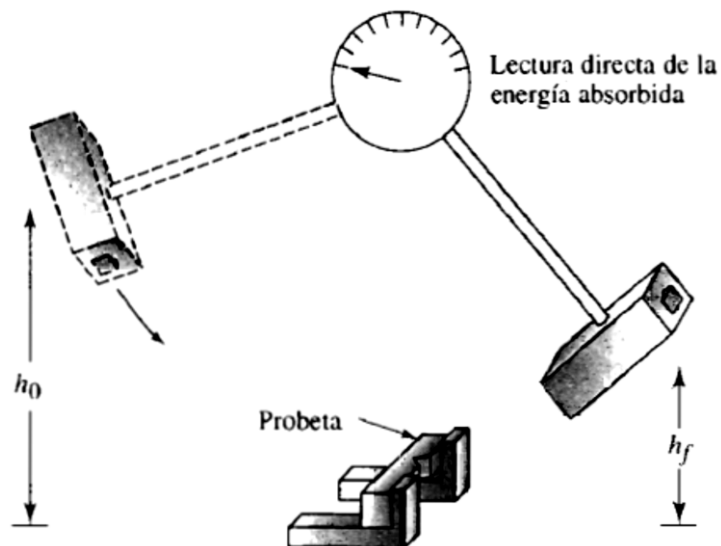


Figura 2.11. Procedimiento de Ensayo Charpy

Fuente: Askeland, d. R. (1998). Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

Conocidas las alturas tanto inicial como final se puede calcular la diferencia de energía potencial, esta diferencia es conocida como la energía de impacto absorbida por el material durante la ruptura de la probeta. La Capacidad de un material para resistir cargas a impacto se conoce como tenacidad del material (Askeland, 1998).

Este ensayo se utiliza para evaluar la fragilidad de un material, para lo cual se utiliza el ensayo Charpy, que se utiliza para materiales metálicos.

Las probetas utilizadas para este tipo de ensayo también están normadas, estas constan de una muesca en V, para medir de mejor manera la resistencia del material a la propagación de grietas, según la norma Normas ASTM E-23, donde se especifican las dimensiones de dichas probetas para este ensayo, como se muestran en la figura 2.11 para probetas con muesca de tipo V.

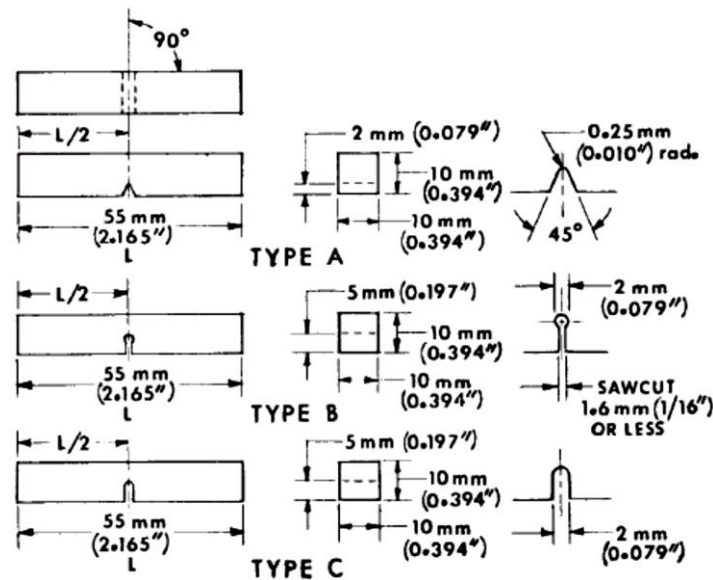


Figura 2.12. Dimensiones y tipo de probetas para ensayo Charpy con muesca.

Fuente: Normas ASTM E-23(2011), Métodos de pruebas de impacto de materiales metálicos.

Sensibilidad a las muescas.- Las muescas realizadas en los elementos, sean estos por diseño o por fabricación, son zonas de concentración de esfuerzos, por lo que este reduce la tenacidad del material. Dicha sensibilidad se puede evaluar realizando ensayo con y sin muesca en los materiales. Si la energía absorbida por la probeta con muesca es menor a las probetas sin muesca, entonces el material sometido a esta prueba tiene gran sensibilidad a estas (Askeland, 1998).

Relación con el diagrama esfuerzo-deformación.- El área bajo la curva de esfuerzo-deformación está relacionada directamente con la energía necesaria para romper el material, es decir, aquellos materiales con posean una alta ductilidad y resistencia, tienen una buena tenacidad (Askeland, 1998).

Resistencia al Impacto.- La resistencia al impacto describe la capacidad del material a absorber energía producida durante el impacto por el área transversal

donde se produce este, la resistencia al impacto es definida por la siguiente ecuación:

$$KCU = \frac{\text{Energía Absorbida al Impacto [N.m]}}{\text{Área Transversal [cm}^2\text{]}}$$

Ecuación 2.8

El área transversal es de ruptura de la probeta, es decir, en la mitad de la misma donde se encuentra la muesca en tipo, la profundidad de la muesca en v es de 2mm, por lo tanto el área es esta dada por:

$$A_t = l * l_v$$

Ecuación 2.9

Dónde:

- l : es la longitud de la probeta normalizada (10 mm)
- l_v : es la longitud del lado de la muesca (8 mm)

2.4.5.3. Ensayos metalográficos

La metalografía es la parte de la metalurgia que estudia las características estructurales o de constitución de los metales y aleaciones, para relacionarlas con las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los mismos.

La importancia del examen metalográfico radica en que, aunque con ciertas limitaciones, es capaz de revelar la historia del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material. Este estudio se lo debe realizar en una superficie previamente pulida y atacada con un reactivo adecuado de acuerdo al tipo de material a ensayar.

La metalografía es uno de los análisis más importantes para garantizar la calidad de los materiales en los procesos de fabricación, también para realizar estudios de nuevas aleaciones, determinar el tamaño de grano de los materiales y los cambios de fases producidos por los tratamientos térmicos en los materiales.

Para este tipo de ensayo el procedimiento que se realiza incluye la extracción de la muestra del material, preparación y ataque químico de la muestra, para terminar en la observación microscópica.

Extracción de la muestra.- Para la muestra es fundamental considerar el lugar de donde se extraerá la probeta y la forma en que se hará dicha extracción.

En cuanto a la forma de extracción de la probeta se debe tener en cuenta que esta operación debe realizarse en condiciones tales que no afecten la estructura superficial de la misma. Por lo tanto se debe cuidar que la temperatura del material no se eleve demasiado durante el proceso de extracción.

La extracción se puede hacer con cierras de corte manual, o en el caso de piezas muy duras con cortadoras sensitivas muy bien refrigeradas.

Desbaste grueso.- Se lo realiza una vez extraída la probeta con la finalidad de reducir las irregularidades, producidas en la operación de extracción, hasta obtener una cara lo más plana posible.

Desgaste fino.- Desbaste fino mediante papel abrasivo consiste en colocar este papel sobre una placa plana y limpia y se mueve la probeta longitudinalmente de un lado a otro del papel aplicándole una presión suave, se debe mantener la misma la dirección para que todas las rayas sean paralelas. Durante la operación se debe dejar que una corriente de agua limpie los pequeños desprendimientos de material y a su vez lubrique y refrigere la zona desbastada.

La operación de desbaste fino comienza con un papel abrasivo de 150, seguido del 250, 400, para terminar con el 600 o 1000.

Pulido.- El pulido tiene por objeto eliminar las rayas finas producidas en el desbaste fino y producir una superficie con características tipo espejo. Esta operación por lo general se realiza en forma mecánica y se utiliza un paño impregnado con partículas de algún abrasivo en solución acuosa (Zamora Carbó, 2014). Los abrasivos acuosos pueden ser: pasta de diamante, alúmina, alundun, etc. El abrasivo comúnmente utilizado es la alúmina, que es óxido de aluminio.

Ataque Químico.- El ataque químico de la cara que se observará tiene por objetivo poner en evidencia, mediante un ataque selectivo, las características estructurales de la muestra.

Al aplicar el reactivo sobre la superficie a observar, las características de la estructura son reveladas como consecuencia de un ataque selectivo de la superficie (Zamora Carbó, 2014). Esto se debe a que las distintas fases así como los planos cristalográficos diferentemente orientados poseen diferencias en la susceptibilidad al ataque, en la tabla 2.3 podemos observar algunos de los reactivos que se utilizan de acuerdo al tipo de acero y su composición.

Tabla 2.3. Reactivos químicos

Nombre del Reactivo	Composición	Aplicaciones	
Ácido Nítrico (Nital 2)	Ácido nítrico.....	2 cm ³	Aceros, Hierros, Fundiciones
	Alcohol.....	100 cm ³	
Ácido Pírico (Picral)	Ácido pírico.....	4 grs.	Aceros de baja aleación
	Alcohol.....	100 cm ³	
Ácido clorhídrico	HCL Concentrado.....	1 cm ³	Aceros Templados
	Agua.....	100 cm ³	
Reactivo de Bolton	Ácido pírico.....	6 grs	Fundiciones
	Alcohol etílico.....	78 cm ³	
	Ácido nítrico.....	2 cm ³	
	Agua.....	20 cm ³	
Ácido Nítrico concentrado	Ácido Nítrico concentrado.	50 cm ³	Latones (alfa + beta)

Fuente: Facultad Ingeniería Industrial- Escuela de Ingeniería Julio Garavito, 2010, Tratamientos Térmicos.

2.4.6. Microestructura de los Aceros al Carbono

El hierro puro apenas tiene aplicaciones industriales, pero formando aleaciones con el carbono, es el metal más utilizado en la industria moderna, todo el carbono que contienen las aleaciones Fe-C está en forma de carburo de hierro (CFe₃). Por eso, las aleaciones Fe-C se denominan también aleaciones hierro-carburo.

Las aleaciones con contenido de C comprendido entre 0.03% y 1.76% tienen características muy bien definidas y se denominan aceros. Los aceros de cualquier proporción de carbono dentro de los límites citados pueden alearse con otros elementos, formando los denominados aceros aleados o aceros especiales. Algunos aceros aleados pueden contener excepcionalmente hasta el 2.5% de C. Los aceros generalmente son forjables, y es ésta una cualidad muy importante que los distingue. Si la proporción de C es superior a 1.76% las aleaciones de Fe-C se denominan fundiciones, siendo la máxima proporción de C aleado del 6.67%, que corresponde a la cementita pura. Las fundiciones, en general, no son forjables (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

2.4.6.1. Componentes de la micro-estructura del Aceros

En las aleaciones Fe-C pueden encontrarse hasta once constituyentes diferentes, pero los principales componentes son:

Ferrita.- Es una solución sólida de carbono en hierro alfa, su solubilidad a la temperatura ambiente es tan pequeña que no llega a disolver ni un 0.008% de C. Es por esto que prácticamente se considera la ferrita como hierro alfa puro. La ferrita es el más blando y dúctil constituyente de los aceros. Tiene una dureza de 95 Vickers, y una resistencia a la rotura de 28 Kg/mm^2 , llegando a un alargamiento del 35 al 40%. Además de todas estas características, presenta propiedades magnéticas. Al microscopio aparece como granos monofásicos, con límites de grano más irregulares que la austenita. El motivo de esto es que la ferrita se ha formado en una transformación en estado sólido, mientras que la austenita, procede de la solidificación (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

Cementita.- Es carburo de hierro y por tanto su composición es de 6.67% de C y 93.33% de Fe en peso. Es el constituyente más duro y frágil de los aceros, alcanzando una dureza de 960 Vickers. Cristaliza formando un paralelepípedo ortorrómbico de gran tamaño. Es magnética hasta los 210°C , temperatura a partir de la cual pierde sus propiedades magnéticas (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

Perlita.- Es un constituyente compuesto por el 86.5% de ferrita y el 13.5% de cementita, es decir, hay 6.4 partes de ferrita y 1 de cementita. La perlita tiene una dureza de aproximadamente 200 Vickers, con una resistencia a la rotura de 80 Kg/mm² y un alargamiento del 15%. Cada grano de perlita está formado por láminas o placas alternadas de cementita y ferrita (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

Esta estructura laminar se observa en la perlita formada por enfriamiento muy lento. Si el enfriamiento es muy brusco, la estructura es más borrosa y se denomina perlita sorbítica. Si la perlita laminar se calienta durante algún tiempo a una temperatura inferior a la crítica (723 °C), la cementita adopta la forma de glóbulos incrustados en la masa de ferrita, recibiendo entonces la denominación de perlita globular (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

Austenita.- Este es el constituyente más denso de los aceros, y está formado por la solución sólida, por inserción, de carbono en hierro gamma. La proporción de C disuelto varía desde el 0 al 1.76%, correspondiendo este último porcentaje de máxima solubilidad a la temperatura de 1130 °C (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

La austenita en los aceros al carbono, es decir, si ningún otro elemento aleado, empieza a formarse a la temperatura de 723°C. También puede obtenerse una estructura austenítica en los aceros a temperatura ambiente, enfriando muy rápidamente una probeta de acero de alto contenido de C a partir de una temperatura por encima de la crítica, pero este tipo de austenita no es estable, y con el tiempo se transforma en ferrita y perlita o bien cementita y perlita (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

Martensita.- Bajo velocidades de enfriamiento bajas o moderadas, los átomos de C pueden difundirse hacia afuera de la estructura austenítica. La estructura resultante denominada martensita, es una solución sólida sobresaturada de carbono atrapado en una estructura tetragonal centrada en el cuerpo (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

Esta estructura reticular altamente distorsionada es la principal razón para la alta dureza de la martensita, ya que como los átomos en la martensita están empaquetados con una densidad menor que en la austenita, entonces durante la transformación ocurre una expansión que produce altos esfuerzos localizados que dan como resultado la deformación plástica de la matriz (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

La martensita se presenta en forma de agujas y cristaliza en la red tetragonal. La proporción de carbono en la martensita no es constante, sino que varía hasta un máximo de 0.89% aumentando su dureza, resistencia mecánica y fragilidad con el contenido de carbono (Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M., 2004).

2.4.7. Propiedades Mecánicas

Son las distintas formas de comportarse los materiales de construcción cuando están sometidos a una fuerza externa.

Los materiales responden a las fuerzas que se le aplican, según su resistencia, con fuerzas de sentido contrario.

Elasticidad.- La elasticidad es una fuerza interna que tiende a restablecer su morfología tan pronto como cese la fuerza.

Plasticidad.- Es la capacidad de deformación de un metal sin que llegue a romperse si la deformación se produce por alargamiento se llama ductilidad y por compresión maleabilidad.

Fragilidad.- Es la fuerza interior del material que no permite que se experimente ninguna deformación en dicho material.

Dureza.- Es la fuerza interna del material que le impide ser rayado o ser atravesado por otro material.

Tracción.- Es la resistencia interna que se opone al estiramiento de un cuerpo está sometido un a la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto.

Ductilidad.- Es la capacidad que tienen los materiales para sufrir deformaciones a tracción relativamente alta, hasta llegar al punto de fractura.

2.4.7.1. ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

Según el catálogo de aceros de la empresa Suministros Técnicos S.A. SUMITEC, uno de las empresas proveedoras de aceros, recuperado de; <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%201045.pdf>, el acero AISI 1045 posee las siguientes propiedades.

Descripción: Es un acero utilizado cuando la resistencia y dureza son necesarios en condición de suministro. Este acero medio carbono puede ser forjado con martillo.

Responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Cuando se hacen prácticas de soldadura adecuadas, presenta soldabilidad adecuada.

Por su dureza y tenacidad es adecuado para la fabricación de componentes de maquinaria.

Propiedades mecánicas:

- Dureza 163 HB (84 HRb)
- Esfuerzo de fluencia 310 MPa (45000 PSI)
- Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
- Elongación 16% (en 50 mm)
- Reducción de área (40%)
- Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
- Maquinabilidad 57% (AISI 1212 = 100%)

Propiedades físicas:

- Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/in³)

Propiedades químicas:

- 0.43 – 0.50 % C
- 0.60 – 0.90 % Mn
- 0.04 % P máx.
- 0.05 % S máx.

Usos: los usos principales para este acero son piñones, cuñas, ejes, tornillos, partes de maquinaria, herramientas agrícolas y remaches.

Tratamientos térmicos: se da normalizado a 900°C y recocido a 790°C

2.4.7.2. ACERO AISI-SAE 4140 (UNS G41400)

Según el catálogo de aceros de la empresa Suministros Técnicos S.A. SUMITEC, uno de las empresas proveedoras de aceros, recuperado de; <http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%204140.pdf>, el acero AISI 4140 posee las siguientes propiedades.

Descripción: Es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, abrasión e impacto.

Este acero puede ser nitrurado para darle mayor resistencia a la abrasión. Es susceptible al endurecimiento por tratamiento térmico.

Propiedades mecánicas:

- Dureza 275 - 320 HB (29 – 34 HRC)
- Esfuerzo a la fluencia: 690 MPa (100 KSI)
- Esfuerzo máximo: 900 - 1050 MPa (130 - 152 KSI)
- Elongación mínima 12%
- Reducción de área mínima 50%

Propiedades físicas:

- Densidad 7.85 g/cm³ (0.284 lb/in³)

Propiedades químicas:

- 0.38 - 0.43% C
- 0.75 – 1.00 % Mn
- 0.80 – 1.10 % Cr
- 0.15 – 0.25 % Mo
- 0.15 – 0.35 % Si
- 0.04 % P máx.
- 0.05 % S máx.

Usos: se usa para piñones pequeños, tijeras, tornillo de alta resistencia, espárragos, guías, seguidores de leva, ejes reductores, cinceles.

2.5 HIPÓTESIS

Ha: El tratamiento térmico Sub-cero mediante la aplicación CO₂ sólido en los aceros de los aceros AISI 1045 y AISI 4140 mejorará las propiedades mecánicas.

2.6 SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES

Variable Independiente:

- Tratamiento térmico Sub-cero mediante la aplicación de CO₂ sólido.

Variable dependiente:

- Propiedades mecánicas.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo y cualitativo, debido a que:

- **Cuantitativo;** se tomará una muestra y se procederá a medir las diferentes propiedades en los aceros, como; la dureza, tenacidad y resistencia a la tracción, en las diferentes probetas antes y después de dicho tratamiento, para verificar la variación en las dichas probetas, para establecer procedimiento correcto para el tratamiento.
- **Cualitativo;** ya que se verificará el cambio en la microestructura y propiedades de los materiales antes y después del procedimiento, para determinar las diferencias metalografías que se puedan observar, y proporcionar los resultados de la variación de las propiedades mecánicas de los materiales después del dicho estudio.

3.2 MODALIDAD Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1 Modalidad

Las modalidades de investigación que se tomó para este trabajo de estudio son las siguientes:

- **Bibliográfica;** ya que se recurrirá a la información disponible de documentos, libros, revistas científicas, tesis, catálogos y direcciones web para recopilar la mayor cantidad de información sobre el tema de investigación que nos permita desarrollar de manera efectiva.
- **Experimental;** ya que los tratamientos y ensayos se los realizarán en los laboratorios de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica por el

investigador y garantizar los mejores resultados de dicho trabajo de investigación.

3.2.2 Tipo

- **Bibliográfica;** debido a que este tipo de investigación nos permitirá tener una idea de hacia dónde queremos llegar y que procedimientos podríamos aplicar para nuestro trabajo para alcanzar los resultados deseado.
- **Exploratoria;** ya que al tener un conocimiento previo sobre el tema y de cómo el tratamiento influye en las propiedades mecánicas en otros materiales, podemos aplicar a los aceros escogidos anteriormente para determinar los cambios de las propiedades.
- **Descriptiva;** ya que se permitirá describir cómo reaccionan los aceros al tratamiento térmico Sub-cero y también describir cada uno de los procedimientos utilizados para mejorar las propiedades mecánicas.
- **Explicativa;** porque explicará de una manera fácil y comprensiva el comportamiento de las propiedades mecánicas en las probetas de los distintos aceros antes y después del tratamiento al que serán sometidos.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1 Población

El presente trabajo de investigación tiene como población probetas cilíndricas y probetas cuadradas de los aceros AISI 1045 y AISI 4140, de acuerdo a los ensayos y según Norma que lo rige para la determinación de las propiedades mecánicas antes y después del conjunto de tratamientos que se realizan para el tratamiento Sub-cero.

Dicha probetas fueron templadas en aguas a temperaturas austeníticas de acuerdo a cada uno de los materiales y recomendación de fabricante antes de someterse al tratamiento Sub-cero.

3.3.2 Muestra

La muestra para la presente investigación se realizó de según casos de estudio expuestos en la tabla 3.1 y en la tabla 3.2, para cada acero.

También se han considera algunas investigaciones anteriores realizadas en el área de materiales de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, los mismo que utilizaron 3 probetas por cada caso de estudio para la determinación de las propiedades mecánicas de los mismo.

Casos:

Tabla 3.1. Casos de estudios del acero AISI 1045

AISI 1045			
HORAS	Identificación de probetas		
1	45,1,1	45,1,2	45,1,3
3	45,3,1	45,3,2	45,3,3
6	45,6,1	45,6,2	45,6,3

Fuente: Autor

Tabla 3.2. Casos de estudios del acero AISI 4140

AISI 4140			
HORAS	Identificación de probetas		
1	41,1,1	41,1,2	41,1,3
3	41,3,1	41,3,2	41,3,3
6	41,6,1	41,6,2	41,6,3

Fuente: Autor

3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1 Variable independiente

V.I.: Tratamiento Sub-cero mediante la aplicación de CO₂

Tabla 3.3. Operacionalización de la variable independiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
El tratamiento térmico Sub-cero es considerado como un tratamiento ligero debido a que la temperatura a la que se someten los materiales no es de tan baja ya que este se lo realiza a temperaturas hasta -80°C, este nos ayuda a reducir la austenita retenida generada en un temple.	Material	Tipos de aceros	-Aceros: AISI 1045 AISI 4140	Catálogos de fabricantes -Templabilidad -Porcentaje de carbono
	Parámetros para el tratamiento Sub-cero	Temple en agua.	-Temperatura de austenización 820 °C a 850 °C.	Observación Catálogos Fichas de observación Horno
		Tratamiento Sub-cero	-Tiempo bajo 0°C 1 horas, 3 horas y 6 horas	Observación Fichas de observación Cronómetro
		Revenido	-Temperatura de alivio. 150 °C a 250 °C.	Observación Diagramas de revenido. Fichas de observación

Fuente: Autor

3.4.2 Variable dependiente

V.D.: Propiedades Mecánicas

Tabla 3.4. Operacionalización de la variable dependiente

Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e Instrumentos
Las propiedades mecánicas indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores. Por lo general, la única forma de establecer a cabo el comportamiento de los materiales son cuando están sometidos a cargas, es llevar a cabo experimentos en el laboratorio.	Dureza	-Dureza Superficial -Profundidad de Dureza	-Incremento 2% a 7% -Incremento 1% a 5%	Maquina Universal Durómetro Fichas técnicas de dureza
	Tracción	-Resistencia a la tracción -Porcentaje de Alargamiento	- 550 MPa y 1010 MPa - 12 % a 45 %	Observación, Inspección Deformímetro Maquina universal Fichas de observación
	Análisis Metalográfica	-Componentes de la microestructura.	-Componentes microestructurales , 0-100%	Microscopio Metalográfico Observación Fichas de observación
	Tenacidad	-Resistencia al impacto.	- Energía J.	Observación Péndulo Charpy Fichas de observación

Fuente: Autor

3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

A lo largo de este estudio se empleó la siguiente técnica de recolección de la información:

- Bibliográficas, se realizará un recolección de información referente al tema mediante estudio bibliográfico, internet, y de revistas técnicas, para tener una guía de para el procedimiento y los posibles resultados a los que deseamos llegar mediante este estudio.
- Observación y experimentación directa realizada en los laboratorios de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, esto se debe a la poca información que existe sobre dicho tema.
- Fichas técnicas, durante los experimentos que se realizaran se recolectara la información mediante registros, fichas, ya que estas serán sometidas a varias pruebas mencionadas anteriormente para determinar la mejoría de las propiedades mecánicas después de dicho tratamiento.
- Guías de laboratorios y guías de informes bajo norma, nos ayudaran a tener un procedimiento más acertado para dicho tratamiento, ya que las guías de laboratorio se basan en experimentos anteriores similares o en general, y también las guías normadas para rendir un informe adecuado de la experimentación de las probetas sometidas a los diferentes ensayos de cada uno de los materiales.

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para un procesamiento adecuado de la información se siguieron varios lineamientos entre los cuales podemos mencionar los siguientes:

- Se revisará un análisis crítico sobre la información recogida durante el estudio, de tal forma que se rechazara la información incompleta o incorrecta que se presente durante la investigación con mira a los objetivos
- Describir los resultados de manera clara y adecuada, para determinar si los resultados obtenidos son los deseados para dicha investigación y poder emitir criterios que puedan favorecer a la propuesta.

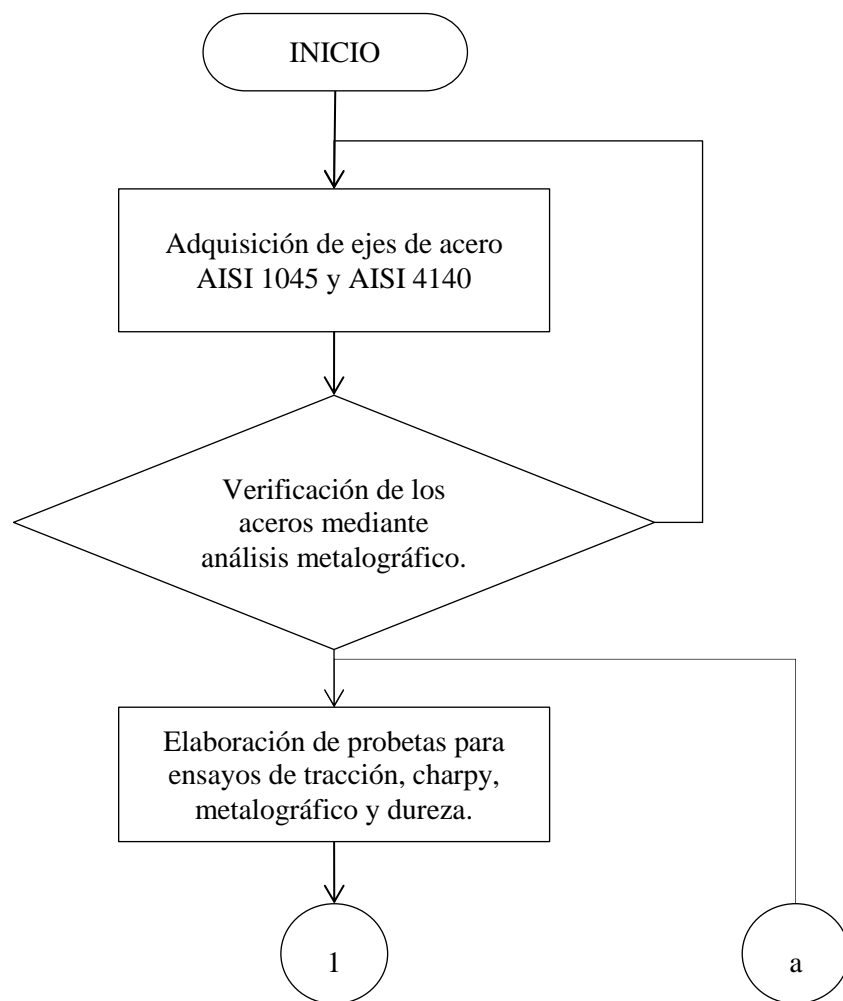
- Se analizará e interpretará los resultados en cada uno de los casos tanto individual y colectivo para cada material de sujeto de estudio que se obtenga a lo largo del estudio
- Analizar la hipótesis en relación con los resultados obtenidos para verificar si esta puede ser es factible o rechazar.

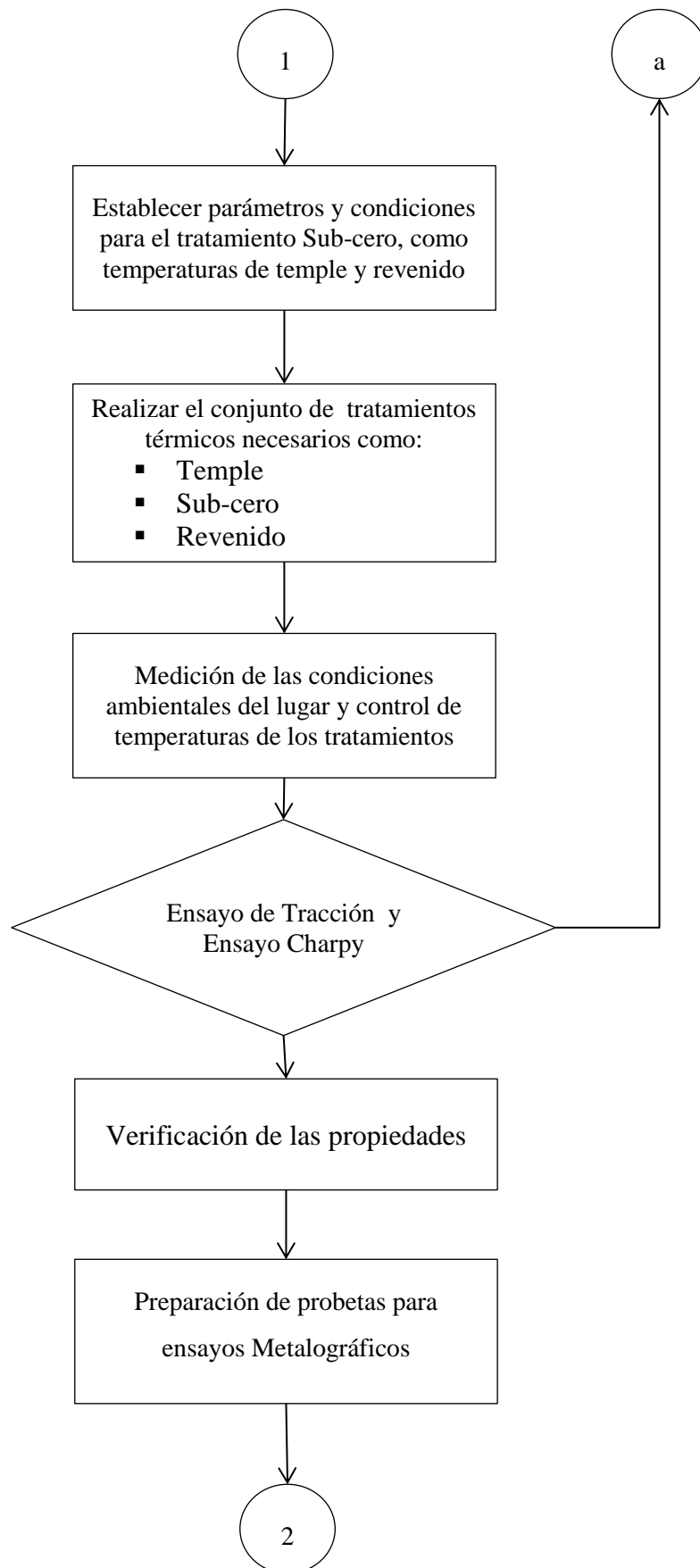
CAPÍTULO IV

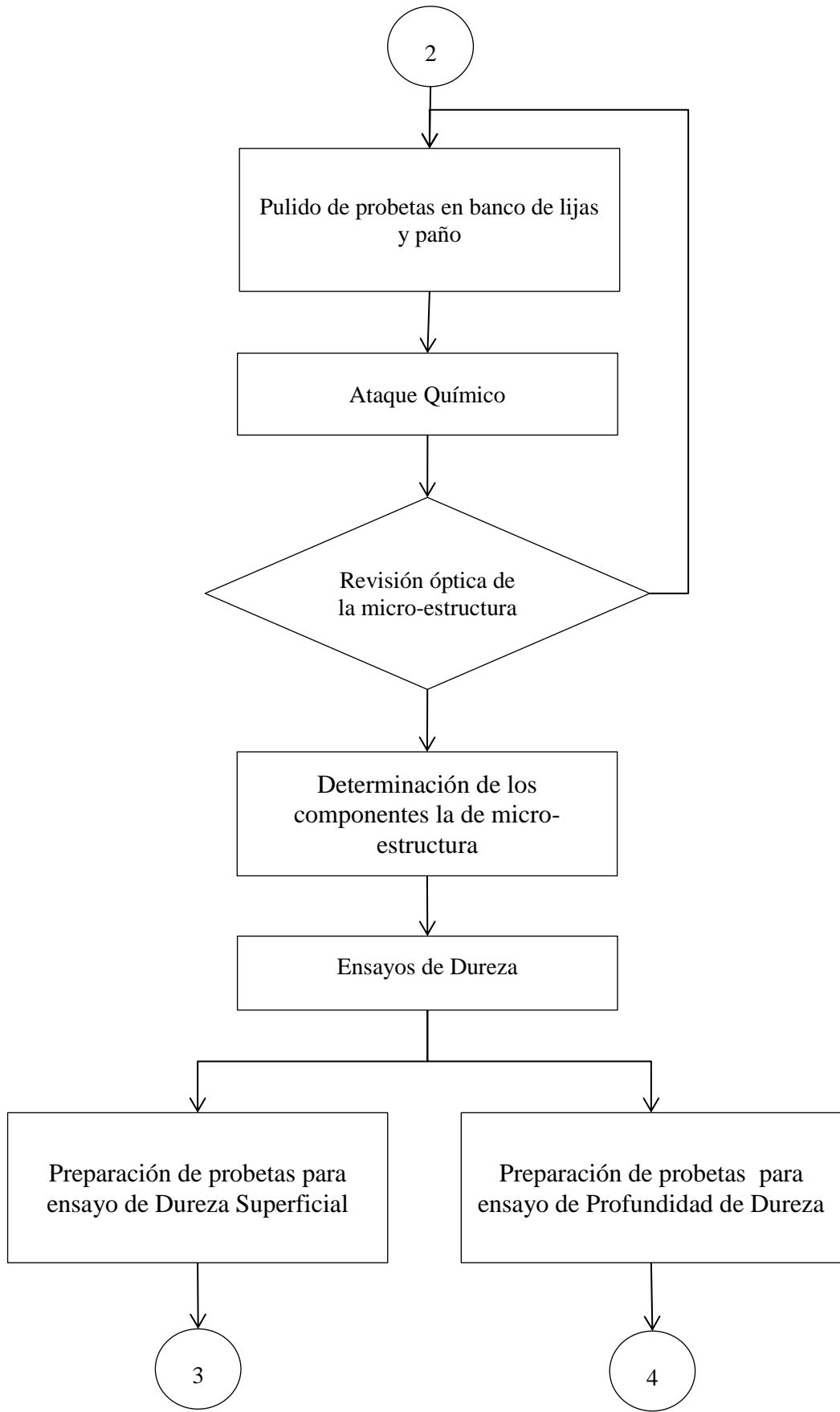
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

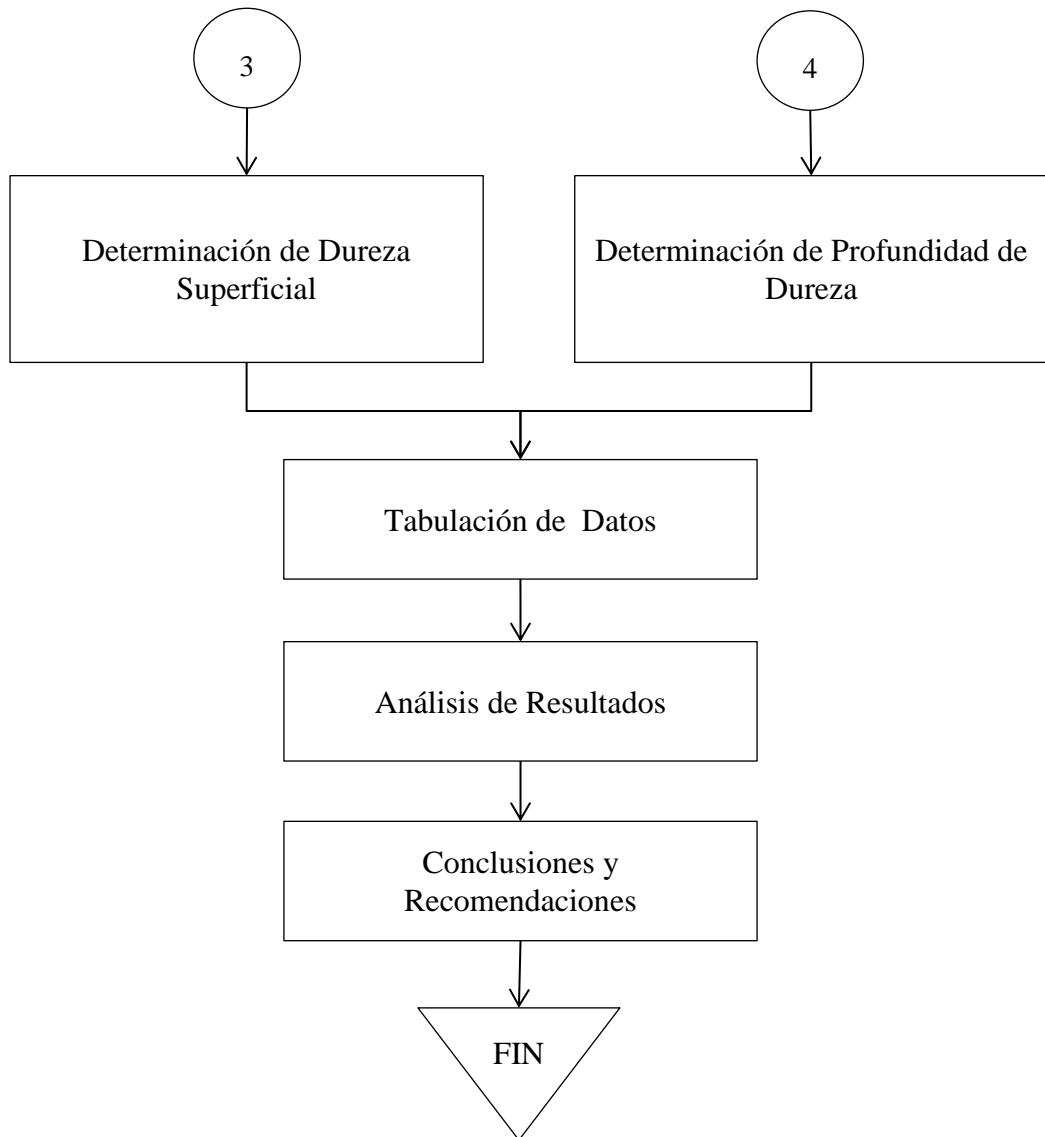
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La presente investigación se basa en el siguiente diagrama de flujo para la obtención y toma de datos, el mismo que considerará todos los procedimientos realizados durante el desarrollo de este estudio sobre el tratamiento Sub-cero en los aceros AISI 1045 y AISI 4140 y su incidencia en las propiedades mecánicas.









4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

A continuación procedemos a mostrar los resultados de los diferentes realizados de acuerdo a los formatos establecidos para cada uno de los mismos, como son los ensayos de metalográficos, dureza, profundidad de dureza, charpy y tracción.

En las siguientes tablas se describe la denominación de las probetas de los aceros AISI 1045 y AISI 4140, para cada uno de los caso y de los ensayos realizados para la determinación de sus propiedades.

Tabla 4.1. Denominación de probetas para ensayo del acero AISI 1045

<u>Ensayos Metalográficos</u>				
1	Probeta de Fabrica	MF45		
2	Probetas Templadas	MT45		
3	Probeta Templada y Revenida	MTR45		
4	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	M45,1		
5	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	M45,3		
6	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	M45,6		
<u>Ensayos de Dureza Superficial</u>				
1	Probeta de Fabrica	DF45		
2	Probetas Templadas	DT45		
3	Probeta Templada y Revenida	DTR45		
4	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	D45,1		
5	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	D45,3		
6	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	D45,6		
<u>Ensayos de Profundidad de Dureza</u>				
1	Probeta Templada y Revenida	PTR45		
2	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	P45,1		
3	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	P45,3		
4	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	P45,6		
<u>Ensayos de Tracción</u>				
N°	Casos	Denominacion de Probetas		
1	Probeta de Fabrica	TF45,1	TF45,2	-
2	Probetas Templadas	TT45,1	TT45,2	-
3	Probeta Templada y Revenida	TTR45,1	TTR45,2	-
4	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	T45,1,1	T45,1,2	T45,1,3
5	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	T45,3,1	T45,3,2	T45,3,3
6	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	T45,6,1	T45,6,2	T45,6,3
<u>Ensayos Charpy</u>				
1	Probeta de Fabrica	CF45,1	CF45,2	-
2	Probetas Templadas	CT45,1	CT45,2	-
3	Probeta Templada y Revenida	CTR45,1	CTR45,2	-
4	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	C45,1,1	C45,1,2	C45,1,3
5	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	C45,3,1	C45,3,2	C45,3,3
6	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	C45,6,1	C45,6,2	C45,6,3

Fuente: Autor

Tabla 4.2. Denominación de probetas para ensayo del acero AISI 4140

<u>Ensayos Metalográficos</u>				
1	Probeta de Fabrica	MF41		
2	Probetas Templadas	MT41		
3	Probeta Templada y Revenida	MTR41		
4	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	M41,1		
5	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	M41,3		
6	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	M41,6		
<u>Ensayos de Dureza Superficial</u>				
1	Probeta de Fabrica	DF41		
2	Probetas Templadas	DT41		
3	Probeta Templada y Revenida	DTR41		
4	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	D41,1		
5	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	D41,3		
6	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	D41,6		
<u>Ensayos de Profundidad de Dureza</u>				
1	Probeta Templada y Revenida	PTR41		
2	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	P41,1		
3	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	P41,3		
4	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	P41,6		
<u>Ensayos de Tracción</u>				
N°	Casos	Ensayos de Tracción		
1	Probeta de Fabrica	TF41,1	TF41,2	-
2	Probetas Templadas	TT41,1	TT41,2	-
3	Probeta Templada y Revenida	TTR41,1	TTR41,2	-
4	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	T41,1,1	T41,1,2	T41,1,3
5	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	T41,3,1	T41,3,2	T41,3,3
6	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	T41,6,1	T41,6,2	T41,6,3
<u>Ensayos Charpy</u>				
1	Probeta de Fabrica	CF41,1	CF41,2	-
2	Probetas Templadas	CT41,1	CT41,2	-
3	Probeta Templada y Revenida	CTR41,1	CTR41,2	-
4	Tratamiento Sub-cero a 1 Hora	C41,1,1	C41,1,2	C41,1,3
5	Tratamiento Sub-cero a 3 Hora	C41,3,1	C41,3,2	C41,3,3
6	Tratamiento Sub-cero a 6 Hora	C41,6,1	C41,6,2	C41,6,3

Fuente: Autor

4.2.1 Especificaciones de acero AISI 1045 en estado de suministro



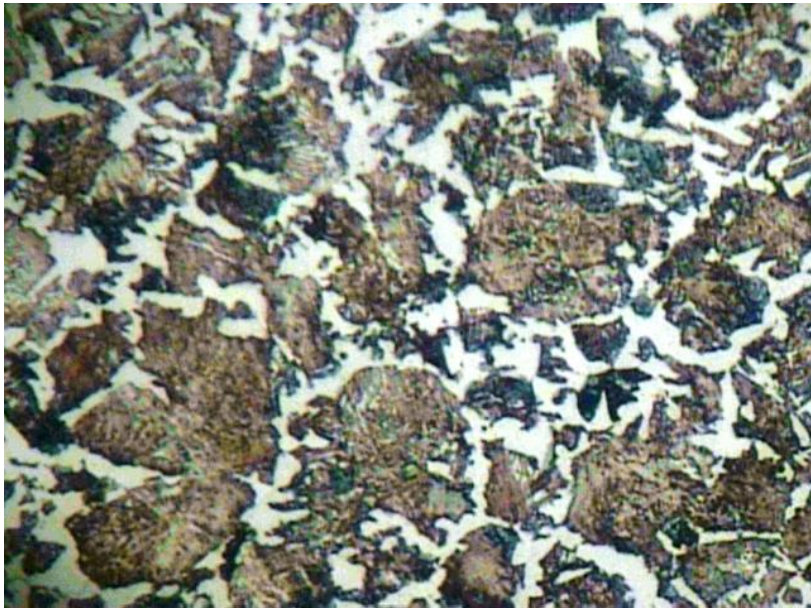
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
DATOS INFORMATIVOS		
Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		Lugar: Laboratorio de Materiales
Realizado por: Washington Malán		Temperatura: 22°C
ESPECIFICACIÓN DE SUMINISTRO		
Material	Acero	Detalle 
Característica	Eje	
Diámetro	20 mm	
Longitud	3000 mm	
Tipo o Grado	AISI 1045	
Resistencia a la Tracción	580 - 700 MPa	
Dureza	89 HRB	
OBSERVACIONES		
Las especificaciones del material fueron proporcionadas por la casa comerciante BOHLER S.A., en las condiciones que estos lo distribuyen dicho acero		

4.2.2 Especificaciones de Temple y Revenido realizados a las probetas de acero AISI 1045 previo a los tratamientos Sub-cero.

Datos Informativos	
Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	Lugar: Laboratorio de Materiales
Realizado por: Washington Malán	Temperatura: 18 - 22 °C
Detalles del Tratamiento Térmico Inicial y Posterior	
Tratamiento Térmico	Temple
Instrumento	Horno de Mufla
Tipo de Material	AISI 1045
Temperatura de Temple	840 °C (Anexo 1)
Tiempo de Permanencia	30 min
Medio de enfriamiento	Agua
Temperatura de medio	16 - 18 °C
Volumen del medio	15 litros
Densidad a 20 °C	998,2 kg/mm ³
Viscosidad Dinámica a 20 °C	1,102 x 10 ⁻³ Pa.s
Temperatura de revenido	200 °C (Anexo 2)

4.2.3 Evaluación de Acero AISI 1045 en estado de Suministro.

4.2.3.1 Ensayo Metalográfico

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 06/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: MF45	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	45 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Nital 2, 15 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero comercial 200X	



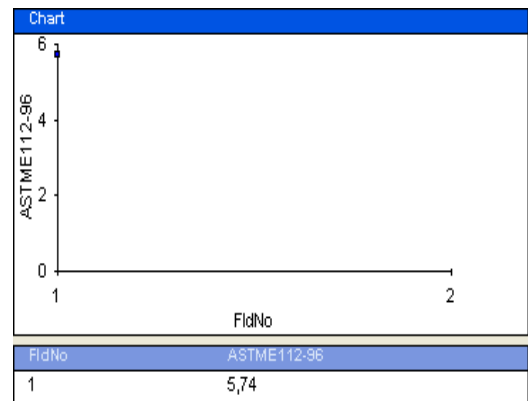
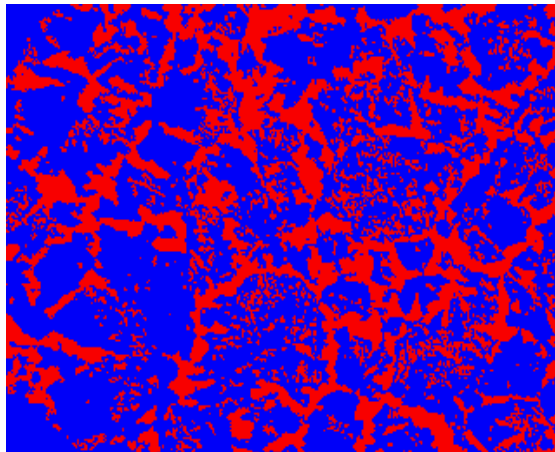
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

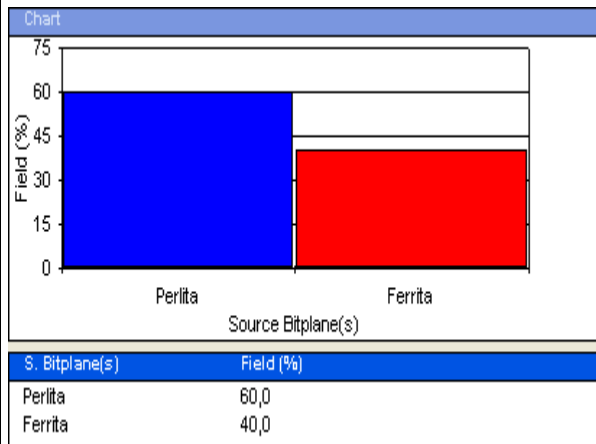
MF45

TAMAÑO DE GRANO
ASTM E112-96



COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA

CÁLCULOS



$$\% C = \frac{\% \text{ Perlita}}{130}$$

$$\% C = \frac{60\%}{130}$$

$$\% C = 0,4615\%$$

$$R.T.A = \frac{20 * (\% \text{ ferrita}) + 84(\% \text{ perlita})}{100}$$




$$R.T.A = \frac{20 * (40\%) + 84(60\%)}{100}$$

$$R.T.A = 61,6 \text{ kgf/mm}^2$$



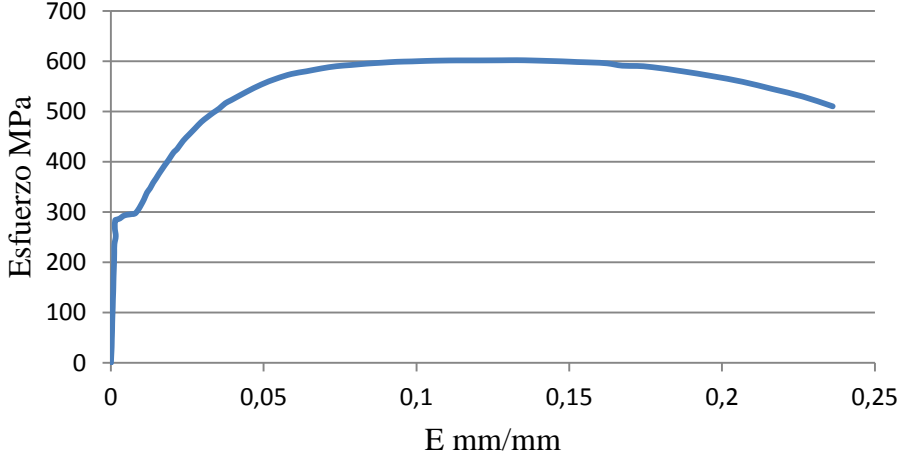
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La microestructura de acero 1045 en estado de suministro tiene una matriz ferrítica con un tamaño de grano de ASTM G = 5.74, conformado por un 60% de Perlita y 40 % de Ferrita y una resistencia a la tracción calculada de 61,6 kgf/mm² con un porcentaje de 0,4615 % de carbono.

4.2.3.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 14/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: DF45		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell B		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 980 N
Tipo de Identador: Esfera de 1/16, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra DF45		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRB	
1	85	
2	86	
3	87	
4	87	
5	86	
6	86	
7	84	
8	85	
9	87	
10	85	
PROMEDIO	85,8	

4.2.3.3 Ensayo de Tracción

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 27/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: TF45,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<p>Deformación Vs. Esfuerzo T45.1</p> 			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	7856,6 kg
Longitud Final	62,50 mm	Sut [Ec.2.4]	618,12 MPa
Diámetro Inicial	12,60 mm	% E [Ec 2.5]	23,62 %
Diámetro Final	9,40 mm	% RA [Ec 2.6]	44,34 %



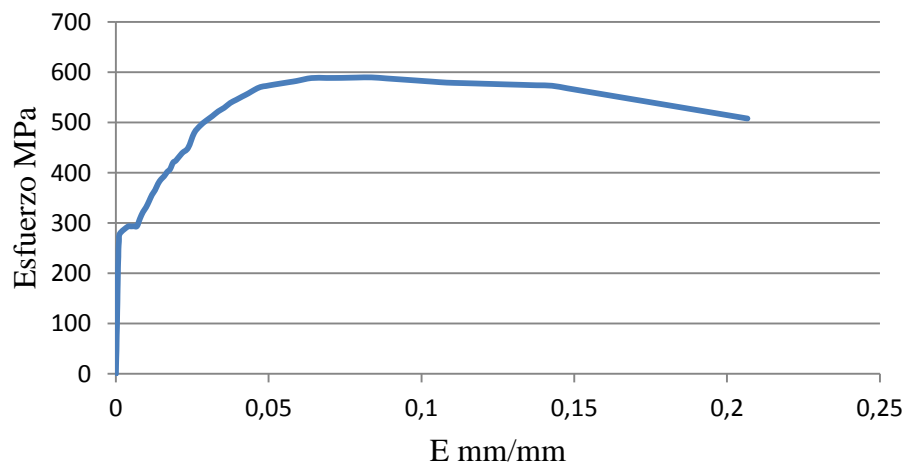
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS



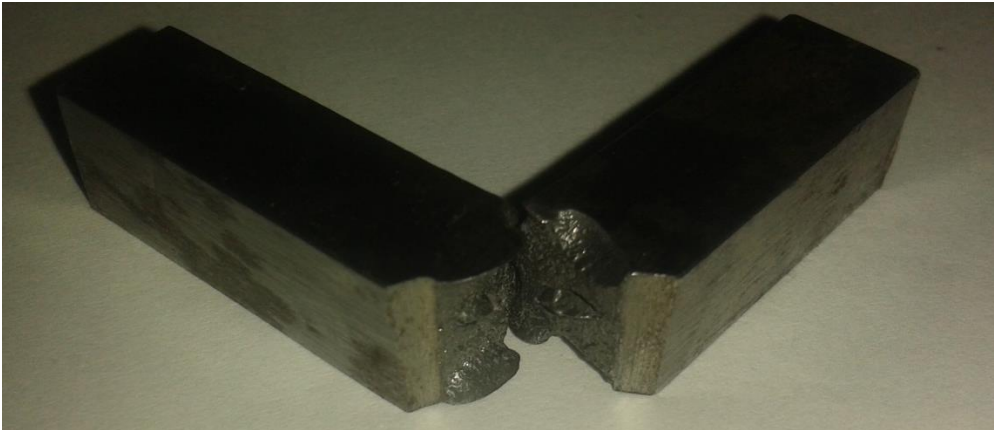
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: TF45,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo T45.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	7816,7 kg
Longitud Final	61,3 mm	Sut [Ec 2.4]	605,33 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	20,67 %
Diámetro Final	9,45 mm	% RA [Ec 2.6]	44,63 %

4.2.3.4 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: CF45,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	42 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	52,50	J/cm²



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



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: CF45,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 38 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



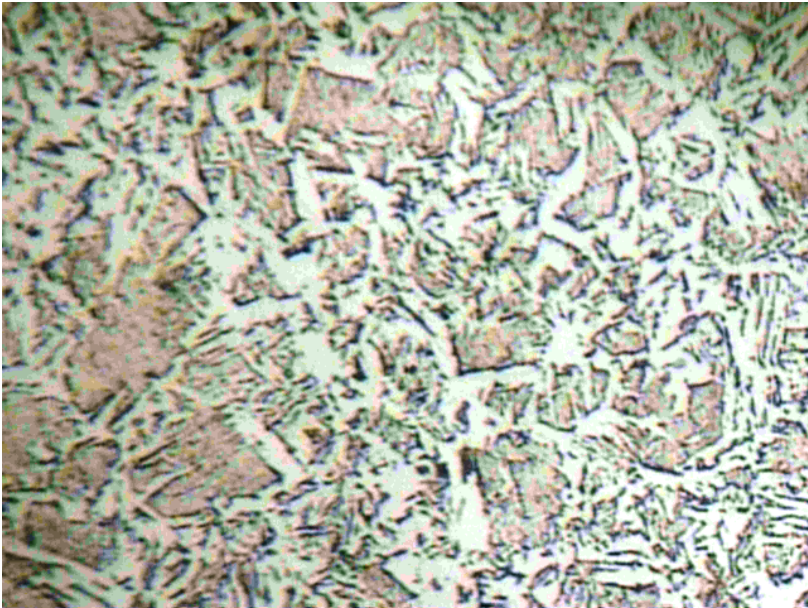


Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	47,50	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------

4.2.4 Evaluación de Acero AISI 1045 Templadas.

4.2.4.1 Ensayo Metalográfico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 07/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: MT45	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	115 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 14 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero templado 200X	

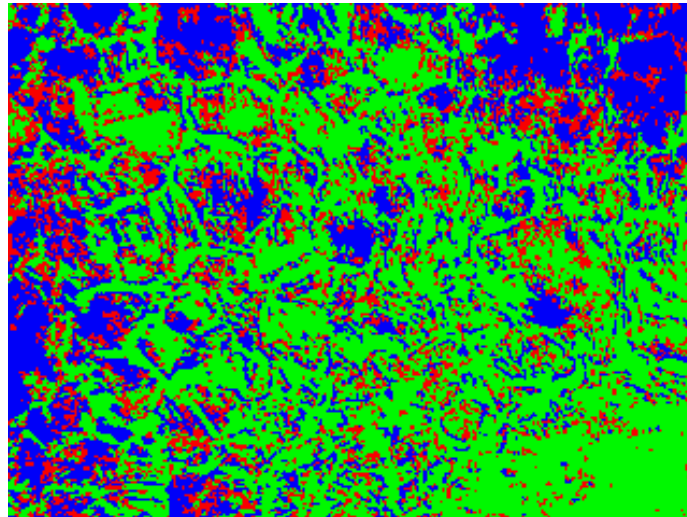


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

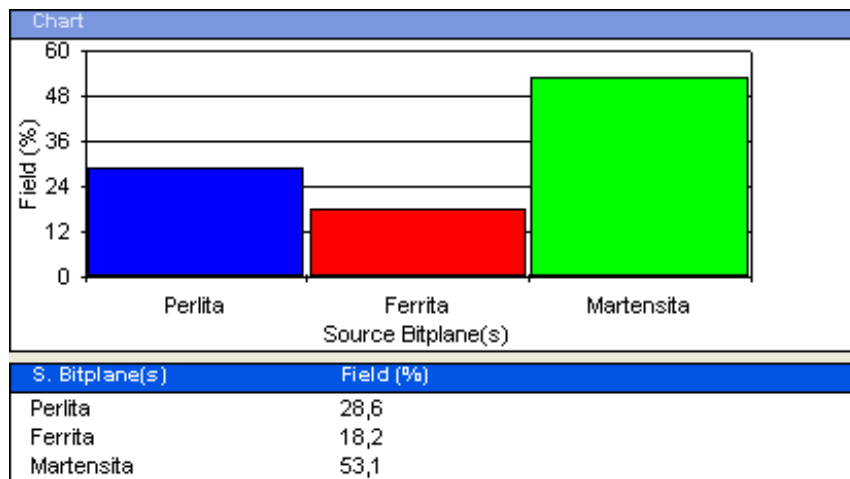


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

MT45






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





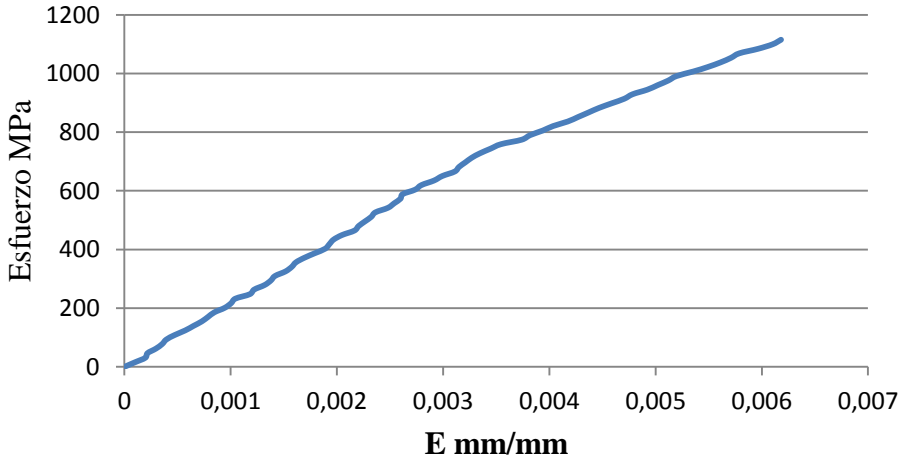
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la microestructura podemos ver 53,1% de martensita como el mayor componente, 28,6% perlita de contenido medio y 18,2% de ferrita en menor cantidad, una vez templado en agua.

4.2.4.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 14/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: DT45		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra DT45		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	58	
2	59	
3	58	
4	57	
5	58	
6	58	
7	57	
8	58	
9	57	
10	58	
PROMEDIO	57,8	

4.2.4.3 Ensayo de Tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 28/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: TT45,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<p>Deformación Vs. Esfuerzo TT45.1</p> 			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	15226,10 kg
Longitud Final	51,22 mm	Sut [Ec 2.4]	1179,13 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	0,82 %
Diámetro Final	12,50 mm	% RA [Ec 2.6]	3,12 %



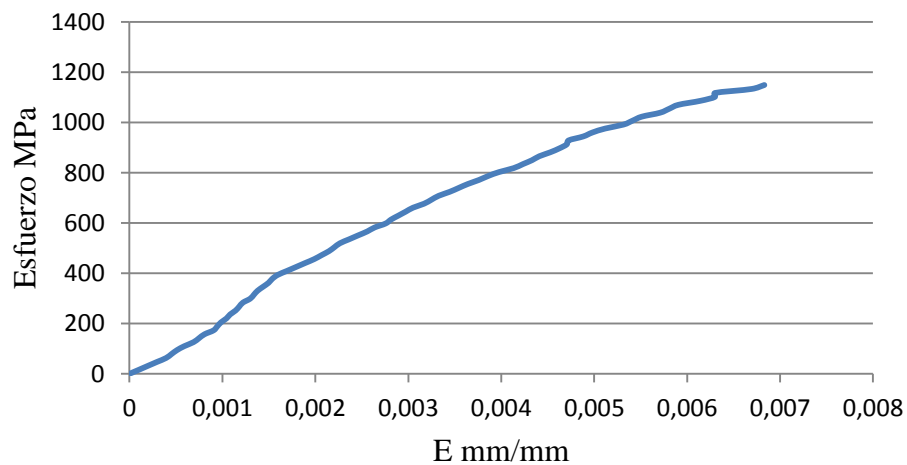
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS



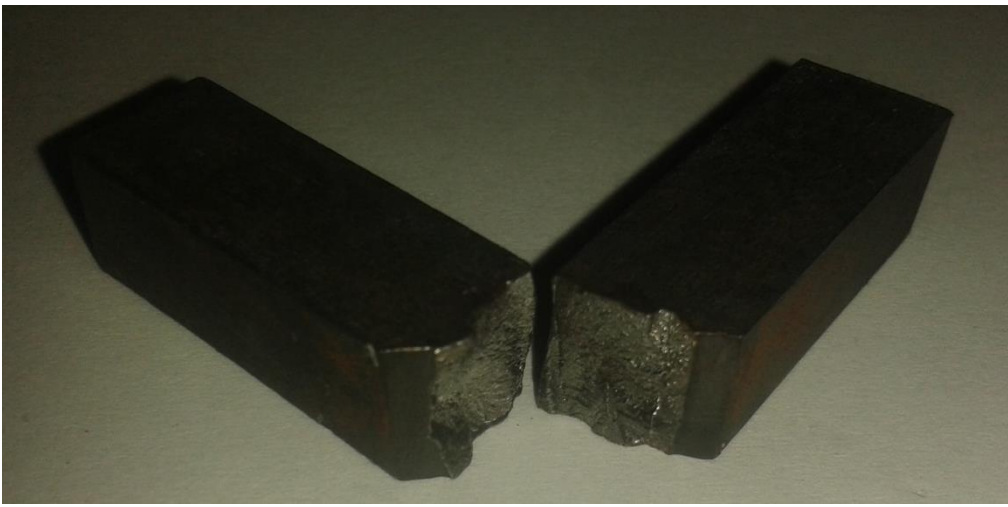
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 28/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: TT45,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo TT45.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	14769,6 kg
Longitud Final	51,15 mm	Sut [Ec 2.4]	1162,00 MPa
Diámetro Inicial	12,60 mm	% E [Ec 2.5]	0,68 %
Diámetro Final	12,42 mm	% RA [Ec 2.6]	2,84 %

4.2.4.4 Ensayo de resistencia al Impacto.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: .CT45,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	4 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	5,00	J/cm²



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



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: CT45,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 3 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



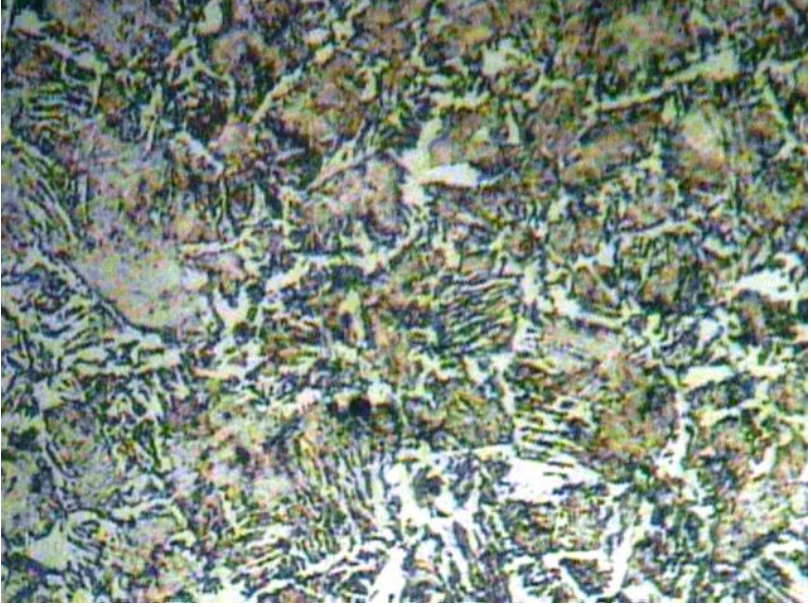


Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	3,75	J/cm ²
------------	----------	------	-------------------

4.2.5 Evaluación de Acero AISI 1045 Templadas y Revenidas.

4.2.5.1 Ensayo Metalográfico

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 09/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: MTR45	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	90 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 17 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero templado y revenido 200X	

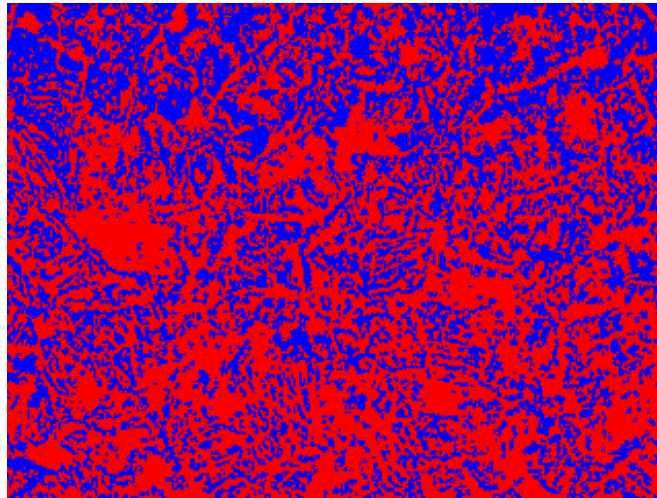


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

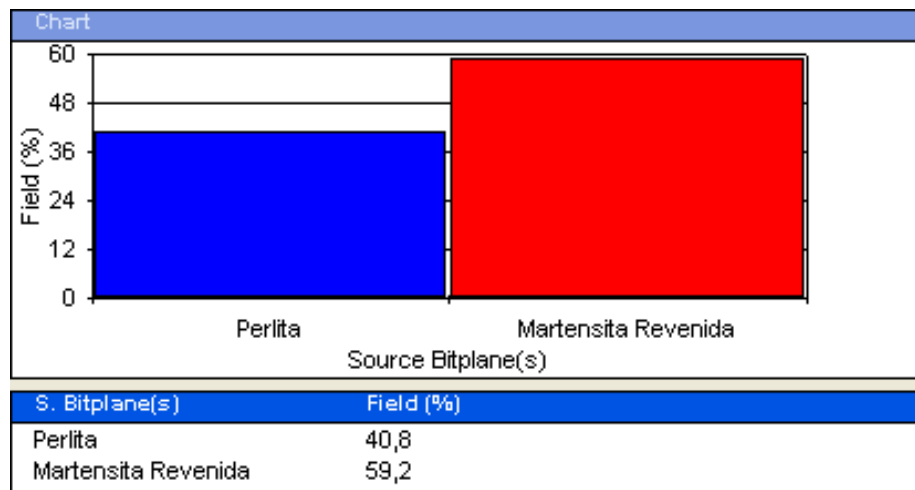


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

MTR45






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





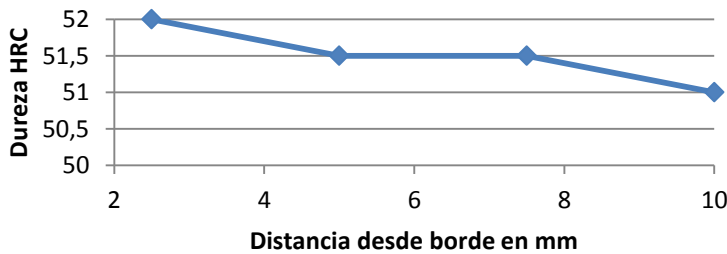

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En la microestructura después de un revenido a 200 °C durante 1 hora podemos ver 59,2% de martensita revenida como el mayor componente y 40,8% perlita de contenido.



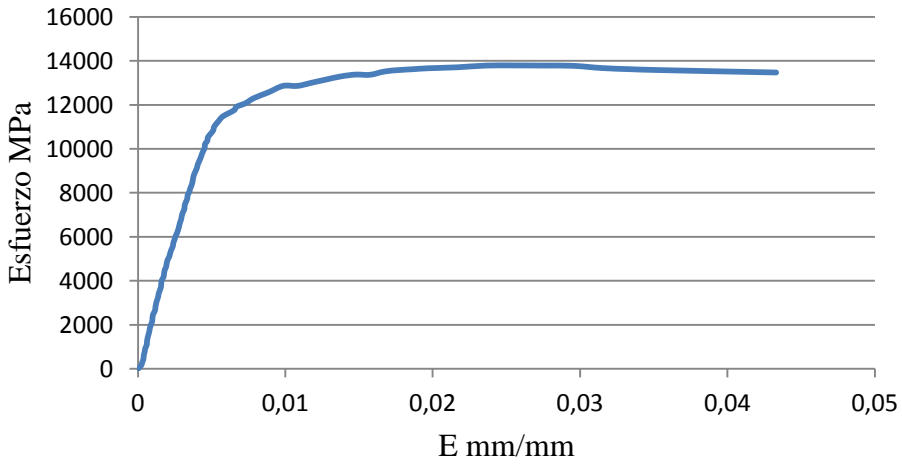
4.2.5.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 14/01/2015	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: DTR45	Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA	
Método: Rockwell C	Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18	Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell	
RESULTADOS	
Muestra DTR45	
N° Medición	Dureza HRC
1	53
2	52
3	54
4	52
5	53
6	51
7	53
8	54
9	52
10	51
PROMEDIO	52,5
Detalle Referencial	
	

4.2.5.3 Ensayo Profundidad de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por: Washington Malán			Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		
Fecha: 25/02/2015			Lugar: Laboratorio de Materiales		
Probeta: PTR45			Tipo de Estudio : De Laboratorio		
PARÁMETROS DE ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE DUREZA					
Método: Rockwell C			Instrumento: Durómetro		
Tipo de Identador: Cono de Diamante			Carga Aplicada : 1471 N		
RESULTADOS					
N°	1	2	3	4	5
Distancia	2,5	5	7,5	10	-
Dureza	52	51,5	51,5	51	-
Grafica de Profundidad de Dureza y Detalle Referencial					
					

4.2.5.4 Ensayo de Tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 28/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: TTR45,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<p>Deformación Vs. Esfuerzo TTR45.1</p> 			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	17446,10 kg
Longitud Final	53,00 mm	Sut [Ec 2.4]	1355,31 MPa
Diámetro Inicial	12,68 mm	% E [Ec 2.5]	4,33 %
Diámetro Final	12,34 mm	% RA [Ec 2.6]	5,29 %



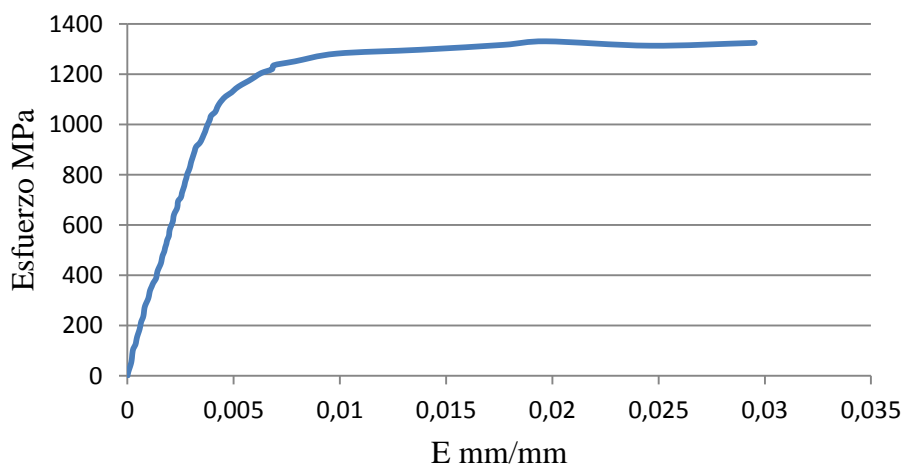
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS



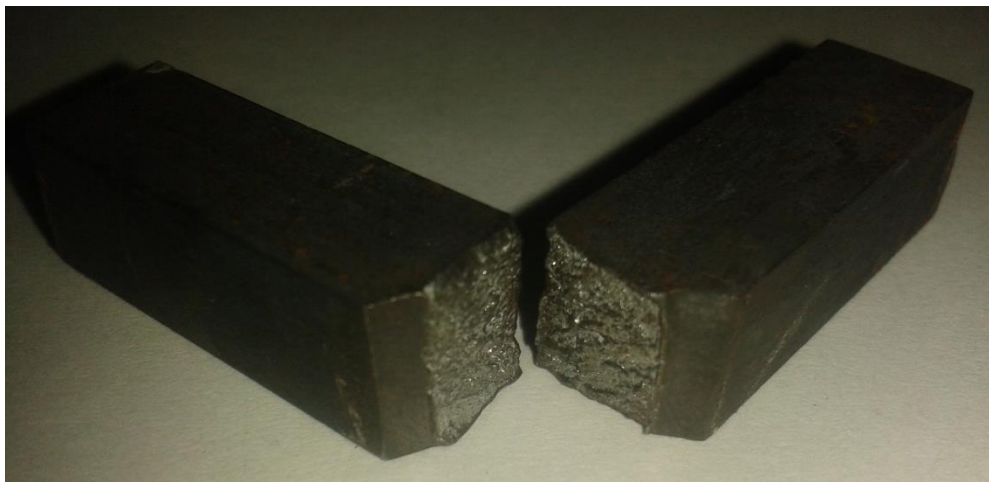
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 28/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: TTR45,1	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo TTR45.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	17218,80 kg
Longitud Final	52,30 mm	Sut [Ec 2.4]	1179,13 MPa
Diámetro Inicial	12,72 mm	% E [Ec 2.5]	2,95 %
Diámetro Final	12,40 mm	% RA [Ec 2.6]	4,97 %

4.2.5.5 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: CTR45,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	13 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	16,25	J/cm ²



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



DATOS INFORMATIVOS

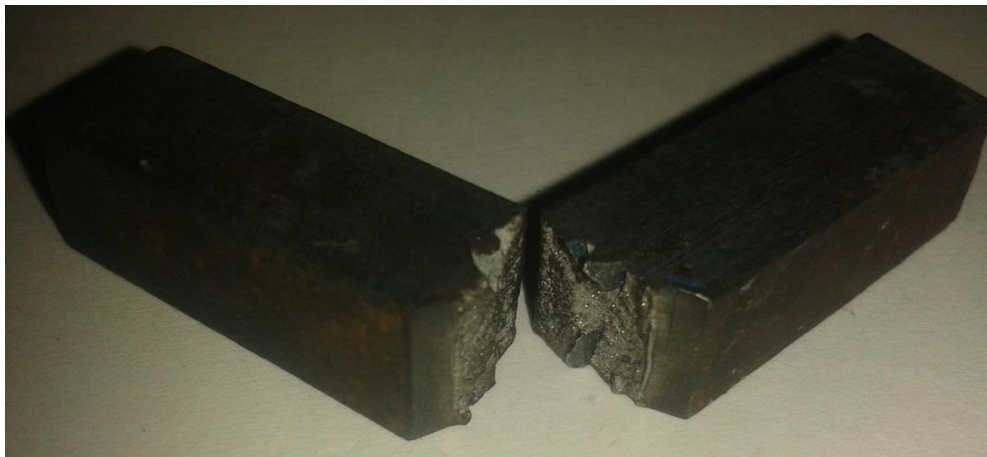
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: CTR45,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 10 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



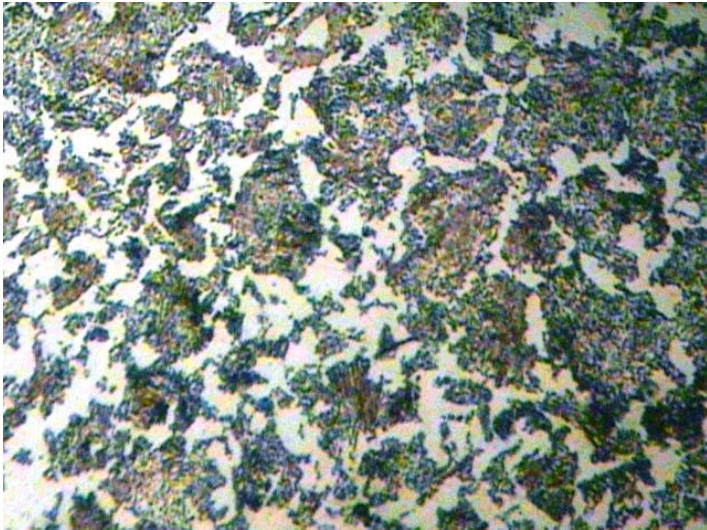


Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	12,50	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------

4.2.6 Evaluación de Acero AISI 1045 Tratamiento Sub-cero durante 1 hora.

4.2.6.1 Ensayo Metalográfico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 26/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: M45,1	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	100 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 18 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero con tratamiento Sub-cero por 1 hora 200X	

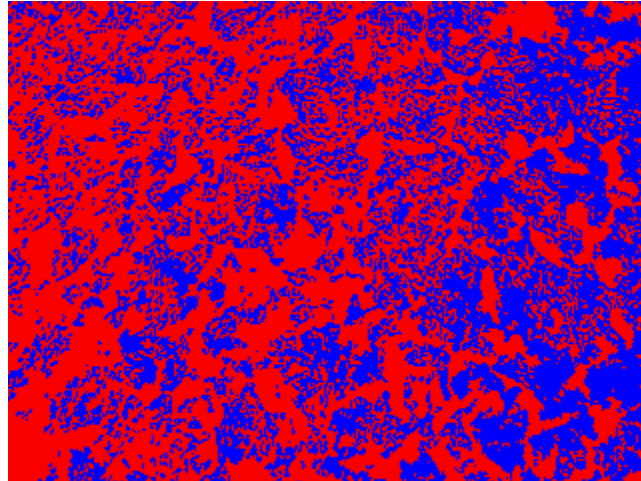


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

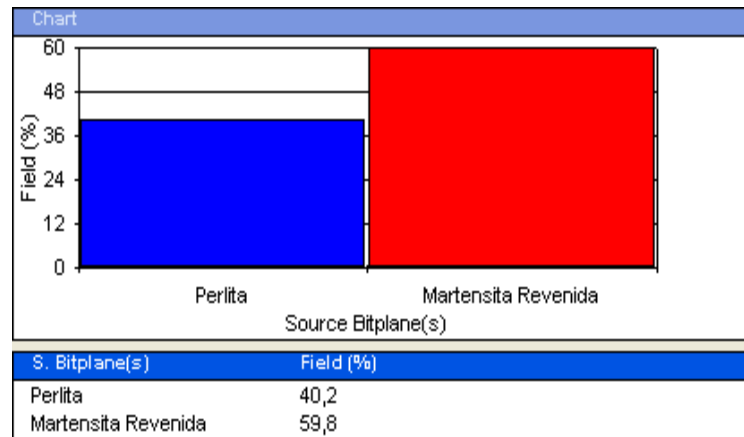


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

M45,1






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





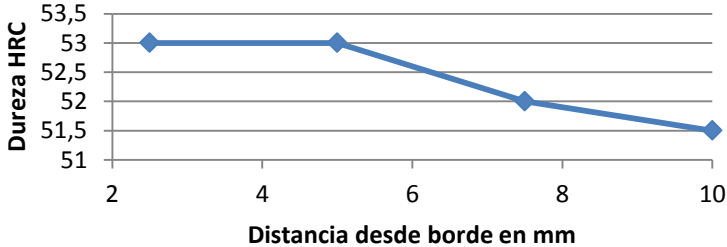

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de tratamiento Sub-cero durante 1 hora tenemos un incremento a 59,8 % de martensita revenida como el mayor componente y 40,2% perlita.



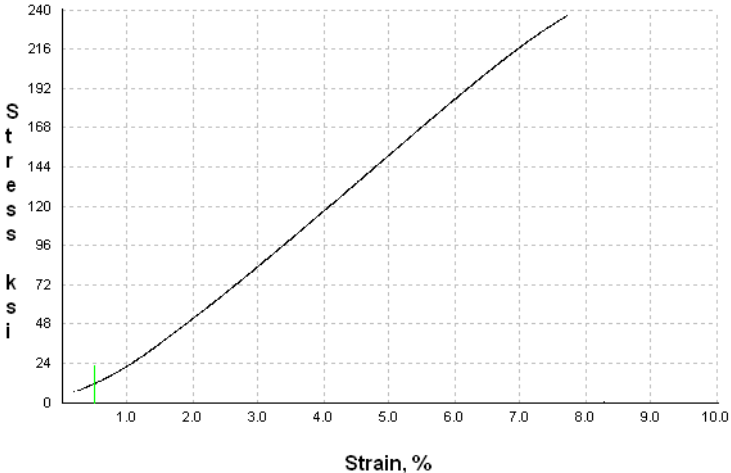
4.2.6.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 15/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: D45,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra D45,1		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	55	
2	53	
3	54	
4	52	
5	54	
6	55	
7	53	
8	53	
9	52	
10	54	
PROMEDIO	53,5	

4.2.6.3 Ensayo Profundidad de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por: Washington Malán			Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		
Fecha: 25/02/2015			Lugar: Laboratorio de Materiales		
Probeta: P45,1			Tipo de Estudio : De Laboratorio		
PARÁMETROS DE ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE DUREZA					
Método: Rockwell C			Instrumento: Durómetro		
Tipo de Identador: Cono de Diamante			Carga Aplicada : 1471 N		
RESULTADOS					
N°	1	2	3	4	5
Distancia	2,5	5	7,5	10	-
Dureza	53	53	52	51,5	-
Grafica de Profundidad de Dureza y Detalle Referencial					
					

4.2.6.4 Ensayo de Tracción

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 12/01/2015		Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)	
Probeta: T45,1,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	21015,61 kg
Longitud Final	52,48 mm	Sut [Ec 2.4]	1628,40 MPa
Diámetro Inicial	12,69 mm	% E [Ec 2.5]	3,30 %
Diámetro Final	12,36 mm	% RA [Ec 2.6]	5,13 %

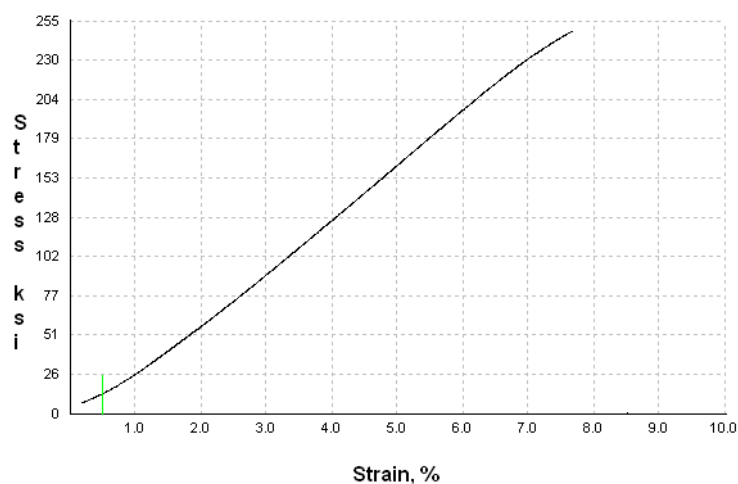


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 12/01/2015	Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)
Probeta: T45,1,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	21378,67 kg
Longitud Final	52,43 mm	Sut [Ec 2.4]	1712,70 MPa
Diámetro Inicial	12,48 mm	% E [Ec 2.5]	3,20 %
Diámetro Final	12,18 mm	% RA [Ec 2.6]	4,75 %

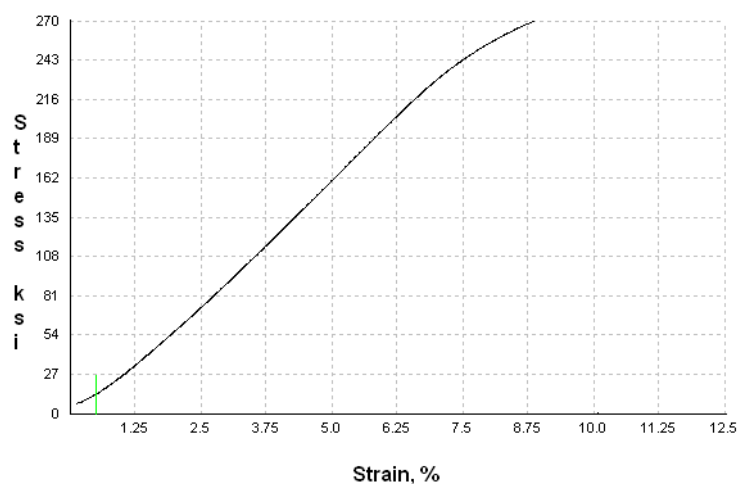


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES






DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 12/01/2015	Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)
Probeta: T45,1,3	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	23557,45 kg
Longitud Final	52,73 mm	Sut [Ec 2.4]	1860,3 MPa
Diámetro Inicial	12,57 mm	% E [Ec 2.5]	3,80 %
Diámetro Final	12,24 mm	% RA [Ec 2.6]	5,18 %

4.2.6.5 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: C45,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	3 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	3,75	J/cm ²



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



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C45,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 5 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	6,25	J/cm ²
------------	----------	------	-------------------



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



DATOS INFORMATIVOS

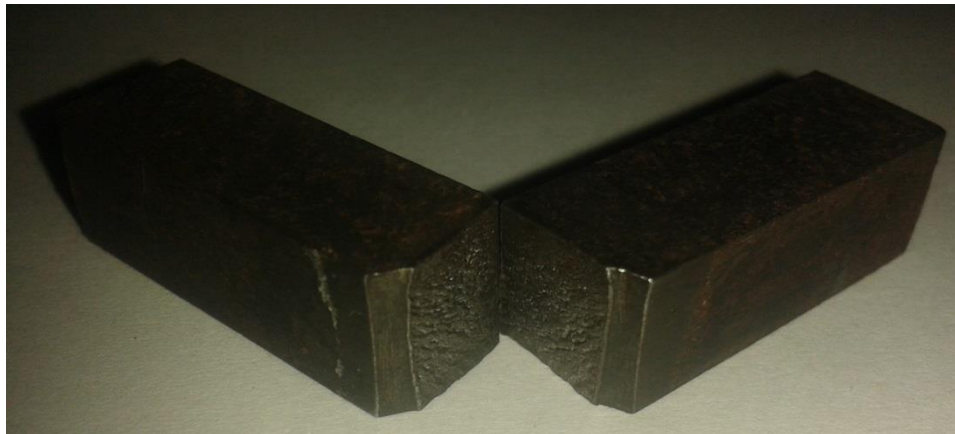
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C45,3	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 5 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



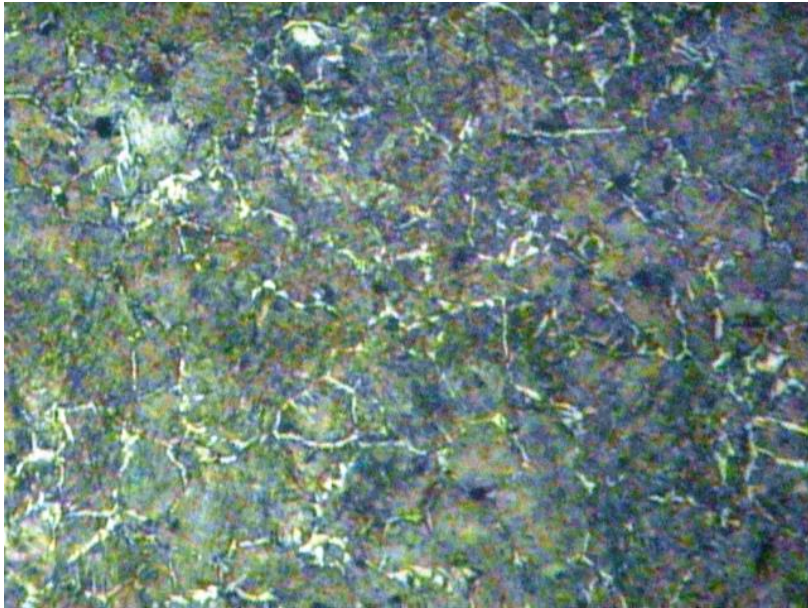


Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	6,75	J/cm ²
------------	----------	------	-------------------

4.2.7 Evaluación de Acero AISI 1045 Tratamiento Sub-cero durante 3 horas.

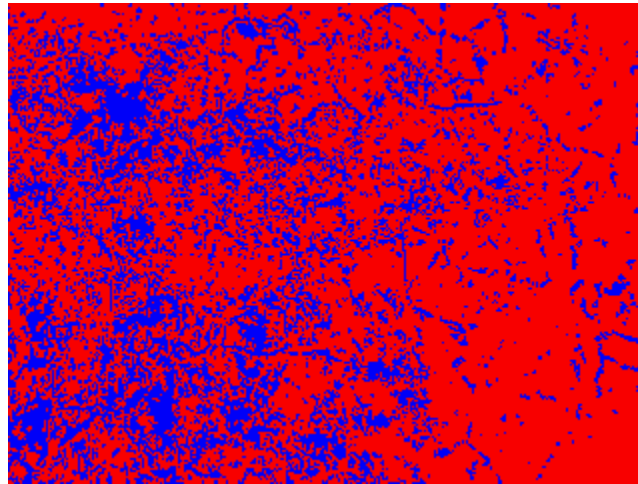
4.2.7.1 Ensayo Metalográfico

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: M45,3	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	120 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 22 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero con tratamiento Sub-cero por 3 hora 200X	

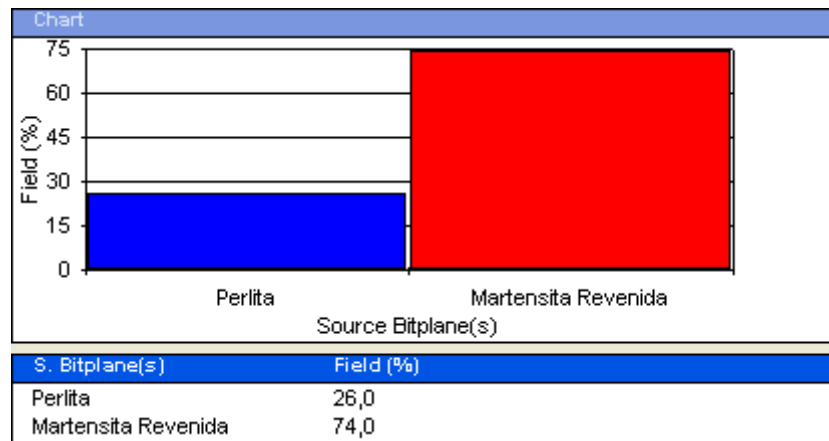


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

M45,3






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





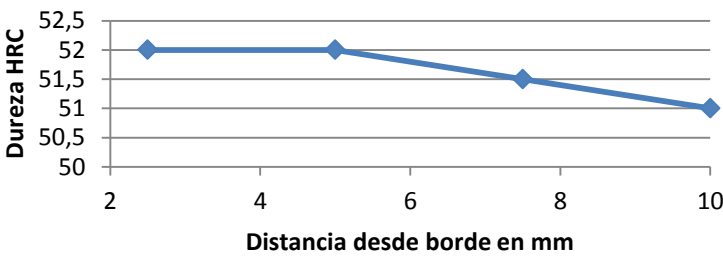

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de tratamiento Sub-cero durante 3 horas tenemos un incremento a 74,0 % de martensita revenida como el mayor componente y 26,0% perlita.



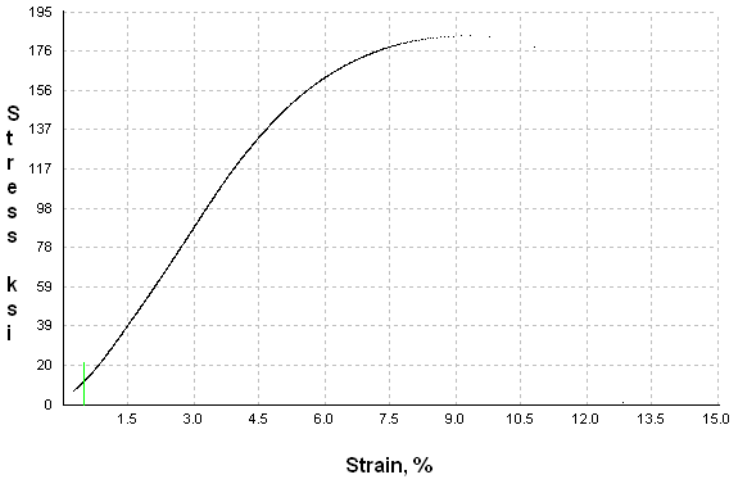
4.2.7.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 15/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: D45,3		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra D45.3		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	52	
2	51	
3	52	
4	50	
5	52	
6	51	
7	51	
8	52	
9	53	
10	52	
PROMEDIO	51,6	

4.2.7.3 Ensayo Profundidad de Dureza

<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>LABORATORIO DE MATERIALES</p>					
					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por: Washington Malán			Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		
Fecha: 25/02/2015			Lugar: Laboratorio de Materiales		
Probeta: P45,3			Tipo de Estudio : De Laboratorio		
PARÁMETROS DE ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE DUREZA					
Método: Rockwell C			Instrumento: Durómetro		
Tipo de Identador: Cono de Diamante			Carga Aplicada : 1471 N		
RESULTADOS					
N°	1	2	3	4	5
Distancia	2,5	5	7,5	10	-
Dureza	52	52	51,5	51	-
Grafica de Profundidad de Dureza y Detalle Referencial					
					

4.2.7.4 Ensayo de Tracción

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 13/01/2015		Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)	
Probeta: T45,3,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	16022,65 kg
Longitud Final	55,12 mm	Sut [Ec 2.4]	1261,3 MPa
Diámetro Inicial	12,59 mm	% E [Ec 2.5]	8,50 %
Diámetro Final	11,44 mm	% RA [Ec 2.6]	17,43 %

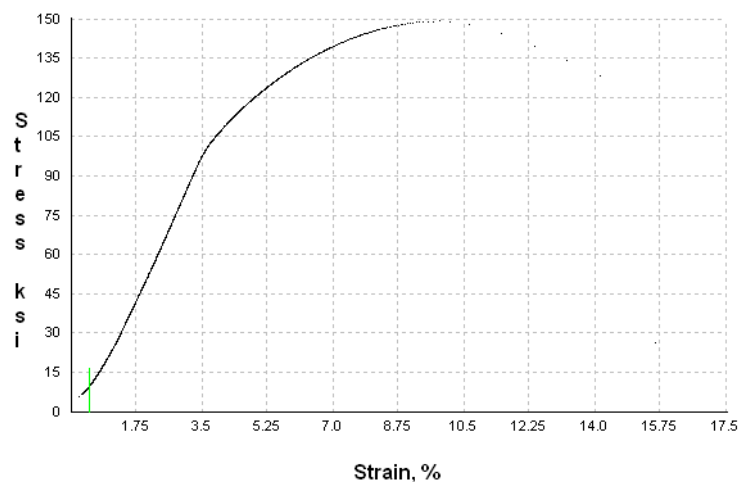


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 13/01/2015	Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)
Probeta: T45,3,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	13026,9 kg
Longitud Final	57,30 mm	Sut [Ec 2.4]	1030,40 MPa
Diámetro Inicial	12,56 mm	% E [Ec 2.5]	12,80 %
Diámetro Final	10,84 mm	% RA [Ec 2.6]	25,51 %

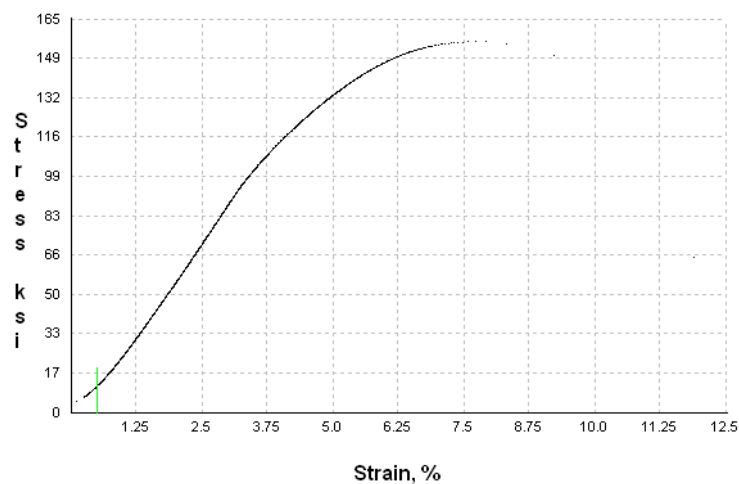


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES





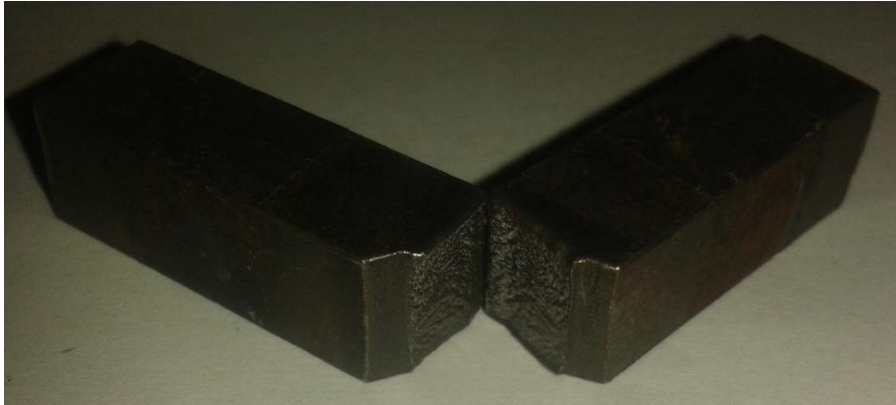
DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 13/01/2015	Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)
Probeta: T45,3,3	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	13753,16 kg
Longitud Final	55,93 mm	Sut [Ec 2.4]	1070,70 MPa
Diámetro Inicial	12,66 mm	% E [Ec 2.5]	10,10 %
Diámetro Final	11,16 mm	% RA [Ec 2.6]	22,29 %

4.2.7.5 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: C45,3,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	10 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	12,50	J/cm²



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



DATOS INFORMATIVOS

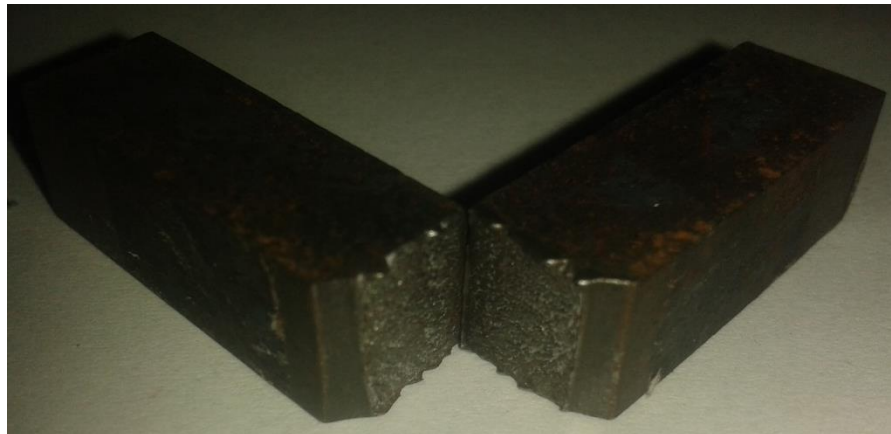
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C45,3,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 12 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	15,00	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------



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



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C45,3,3	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 12 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



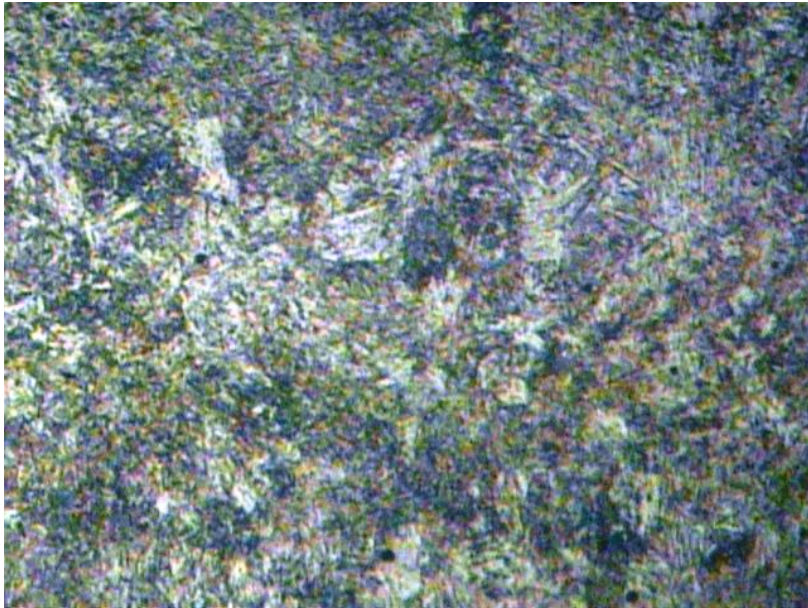


Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	15,00	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------

4.2.8 Evaluación de Acero AISI 1045 Tratamiento Sub-cero durante 6 horas.

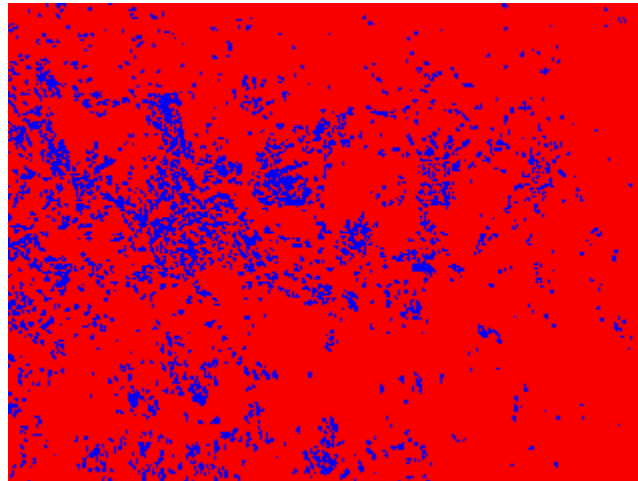
4.2.8.1 Ensayo Metalográfico

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 28/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: M45,6	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	120 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 22 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero con tratamiento Sub-cero por 6 hora 200X	

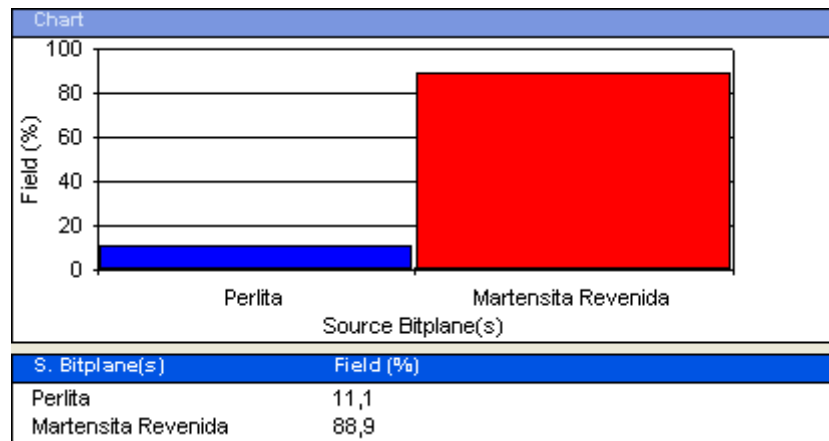


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

M45,6






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





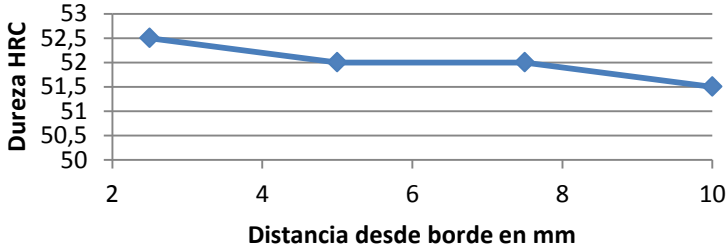

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de tratamiento Sub-cero durante 6 horas tenemos un incremento a 88,9 % de martensita revenida como el mayor componente y 11,1% perlita.



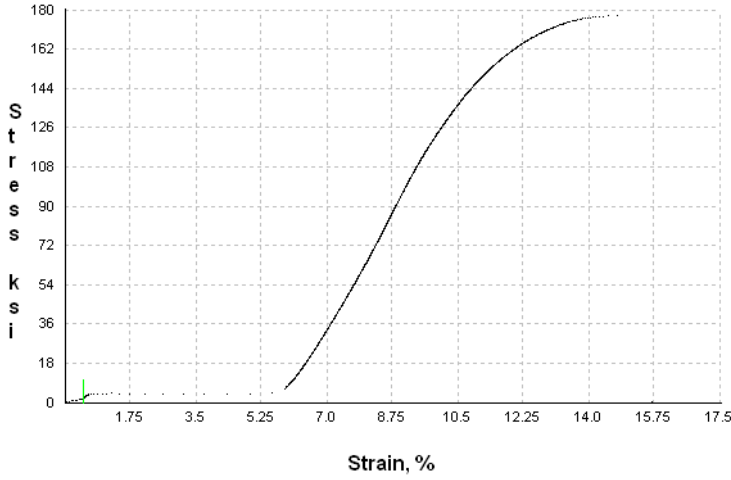
4.2.8.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 15/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: D45,6		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra D45,6		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRB	
1	53	
2	54	
3	52	
4	53	
5	52	
6	52	
7	51	
8	53	
9	50	
10	51	
PROMEDIO	52,1	

4.2.8.3 Ensayo Profundidad de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por: Washington Malán			Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		
Fecha: 25/02/2015			Lugar: Laboratorio de Materiales		
Probeta: P45,3			Tipo de Estudio : De Laboratorio		
PARÁMETROS DE ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE DUREZA					
Método: Rockwell C			Instrumento: Durómetro		
Tipo de Identador: Cono de Diamante			Carga Aplicada : 1471 N		
RESULTADOS					
N°	1	2	3	4	5
Distancia	2,5	5	7,5	10	-
Dureza	52,5	52	52	51,5	-
Grafica de Profundidad de Dureza y Detalle Referencial					
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; text-align: center;">  </div> </div>					

4.2.8.4 Ensayo de Tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 14/01/2015		Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)	
Probeta: T45,6,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	15568,78 kg
Longitud Final	54,20 mm	Sut [Ec 2.4]	1221,7 MPa
Diámetro Inicial	12,61 mm	% E [Ec 2.5]	6,70 %
Diámetro Final	11,72 mm	% RA [Ec 2.6]	13,62 %

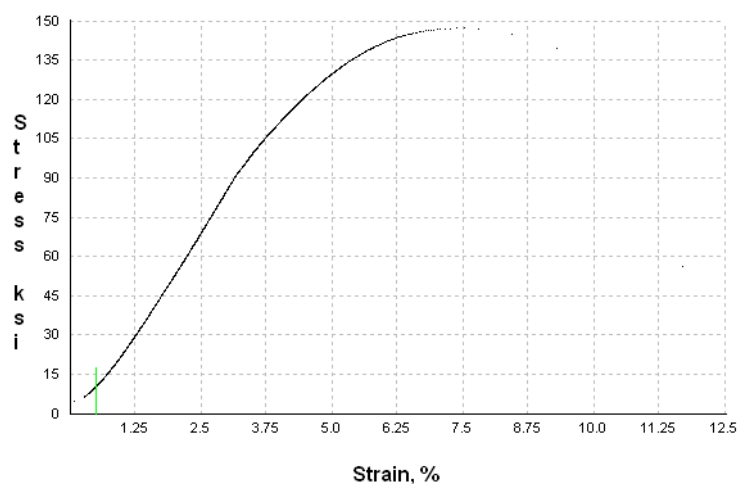


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 14/01/2015	Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)
Probeta: T45,6,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	12800 kg
Longitud Final	55,32 mm	Sut [Ec 2.4]	1015,7 MPa
Diámetro Inicial	12,54 mm	% E [Ec 2.5]	8,90 %
Diámetro Final	11,40 mm	% RA [Ec 2.6]	17,34 %

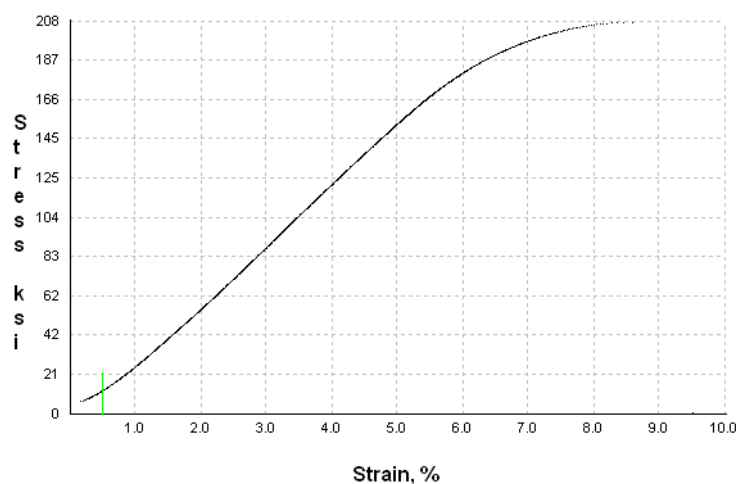


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES





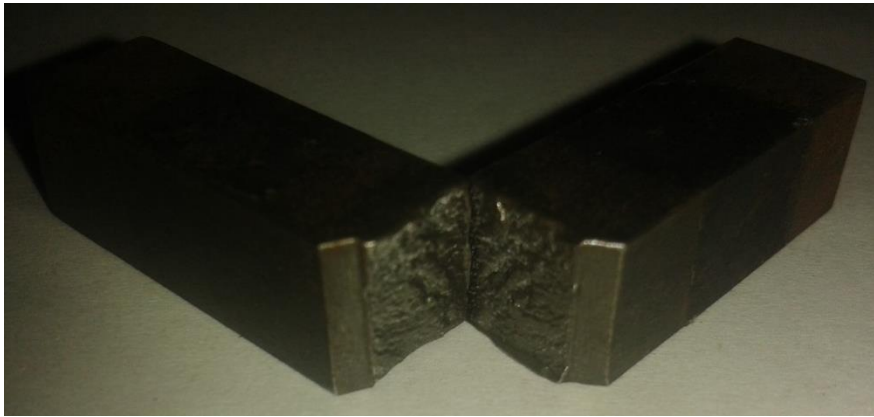
DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 14/01/2015	Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)
Probeta: T45,6,3	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	18182,87 kg
Longitud Final	53,39 mm	Sut [Ec 2.4]	1426,00 MPa
Diámetro Inicial	12,62 mm	% E [Ec 2.5]	5,10 %
Diámetro Final	11,82 mm	% RA [Ec 2.6]	12,28 %

4.2.8.5 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: C45,6,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	10 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	12,50	J/cm²



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



DATOS INFORMATIVOS

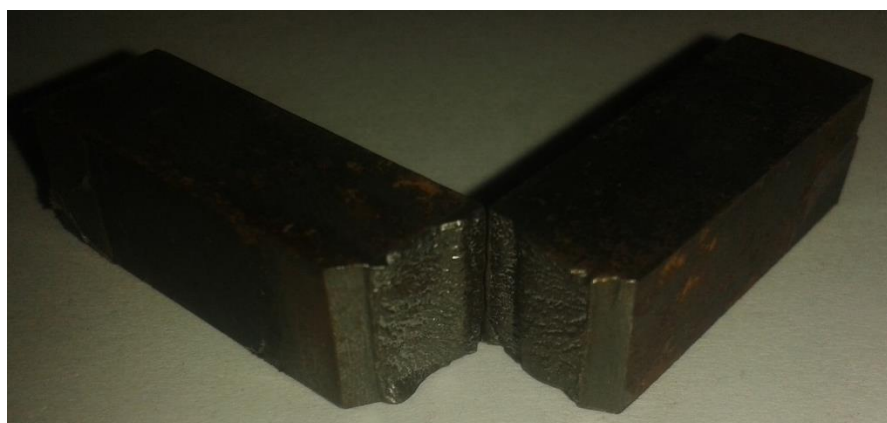
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C45,6,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 8 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	10,00	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------



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



DATOS INFORMATIVOS

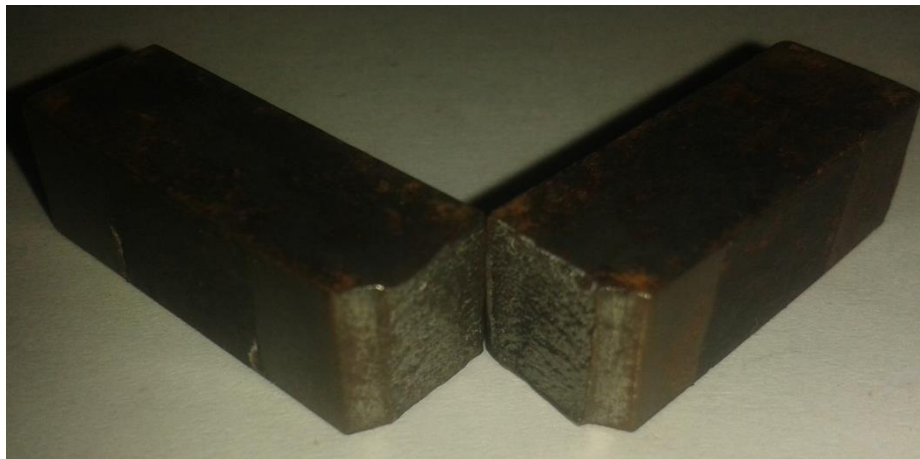
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C45,6,3	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 8 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	10,00	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------

4.2.9 Especificaciones de acero AISI 4140 en estado de suministro




 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 		
DATOS INFORMATIVOS		
Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	Lugar: Laboratorio de Materiales	
Realizado por: Washington Malán	Temperatura: 22°C	
ESPECIFICACIÓN DE SUMINISTRO		
Material	Acero	Detalle 
Característica	Eje	
Diámetro	22 mm	
Longitud	3000 mm	
Tipo o Grado	AISI 4140	
Resistencia a la Tracción	900 - 1050 MPa	
Dureza	29-34 HRC	
OBSERVACIONES		
Las especificaciones del material fueron proporcionadas por la casa comerciante BOHLER S.A., en las condiciones que estos lo distribuyen dicho acero		

4.2.10 Especificaciones de Temple y Revenido realizados a las probetas de acero AISI 4140 previo a los tratamientos Sub-cero.

Datos Informativos	
Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	Lugar: Laboratorio de Materiales
Realizado por: Washington Malán	Temperatura: 18 - 22 °C
Detalles del Tratamiento Térmico Inicial y Posterior	
Tratamiento Térmico	Temple
Instrumento	Horno de Mufla
Tipo de Material	AISI 4140
Temperatura de Temple	840 °C (Anexo 1)
Tiempo de Permanencia	30 min
Medio de enfriamiento	Agua
Temperatura de medio	40 - 44 °C
Volumen del medio	15 litros
Densidad a 40 °C	992,25 kg/mm ³
Viscosidad a 40 °C	0,653 x 10 ⁻³ Pa.s
Temperatura de Revenido	200 °C (Anexo 2)

4.2.11 Evaluación de Acero AISI 4140 en estado de Suministro.

4.2.11.1 Ensayo Metalográfico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 06/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: MF41	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	75 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Nital 2, 14 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero comercial 200X	

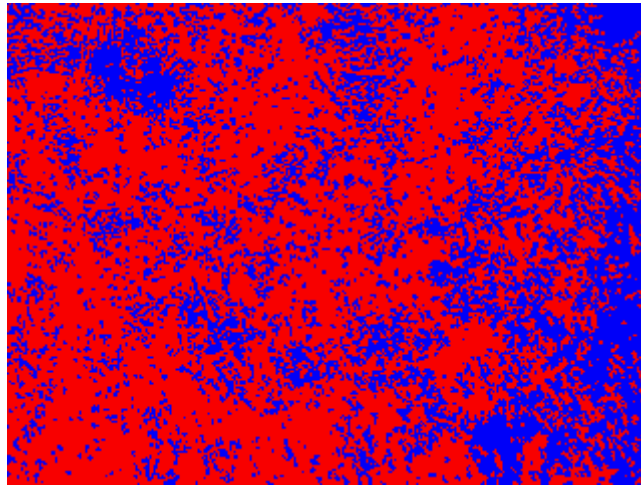


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

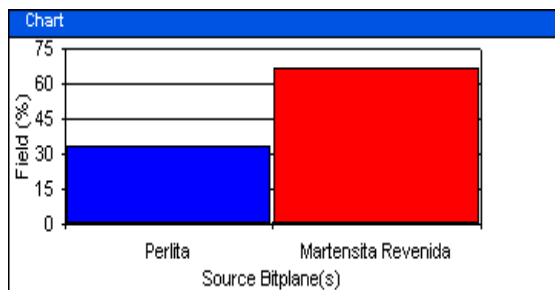


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

MF41



COMPONENTES DE
MICRO-ESTRUCTURA



S. Bitplane(s)	Field (%)
Perlita	33,4
Martensita Revenida	66,6

TAMAÑO DE GRANO






FidNo	ASTME112-96
1	10,16



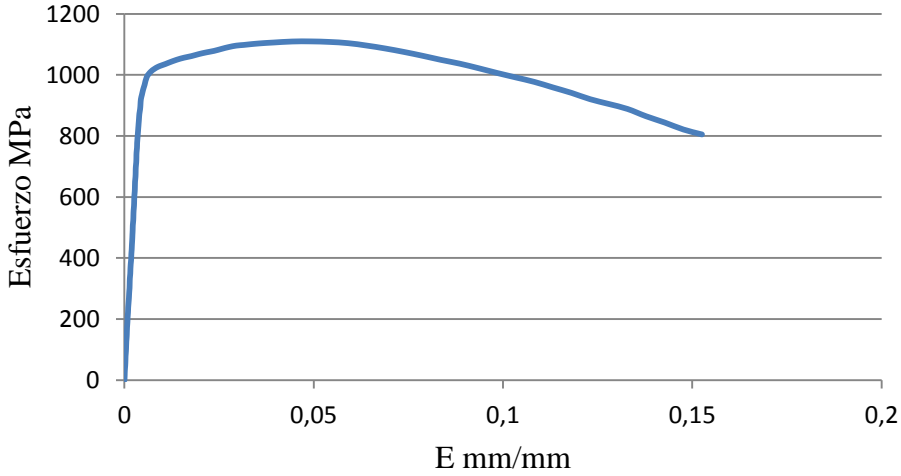
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Como en acero AISI 4140 en estado de suministro es bonificado tenemos que en la microestructura tenemos un 66,6% de martensita revenida y un 33,4% de perlita y un tamaño de grano ASTM G = 10,16.

4.2.11.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 21/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: DF41		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell B		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra DF41		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	38	
2	38	
3	37	
4	38	
5	37	
6	36	
7	37	
8	36	
9	37	
10	38	
PROMEDIO	37,2	

4.2.11.3 Ensayo de Tracción

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 27/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: TF41,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<p>Deformación Vs. Esfuerzo TF41.1</p>  <p>The graph plots Stress (Esfuerzo) in MPa on the y-axis (0 to 1200) against Strain (E) in mm/mm on the x-axis (0 to 0.2). The curve shows a rapid initial increase in stress, reaching a peak of about 1100 MPa at a strain of 0.05 mm/mm, followed by a gradual decrease in stress as strain increases further.</p>			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	13998,6 kg
Longitud Final	58,55 mm	Sut [Ec.2.4]	1110,14 MPa
Diámetro Inicial	12,55 mm	% E [Ec 2.5]	15,262 %
Diámetro Final	9,40 mm	% RA [Ec 2.6]	43,90 %



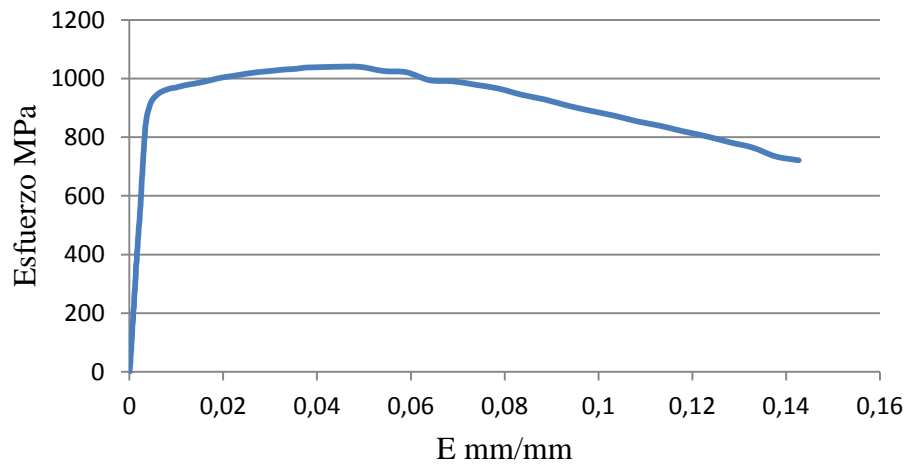
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS



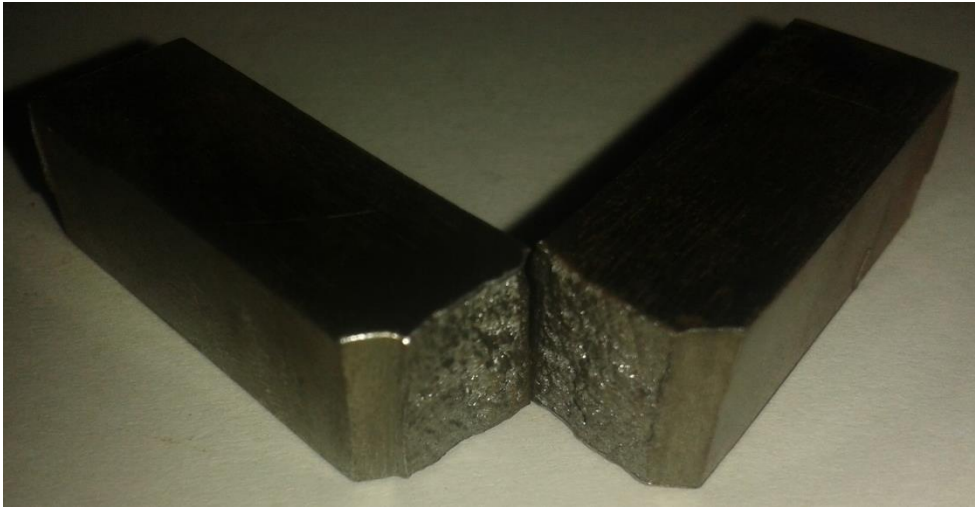
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: TF41,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo TF41.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	13235,80 kg
Longitud Final	58,05 mm	Sut [Ec.2.4]	1041,33 MPa
Diámetro Inicial	12,60 mm	% E [Ec 2.5]	14,27 %
Diámetro Final	9,20 mm	% RA [Ec 2.6]	46,67 %

4.2.11.4 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: CF41,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	35 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	43,75	J/cm ²



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



DATOS INFORMATIVOS

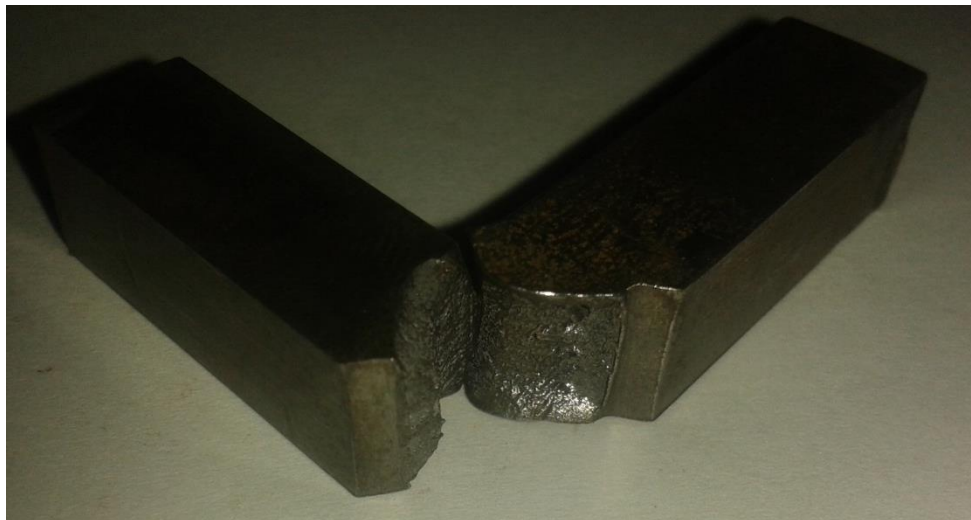
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: CF41,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 40 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial






Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	50,00	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------

4.2.12 Evaluación de Acero AISI 4140 Templadas.

4.2.12.1 Ensayo Metalográfico

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES</p> 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 08/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: MT41	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	140 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral , 26 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero templado 200X	

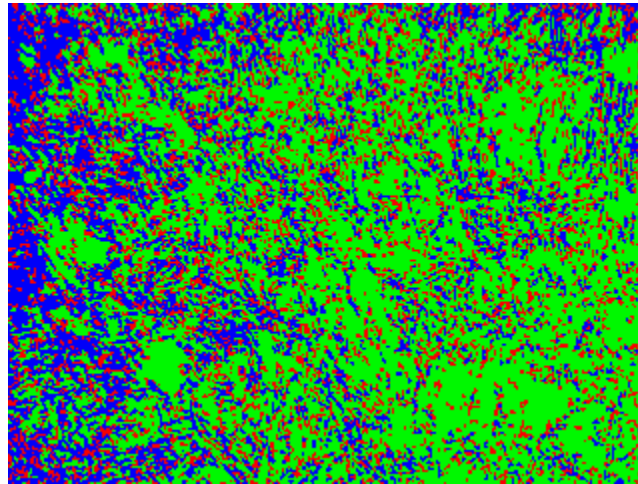


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

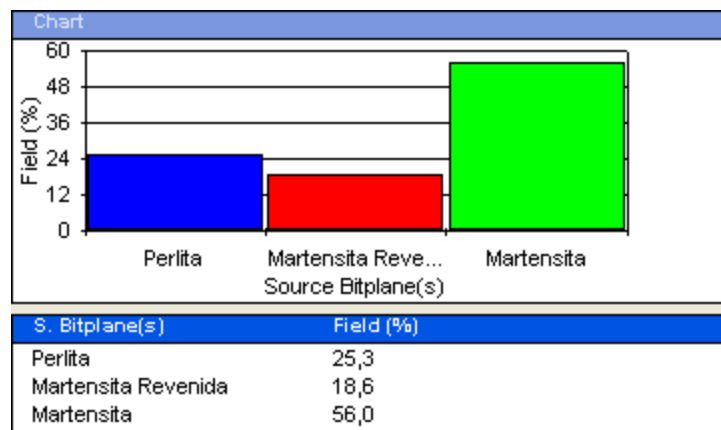


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

MT41






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después del temple podemos ver en la microestructura 56,0% de martensita en mayor cantidad, 25,3 % de perlita y 18,6 % de martensita revenida conservada del material en estado de suministro.

4.2.12.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 21/01/2015	Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: DT41	Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C	Instrumento: Durómetro	
Norma Aplicada : ASTM - E18	Carga Aplicada : 1471 N	
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra DT41		
Nº Medición	Dureza HRC	
1	63	
2	62	
3	61	
4	62	
5	64	
6	63	
7	61	
8	63	
9	62	
10	61	
PROMEDIO	62,2	
<th>Detalle Referencial</th>		Detalle Referencial
		

4.2.12.3 Ensayo de Tracción

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>																			
DATOS INFORMATIVOS																			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.																	
Fecha: 27/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales																	
Probeta: TT41,1		Instrumento: Máquina Universal																	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad																	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas																	
<p>Deformación Vs. Esfuerzo TT41.1</p> <table border="1" style="margin: 10px auto; border-collapse: collapse;"> <caption>Approximate data points from the Stress-Strain graph</caption> <thead> <tr> <th>E (mm/mm)</th> <th>Esfuerzo (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0000</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.0010</td><td>200</td></tr> <tr><td>0.0020</td><td>400</td></tr> <tr><td>0.0030</td><td>600</td></tr> <tr><td>0.0040</td><td>800</td></tr> <tr><td>0.0050</td><td>1000</td></tr> <tr><td>0.0055</td><td>1100</td></tr> </tbody> </table>				E (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)	0.0000	0	0.0010	200	0.0020	400	0.0030	600	0.0040	800	0.0050	1000	0.0055	1100
E (mm/mm)	Esfuerzo (MPa)																		
0.0000	0																		
0.0010	200																		
0.0020	400																		
0.0030	600																		
0.0040	800																		
0.0050	1000																		
0.0055	1100																		
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	14408,10 kg																
Longitud Final	51,09 mm	Sut [Ec.2.4]	1115,78 MPa																
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	0,57 %																
Diámetro Final	12,64 mm	% RA [Ec 2.6]	094 %																



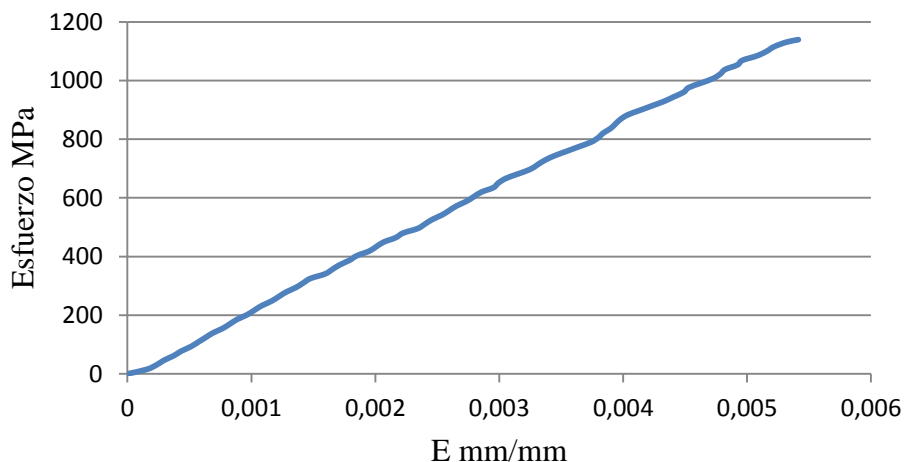
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS



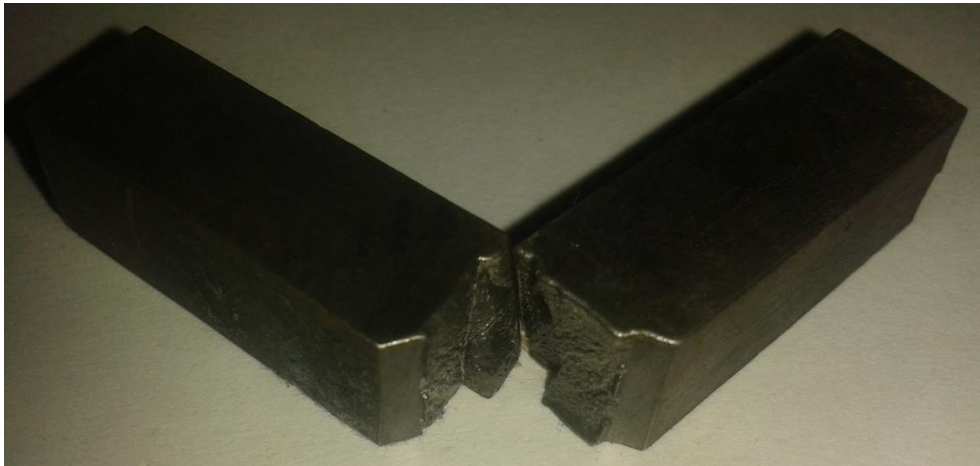
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: TT41,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo TT41.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	14712,60 kg
Longitud Final	62,50 mm	Sut [Ec.2.4]	1139,36 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	0,54 %
Diámetro Final	12,62 mm	% RA [Ec 2.6]	1,25 %

4.2.12.4 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: CT41,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	5 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	6,25	J/cm ²



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



DATOS INFORMATIVOS

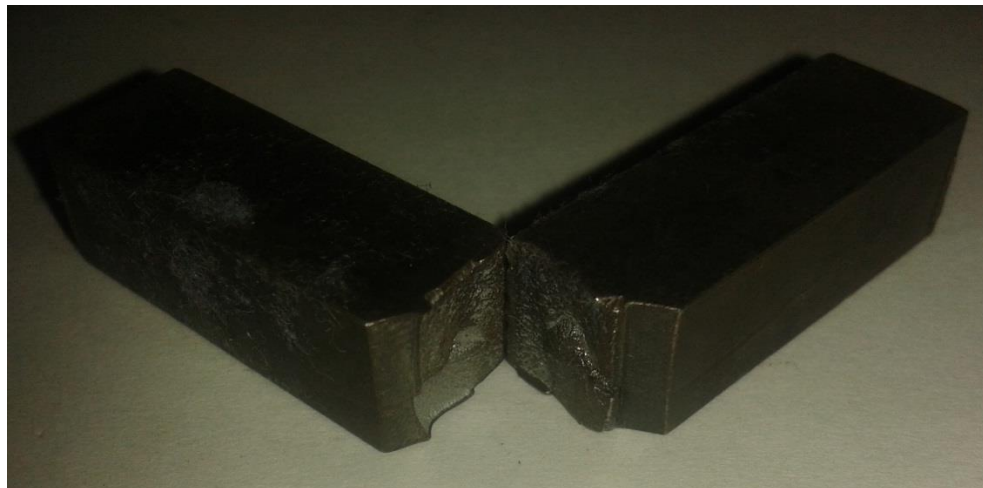
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: CT45,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 3 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



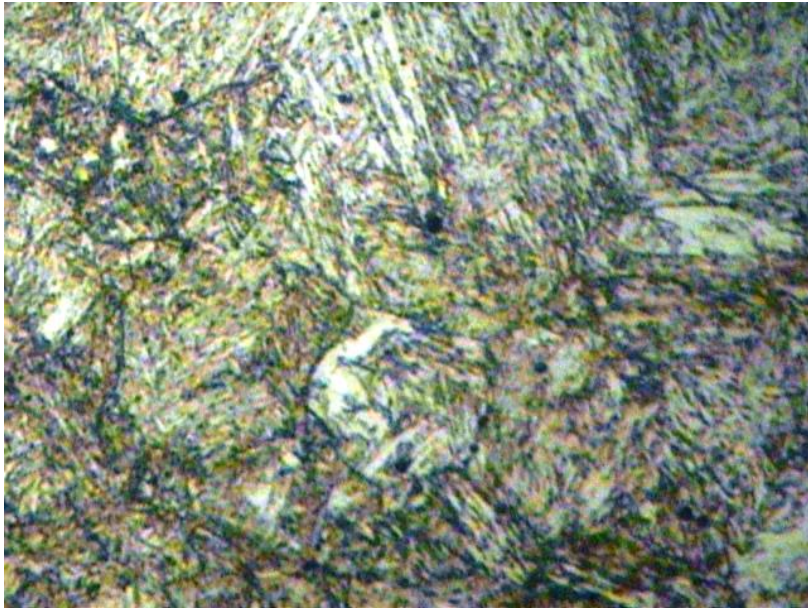


Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	3,75	J/cm ²
------------	----------	------	-------------------

4.2.13 Evaluación de Acero AISI 4140 Templadas y Revenidas.

4.2.13.1 Ensayo Metalográfico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 10/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: MTR41	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	130 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral , 24 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero templado y revenido 200X	

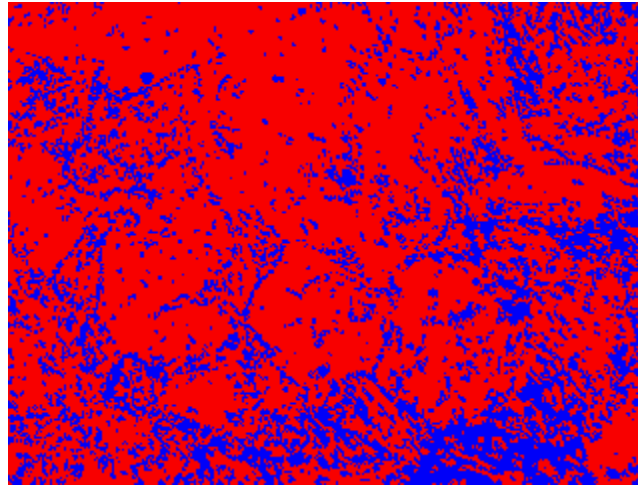


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

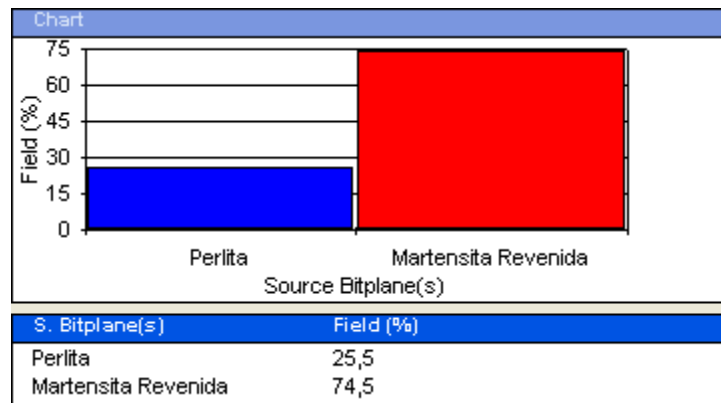


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

MTR41






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





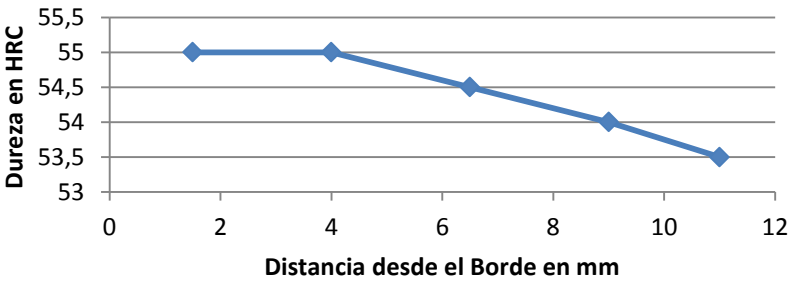

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después del revenido realizado a 200 °C durante 1 hora podemos ver en la microestructura 74,5% de martensita revenida y 25,5% de perlita.



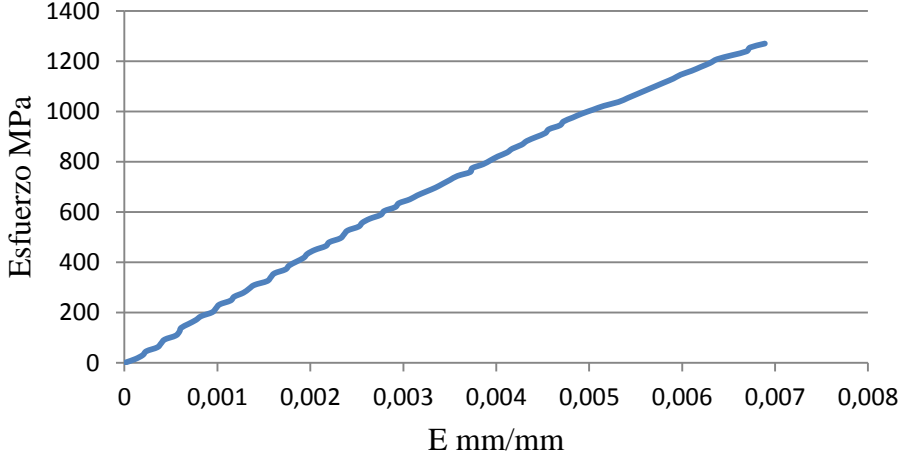
4.2.13.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 21/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: DTR41		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra DTR41		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	
1	55	
2	56	
3	55	
4	56	
5	54	
6	55	
7	54	
8	57	
9	53	
10	54	
PROMEDIO	54,9	

4.2.13.3 Ensayo Profundidad de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por: Washington Malán			Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		
Fecha: 26/02/2015			Lugar: Laboratorio de Materiales		
Probeta: PTR41			Tipo de Estudio : De Laboratorio		
PARÁMETROS DE ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE DUREZA					
Método: Rockwell C			Instrumento: Durómetro		
Tipo de Identador: Cono de Diamante			Carga Aplicada : 1471 N		
RESULTADOS					
N°	1	2	3	4	5
Distancia	1,5	4	6,5	9	11
Dureza	55	55	54,5	54	53,5
Grafica de Profundidad de Dureza y Detalle Referencial					
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; text-align: center;">  </div> </div>					

4.2.13.4 Ensayo de Tracción

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 27/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: TTR41,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<p>Deformación Vs. Esfuerzo TTR41.1</p> 			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	16527,4 kg
Longitud Final	62,50 mm	Sut [Ec.2.4]	1279,90 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	0,69 %
Diámetro Final	12,50 mm	% RA [Ec 2.6]	3,12 %



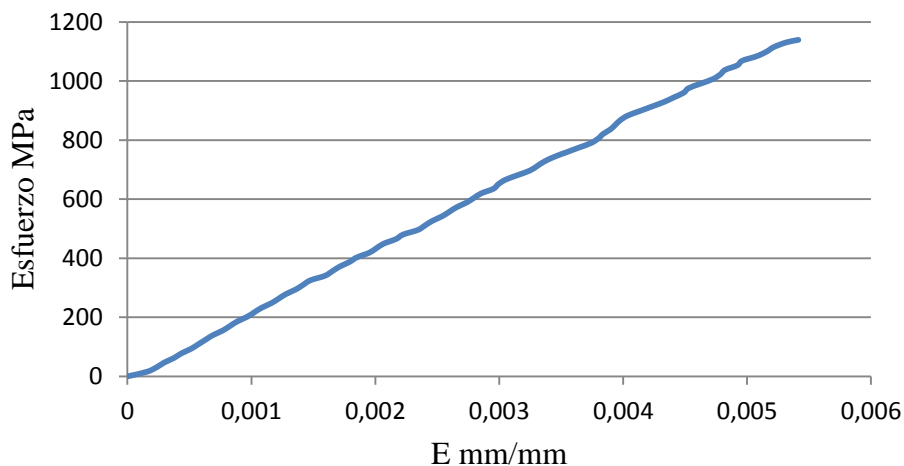
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS



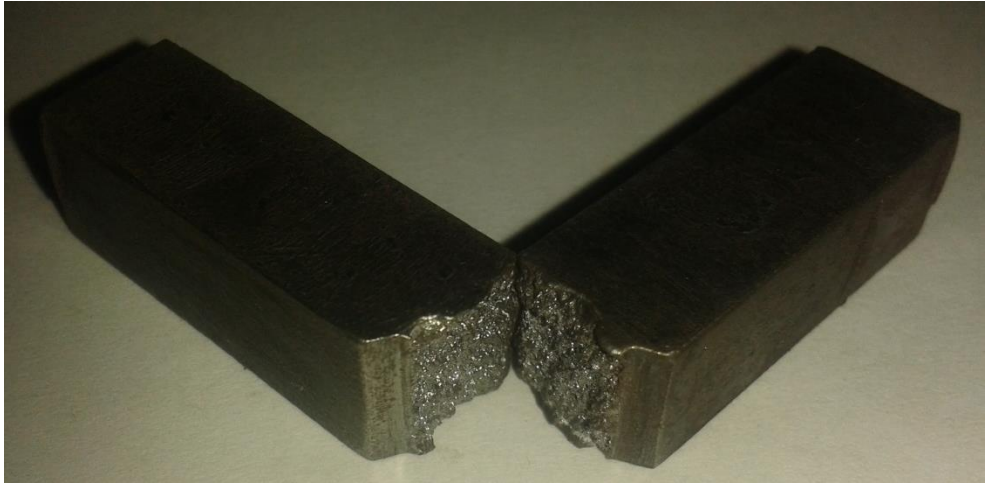
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: TTR41,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo TTR41.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	14712,60 kg
Longitud Final	51,08 mm	Sut [Ec.2.4]	1139,36 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	0,54 %
Diámetro Final	12,54 mm	% RA [Ec 2.6]	12,54 %

4.2.13.5 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: CTR41,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	12 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	15,00	J/cm ²



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



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C41,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 15 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



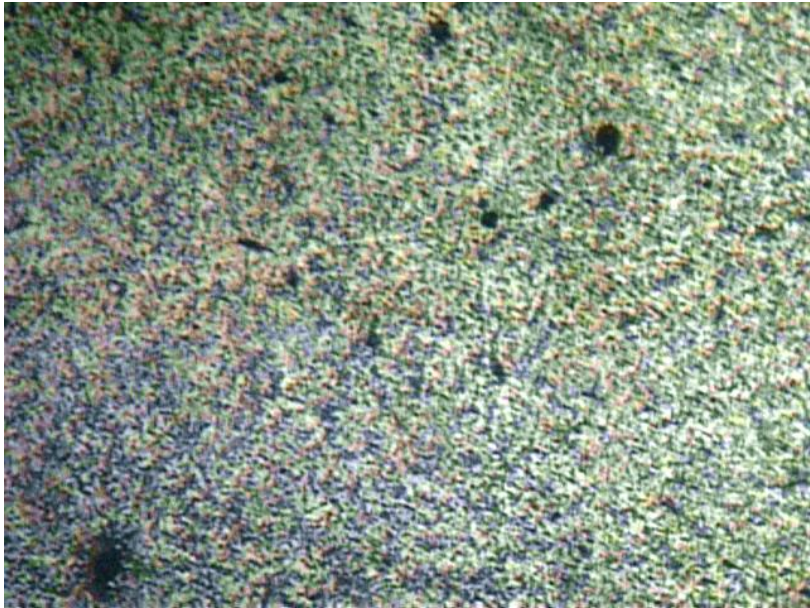


Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	18,75	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------

4.2.14 Evaluación de Acero AISI 4140 Tratamiento Sub-cero durante 1 hora.

4.2.14.1 Ensayo Metalográfico

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
	LABORATORIO DE MATERIALES
	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 10/12/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: M41,1	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	45 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 25 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero con tratamiento Sub-cero por 1 hora 200X	

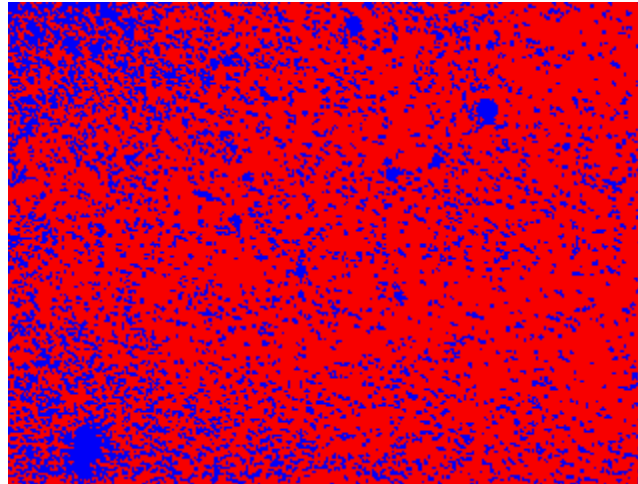


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

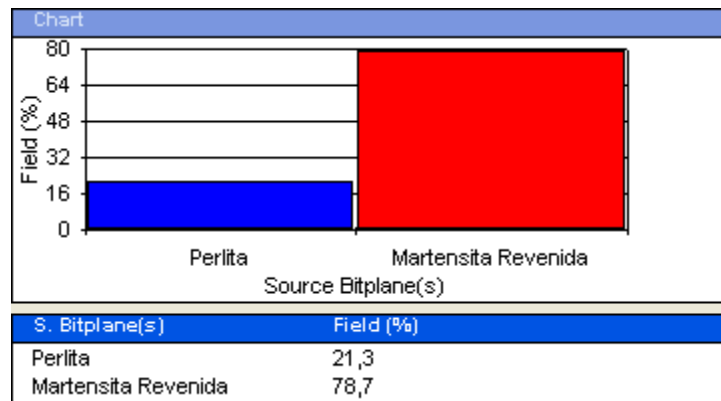


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

M41,1






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





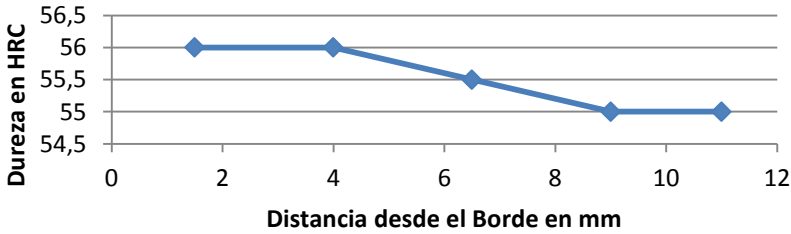

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de tratamiento Sub-cero durante 1 hora tenemos un incremento a 78,7% de martensita revenida como el mayor componente y 21,3% perlita.



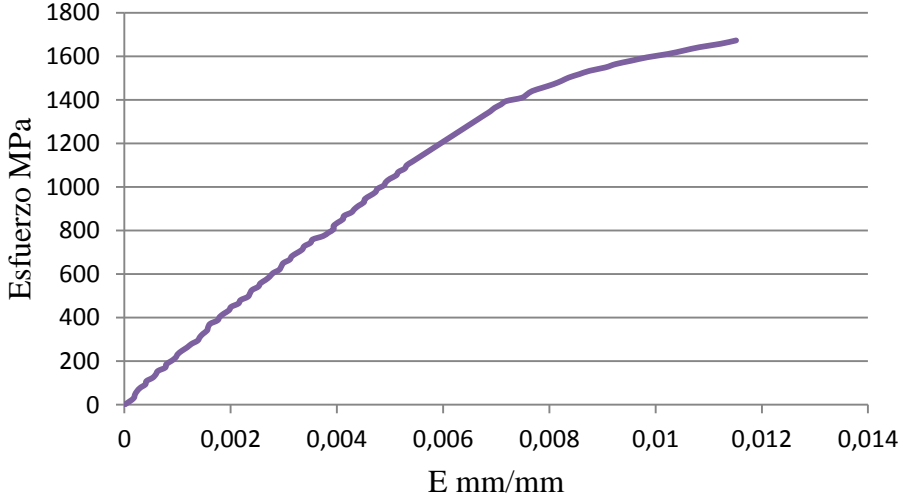
4.2.14.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: D41,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra D41,1		Detalle Referencial
Nº Medición	Dureza HRC	
1	57	
2	56	
3	56	
4	55	
5	57	
6	56	
7	54	
8	55	
9	56	
10	55	
PROMEDIO	55,7	

4.2.14.3 Ensayo Profundidad de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por: Washington Malán			Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		
Fecha: 26/02/2015			Lugar: Laboratorio de Materiales		
Probeta: P41,1			Tipo de Estudio : De Laboratorio		
PARÁMETROS DE ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE DUREZA					
Método: Rockwell C			Instrumento: Durómetro		
Tipo de Identador: Cono de Diamante			Carga Aplicada : 1471 N		
RESULTADOS					
N°	1	2	3	4	5
Distancia	1,5	4	6,5	9	11
Dureza	56	56	55,5	55	55
Grafica de Profundidad de Dureza y Detalle Referencial					
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  </div> <div style="flex: 0.5; text-align: center;">  </div> </div>					

4.2.14.4 Ensayo de Tracción

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 27/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: T41,1,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<h3>Deformación Vs. Esfuerzo T41.1.1</h3> 			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	21711,50 kg
Longitud Final	51,39 mm	Sut [Ec.2.4]	1681,36 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	1,15 %
Diámetro Final	12,40 mm	% RA [Ec 2.6]	4,67 %



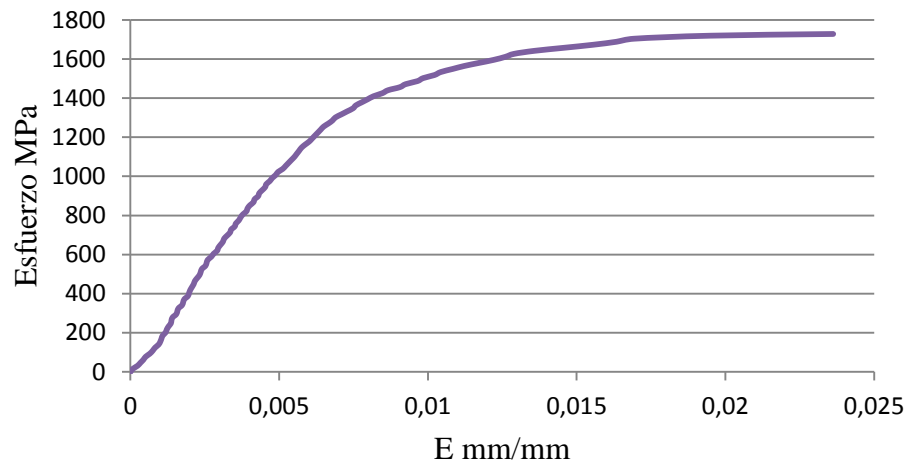
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: T41,1,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo T41.1.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	22312,10 kg
Longitud Final	52,00 mm	Sut [Ec.2.4]	1727,87 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.4]	2,36 %
Diámetro Final	12,32 mm	% RA [Ec 2.6]	5,89 %



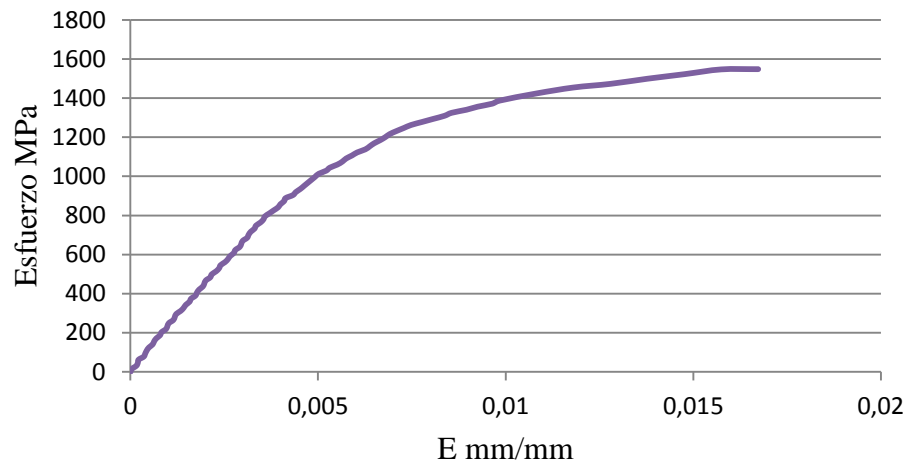
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS




Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: T45,1,3	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo T41.1.3



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	19862,90 kg
Longitud Final	51,65 mm	Sut [Ec.2.4]	1547,94 MPa
Diámetro Inicial	12,66 mm	% E [Ec 2.5]	1,67 %
Diámetro Final	12,32 mm	% RA [Ec 2.6]	5,30 %

4.2.14.5 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: C41,1,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	14 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	17,50	J/cm ²



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



DATOS INFORMATIVOS

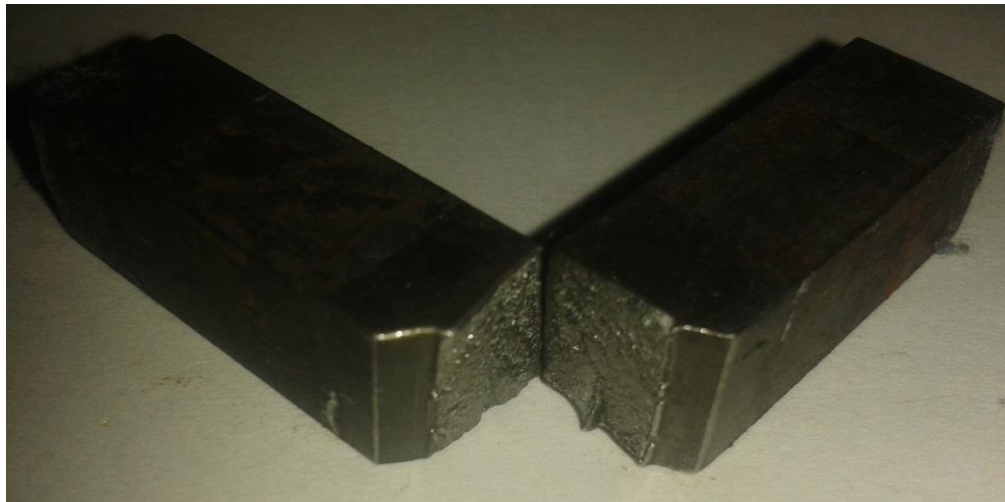
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C41,1,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 12 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	15,00	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------



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



DATOS INFORMATIVOS

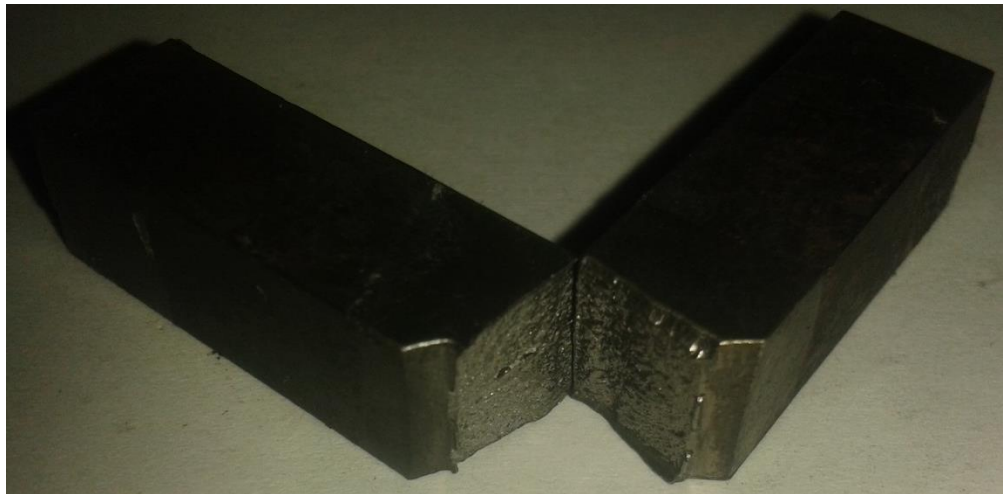
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C41,1,3	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 15 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



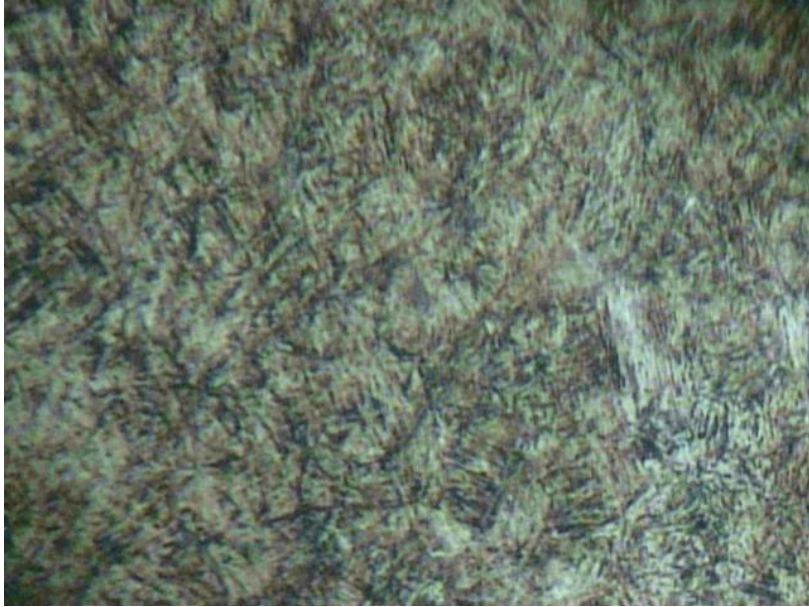


Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	18,75	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------

4.2.15 Evaluación de Acero AISI 4140 Tratamiento Sub-cero durante 3 horas.

4.2.15.1 Ensayo Metalográfico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 15/12/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: M41,3	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	45 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral , 28 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero con tratamiento Sub-cero por 3 hora 200X	

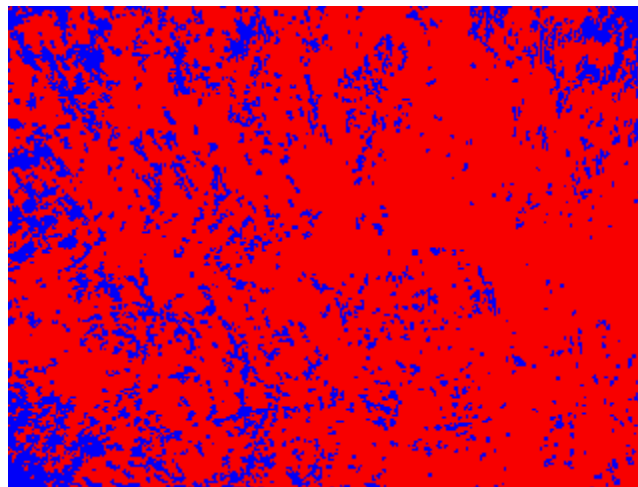


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

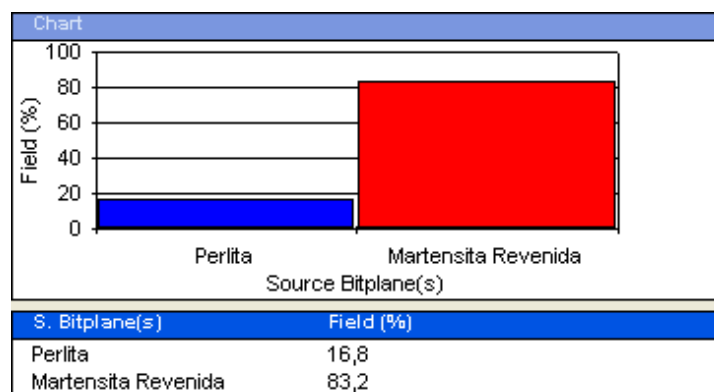


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

M41,3






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





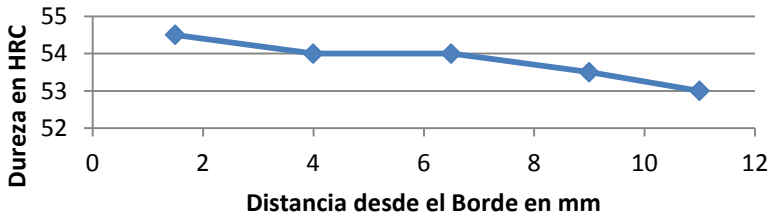

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de tratamiento Sub-cero durante 3 horas tenemos un incremento a 83,2% de martensita revenida como el mayor componente y 16,8% perlita.



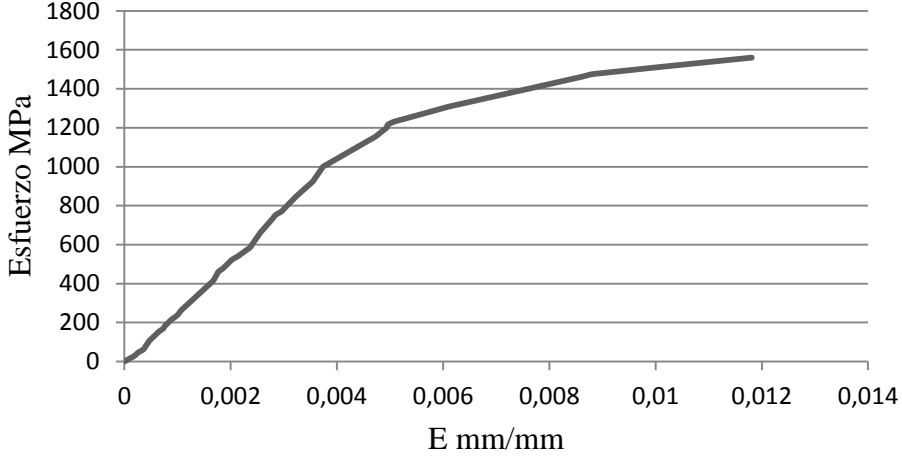
4.2.15.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/01/2015	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: D41,3	Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA	
Método: Rockwell C	Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18	Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell	
RESULTADOS	
Muestra D41,3	
Nº Medición	Dureza HRC
1	55
2	54
3	54
4	55
5	56
6	53
7	56
8	57
9	57
10	56
PROMEDIO	55,3
Detalle Referencial	
	

4.2.15.3 Ensayo Profundidad de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por: Washington Malán			Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		
Fecha: 26/02/2015			Lugar: Laboratorio de Materiales		
Probeta: P41,3			Tipo de Estudio : De Laboratorio		
PARÁMETROS DE ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE DUREZA					
Método: Rockwell C			Instrumento: Durómetro		
Tipo de Identador: Cono de Diamante			Carga Aplicada : 1471 N		
RESULTADOS					
N°	1	2	3	4	5
Distancia	1,5	4	6,5	9	11
Dureza	54,5	54	54	53,5	53
Grafica de Profundidad de Dureza y Detalle Referencial					
 <p style="text-align: center;">Dureza en HRC</p> <p style="text-align: center;">Distancia desde el Borde en mm</p>					

4.2.15.4 Ensayo de Tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 27/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: T45,3,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<p>Deformación Vs. Esfuerzo T41.3.1</p> 			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	20272,80 kg
Longitud Final	51,80 mm	Sut [Ec.2.4]	1560,11 MPa
Diámetro Inicial	12,74 mm	% E [Ec 2.5]	1,18 %
Diámetro Final	12,44 mm	% RA [Ec 2.6]	4,65 %



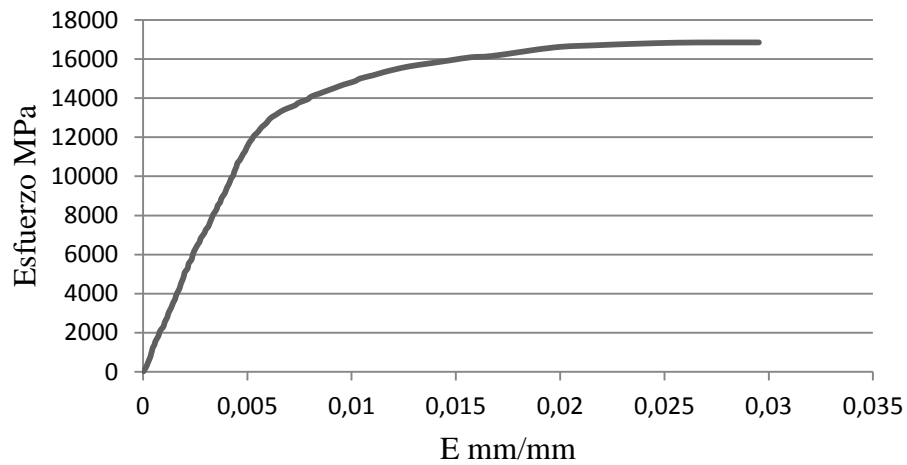
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: T45,3,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo T41.3.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	21775,00 kg
Longitud Final	52,30 mm	Sut [Ec.2.4]	1691,60 MPa
Diámetro Inicial	12,68 mm	% E [Ec 2.5]	1,97 %
Diámetro Final	12,34 mm	% RA [Ec 2.6]	5,29 %



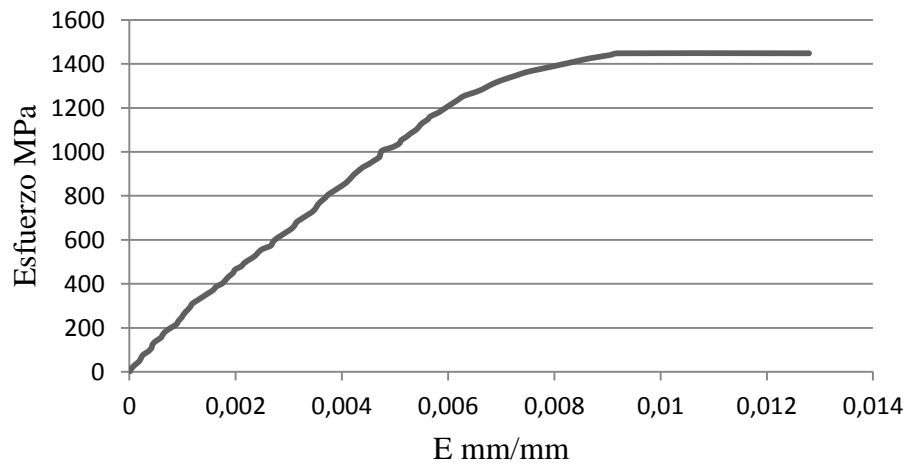
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS



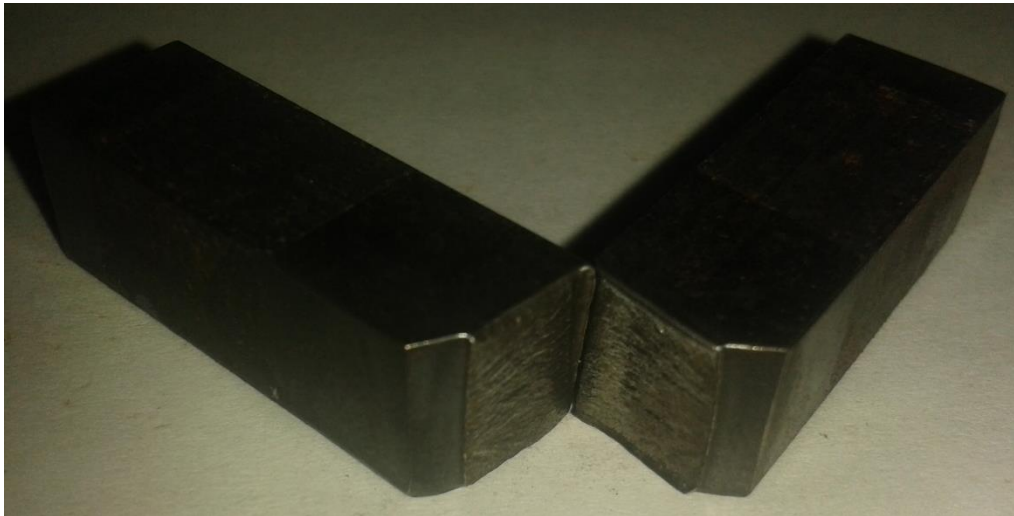
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: T45,3,3	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo T41.3.3



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	18699,30 kg
Longitud Final	51,45 mm	Sut [Ec.2.4]	1448,09 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	1,28 %
Diámetro Final	12,42 mm	% RA [Ec 2.6]	4,36 %

4.2.15.5 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: C413,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	7 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	8,75	J/cm ²



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



DATOS INFORMATIVOS

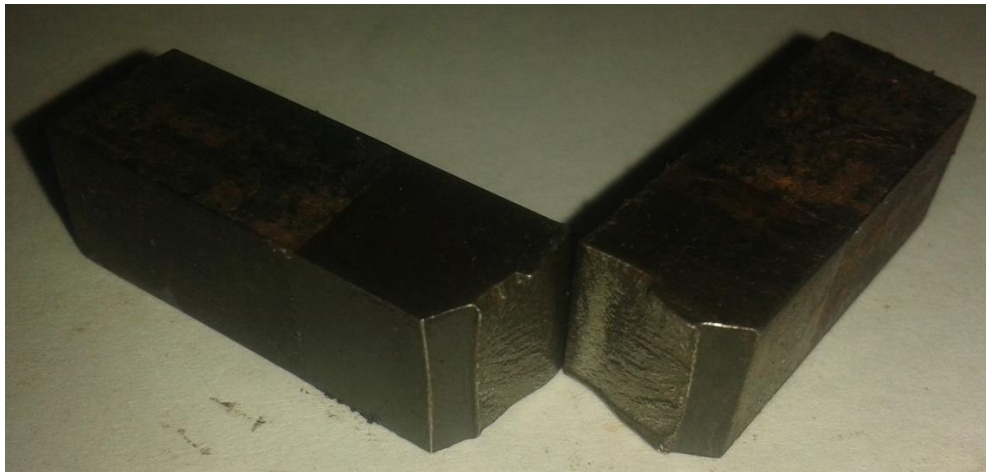
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C41,1,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 8 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	10,00	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------



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



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C41,1,3	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 10 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial






Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	12,50	J/cm ²
------------	----------	-------	-------------------

4.2.16 Evaluación de Acero AISI 4140 Tratamiento Sub-cero durante 6 horas.

4.2.16.1 Ensayo Metalográfico

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 17/12/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: M41,6	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	45 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 32 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero con tratamiento Sub-cero por 6 hora 200X	

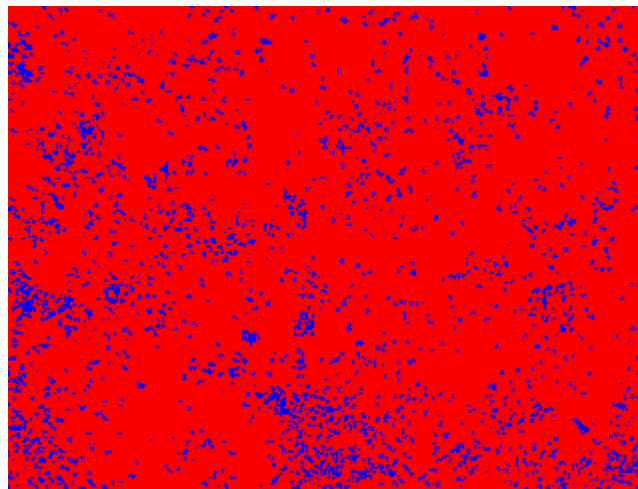


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES

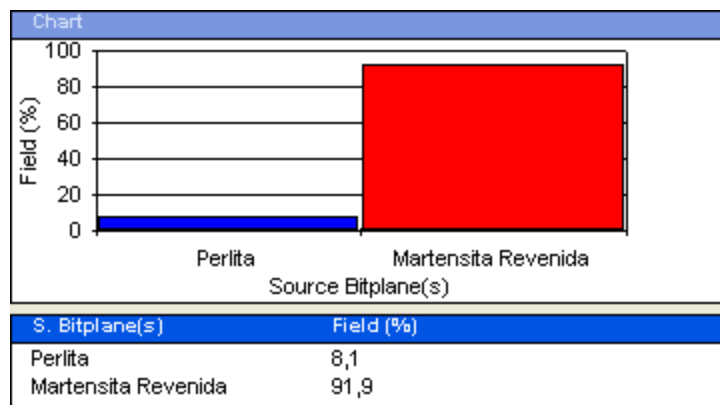


EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

M41,6






COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA





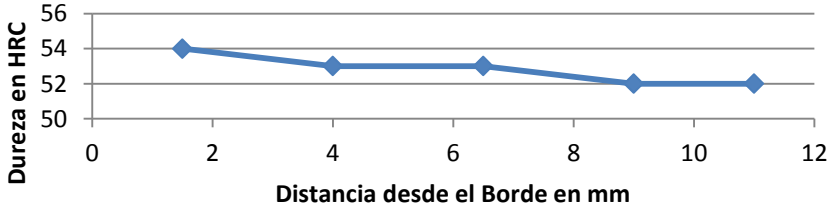

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de tratamiento Sub-cero durante 6 horas tenemos un incremento a 91,9% de martensita revenida como el mayor componente y 8,1% perlita.



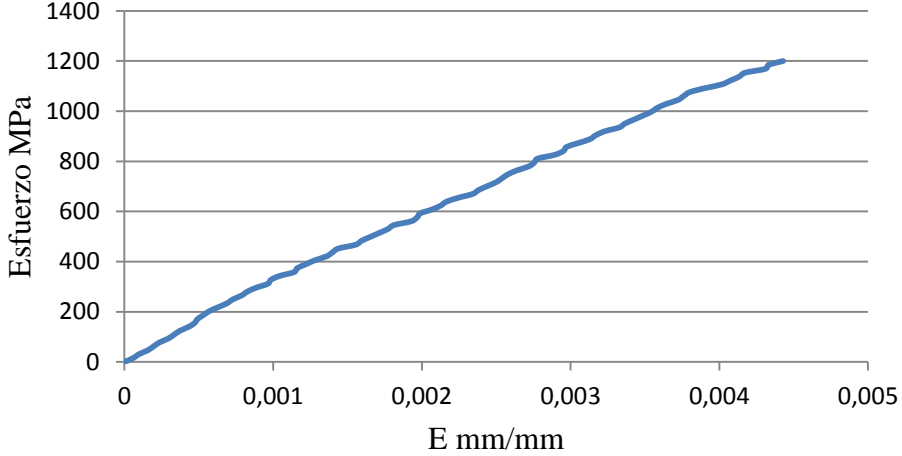
4.2.16.2 Ensayo de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES		
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/01/2015		Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: D41,6		Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método: Rockwell C		Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18		Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell		
RESULTADOS		
Muestra D41,6		Detalle Referencial
Nº Medición	Dureza HRC	
1	54	
2	54	
3	54	
4	55	
5	56	
6	57	
7	55	
8	53	
9	54	
10	55	
PROMEDIO	54,7	

4.2.16.3 Ensayo Profundidad de Dureza

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES					
DATOS INFORMATIVOS					
Realizado por: Washington Malán			Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.		
Fecha: 26/02/2015			Lugar: Laboratorio de Materiales		
Probeta: P41,3			Tipo de Estudio : De Laboratorio		
PARÁMETROS DE ENSAYO DE PROFUNDIDAD DE DUREZA					
Método: Rockwell C			Instrumento: Durómetro		
Tipo de Identador: Cono de Diamante			Carga Aplicada : 1471 N		
RESULTADOS					
N°	1	2	3	4	5
Distancia	1,5	4	6,5	9	11
Dureza	54	53	53	52	52
Grafica de Profundidad de Dureza y Detalle Referencial					
					

4.2.16.4 Ensayo de Tracción

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 27/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: T45,6,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<h3>Deformación Vs. Esfuerzo T41.6.1</h3> 			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	15448,20 kg
Longitud Final	51,02 mm	Sut [Ec.2.4]	1203,90 MPa
Diámetro Inicial	12,66 mm	% E [Ec 2.5]	0,43 %
Diámetro Final	12,58 mm	% RA [Ec 2.6]	1,26 %



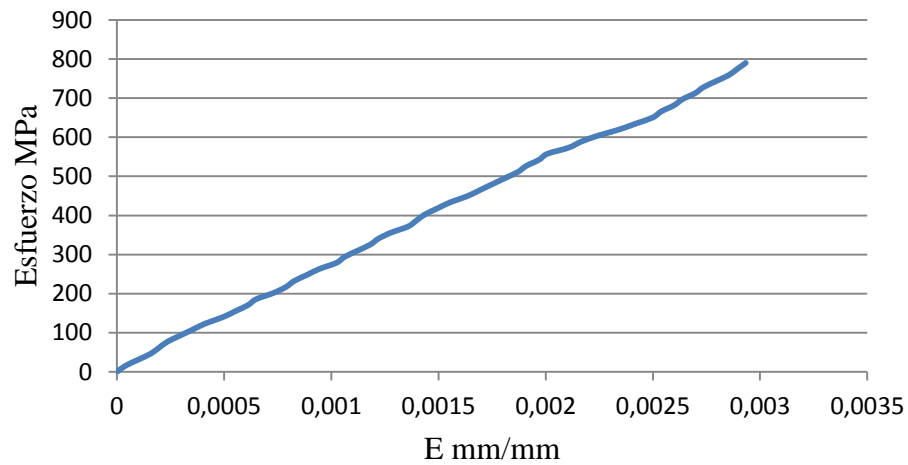
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: T45,6,2	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo T41.6.2



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	10479,4 kg
Longitud Final	50,95 mm	Sut [Ec.2.4]	811,54 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	0,29 %
Diámetro Final	12,64 mm	% RA [Ec 2.6]	0,94 %



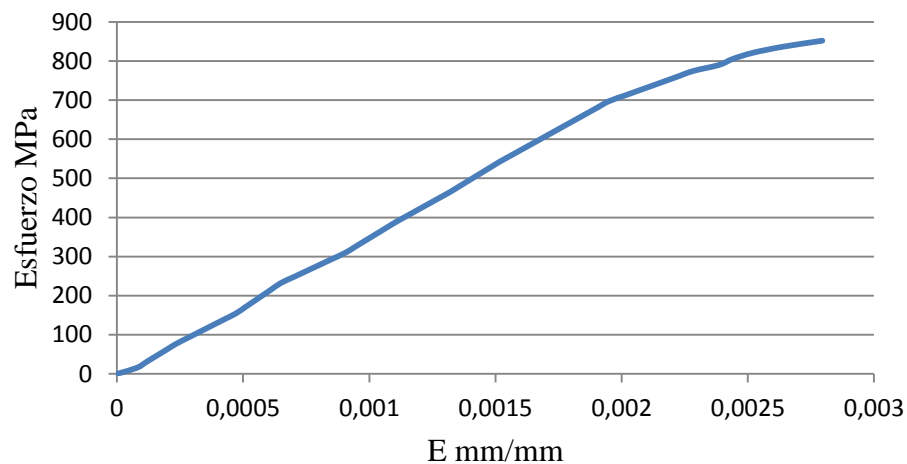
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE MATERIALES



DATOS INFORMATIVOS



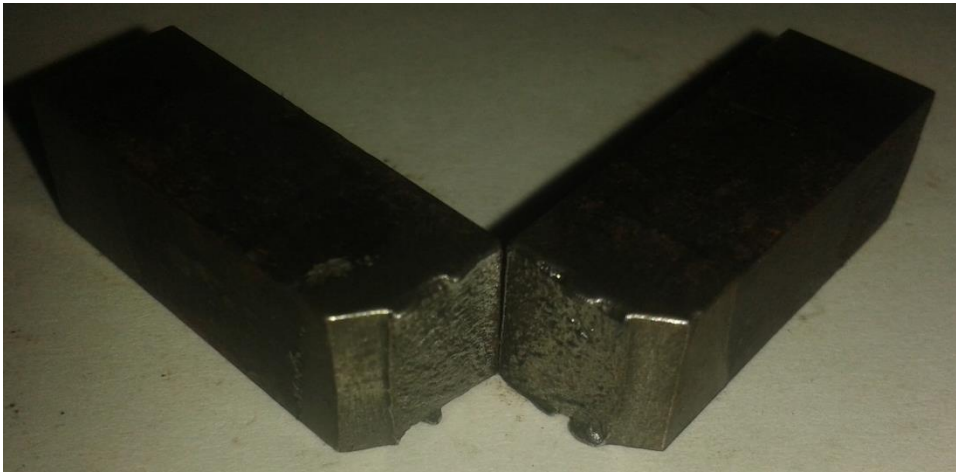
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 27/10/2014	Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales
Probeta: T45,6,3	Instrumento: Máquina Universal
Método: Deformación Controlada	Marca: Tinius Olsen capacidad
Norma Aplicada : ASTM - E8	Capacidad: 30 Toneladas

Deformación Vs. Esfuerzo T41.6.3



Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	11754,80 kg
Longitud Final	62,50 mm	Sut [Ec.2.4]	910,3 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.5]	0,28 %
Diámetro Final	12,64 mm	% RA [Ec 2.6]	0,94 %

4.2.16.5 Ensayo de resistencia al Impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS			
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 22/10/2014		Lugar: Laboratorio de Materiales	
Probeta: C41,6,1		Tipo de Estudio : De Laboratorio	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY			
Norma Aplicada : ASTM - E23		Instrumento: Péndulo Charpy	
Tipo de Muesca: V		Temperatura Ambiente: 20 °C	
Energía Absorbida:	3 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²	
RESULTADOS			
Detalle Referencial			
			
Resistencia al Impacto			
<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	3,75	J/cm ²



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



DATOS INFORMATIVOS

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C41,6,2	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 3 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	3,75	J/cm ²
------------	----------	------	-------------------



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



DATOS INFORMATIVOS

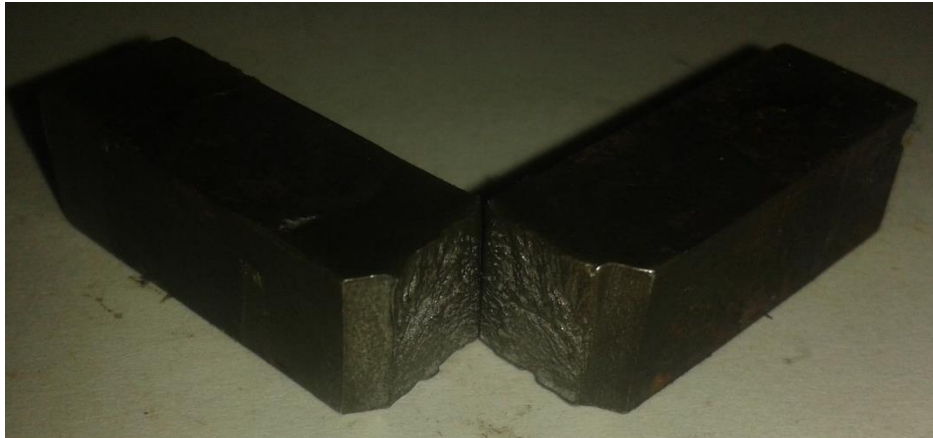
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: C41,6,3	Tipo de Estudio : De Laboratorio

PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY

Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento: Péndulo Charpy
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente: 20 °C
Energía Absorbida: 4 N.m	Área Transversal : 0,8 cm ²

RESULTADOS

Detalle Referencial



Resistencia al Impacto

<u>KCU</u>	[Ec 2.8]	5,00	J/cm ²
------------	----------	------	-------------------

4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

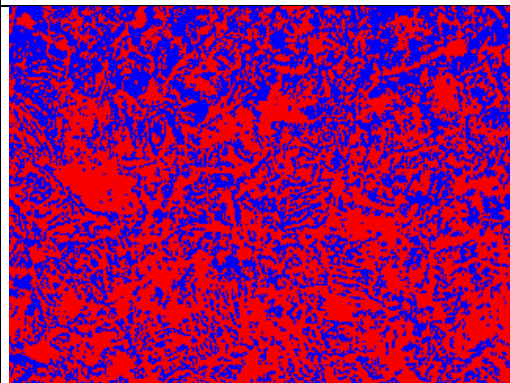
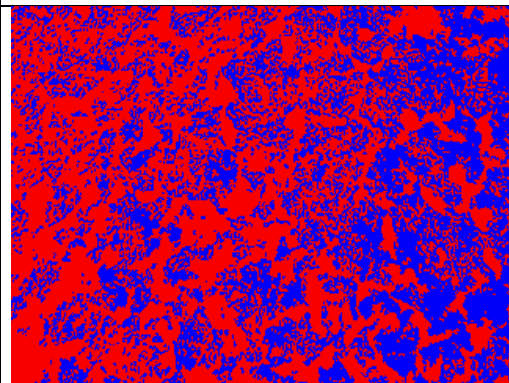
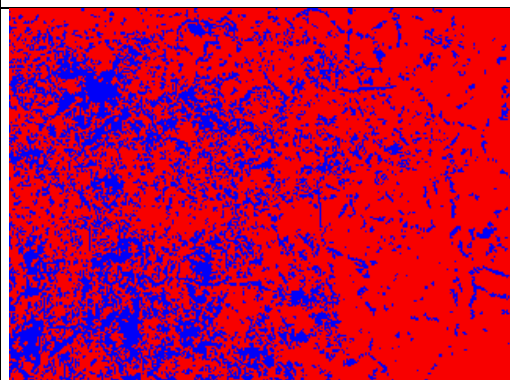
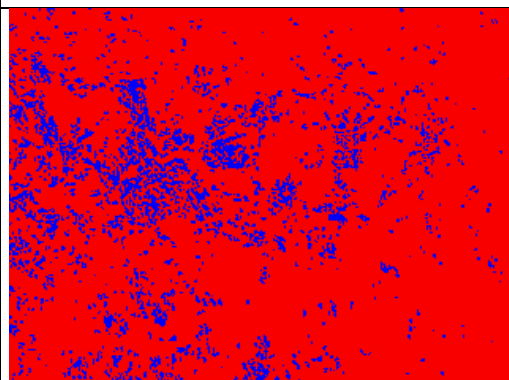
Para la interpretación de resultados de los ensayos realizados para la presente investigación, se tomó una comparación entre un tratamiento convencional como es el temple y revenido frente a la inclusión del tratamiento Sub-cero durante diferentes tiempos y verificar la influencia de este sobre los material a estudiar como son los aceros AISI 1045 y AISI 4140.

4.3.1 Interpretación de Resultados de los ensayos en el Acero AISI 1045

Una vez realizados los ensayos en el acero AISI 1045, se obtuvieron los siguientes resultados los mismos que se interpretan en las gráficas que se muestra a continuación.

4.3.1.1 Interpretación de los resultados del ensayo Metalográfico

Tabla 4.3. Microestructuras del acero AISI 1045

Microestructuras acero AISI 1045	
Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora
	
Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
	

Fuente: Autor

Una vez realizados los ensayos metalográfico, en la tabla 4.3 podemos observar la variación de la microestructura del acero AISI 1045, en esta tabla notamos claramente que no tenemos un cambio significativo entre la microestructura que se obtiene después de un temple y revenido y la obtenida en la probeta tratada también con Sub-cero durante 1 hora.

En el tratamiento Sub-cero tenemos una semejanza a en la micro-estructura con la del estado de suministro, pero con un tamaño de grano ASTM más pequeño y martensita revenido en vez de ferrita lo cual hace tener un incremento considerable en la resistencia a la tracción que será analizadas en las siguientes tablas.

4.3.1.2 Interpretación de los resultados del ensayo de Dureza Superficial

En los ensayos de dureza superficial podemos observar en la tabla 4.3 que los promedios de dureza no varían significativamente, la dureza que mantiene similar después de un tratamiento Sub-cero, en un incremento o de cremento de máximo 1 unidad de dureza en HRC.

Tabla 4.4. Valores del promedio de dureza superficial en HRC

Ensayos de Dureza Superficial del Acero AISI 1045				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
Promedio	52,50	53,50	51,60	52,10

Fuente: Autor

En el gráfico 4.1 tenemos la comparación de los promedio de dureza, donde podemos ver que el tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora es el que alcanza dureza superficial a diferencia del tratamiento térmico de temple y revenido, incrementando en 1,9 % la dureza alcanzando una dureza de 53,50 HRC, mientras que en los tratamientos realizados durante 3 y 6 horas tenemos un decremento del 1,71% y del 0,76% respectivamente.

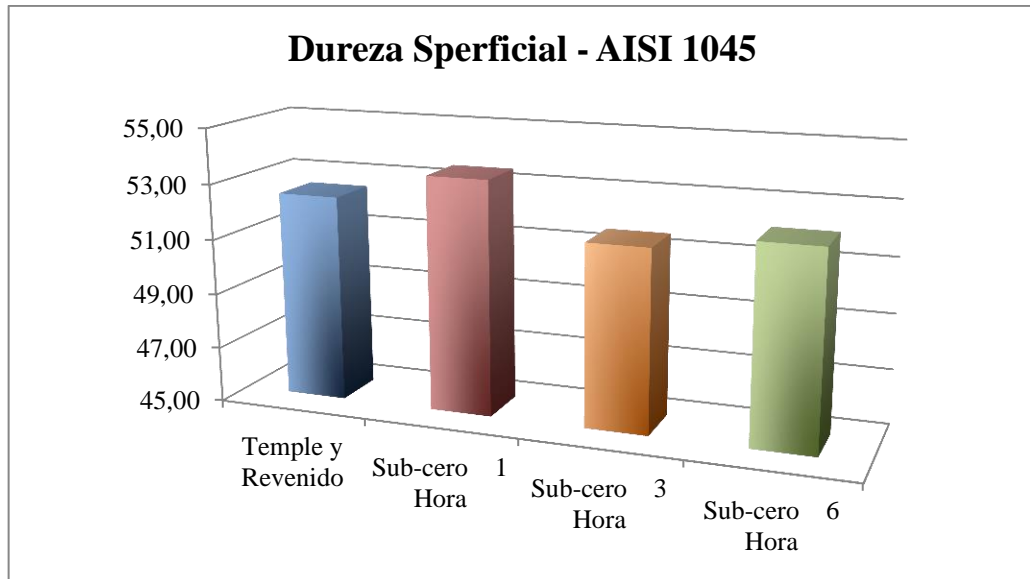


Gráfico 4.1. Comparación de la dureza superficial

Fuente: Autor

4.3.1.3 Interpretación de los resultados del ensayo de Tracción.

En la tabla 4.4 podemos ver que el promedio de la resistencia ultima a la tracción (Sut), se incrementa de manera considerable en el tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora llegando a un Sut de 1733,80 MPa, a diferencia de los otros tratamiento realizados durante 3 y 6 horas los mismo que muestran un decremento en esta propiedad y por ende una menor resistencia de carga a diferencia del tratamiento de temple y revenido.

Tabla 4.5. Valores y promedio del Sut en MPa.

Ensayos de Tracción del Acero AISI 1045 (Resistencia Ultima a la Tracción)				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	1355,31	1628,40	1261,30	1221,70
2	1329,25	1712,70	1030,40	1015,70
3	-	1860,30	1070,70	1426,00
Promedio	1342,28	1733,80	1120,80	1221,13

Fuente: Autor

En el gráfico 4.2 tenemos la comparación del Sut donde se muestra un incremento del en el tratamiento Sub-cero durante 1 hora de hasta un 29,17 %, mientras que

en los otros tratamientos de 3 y 6 horas se muestra un decremento 16,50% y 9,03% respectivamente a diferencia con el temple y revenido.

Se puede notar un incremento significativo en el tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora a diferencia de los otros, cabe recalcar que en este tratamiento el cambio en la microestructura no fue representativo a simple vista, pero en esta propiedad tiene un gran destacamento a diferencia de temple y revenido.

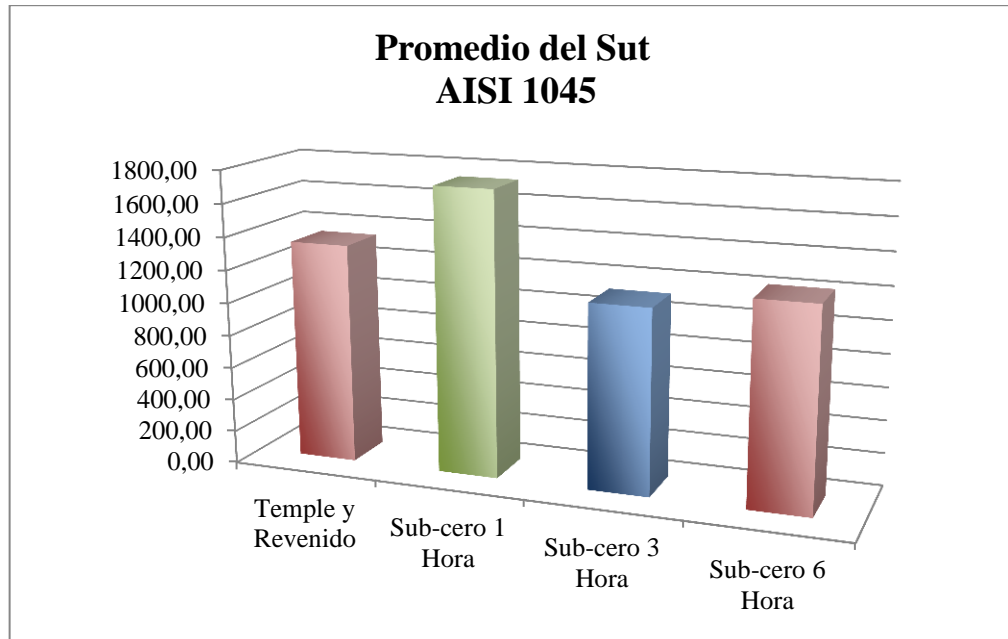


Gráfico 4.2. Comparación de los promedio del Sut
Fuente: Autor

Mientras que en la tabla 4.5 tenemos los valores obtenidos de la elongación realizados mediante cálculo entre la longitud calibrada y la longitud final de las probetas donde se muestra que existe un relación inversamente proporcional del porcentaje de elongación y la resistencia ultima a la tracción, es decir, que mientras que en el tratamiento Sub-cero de 1 hora es el de mayor resistencia al mismo tiempo se reduce la ductilidad del mismo, alcanzando una ductilidad de apenas un 3,43 %, mientras que en aquellas probetas que se trataron durante 3 y 6 horas, donde se redujeron los Sut a comparación del temple y revenido incrementa el porcentaje de elongación.

Tabla 4.6. Valores y promedios de los porcentajes de elongación

Ensayos de Tracción del Acero AISI 1045 (% Elongación)				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	4,33	3,30	8,50	6,70
2	2,95	3,20	12,80	8,90
3	-	3,80	10,10	5,10
Promedio	3,64	3,43	10,47	6,90

Fuente: Autor

En el gráfico 4,3 se muestra que la ductilidad en el tratamiento realizado por 3 horas tiene un incremento de 187,41% y el de 6 horas tiene un incremento de 89,47% a comparación de temple y revenido, mientras que el de 1 hora que es el que mayor resistencia alcanzo tiene un decremento de un 5,72%

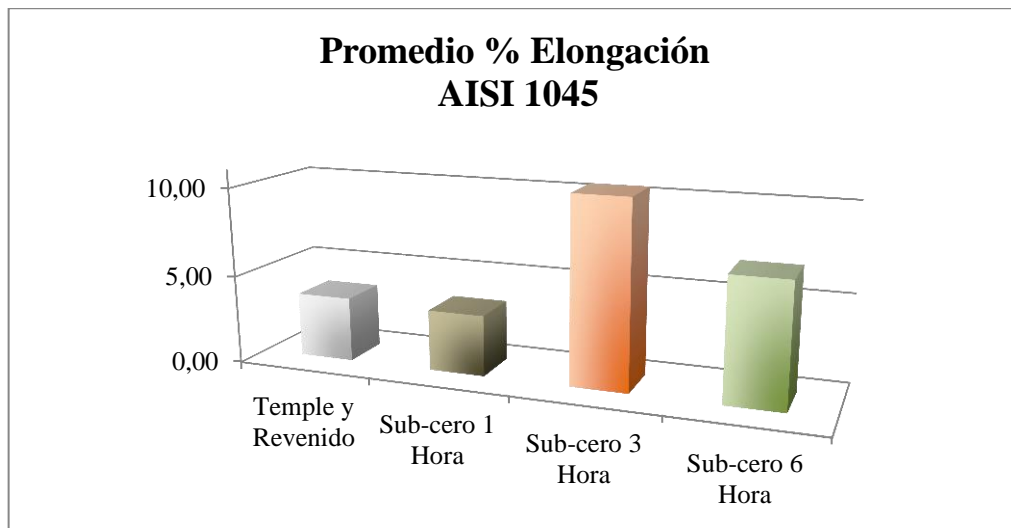


Gráfico 4.3. Comparación de los promedio de los porcentajes de elongación

Fuente: Autor

En la tabla 4.6 se muestra que el tratamiento realizado por 3 horas el que alcanza una reducción de área de 21,75% y el de 6 horas de 14,42%, de la misma manera tenemos que la reducción de área en el tratamiento Sub-cero realizado por 1 hora sufre un decremento y llega a un 5,02%.

Tabla 4.7. Valores y Promedios de los porcentajes de reducción de áreas

Ensayos de Tracción del Acero AISI 1045 (% Reducción de Área)				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	5,29	5,13	17,43	13,62
2	4,97	4,75	25,51	17,36
3	-	5,18	22,29	12,28
Promedio	5,13	5,02	21,75	14,42

Fuente: Autor

En el gráfico 4,4 se puede observar que la reducción de área es directamente proporcional a la ductilidad, de igual manera en el tratamiento realizado durante 3 horas vemos un incremento notable en el porcentaje de reducción de área de hasta un 323,95% y en el de 6 horas un incremento de 181,05% con respecto el temple y revenido, mientras que de la misma manera se ve un decremento en el tratamiento de 1 hora de 2,13%,

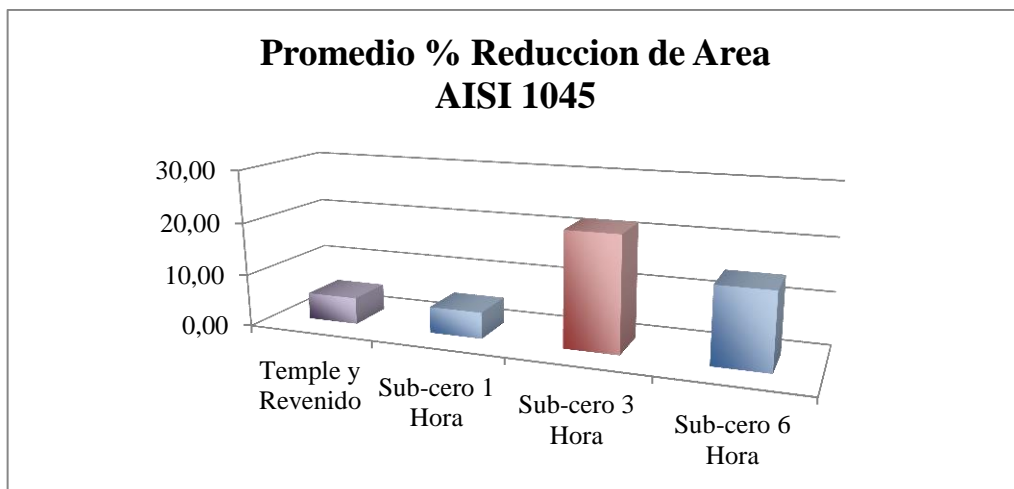


Gráfico 4.4. Comparación de los promedios de los porcentajes de reducción de área.

Fuente: Autor

Como podemos observar en el tratamiento Sub-cero realizado por 1 hora en el acero AISI 1045 tenemos una alta resistencia última a la tracción (SUT), y al mismo tiempo se reduce la ductilidad y la reducción de área, por lo cual podemos decir que mediante este tratamiento se alcanza una estabilidad geométrica y con una alta resistencia a la tracción.

4.3.1.4 Interpretación de los resultados del ensayo de Resistencia al Impacto

En la tabla 4,7 se puede ver los valores de energía absorbida que se obtuvo a través del ensayo Charpy, donde se muestra que la reducción de la energía también varía con respecto al temple y revenido

Tabla 4.8. Valores y promedio de la energía absorbida durante el impacto.

Energía Absorbida al Impacto en Joules				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	10,00	3,00	11,00	10,00
2	8,00	5,00	15,00	8,00
3	-	5,00	13,00	8,00
Promedio	9,00	4,33	13,00	8,67

Fuente: Autor

En el gráfico 4.5 se puede ver que el tratamiento realizado por 1 hora sufre un decremento notable alcanzando una energía absorbida de 4,33 J, mientras que los tratamientos de 3 y 6 horas alcanzan una energía absorbida de 13 J y 8,67 J respectivamente, la primera superando

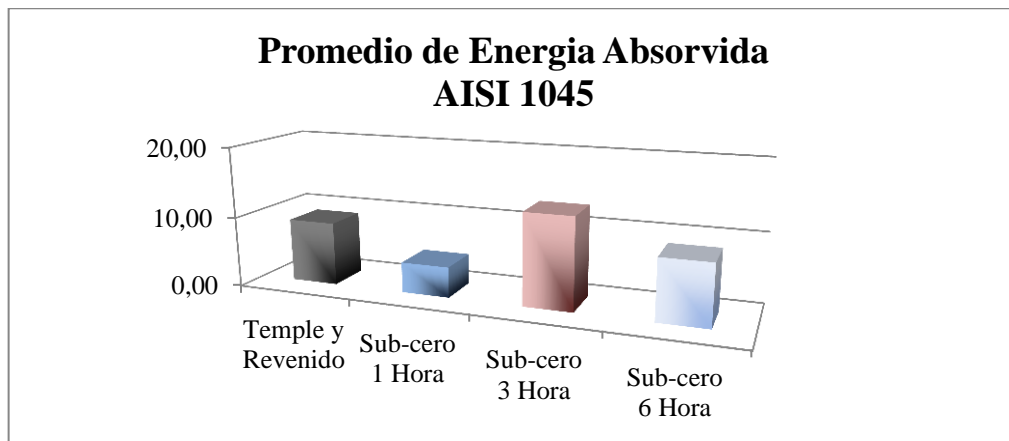


Gráfico 4.5. Comparación de los promedios de la energía absorbida durante el impacto.

Fuente: Autor

En la tabla 4.8 y el gráfico 4,6 tenemos los valores y comparaciones de la resistencia al impacto por área transversal donde se realizó la muestra de tipo V, estos datos son directamente proporcionales a la energía absorbida durante el impacto, ya que estos se obtienen a partir de los mismos.

Tabla 4.9. Valores y promedio de la resistencia al impacto.

Resistencia al Impacto del acero en J/cm²				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	12,50	3,75	13,75	12,50
2	10,00	6,25	18,75	10,00
3	-	6,25	16,25	10,00
Promedio	11,25	5,42	16,25	10,83

Fuente: Autor

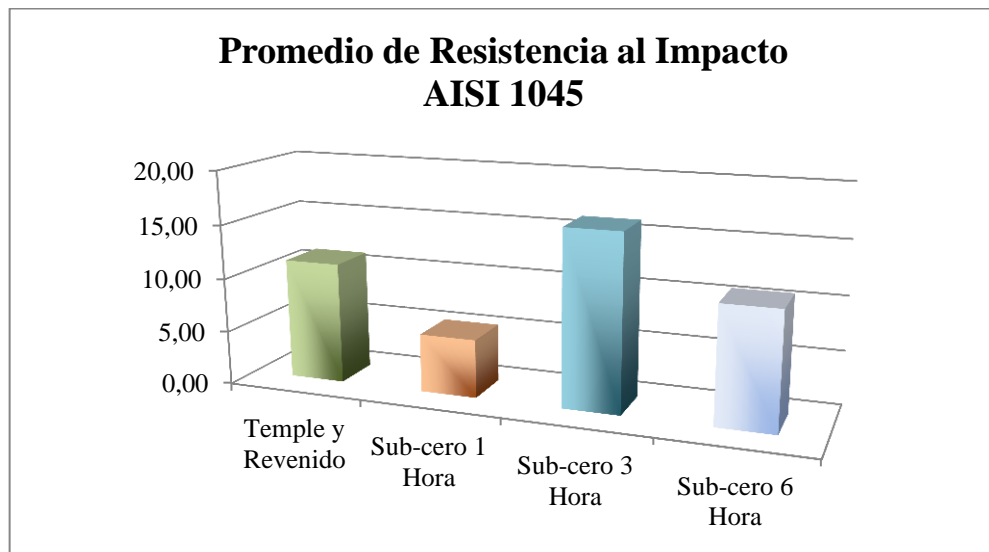


Gráfico 4.6. Comparación de los promedios de la resistencia al impacto.

Fuente: Autor

Como podemos ver los resultados del ensayo de impacto realizado en el acero AISI 1045, tiene una proporción inversa a los datos del ensayo de tracción, es decir, a mayor resistencia a la tracción menor será la resistencia al impacto.

En este ensayo también se puede notar que la reducción de la resistencia al impacto se reduce considerablemente a diferencia de la resistencia ofrecida por el acero en estado de suministro que es de 50 J/cm², por lo cual vemos que los tratamientos incrementa algunas propiedades y debilita a otras.

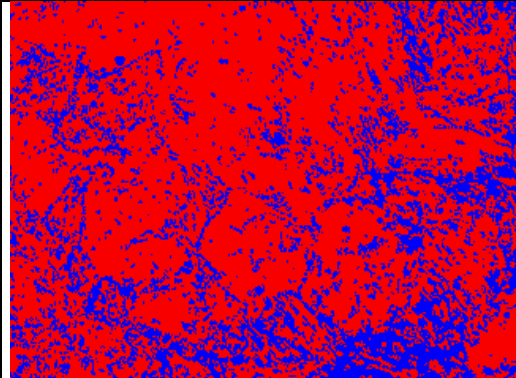
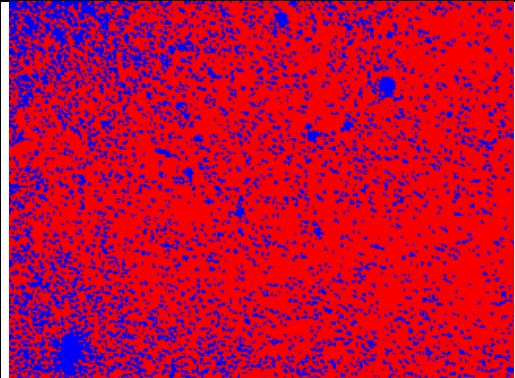
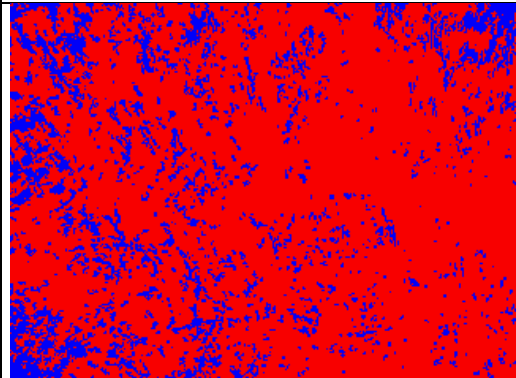
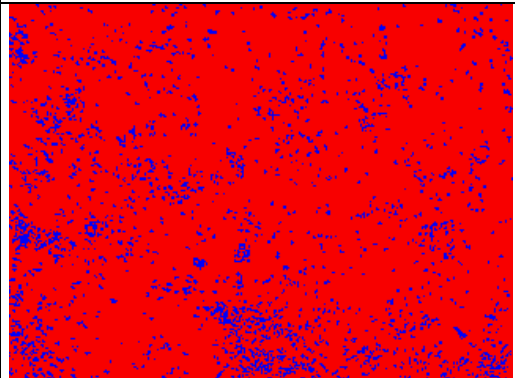
4.3.2 Interpretación de Resultados de los ensayos en el Acero AISI 4140

Así mis realizados ensayos en el acero AISI 4140, se obtuvieron los siguientes resultados los mismos que se interpretan en las gráficas que se muestra.

Para los resultados analizados a continuación debemos tomar en cuenta que el acero AISI 4140 en estado de suministro ya viene bonificado, es decir, templado y revenido, por lo cual existe diferencia del comportamiento de las propiedades a comparación del anterior acero estudiado.

4.3.1.1 Interpretación de los resultados del ensayo Metalográfico

Tabla 4.10. Microestructuras del acero AISI 4140

Microestructuras acero AISI 4140	
Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora
	
Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
	

Fuente: Autor

Como podemos ver en la tabla 4.10, los porcentajes obtenidos entre el temple y revenido y la probeta de tratadas con Sub-cero durante 1 hora no tiene una diferencia significativa, pero la perlita tiene una distribución más uniforme en el tratamiento Sub-cero que el de temple y revenido.

4.3.1.2 Interpretación de los resultados del ensayo de Dureza Superficial

En los ensayos de dureza superficial se observa en la tabla 4.9 que al igual que en el acero AISI 1045, los promedios no tiene una variación considerable, la variación que se obtiene no sobre paso la unidad de dureza HRC.

Tabla 4.11. Valores del promedio de dureza superficial en HRC.

Ensayos de Dureza Superficial del Acero AISI 4140				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
Promedio	54,90	55,70	55,30	54,70

Fuente: Autor

En la gráfica 4.7 se puede ver que el tratamiento realizado durante 1 hora es el de mayor un incremento en la dureza superficial obteniendo 55,7 HRC, es decir un incremento del 1,46% en comparación de del tratamiento de temple y revenido, mientras que en el tratamiento de 3 y 6 horas tiene un incremento del 0,73 % y un decremento de 0,36% en la dureza superficial del mismo.

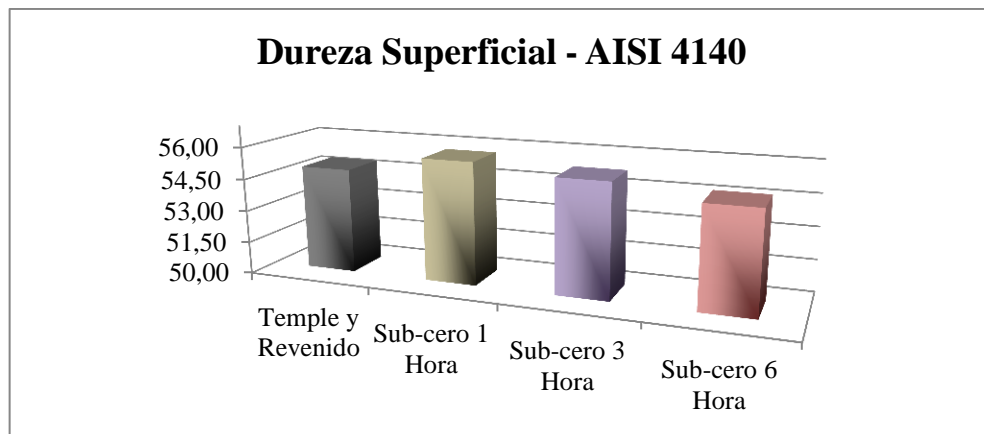


Gráfico 4.7. Comparación de la dureza superficial

Fuente: Autor

4.3.1.3 Interpretación de los resultados del ensayo de Tracción

Como podemos ver en la tabla 4.10 los valores de la resistencia ultima a la tracción tiene un incremento bastante considerable con respecto al temple y revenido, alcanzando un SUT de 1652,39 MPa en el tratamiento realizado durante 1 hora, de igual manera un SUT de 1566,60 MPa en el tratamiento de 3 horas y a

diferencia se tiene un decremento en el tratamiento de 6 horas, donde apenas se alcanza 975,25 MPa, es decir, menor que el del tratamiento de temple y revenido.

Tabla 4.12 . Valores y promedio del Sut en MPa.

Ensayos de Tracción del Acero AISI 4140 (Resistencia Ultima a la Tracción)				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	1279,90	1681,36	1560,11	1203,90
2	1139,36	1727,87	1691,60	811,54
3	-	1547,94	1448,09	910,31
Promedio	1209,63	1652,39	1566,60	975,25

Fuente: Autor

En el grafico 4.8 tenemos una comparación de las resistencias obtenidas en los diferentes tratamientos, como se puede ver el tratamiento que se realizó durante 1 hora tiene una incremento de 36,60% en el Sut del material a comparación de temple y revenido, mientras que en tratamiento de 3 horas también tenemos un incremento del 29,51% y en el de 6 horas que tiene un decremento de 19,38%, estos también en comparación con el temple y revenido.

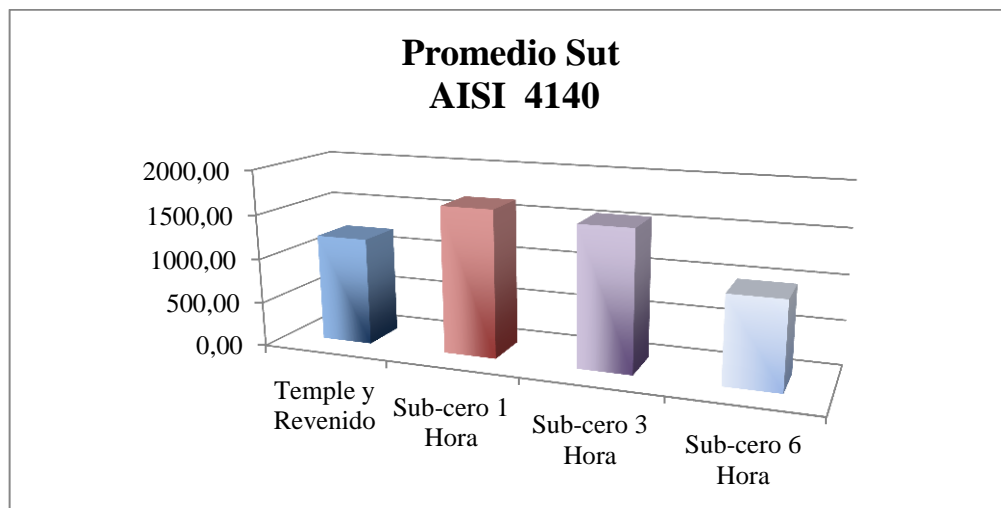


Gráfico 4.8. Comparación de los promedio del Sut

Fuente: Autor

Como se muestra en la tabla 4.11 y en el grafico 4.9 podemos ver que el porcentaje de elongación es directamente proporcional a la resistencia a la tracción del material, por lo cual la ductilidad en el tratamiento de 1 hora es de 1,73%, lo que nos indica que la deformación es mínima esta vez en comparación

con la deformación del material en estado de suministro pero al mismo tiempo es mayor que la del temple y revenido.

Tabla 4.13. Valores y promedios de los porcentajes de elongación

Ensayos de Tracción del Acero AISI 4140				
(% Elongación)				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	0,69	1,15	1,18	0,43
2	0,54	2,36	1,97	0,29
3	-	1,67	1,28	0,28
Promedio	0,62	1,73	1,48	0,34

Fuente: Autor

La ductilidad alcanzado en el tratamiento de 1 hora muestra un incremento de 181,7%, el cual es el más alto de los tratamiento realizado, es decir, casi 3 veces más que la ductilidad alcanzada en el temple y revenido, después sigue el tratamiento realizado en el de 3 horas que tiene un incremento de 140%, mientras que en el tratamiento de 6 horas tenemos un decremento de 45,49% a diferencia con el temple y revenido.

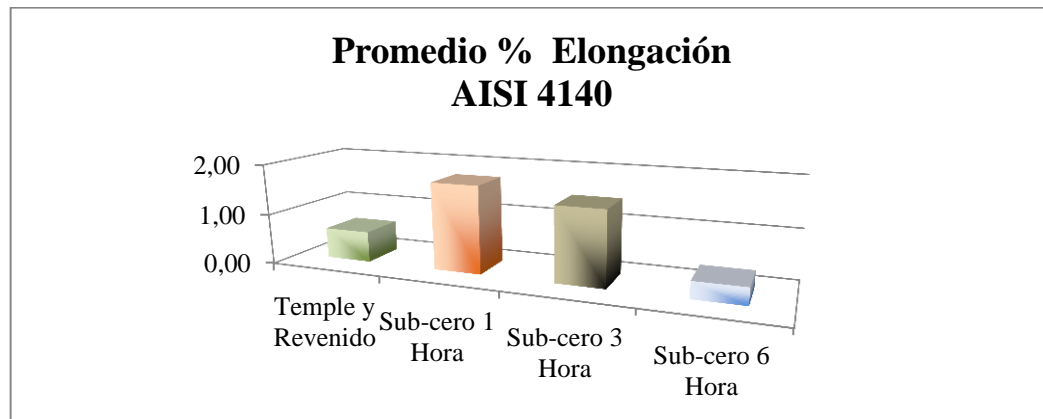


Gráfico 4.9. Comparación de los promedio de los porcentajes de elongación

Fuente: Autor

De la misma forma tenemos que el porcentaje de reducción de área y de elongación es directamente proporcional, como se muestra en la tabla 4.12 y el gráfico 4.10, en el cual se tiene de la misma manera que el de mayor reducción en su área transversal con 5,29% es de 1 hora de tratamiento, siguiéndole el de 3 horas de tratamiento con 4,77%, mientras se tiene un decremento en el tratamiento de 6 horas con una reducción de área de 1,05%.

Tabla 4.14. Valores y Promedios de los porcentajes de reducción de áreas

Ensayos de Tracción del Acero AISI 4140 (% Reducción de Área)				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	3,12	4,67	4,65	1,26
2	2,50	5,89	5,29	0,94
3	-	5,30	4,36	0,94
Promedio	2,81	5,29	4,77	1,05

Fuente: Autor

Como se puede ver el porcentaje de reducción de área a comparación de la del estado de suministro es de igual manera es muy bajo, pero el de mayor porcentaje de reducción es de los tratamiento realizado por 1 hora con un incremento del 87,88% con respecto al temple y revenido, mientras que en de 3 hora tiene un incremento del 69,44% y en el de 6 horas se tiene un decremento de 62,75%, todo estos en comparación con el temple y revenido.

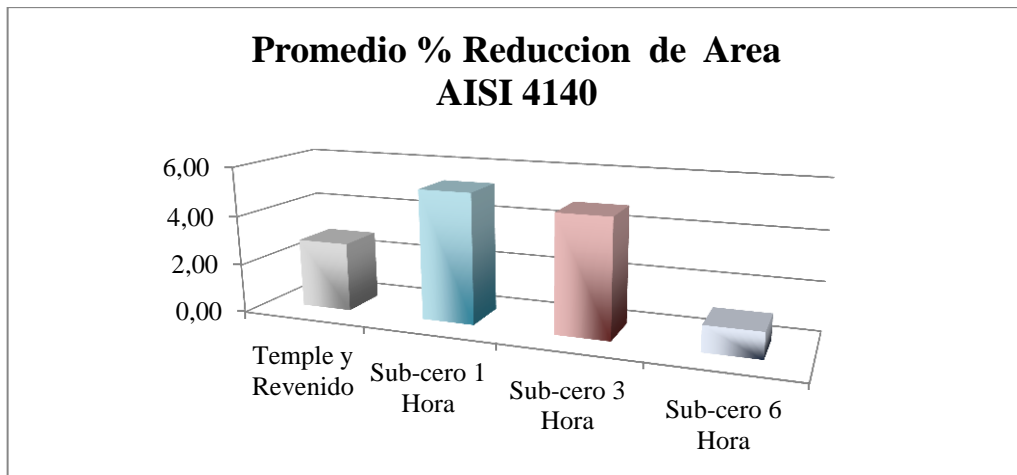


Gráfico 4.10. Comparación de los promedios de los porcentajes de R. A.

Fuente: Autor

4.3.1.4 Interpretación de los resultados del ensayo de Resistencia al Impacto

En la tabla 4.13 tenemos los valores de la energía absorbida durante el impacto, teniendo un comportamiento del material decreciente a diferencia del acero AISI 1045, es decir, directamente proporcional a la resistencia a la tracción,

Tabla 4.15. Valores y promedio de la energía absorbida durante el impacto.

Energía Absorbida al Impacto en Joule				
Nº	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	12,00	14,00	7,00	3,00
2	15,00	12,00	8,00	3,00
3	-	15,00	10,00	4,00
Promedio	13,50	13,67	8,33	3,33

Fuente: Autor

Como podemos ver en el grafico 4.11 la energía absorbida del temple y revenido es de 13,50 J, mientras que el tratamiento de 1 hora es de 13,67 J, eso muestra que no tiene una diferencia significativa entre ambos, pero en tratamiento de 3 horas y 6 horas tenemos y un decremento a 8,33 J y 3,33 J, lo cual muestra que son más bajos que los valores del temple y revenido.

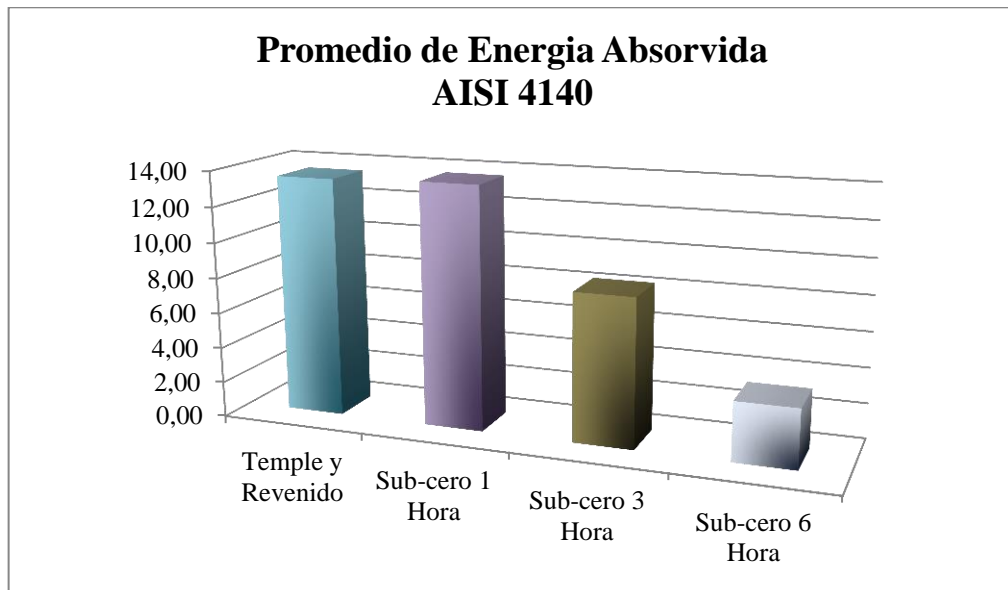


Gráfico 4.11. Comparación de los promedio de la energía absorbida durante el impacto.

Fuente: Autor

En la tabla 4.14 y el gráfico 4,13 tenemos los valores y comparaciones de la resistencia al impacto por área transversal donde se realizó la muestra de tipo V, estos datos de directamente proporcionales a la energía absorbida durante el impacto, ya que estos se obtienen a partir de los mismo.

Tabla 4.16. Valores y promedio de la resistencia al impacto.

Resistencia al Impacto en J/cm²				
N°	Temple y Revenido	Sub-cero 1 Hora	Sub-cero 3 Hora	Sub-cero 6 Hora
1	15,00	17,50	8,75	3,75
2	18,75	15,00	10,00	3,75
3	-	18,75	12,50	5,00
Promedio	16,88	17,08	10,42	4,17

Fuente: Autor

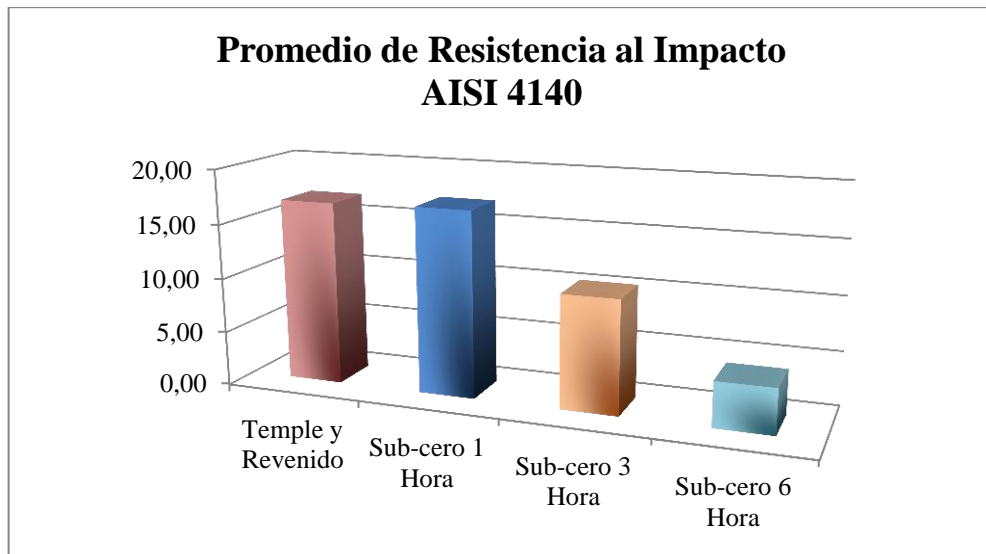


Gráfico 4.12. Comparación de los promedios de la resistencia al impacto.

Fuente: Autor

La resistencia al impacto por el área transversal es baja a comparación de la obtenida en el acero AISI 4140 en estado de suministro que es de 46,88 J/cm², esto se produce por el temple realizado en todas las probetas, pero de los tratamientos realizados incluido el de temple y revenido simple, el que mayor resistencia al impacto nos ofrece es de tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora seguido por el temple y revenido.

4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Ha; El tratamiento térmico Sub-cero mediante la aplicación CO₂ sólido en los aceros de los aceros AISI 1045 y AISI 4140 mejorará las propiedades mecánicas.

Una vez analizados los resultados de los ensayos en los aceros AISI 1045 y AISI 4140 tratados térmicamente con Sub-cero durante 1, 3 y 6 horas, podemos ver que el tratamiento durante 1 hora en ambos material incrementa notable mente la resistencia a la tracción, dureza superficial y profundidad de dureza.

En el acero AISI 1045 el tratamiento Sub-cero realizado durante una hora incrementa hasta 1733,80 MPa en la resistencia a la tracción como se muestra en el gráfico 4.2 y en la dureza hasta 53,5 HRC como se ve en el gráfico 4.1, mientras la ductilidad, reducción de área y resistencia al impacto se disminuye como se ve en los gráficos 4.3, 4.4, y 4.6, pero no en un porcentaje tan notable como la variación en el SUT.

De igual manera en el acero AISI 4140 el tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora, es quien ha proporcionado mejores propiedades en casi todas las propiedades, tanto en la dureza resistencia a la tracción, ductilidad, reducción de área e incluso en la resistencia al impacto como se ve en los gráficos 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, y 4.12, esto se debe a que el suministro de este también es ya bonificado y el temple se lo realizo en agua obteniendo una mayor cantidad de martensita y consecutivamente el tratamiento Sub-cero ayuda a la eliminación de austenita retenida formando casi en un 92% una micro estructura martensita, por esta razón el material tiende a debilitarse.

Para la verificación de la hipótesis lo realizamos en las siguientes tablas donde mostraremos las propiedades que tienen una variación con un nivel de significación notable, para lo cual utilizaremos las pruebas T para dos muestras suponiendo que estos tienen varianzas iguales.

4.4.1 Verificación del acero AISI 1045

Tabla 4.17. Comparación de los valores de dureza HRC

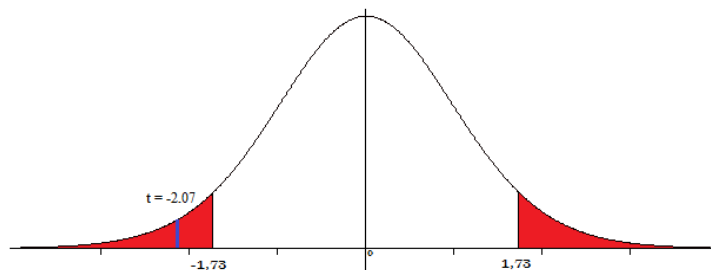
Nº	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	53	55
2	52	53
3	54	54
4	52	52
5	53	54
6	51	55
7	53	53
8	54	53
9	52	52
10	51	54
Promedio	52,5	53,5

Fuente: Autor

Tabla 4.18. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	52,5	53,5
Varianza	1,16666667	1,1666667
Observaciones	10	10
Varianza agrupada	1,16666667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	-2,0701967	
P(T<=t) una cola	0,02654688	
Valor crítico de t (una cola)	1,73406361	
P(T<=t) dos colas	0,05309376	
Valor crítico de t (dos colas)	2,10092204	

Fuente: Autor



El valor t es mayor que el de valor crítico, lo cual dice que hay un cambio significativo.

Tabla 4.19. Comparación de los valores de SUT en MPa.

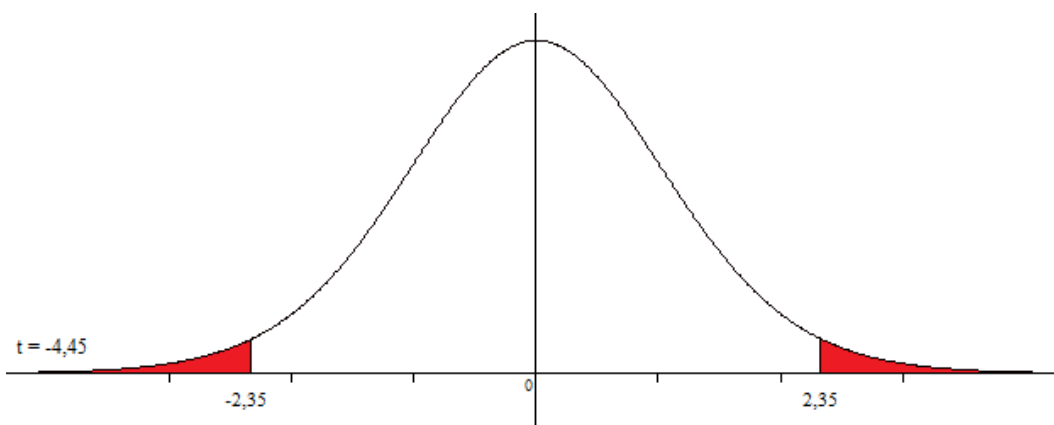
Nº	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	1355,31	1628,40
2	1329,25	1712,70
3	-	1860,30
Promedio	1342,28	1733,80

Fuente: Autor

Tabla 4.20. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	1342,2822	1733,8
Varianza	339,49992	13778,31
Observaciones	2	3
Varianza agrupada	9298,7066	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-4,447652	
P(T<=t) una cola	0,0105721	
Valor crítico de t (una cola)	2,3533634	
P(T<=t) dos colas	0,0211443	
Valor crítico de t (dos colas)	3,1824463	

Fuente: Autor



El valor $t = -4,45$ es mayor que el valor crítico, por lo cual existe una diferencia significativa en la resistencia a la tracción.

Tabla 4.21. Comparación de los valores del % de Elongación

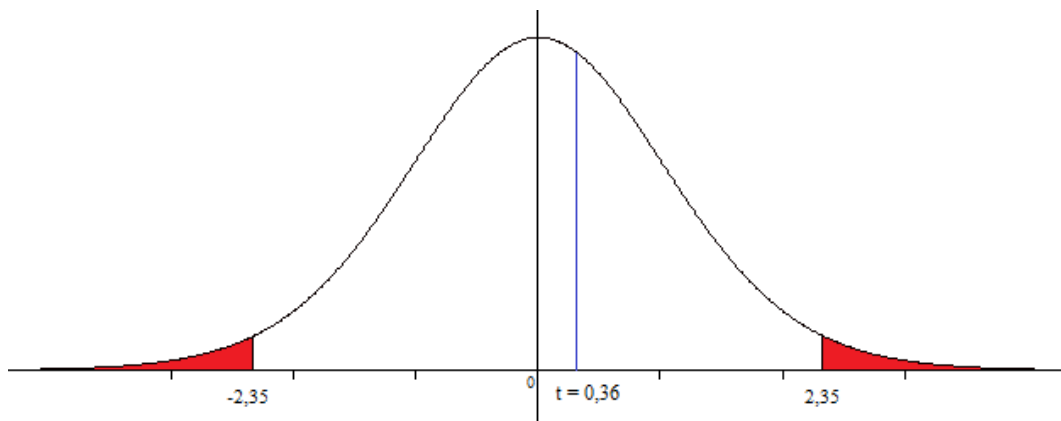
N°	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	4,33	3,30
2	2,95	3,20
3	-	3,80
Promedio	3,64	3,43

Fuente: Autor

Tabla 4.22. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	3,6417323	3,4333333
Varianza	0,9493769	0,1033333
Observaciones	2	3
Varianza agrupada	0,3853479	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	0,3677559	
P(T<=t) una cola	0,3687347	
Valor crítico de t (una cola)	2,3533634	
P(T<=t) dos colas	0,7374695	
Valor crítico de t (dos colas)	3,1824463	

Fuente: Autor



El valor es menor que el valor crítico, por lo cual no existe una diferencia significativa en el % de elongación.

Tabla 4.23. Comparación de los valores del % de Reducción de Área

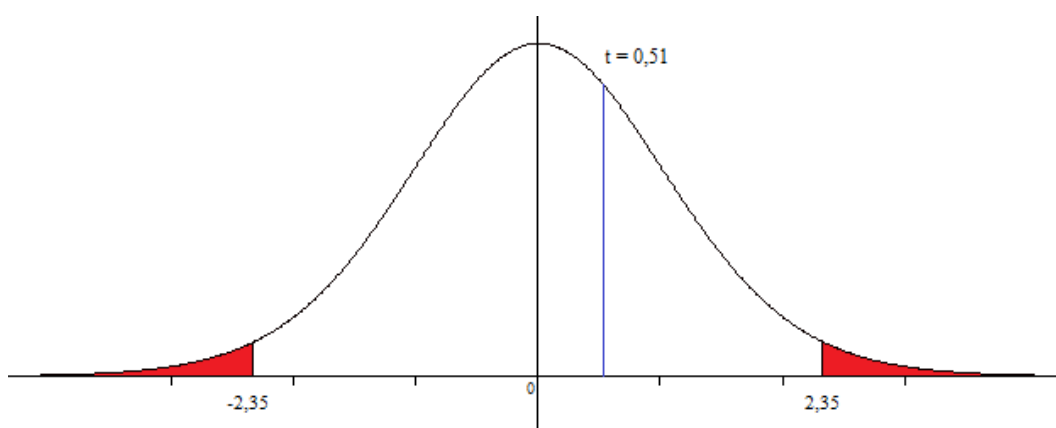
N°	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	5,29	5,13
2	4,97	4,75
3	-	5,18
Promedio	5,13	5,02

Fuente: Autor

Tabla 4.24. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	5,1295178	5,0216344
Varianza	0,052074	0,0559612
Observaciones	2	3
Varianza agrupada	0,0546654	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	0,505462	
P(T<=t) una cola	0,3240163	
Valor crítico de t (una cola)	2,3533634	
P(T<=t) dos colas	0,6480325	
Valor crítico de t (dos colas)	3,1824463	

Fuente: Autor



El valor de t es menor que el valor crítico, por lo cual no existe una diferencia significativa en la reducción de área.

Tabla 4.25. Comparación de los valores de resistencia al impacto en J/mm²

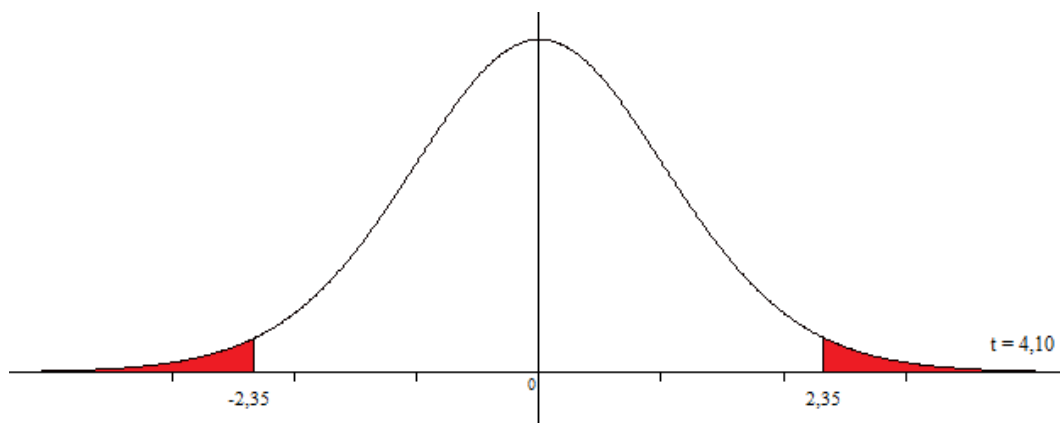
Nº	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	12,50	3,75
2	10,00	6,25
3	-	6,25
Promedio	11,25	5,42

Fuente: Autor

Tabla 4.26. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	11,25	5,4166667
Varianza	3,125	2,0833333
Observaciones	2	3
Varianza agrupada	2,4305556	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	4,0987803	
P(T<=t) una cola	0,0131355	
Valor crítico de t (una cola)	2,3533634	
P(T<=t) dos colas	0,026271	
Valor crítico de t (dos colas)	3,1824463	

Fuente: Autor



El valor t es mayor que el valor crítico, por lo cual existe una diferencia significativa en la resistencia al impacto, pero en contra, es decir, el valor obtenido en el tratamiento Sub-cero es menor que el de temple y revenido.

Tabla 4.27. Valores de pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales entre tratamiento Sub-cero de 1 hora y temple y revenido en el acero AISI 1045.

N°	Propiedades	Estadístico T	T Crítico	Criterios	Ha
1	Dureza Superficial	-2,07	1,73	Incrementa	Si
2	Resistencia A la Tracción	-4,45	2,35	Incrementa	Si
3	% De Elongación	0,37	2,35	Conserva	No
4	Reducción De Área	0,51	2,35	Conserva	No
5	Resistencia Al Impacto	4,1	2,35	Reduce	No

Fuente: Autor

Como podemos ver en la tabla 4.27, los valores t obtenidos del tratamiento térmico Sub-cero en resistencia a la tracción y de dureza superficial tienen una variación significativa, mientras que el porcentaje de elongación y de reducción de área no tenemos una diferencia significativa en comparación de tratamiento de temple y revenido, pero tampoco tenemos una reducción de los mismos conservando las propiedades similares en ambos casos.

Mientras que en la resistencia al impacto tenemos una disminución significativa, es decir, tenemos una reducción de esta propiedad pero debido a que en este material, esto se debe a una relación inversamente proporcional a la resistencia a la tracción.

De tal manera, al tener un análisis correcto de las propiedades alcanzadas, podemos aceptar la hipótesis alternativa al tener una diferencia significativa en las propiedades de mayor influencia y la conservación de otras para aplicar en el acero AISI 1045.

4.4.2 Verificación del acero AISI 4140

Tabla 4.28. Comparación de los valores de dureza HRC

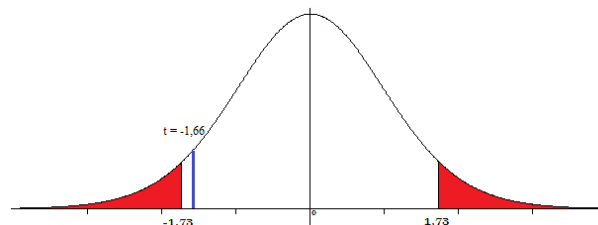
Nº	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	55	57
2	56	56
3	55	56
4	56	55
5	54	57
6	55	56
7	54	54
8	57	55
9	53	56
10	54	55
Promedio	54,9	55,7

Fuente: Autor

Tabla 4.29. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	54,9	55,7
Varianza	1,43333333	0,9
Observaciones	10	10
Varianza agrupada	1,16666667	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	-1,6561573	
P(T<=t) una cola	0,05750924	
Valor crítico de t (una cola)	1,73406361	
P(T<=t) dos colas	0,11501849	
Valor crítico de t (dos colas)	2,10092204	

Fuente: Autor



El valor t es menor que el valor crítico, por cuanto la variación en la dureza superficial no es significativa, pero si se aproxima al crítico.

Tabla 4.30. Comparación de los valores de SUT en MPa

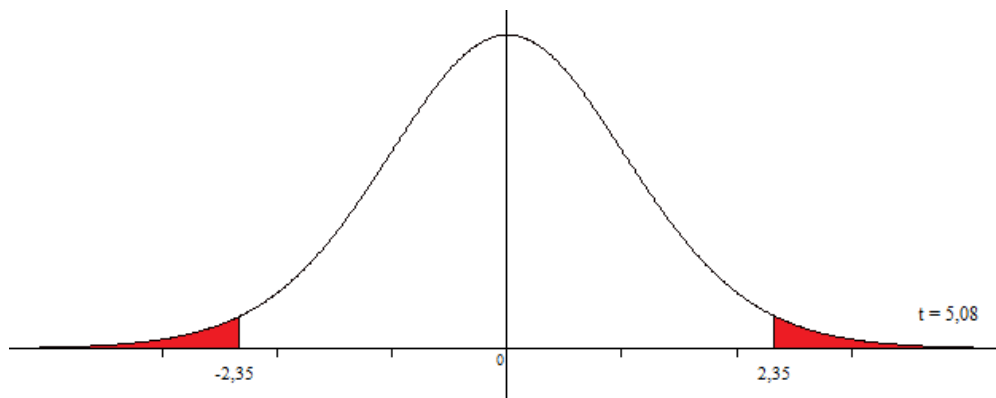
Nº	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	1279,90	1681,36
2	1139,36	1727,87
3	-	1547,94
Promedio	1209,63	1652,39

Fuente: Autor

Tabla 4.31. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	1209,63046	1652,39275
Varianza	9875,76879	8723,46512
Observaciones	2	3
Varianza agrupada	9107,56635	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
	-	
Estadístico t	5,08229738	
P(T<=t) una cola	0,00735894	
Valor crítico de t (una cola)	2,35336343	
P(T<=t) dos colas	0,01471789	
Valor crítico de t (dos colas)	3,18244631	

Fuente: Autor



El valor t es mayor que el valor crítico, por lo tanto tiene una diferencia significativa en la resistencia a la tracción.

Tabla 4.32. Comparación de los valores del % de Elongación

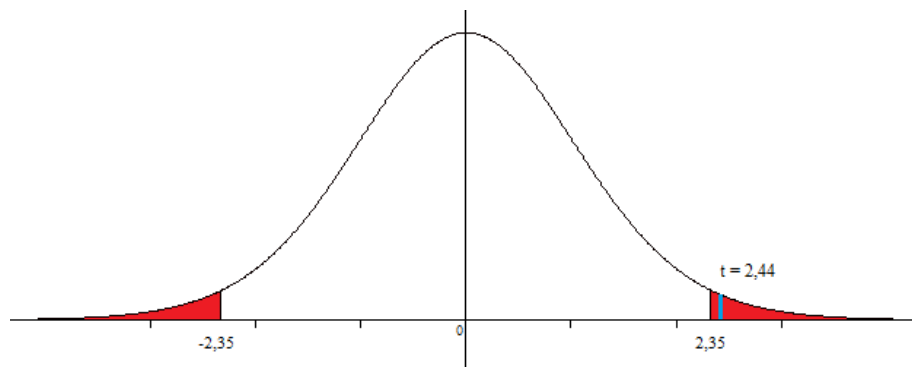
Nº	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	0,69	1,15
2	0,54	2,36
3	-	1,67
Promedio	0,62	1,73

Fuente: Autor

Tabla 4.33. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	0,61515748	1,72900262
Varianza	0,01089846	0,36873928
Observaciones	2	3
Varianza agrupada	0,24945901	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
	-	
Estadístico t	2,44295713	
P(T<=t) una cola	0,04612829	
Valor crítico de t (una cola)	2,35336343	
P(T<=t) dos colas	0,09225659	
Valor crítico de t (dos colas)	3,18244631	

Fuente: Autor



El valor t es mayor que el valor crítico, por lo cual existe una diferencia significativa en el porcentaje de elongación.

Tabla 4.34. Comparación de los valores del % de Reducción de Área

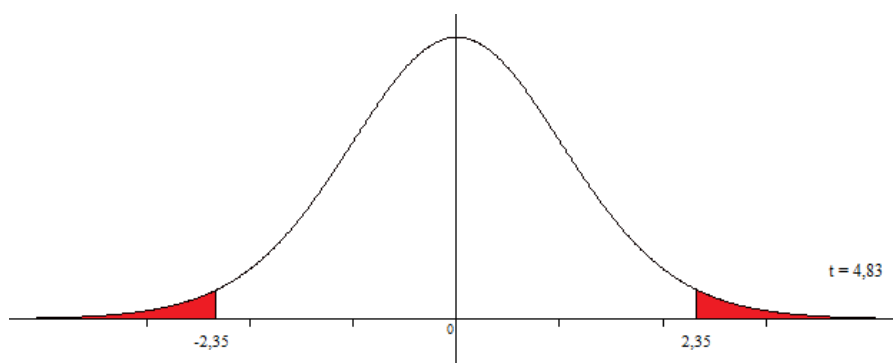
Nº	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	3,12	4,67
2	2,50	5,89
3	-	5,30
Promedio	2,81	5,29

Fuente: Autor

Tabla 4.35. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	2,81430963	5,28748513
Varianza	0,1928163	0,37594073
Observaciones	2	3
Varianza agrupada	0,31489925	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
	-	
Estadístico t	4,82791642	
P(T<=t) una cola	0,00846926	
Valor crítico de t (una cola)	2,35336343	
P(T<=t) dos colas	0,01693851	
Valor crítico de t (dos colas)	3,18244631	

Fuente: Autor



El valor t es mayor que el valor crítico, por lo cual existe una diferencia significativa en la reducción de área.

Tabla 4.36. Comparación de los valores de resistencia al impacto en J/mm²

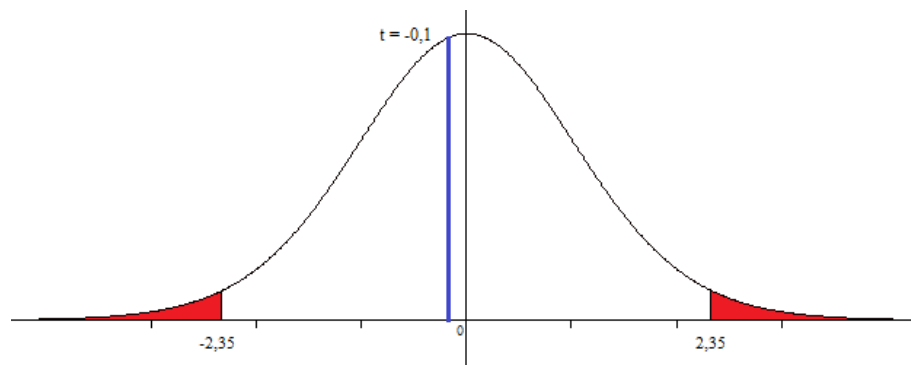
Nº	Templadas y Revenidas	Sub-cero 1 Hora
1	15,00	17,50
2	18,75	15,00
3	-	18,75
Promedio	16,88	17,08

Fuente: Autor

Tabla 4.37. Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales

	Variable 1	Variable 2
Media	16,875	17,083333
Varianza	7,03125	3,6458333
Observaciones	2	3
Varianza agrupada	4,7743056	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	3	
Estadístico t	-0,104447	
P(T<=t) una cola	0,4617031	
Valor crítico de t (una cola)	2,3533634	
P(T<=t) dos colas	0,9234063	
Valor crítico de t (dos colas)	3,1824463	

Fuente: Autor



El valor t es menor que el valor crítico, por lo tanto no existe una diferencia significativa en la resistencia al impacto.

Tabla 4.38. Valores de pruebas t para dos muestras suponiendo varianzas iguales entre tratamiento Sub-cero de 1 hora y temple y revenido en el acero AISI 4140.

N°	Propiedades	Estadístico T	T Crítico	Criterio	Ha
1	Dureza Superficial	-1,66	1,73	Conserva	No
2	Resistencia a la Tracción	5,08	2,35	Incrementa	Si
3	% De Elongación	2,44	2,35	Incrementa	Si
4	Reducción De Área	4,83	2,35	Incrementa	Si
5	Resistencia Al Impacto	-0,1	2,35	Conserva	No

Fuente: Autor

Esta vez como se muestra en la tabla 4.38 los valores t del tratamiento térmico Sub-cero en la resistencia a la tracción, porcentaje de elongación y de reducción de área tiene una diferencia significativa en estas propiedades, mientras que en la dureza superficial y en la resistencia al impacto no tenemos una diferencia significativa, pero al mismo tiempo no se pierden estas propiedades con este tratamiento Sub-cero con respecto al temple y revenido, más bien en la dureza tenemos un ligero incremento en la dureza y en la resistencia al impacto se conserva casi igual a la del temple y revenido.

Una vez analizado las propiedades alcanzadas en este tratamiento, podemos aceptar la hipótesis alternativa al tener diferencias significativas en casi todas las propiedades y conservándose en otras, por lo tanto se puede aplicar este tratamiento en el acero AISI 4140.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Una vez analizado el resultado y el comportamiento de los aceros AISI 1045 y AISI 4140 tratados con tratamiento térmico Sub-cero durante 1, 3 y 6 horas se concluye:

- El acero AISI 4140 en estado de suministro tiene una matriz martensítica, debido a la bonificación aplicada en este, lo que hizo que el maquinado de las probetas a ensayar sea a menor velocidad que las probetas del acero AISI 1045 también en estado de suministro.
- El contenido teórico de carbono en los acero AISI 1045 y AISI 4140 de 0,45% y 0,40% respectivamente, es el factor principal para tomar las temperaturas de austenización de ambos materiales para el temple, las mismas que se las realizaron a 840 °C en ambos aceros (Anexo 1),
- El revenido realizado a una temperatura de 200 °C para un alivio de tensiones, permitió conservar la mayoría de las propiedades generadas por el temple y por el tratamiento Sub-cero, esta temperatura se la obtuvo de diagramas de revenidos (Anexo 2) y de investigaciones anteriores realizadas en la facultad y expuestas en la bibliografía.
- La temperatura alcanzada durante el tratamiento Sub-cero fue de -81,1 °C, pese a que la temperatura de sublimación de CO₂ sólido es de -78,6° C, esto se debe a la presión atmosférica de acuerdo con la posición geográfica de Ambato, lugar donde que realizo es presente estudio.
- El temple realizado en agua a temperatura ambiente produjo fisuras en las probetas del acero AISI 4140 , por lo cual se incrementó la temperatura de agua a unos 40° C, la misma que hizo al acero más duro evitando fisuras durante el tratamiento.

- La resistencia a la tracción de en las probetas templadas y revenidas fue mayor que las solamente templadas, esto se debe que el realizar un revenido a 200 °C durante 1 hora, el alivio de tensión generó ductilidad a las probetas alcanzando mayor resistencia.
- La resistencia a la tracción más altas que se registraron fueron en los tratamiento Sub-ceros realizados durante 1 hora en ambos materiales alcanzando una resistencia promedio de 1733,08 MPa en el acero AISI 1045 desde una resistencia de desde 611,73 MPa en estado de suministro y 1652,39 MPa en el acero AISI 4140 desde 1075,73 MPa que es la resistencia en estado de suministro, es decir, en comparación con los aceros de suministro el acero AISI 1045 tiene un incremento de 183,43%, mientras que en el acero AISI 4140 tiene un incremento de 53,61 % en la resistencia a la tracción.
- La dureza superficial no se obtiene una variación significativa entre el temple y revenido y los tratamientos Sub-ceros, pero de la misma se puede notar un ligero incremento en la dureza obtenida en los tratamientos de 1 hora en ambos aceros estudiados.
- La elongación y la reducción de área sufren cambios drásticos en todos los casos, teniendo un rango de elongación de apenas de 3,43% y de 10,47% en el acero AISI 1045 y en el acero mientras que apenas de 0,34% hasta un 1,73%, en el acero AISI 4140, debido a la bonificación realizada por el fabricante de este último acero.
- A mayor tiempo de tratamiento Sub-cero mayor es el porcentaje de martensita en la microestructura de los aceros, por lo cual se tornan más frágiles los aceros, reduciendo las resistencias de tracción en los tratamientos de 3 y 6 horas.
- El comportamiento de acero AISI 4140 es casi opuesto al acero AISI 1045, es decir, que el tratamiento donde se obtuvo mayor dureza también tuvo mayor resistencia a la tracción y al impacto así mismos mayor elongación y reducción de área, pero en una proporción mínima a diferencia de los resultados obtenidos en acero AISI 1045, que tuvieron un comportamiento normal, es decir que los tratamiento de tuvieron mayor resistencia a la tracción tuvieron una baja elongación y reducción de área.

- La aplicación de otros fluidos que ayudan a alcanzar temperaturas más bajas como alcohol o acetona provoca también que el CO₂ se evapore más rápida y temperaturas fluctuantes, por lo cual la temperatura deseada no se mantiene durante el tiempo correcto y se necesita mayor cantidad de CO₂ sólido para los tratamientos.
- El enfriamiento para los tratamientos Sub-cero se lo realizó en contacto directo con las probetas y de CO₂ sólido, debido a que a contacto simple la temperatura alcanzada era la deseada de -80 °C, sin necesidad de adicionar otros fluidos para llegar a esta temperatura.

5.2 RECOMENDACIONES

- Controlar la temperatura de maquinado y de corte de las probetas para evitar que estas se sobre caliente y cambie algunas propiedades durante este procedimiento por lo cual se debe utilizar refrigerante para esto.
- Controlar las temperaturas y tiempo de permanencia tanto en el temple, Sub-cero y revenido.
- Utilizar equipo de protección personal para los tratamientos, ya que durante el temple y revenido se manejan temperaturas altas que puede provocar afecciones y quemaduras en piel.
- Para la manipulación de CO₂ sólido utilizar siempre guantes aislantes para evitar un congelamiento de la piel.
- Utilizar un recipiente que sea aislante térmico como un Cooler plástico forrado de cartón en la parte interna para evitar el congelamiento de las paredes del mismo y mantener la temperatura interna estable durante el tiempo necesario para el tratamiento.
- Al realizar los tratamientos en el Horno de Mufla mantener la puerta cerrada ya que al manejarse temperaturas altas para el temple, puede provocar fisuras en el ladrillo refractario permitiendo la fuga de calor interno.
- Controlar la tasa de enfriamiento del tratamiento Sub-cero hasta que alcance la temperatura de equilibrio hasta los -81 °C mediante la utilización de una termocupla tipo K sujeta a las probetas y tomar el tiempo de permanencia a partir de la temperatura deseada.

- Todos los ensayos a realizar en las diferentes máquinas y equipos se lo debe hacer bajo la supervisión de los ayudantes de laboratorio de las diferentes áreas que se desee utilizar.
- Verificar la posición del deformímetro durante el ensayo de tracción para evitar que se caiga o tener lecturas erróneas durante este ensayo.
- Mantener una velocidad de carga adecuado para mantener una deformación controlada y garantizar los datos obtenidos durante el ensayo de tracción.
- De debe verificar el reactivo adecuado y tiempo del ataque químico para evitar que la superficie a observar en el ensayo metalográfico se quemé ya que es este caso se utilizó nital 2 y Picral, ya que estos de alto contenido de ácido nítrico.
- Utilizar guantes quirúrgicos al momento de realizar el ataque químico para evitar manchas en la piel, porque estos reactivos contienen ácidos oxidantes.
- Verificar las cargas en el durómetro acorde al tupo de dureza que se desee leer de acuerdo a los datos proporcionados por el fabricante.
- Realizar el presente estudio con otros medio de enfriamiento en los material para alcanzar una mayor ductilidad de los aceros, ya que el presente estudio nos permite saber el mayor la mayor dureza y resistencia a la tracción alcanzada con la producción de mayor porcentaje de martensita, por lo cual el temple se realizó en agua.
- Realizar este estudio en el acero AISI 4140 previamente recocido para verificar el cambio de las propiedades y comparar la variación de las mismas con respecto a la bonificación de este acero.

CAPÍTULO VI

6. PROPUESTA

PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140

6.1 DATOS INFORMATIVOS

Para la obtención de datos adecuados para este estudio sobre la aplicación del tratamiento térmico Sub-cero se consideraron los siguientes parámetros:

La selección de material se realizó de acuerdo al contenido de carbono, ya que a mayor cantidad de carbono los aceros son más templables, por lo cual tenemos una variación considerable en las propiedades mecánicas de los mismos, por tal motivo se seleccionaron los aceros AISI 1045 Y AISI 4140 como los materiales para objeto de estudio.

La temperatura de temple y medio de enfriamiento se seleccionó de acuerdo a la recomendación del fabricante y al diagrama de hierro carbono (**Anexo 1**), donde nos muestra la temperatura de austenización según el contenido de carbono, por lo tanto el temple para ambos materiales se realizó a una temperatura de 840 °C con un tiempo de permanencia de 30 min, mientras que como medio de enfriamiento se consideró agua a temperatura ambiente, tomando en cuenta que se desea el mayor porcentaje de martensita en la micro estructura de los materiales para la aplicación de tratamiento Sub-cero. En el acero AISI 4140 se realizó el temple en agua a temperatura de 40 °C, debido a que al realizarlo con agua a temperatura ambiente produjo fisuras en el material fragilizado considerablemente.

El tratamiento Sub-cero se realizó mediante la aplicación de dióxido de carbono sólido, ya que la temperatura de sublimación es de -78,6 °C, temperatura

necesaria para el tratamiento Sub-cero, se lo realizó en contacto directo con el material, ya que gracias a la alta conductividad térmica de los aceros mencionados también alcanzan la misma temperatura llegando a un punto de equilibrio térmico donde se mantuvo durante el tiempo requerido.

Debido a la ubicación geográfica del lugar donde se realizaron los ensayos el CO₂ sólido alcanzó una temperatura de hasta -82°C y luego equilibrándose a -81,2°C, eso se datos se pudieron tomar mediante la utilización de una termocupla tipo K, con la cual se tomó datos cada 5 minutos para verificar el enfriamiento de las probetas.

Después de los tratamientos Sub-ceros realizado en cada uno de los casos, las probetas tratadas fueron sometidas a un revenido posterior de alivio de tensiones la misma que se la realizo a una temperatura de 200 °C con un tiempo de permanencia de 1 hora en todas las probetas.

Los ensayos se los realizaron en los Laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, en la ciudad de Ambato de la provincia de Tungurahua, se utilizó los adquiridos por la facultad como la maquina universal de 30 toneladas para los ensayos de tracción, durómetro para medir la dureza superficial y profundidad de dureza en las probetas tratadas, banco de lijas, pulidora y microscopio los mismos que se utilizaron para la realización de ensayos metalográficos y otros realizados mediante temas de investigación como el péndulo Charpy para medir la resistencia al impacto, por motivos de mantenimiento en los laboratorio de materiales de la universidad, algunos de los ensayos de tracción se los realizó en los laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito.

Sobre los tratamientos térmicos realizados en el acero AISI 4140 la información es limitada, por lo cual a asumió tratamiento similares en ambos casos, con la diferencia que el temple en el agua se la realizó a una temperatura de 40 ° C, para evitar agrietamientos en el material.

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

En algunas investigaciones realizadas anteriormente sobre temple y revenidos aplicados en el acero AISI 1045 principalmente, nos permitió tener datos que nos ayudaron una adecuada selección de temperaturas y medio de enfriamiento para la obtención de mayor porcentaje de martensita.

Principalmente en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato encontramos información sobre el temple del acero AISI 1045, con el tema; “ESTUDIO DEL TEMPLE EN EL ACERO UTILIZANDO GRASAS VEGETALES Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS” realizado por la Ing. Ximena Criollo, el mismo que nos permitió, el mismo que nos permitió realizar de igual manera los tratamiento en el acero AISI 4140, ya que el contenido de carbono es muy similar para ambos aceros.

También podemos encontrar información sobre la influencia de la temperatura de revenido en el acero AISI 1045 templado con el tema: “ESTUDIO DEL TIEMPO Y NÚMERO DE REVENIDOS DEL ACERO AISI 1045 TEMPLADO EN ACEITE DE OLIVA Y SU INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS” realizado por el Ing. Daniel Villegas , que de igual forma fue un aporte para la selección de la temperatura de revenido realizada a las probetas después del tratamiento Sub-cero.

6.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se desarrolló a fin de implementar un procedimiento adecuado para el tratamiento Sub-cero en aceros AISI 1045 y AISI 4140 que pueda mejorar las propiedades mecánicas de los mismo, y brindar información útil sobre la importancia que este tipo de tratamiento que puede ayudar a la industria aplicando en elementos de máquinas que necesiten altas durezas y resistencia para evitar un desgaste rápido de estos.

Este tipo de tratamientos pueden casi duplicar la resistencia de los materiales brindando mayor dureza y al mismo tiempo una estabilidad geométrica de los

elementos sometidos a grandes cargas y así también incrementar la vida útil evitando paro por mantenimiento o por cambio de elementos que tienden a desgastarse de manera rápida. Esto se puede evitar mediante la aplicación del tratamiento estudiado en algunos componentes que necesiten características similares a las alcanzadas en este trabajo.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 Objetivo General

- Implementar un procedimiento adecuado para el tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora mediante la aplicación de CO₂ sólido en los aceros AISI 1045 y AISI 4140.

6.4.2 Objetivos Específicos

- Realizar un temple inicial a temperaturas adecuadas y un revenido posterior para un alivio de tensiones.
- Verificar la microestructura obtenida después del conjunto de procesos y parámetros establecidos para el tratamiento Sub-cero.
- Evaluar las propiedades mecánicas como dureza, tenacidad y resistencia a la tracción que se obtuvieron después del conjunto de procesos utilizados para el tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora.
- Establecer el procedimiento para realizar el tratamiento térmico Sub-cero que permita mejorar las propiedades mecánicas.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Como podemos ver, esta investigación si es factible de realizar, debido al aporte de gran importancia que este ofrece a la industria y los beneficios que brinda en los materiales de estudiados que se pueden utilizar en varios componentes de maquinarias, equipos o elementos.

También a la facilidad para encontrar este tipo de materiales en varias casas comerciales a nivel de Ecuador por su gran aplicación, de igual manera a la prestación de varios talleres mecánicos en la localidad calificado que nos ayudan

mediante la prestación de sus servicios a la elaboración de las probetas para esta investigación, de la misma forma a los nuevos equipos adquiridos por la facultad para el área de taller industrial de la carrera de Ingeniería Mecánica. Los equipos con los que cuentan el laboratorio de materiales y metalografía también contribuyen a la factibilidad de la presente investigación, ya que los ensayos realizados se lo pueden hacer en la misma facultad. Así también con la ayuda teórica y técnica de los ingenieros de las distintas áreas que con su aporte se pudo complementar los pasos necesarios para la aplicación del tratamiento Sub-cero y para la evaluación del mismo.

6.5.1 Análisis Económico

En la presente investigación también nos permite conocer el impacto económico y necesario para la aplicación del tratamiento, por lo cual a continuación se muestran los costos directos e indirectos que demandó este trabajo.

6.5.1.1 Costos Directos

Tabla 6.1. Presentación de costos directos del trabajo de investigación

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO
Acero AISI 1045	24,85	2	49,7
Acero AISI 4140	34,25	2	68,5
Envió	8	1	8
Maquinado probetas de tracción	12	30	360
Maquinado probetas de impacto	8,5	30	255
Dióxido de carbono solido (c/bloque)	30	3	90
Guantes Térmicos	7	1	7
Ensayo de Tracción en E.P.N.	9	7,28	65,52
Lijas	1,2	10	12
Paño (c/metro)	5	1	5
Deformímetro	45	1	45
SUBTOTAL 1			965,72

Fuente: Autor

6.5.1.2. Costos Indirectos

En los costos indirectos se consideró las herramientas necesarias para la recolección de información, movilización y equipos de computación necesarios para esta investigación.

Tabla 6.2. Presentación de costos indirectos

DESCRIPCIÓN	COSTO
Internet (c/2 meses)	100
Transporte	50
Copias	10
Material de Oficina	60
Impresiones y presentación	160
SUBTOTAL 2	380

Fuente: Autor

6.5.2 Análisis Tecnológico

El aporte que representa esta investigación para el área de materiales en Ingeniería Mecánica, también la aplicación de procedimientos establecidos por investigaciones anteriores a lo largo de la historia de los tratamientos térmicos.

La utilización de quipos automatizados para el control de los mismos, como el horno de mufla para los tratamientos térmicos a altas temperaturas, termocupla tipo K para el control de temperaturas bajo cero, el equipo para análisis metalográfico que nos permite fotografiar la visualización de las microestructuras, durómetro para conocer las durezas alcanzadas por los materiales en dureza Rockwell , máquina universal de capacidad de 30 Tn para el ensayo de tracción de las probetas y péndulo charpy que nos permite conocer la resistencia al impacto, todo los equipos nombrados anteriormente deben estar calibrados para evitar errores en la obtención de datos para analizar.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La presente investigación está fundamentada con el marco teórico expuesto en el Capítulo II, donde se presentan los parámetros y procedimientos necesario para la

realización de los tratamientos térmicos y también se presentan formulas y normativa a utilizar en los ensayos realizados en el Capítulo IV.

La elaboración de las probetas para el ensayo de tracción se las realizó aplicando la norma ASTM E-8, donde nos explica los parámetros y medidas específicas de dichas probetas que se las hizo mediante el procedimiento de torneado, mientras que para las probetas de ensayo de resistencia a la tracción se aplicó la norma ASTM E-23, donde nos brinda la especificación de este ensayo y las dimensiones de dichas probetas realizadas en una maquina cepillado y fresadora.

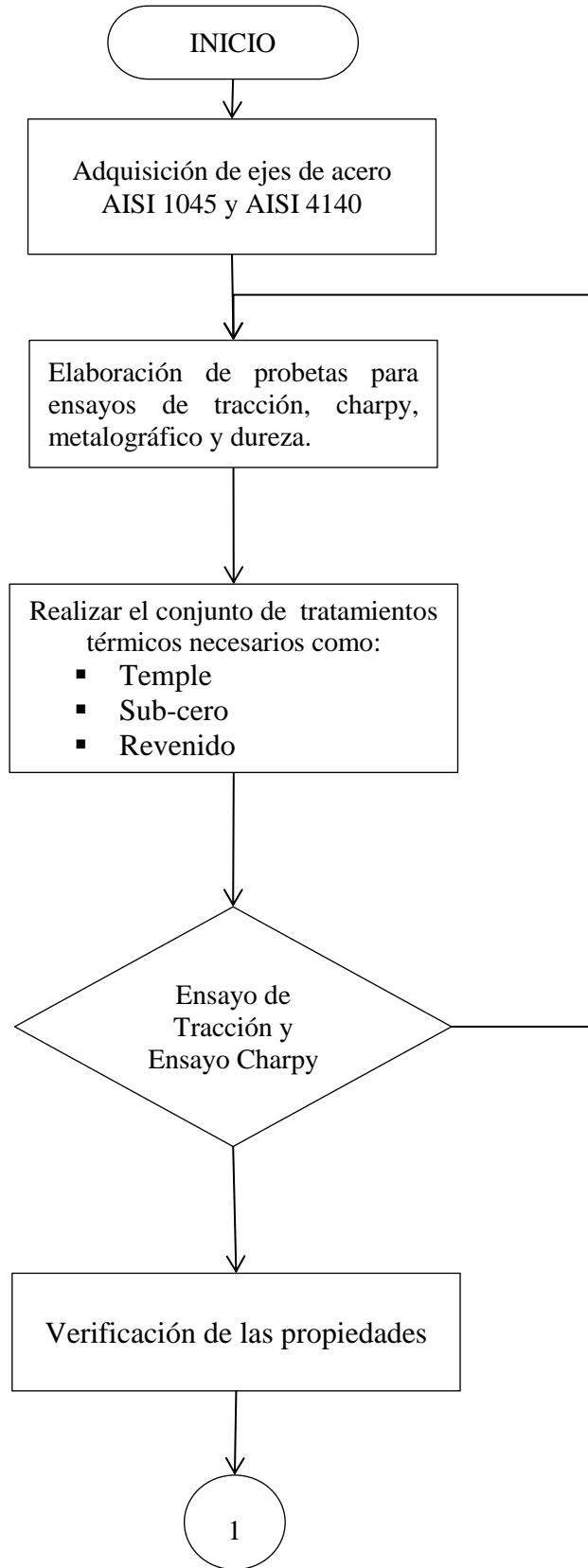
Las muestras metalográficas se las obtuvo mediante corte por sierra evitando elevar la temperatura de los materiales y perder las propiedades de los mismos y mediante la aplicación de la norma ASTM E-3, estas muestras también son útiles para la aplicación del ensayo de dureza que encuentras bajo el régimen de la norma ASTM E-45 para prueba estándar para determinar la dureza de Rockwell y Dureza Rockwell Superficial de los materiales metálicos.

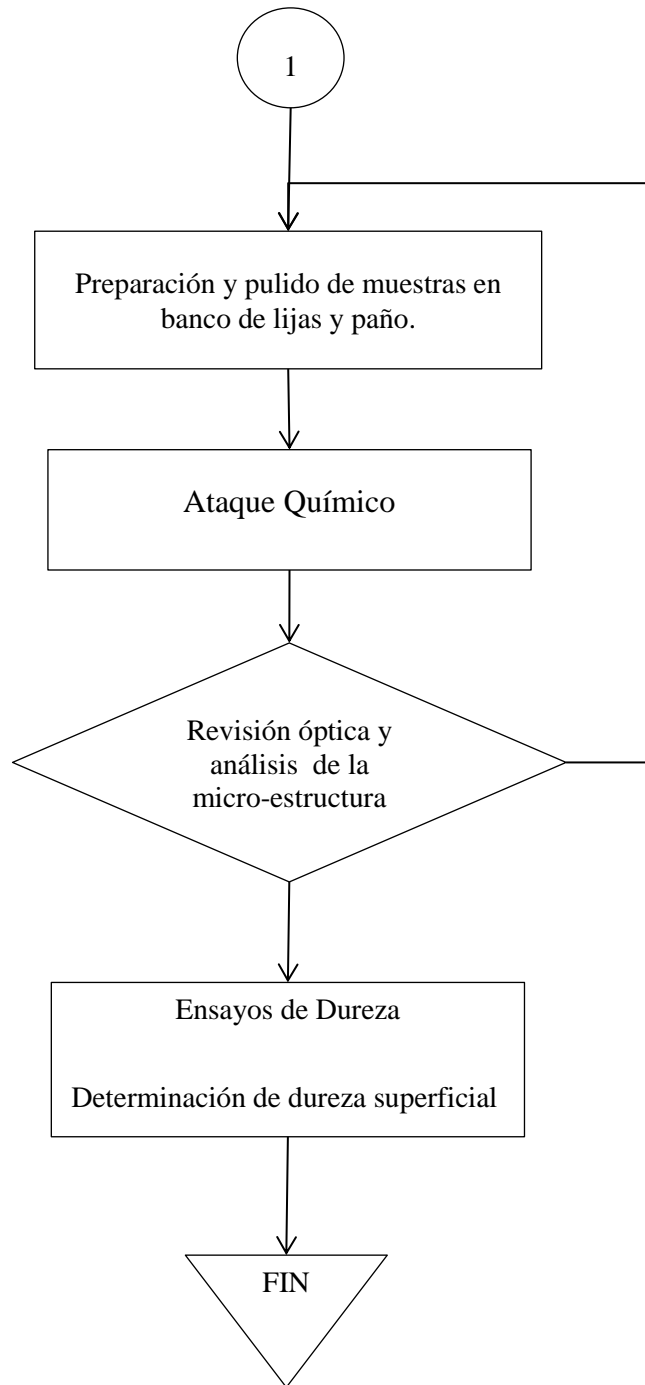
6.7 METODOLOGÍA (PROCEDIMIENTO)

Para la aplicación de tratamiento Sub-cero mediante la aplicación de CO₂ sólido durante 1 hora en los aceros AISI 1045 Y AISI 4140, se siguieron varias actividades y procedimiento de laboratorio, los mismos que se detallan a continuación de manera ordenada y secuencial para ambos materiales.

1. Adquisición del material
2. Corte y maquinados de probetas para tracción e impacto metalográficos
3. Desarrollo de Conjuntos Tratamientos Térmicos
4. Desarrollo de los ensayos de tracción y ensayo de impacto
5. Calculo y validación de Propiedades
6. Preparación de muestras metalográficas
7. Ataque Químico
8. Revisión óptica y análisis micro estructural
9. Ensayo de Dureza

Diagrama de Flujo del Procedimiento







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



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CRSUB-01

1. Objetivo

Establecer el procedimiento adecuado para realizar el tratamiento térmico Sub-cero mediante la aplicación de dióxido de carbono sólido que permita mejorar las propiedades mecánicas.

2. Alcance

Este procedimiento se aplicó en probetas los aceros AISI 1045 y AISI 4140, tanto para tracción, charpy, metalográficos y dureza, los mismos que posteriormente se evaluarán mediante procedimientos de laboratorio para determinar las propiedades alcanzados por dicho tratamiento y verificar la variación en la micro estructura de los materiales.

3. Definiciones

El temple es el enfriamiento rápido o brusco del acero desde una temperatura elevada sumergiendo la pieza en agua, aceite, sal o aplicando aire comprimido, esto produce que los elementos sometidos a este tratamiento deben formar una microestructura dura

El tratamiento Sub-cero consiste en llevar el material alrededor de los -80° C, para la transformación de la austenita retenida en martensita para cualquier acero, por lo que se obtiene una estructura de matriz martensítica.



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

El Revenido es un tratamiento térmico que consiste en calentar el acero después de haberle realizado un temple a una temperatura inferior al punto crítico o temperatura de recristalización, seguido de un enfriamiento controlado que puede ser rápido cuando se pretende resultados altos en tenacidad, o lentos, cuando se pretende reducir al máximo las tensiones térmicas que pueden generar deformaciones.

El ensayo de Tracción mide la resistencia de un material a una fuerza estática o gradualmente aplicada.

El ensayo Charpy consiste en someter el material a un golpe súbito e intenso, en mismo que posee una alta velocidad al momento de la aplicación del esfuerzo, en este tipo de ensayo el material puede tener un comportamiento más frágil que durante el ensayo de tracción.

La metalografía estudia las características estructurales o de constitución de los metales y aleaciones, para relacionarlas con las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los mismos.

Los ensayos de dureza se los realiza sobre la superficie de un material, y se lo mide por la penetración que tenga otro objeto duro.



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

4. Referencia

Este procedimiento esta sustentó mediante la investigación bibliográfica establecida en el Capítulo II y los ensayos realizados en el Capítulo IV, estos ensayos a su vez están sustentados en el ítem 2.3. Fundamentación Legal expuesta del Capítulo II.

5. Registros y Documentos

Para los registros y documentación de los datos se basó en investigaciones anteriores, estableciendo los registros utilizados en el Capítulo IV de acuerdo a las necesidades de la presente investigación (Anexos 13-21).

6. Procedimiento

El procedimiento para el tratamiento Térmico Sub-cero mediante la aplicación de CO₂ sólido durante 1 hora en los aceros AISI 1045 y AISI 4140, se realizó en base al diagrama de flujo presentado anteriormente, para lo cual su utilizó los registros de los anexos 13 al 21, para el registro, cálculos necesarios y presentación de resultados expuestos a continuación.



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.1. Adquisición del Material

Los aceros utilizados para esta investigación fueron adquiridos en la empresa ACEROS BOHLER DEL ECUADOR S.A., mediante pedido vía electrónica al vendedor región y envió del producto por empresa de transporte desde la central en Quito norte hasta esta ciudad para su retiro en ventanilla. (Anexo 5)



Figura 6.1. Ejes de acero en estado de suministro

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.2. Elaboración de Probetas

Para La elaboración de las probetas para los ensayos de tracción y de resistencia al impacto se aplicó las normas correspondientes como ASTM E-8 Y ASTM E-23, las especificaciones y dimensiones establecidas para cada uno de ellos se las compartió al técnico especialista en metal mecánico para el maquinado de las probetas.



Figura 6.2. Probetas para todo los ensayos elaboradas bajo normas específicas

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.3. Conjunto de tratamientos térmicos

Para la aplicación de tratamiento Sub-cero tenemos que seguir un conjunto de tratamientos térmicos ya establecidos en investigaciones anteriores que se detallan a continuación en la figura 6.3, guardando siempre las normas de seguridad para evitar afecciones personales.

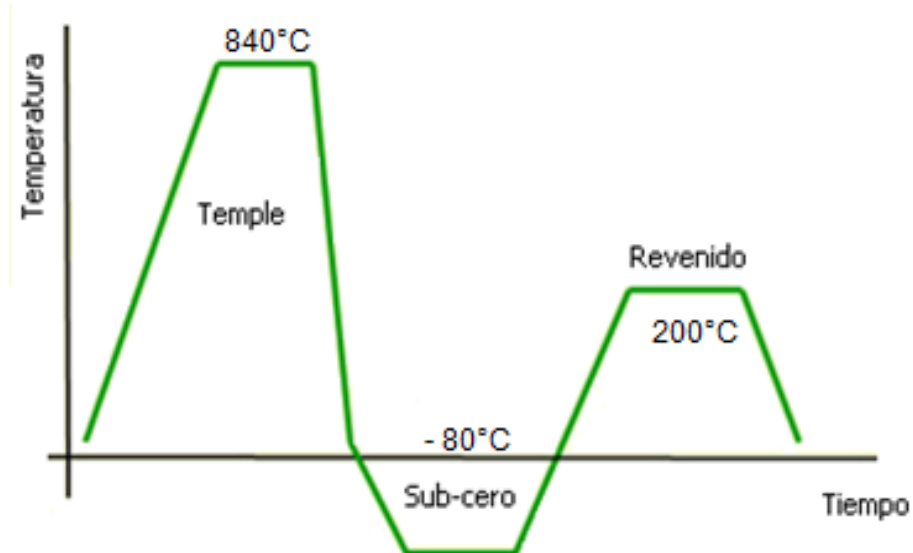


Figura 6.3. Diagrama Temperatura vs. Tiempo del procedimientos de Tratamiento Sub-cero.

Fuente: Autor



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



PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.3.1. Temple

El temple de las probetas se lo realizó en el horno de Mufla del Laboratorio de Materiales que alcanza hasta una temperatura de 1000°C, este tratamiento se lo debe realizar a una temperatura de austenización de los materiales, es decir, a 840 °C por el contenido de carbono de los materiales, las probetas se introducen en el horno hasta llegar a esta temperatura y se mantiene en una relación de 1 hora por pulgada transversal, por tanto al tener probetas de ½ plg se mantuvo a 840 °C por un tiempo de 30 minutos.



Figura 6.4. Horno de mufla a temperatura de 840 °C despues del tiempo establecido para el temple.

Fuente: Autor



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

Una vez alcanza da la temperatura deseada procedemos a realizar un enfriamiento brusco sumergiéndolos en agua para obtener una mayor cantidad de martensita en la microestructura de los materiales, el enfriamiento en el acero AISI 1045 se lo realizo con agua a temperatura ambiente, mientras que el enfriamiento en el acero AISI 4140 se lo realizó en agua a una temperatura de 40 °C, debido a que al realizarlo a temperatura ambiente sufran agrietamiento en la probetas por el cambio brusco, ya que este material ya viene bonificado de fábrica.



Figura 6.5. Sumergimiento de probetas en agua para el temple.

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.3.2. Sub-cero

Después de haber templado las probetas a temperatura de austenización en agua procedemos a dar el tratamiento criogénico Sub-cero, esto se lo realiza mediante la aplicación en contacto directo del CO₂, para lo cual granulamos a lo más pequeño posible el hielo seco para que este pueda alcanzar todas la paredes de las probetas y enfriarlas uniformemente hasta alcanzar un equilibrio térmico. Para este tratamiento se sumergen las probetas en un cooler forrado con cartón en la parte interna para conservar la temperatura interior.



Figura 6.6. Sumergimiento en CO₂ para el tratamiento Sub-cero.

Fuente: Autor



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

Después de alcanzar la temperatura de equilibrio a los $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la parte interior de la cámara tenemos que mantener 1 hora de mantenimiento de las probetas a esta temperatura para poder mejorar las propiedades de los aceros AISI 1045 y AISI 4140.

Después, con la ayuda de una pinza y guantes térmicos de protección procedemos a sacar las probetas de la cámara criogénica para que estas tengan un calentamiento uniforme hasta la temperatura ambiente.



Figura 6.7. Calentamiento de probetas hasta temperatura ambiente

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.3.3. Revenido

Una vez alcanzado la temperatura ambiente después del tratamiento Sub-cero, procedemos a dar un revenido a 200 °C durante 1 hora, esto se lo realiza para aliviar las tensiones en las probetas que se producen durante el temple y el criogénico, debido a que el tratamiento Sub-cero convierte la austenita revenida en martensita, la temperatura de revenido ha tomado de investigaciones anteriores para no perder las propiedades alcanzadas durante el temple y criogénico.



Figura 6.8. Probetas en el horno térmico para el tratamiento de revenido

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.4. Ensayos de Tracción y Charpy

6.4.1. Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción se lo realizó en la Maquina Universal de 30 Tn del laboratorio de Resistencia de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, con la asistencia del ayudante del laboratorio. Para este ensayo de debe calibrar la longitud inicial en el centro de la probeta, esta longitud es de 50.8 mm, la ruptura de la probeta debe ser dentro de esta longitud calibrada para que el ensayo sea válido. Colocamos el deformímetro en la distancia indicada para poder leer la deformación, los datos de deformación se toman cada 200 kg de carga aplicada en la zona plástica y después cada 0.05 mm antes de la ruptura, se recomienda utilizar registro TR-01(Anexo 13).



Figura 6.9. Deformación controlada en la maquina universal

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.4.2. Ensayo Charpy

El ensayo de resistencia al impacto se lo realizó en el péndulo Charpy realizado mediante la investigación del Ing. Buenaño Barreno Jackson Wilfrido, ubicado en el Laboratorio de Metalografía de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. Para este ensayo colocamos el péndulo en el punto más alto calibrado esta máquina, colocamos la probeta en la entenalla de ubicación con la muesca en v hacia el lado contrario donde se realiza el impacto, enceramos la pluma a la carga máxima del péndulo y soltamos el péndulo para que impacte la probeta, por ultimo leemos la energía absorbida en la ubicación final de la pluma del péndulo y anotamos en el registro CH-01(Anexo 16).



Figura 6.10. Ensayo Charpy

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.5. Calculo de Propiedades

Una vez obtenido los datos de los ensayos en cada uno de los registros, calculamos las propiedades mecánicas que podamos obtener mediante estos ensayos, para lo cual utilizaremos los registros TR-02 y TR-03 para los cálculos y presentación de propiedades del ensayo de tracción, como Sut, porcentaje de elongación y de reducción de área, mientras para la resistencia al impacto utilizaremos el registro CH-01 para y análisis y CH-02 para presentación de este ensayo.



Figura 6.11. Registros de Datos

Fuente: Autor



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



CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN
ACERO AISI 1045

Realizado por: Washington Malán

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

ENSAYO DE TRACCIÓN

Registro: TR-02

Calculos AISI 1045:

Tabla 6.3. Datos inicial del acero AISI 1045

Datos Iniciales	
Material	AISI 1045
Tratamiento Térmico	Sub-cero 1 hora
Longitud Calibrada	50,8 mm
Diámetro Inicial	12,69 mm
Datos Finales	
Carga Máxima	206 163,134 N
Longitud Final	52,48 mm
Diámetro Final	12,36 mm

Fuente: Autor

Diagrama Deformación- Esfuerzo

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Área Inicial:

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

$$A_0 = \frac{\pi \cdot 12,69 \text{ mm}^2}{4}$$

$$A_0 = 126,48 \text{ mm}^2$$



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



CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN ACERO
AISI 1045

Realizado por: Washington Malán

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

ENSAYO DE TRACCIÓN

Registro: TR-02

Deformación ingenieril:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\varepsilon = \frac{1,68 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon = 0,03307 \text{ mm/mm}$$

Esfuerzo máximo (Sut):

$$S_{ut} = \frac{P_{Max}}{A_0}$$

$$S_{ut} = 1628,40 \text{ MPa}$$

Porcentaje de Elongación:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100$$



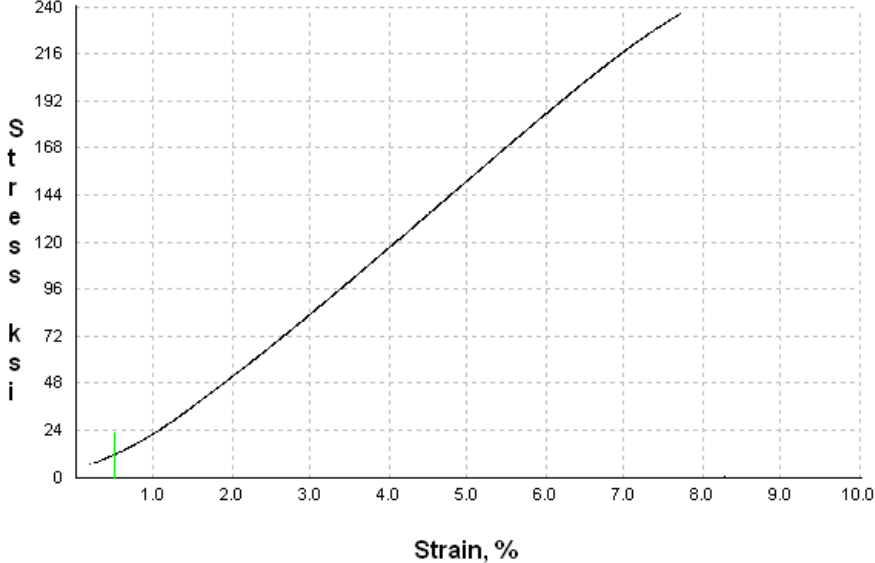
$$\% \text{ de elongación} = 3,30 \%$$

Porcentaje de reducción de Área:

$$\% \text{ de reduccion del Área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100$$

$$\% \text{ de reduccion del Área} = 5,13 \%$$

Ensayo de tracción del Acero AISI 1045

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Registro: TR-03	
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 12/01/2015		Lugar: Laboratorio de Análisis de Esfuerzo y Vibraciones (E.P.N.)	
Probeta: T45,1,1		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	21015,61 kg
Longitud Final	52,48 mm	Sut [Ec 2.3]	1628,40 MPa
Diámetro Inicial	12,69 mm	% E [Ec 2.4]	3,30 %
Diámetro Final	12,36 mm	% RA [Ec 2.5]	5,13 %



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



CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN
ACERO AISI 4140

Realizado por: Washington Malán

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

ENSAYO DE TRACCIÓN

Registro: TR-02

Calculos AISI 4140:

Tabla 6.4. Datos inicial del acero AISI 1045

Datos Iniciales	
Material	AISI 4140
Tratamiento Térmico	Sub-cero 1 hora
Longitud Calibrada	50,8 mm
Diámetro Inicial	12,7 mm
Datos Finales	
Carga Máxima	218 881,70 N
Longitud Final	52,00 mm
Diámetro Final	12,32 mm

Fuente: Autor

Diagrama Deformación- Esfuerzo

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Área Inicial:

$$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$$

$$A_0 = \frac{\pi \cdot 12,69 \text{ mm}^2}{4}$$

$$A_0 = 126,68 \text{ mm}^2$$



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



CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN ACERO
AISI 4140

Realizado por: Washington Malán

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

ENSAYO DE TRACCIÓN

Registro: TR-02

Deformación ingenieril:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$\varepsilon = \frac{1,2 \text{ mm}}{50,8 \text{ mm}}$$

$$\varepsilon = 0,02362 \text{ mm/mm}$$

Esfuerzo máximo (Sut):

$$S_{ut} = \frac{P_{Max}}{A_0}$$

$$S_{ut} = 1727,87 \text{ MPa}$$

Porcentaje de Elongación:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100$$



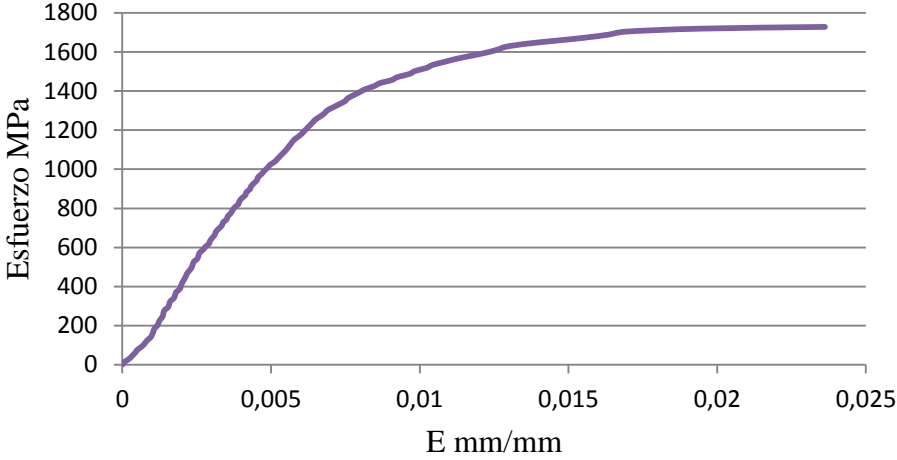
$$\% \text{ de elongación} = 2,36 \%$$

Porcentaje de reducción de Área:

$$\% \text{ de reduccion del Área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100$$

$$\% \text{ de reduccion del Área} = 5,89 \%$$

Ensayo de tracción del Acero AISI 4140

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>LABORATORIO DE MATERIALES</p> </div>  </div>			
DATOS INFORMATIVOS			
ENSAYO DE TRACCIÓN		Registro: TR-03	
Realizado por: Washington Malán		Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.	
Fecha: 27/10/2014		Lugar: Laboratorio de Ensayo de Materiales	
Probeta: T41,1,2		Instrumento: Máquina Universal	
Método: Deformación Controlada		Marca: Tinius Olsen capacidad	
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad: 30 Toneladas	
<p>Deformación Vs. Esfuerzo T41.1.2</p> 			
Longitud Inicial	50,80 mm	Carga Máxima	22312,10 kg
Longitud Final	52,00 mm	Sut [Ec.2.3]	1727,87 MPa
Diámetro Inicial	12,70 mm	% E [Ec 2.4]	2,36 %
Diámetro Final	12,32 mm	% RA [Ec 2.5]	5,89 %



REGISTRO DE ENERGÍA ABSORBIDA Y CÁLCULOS
ACERO AISI 1045

Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
ENSAYO DE IMPACTO	Registro: CH-01

Energía absorbida durante el Impacto: 5 N.m

Cálculos:

Resistencia al impacto del acero AISI 1045

Área Transversal:

$$A_t = l * l_1$$

$$A_t = 1 \text{ cm} * 0,8 \text{ cm}$$

$$A_t = 0,8 \text{ cm}^2$$

$$KCU = \frac{\text{Energía Absorbida al Impacto [N. m]}}{\text{Area Transversal [cm}^2\text{]}}$$

$$KCU = \frac{5 \text{ N. m}}{0,8 \text{ cm}^2}$$

$$KCU = 6,25 \text{ J/cm}^2$$



Figura 6.12. Detalle de Ruptura acero AISI 1045

Fuente: Autor



REGISTRO DE ENERGÍA ABSORBIDA Y CÁLCULOS
ACERO AISI 4140

Realizado por: Washington Malán **Autorizado por:** Ing. César Arroba, Mg.

ENSAYO DE IMPACTO **Registro:** CH-01

Energía absorbida durante el Impacto: 15 N.m

Cálculos:

Resistencia al impacto del acero AISI 4140

Área Transversal:

$$A_t = l * l_1$$

$$A_t = 1 \text{ cm} * 0,8 \text{ cm}$$

$$A_t = 0,8 \text{ cm}^2$$

$$KCU = \frac{\text{Energía Absorbida al Impacto [N. m]}}{\text{Área Transversal [cm}^2\text{]}}$$

$$KCU = \frac{15 \text{ N. m}}{0,8 \text{ cm}^2}$$

$$KCU = 18,75 \text{ J/cm}^2$$



Figura 6.13. Detalle de Ruptura acero AISI 4140

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.6. Preparación de Muestra Metalográficas

Este análisis se lo realizó en el Laboratorio de Metalografía de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para lo cual se extrajo un muestra de 25,4 mm del material previo a los tratamientos, mediante corte con sierra, para evitar que este se caliente, esta longitud regencia para fácil sujeción de la probeta al momento de los desbaste grueso, fino y pulido final.

Este procedimiento se lo realizó para ambos aceros tanto el acero AISI 1045 como el acero AISI 4140.



Figura 6.14. Corte de las muestras para metalografías

Fuente: Autor



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

Para el desbaste las las probetas se utilizó el banco de fijas, en este banco de lijas iniciamos con lijas 240, 320, 400, 600, 1000 y finalmente 2000 para tener una acabado superficial de la superficie antes de llevarlas a disco de pulido, para este desbaste no es necesario ejercer demasiada presión sobre dichas probetas, pero si se lo debe realizar con un flujo constante de agua para un mejor acabado y evitar un calentamiento por fricción cambiando la micro estructura, también debemos girar las probetas 90° cada cierto tiempo para tener una superficie más uniforme.



Figura 6.15. Desbaste superficial de muestras metalográficas

Fuente: Autor



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



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

Al finalizar el desbaste de la superficie de las muestras, lavamos la misma y pasamos a la pulidora de disco con paño, para este pulido utilizamos la ayuda de oxido de alimunio, mas conocido como alumina de 1 micra, para este pulido no debemos ejercer demasiada presión durante el pulido y de igual manera procedemos a girar 90° cada sierto tiempo para un pilido uniforme. Cuando la superficie del metal este casi espejo, es decir, si rayas, procedemos a lavar con detergente la superficiecie y secarla posterior mente para realizar el ataque químico.



Figura 6.16. Pulido y secado de Probetas

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.7. Ataque Químico

Cuando la probeta este seca, prodecemos a realizar el ataque químico, en este caso utilizaremos el reactivo Picral, recomendado para acero templados, con la ayuda de un gotero colocamos el reactivo en la superficie a observar durante el tiempo necesario hasta que esta superficie pierda su brillantes y se torne mante, se recomienda ulilizar guantes quirurgicos para evitar amarillamiento de las manos por los acidos, para frenar el ataque y evitar que se queme la superficie debemos rosiar agua rapidamente uuna vez opaca la muestra y llevamos nuevamente al secador.



Figura 6.17. Ataque Químico

Fuente: Autor



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.8. Observación y análisis de metalografías

Una vez seca la superficie atacada procedemos a visualizar en el microscopio de has de luces, para lo cual ponemos el aumento deseado y con la ayuda del software de microscopio grabamos la imagen para su posterior analisis. Para la presentacion de la muestras metalografica se recomienda utilizar registro MT-01 (Anexo 18) y para su posterior analisis el registro MT-02 (Anexo19).



Figura 6.18. Visualización en el microscopio

Fuente: Autor

Muestra metalográfica del acero AISI 1045

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Análisis Metalográfico	Registro: MT-01
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 26/10/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: M45,1	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	100 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 18 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero con tratamiento Sub-cero por 1 hora 200X	



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



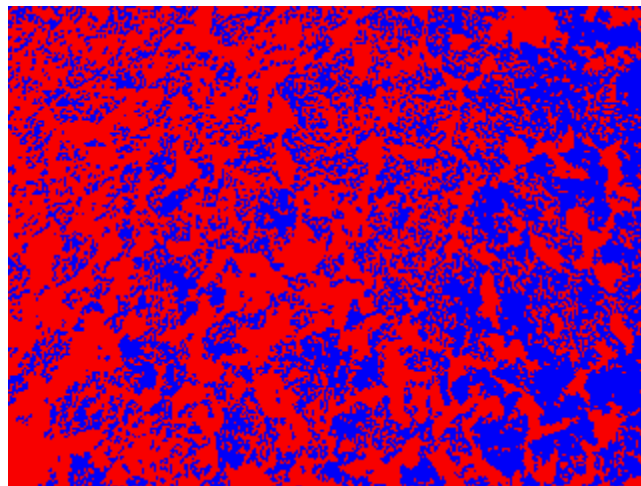
EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

Análisis Metalográfico

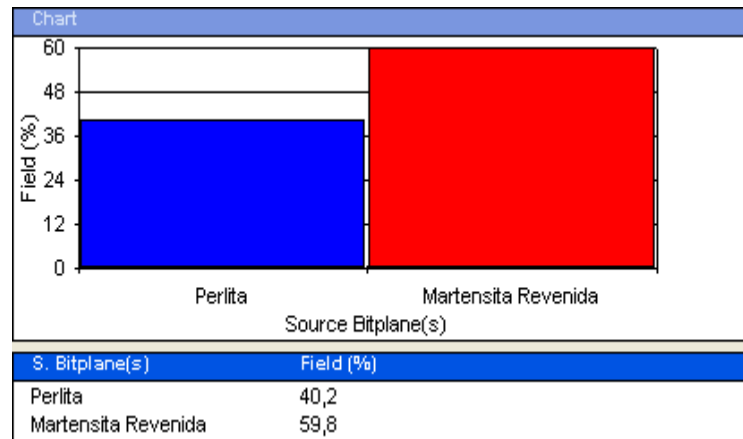
Registro: MT-02

Muestra

M45,1





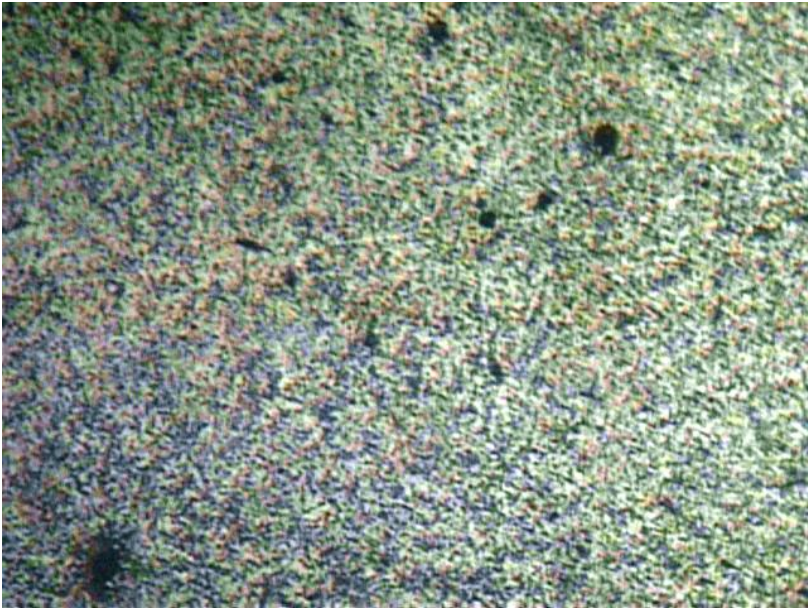
COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de tratamiento Sub-cero durante 1 hora tenemos un incremento a 59,8 % de martensita revenida como el mayor componente y 40,2% perlita.

Muestra metalográfica del acero AISI 4140

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
	CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
	LABORATORIO DE MATERIALES
	
DATOS INFORMATIVOS	
Análisis Metalográfico	Registro: MT-01
Realizado por: Washington Malán	Supervisado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 10/12/2014	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: M41,1	Temperatura Ambiente: 22°C
PARÁMETROS DEL ENSAYO	
Acondicionamiento de superficie	Pulido Mecánico
Tiempo de preparación de la superficie	45 minutos
Reactivo químico y tiempo de ataque	Picral, 25 segundos
RESULTADO	
	
Microestructura acero con tratamiento Sub-cero por 1 hora 200X	



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



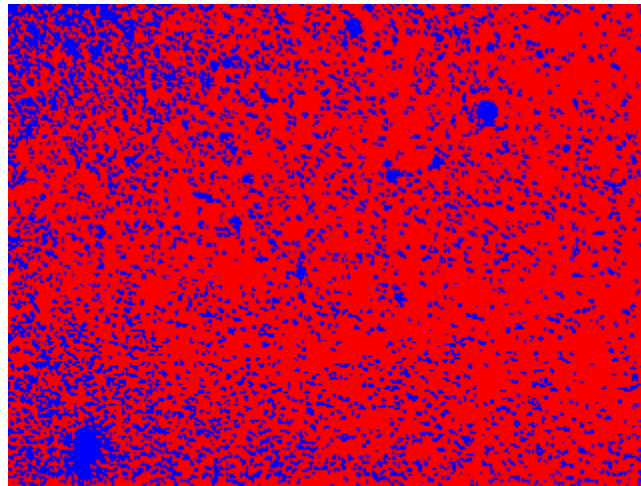
EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA

Análisis Metalográfico

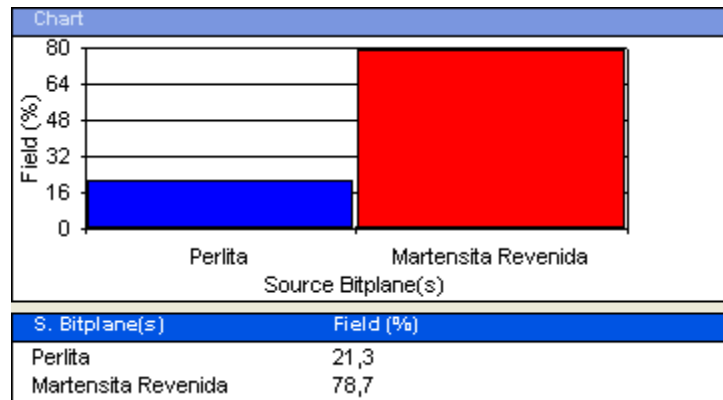
Registro: MT-02

Muestra

M41,1



COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA



INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de tratamiento Sub-cero durante 1 hora tenemos un incremento a 78,7% de martensita revenida como el mayor componente y 21,3% perlita.



**PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE TRATAMIENTO TÉRMICO
SUB-CERO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CO₂ SÓLIDO DURANTE UNA
HORA EN LOS ACEROS AISI 1045 Y AISI 4140**

Realizado por: Washington Malán

Versión: 00

Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.

Código: CSUB-01

6.9. Ensayo de Dureza

Para la determinación de la dureza de los materiales se utilizó el durómetro del Laboratorio de Metalografía de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para este ensayo se aplicó la dureza Rockwell C (HRC), con el penetrador de cono de diamante y una carga de 1471 N. Este ensayo se lo puede realizar en la superficie donde se hizo el ensayo metalográfico.




Colocamos el indentador en la superficie a medir, llevamos la escala de la pantalla hasta número 100, precargamos y esperamos aproximadamente 10 segundos, finalmente aplicamos la carga y registramos el valor de dureza dada en la pantalla en el registro DS-01 (Anexo 20).






Figura 6.19. Ensayo de Dureza

Fuente: Autor

Ensayo de Dureza del acero AISI 1045

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Ensayo de Dureza	Registro: DS-01
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 15/01/2015	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: D45,1	Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA	
Método: Rockwell C	Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18	Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell	
RESULTADOS	
Muestra D45,1	
N° Medición	Dureza HRC
1	55
2	53
3	54
4	52
5	54
6	55
7	53
8	53
9	52
10	54
PROMEDIO	53,5
Detalle Referencial	
	

Ensayo de Dureza del acero AISI 4140

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
DATOS INFORMATIVOS	
Ensayo de Dureza	Registro: DS-01
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
Fecha: 22/01/2015	Lugar: Laboratorio de Materiales
Probeta: D41,1	Tipo de Estudio : De Laboratorio
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA	
Método: Rockwell C	Instrumento: Durómetro
Norma Aplicada : ASTM - E18	Carga Aplicada : 1471 N
Tipo de Identador: Cono de Diamante, según Norma para dureza Rockwell	
RESULTADOS	
Muestra D41,1	
N° Medición	Dureza HRC
1	57
2	56
3	56
4	55
5	57
6	56
7	54
8	55
9	56
10	55
PROMEDIO	55,7
Detalle Referencial 	

6.8 ADMINISTRACIÓN

En la tabla 6.5 se muestra describe a detalle los recursos utilizados para esta investigación.

Tabla 6.5. Administración y Costos de Investigación

RECURSOS MATERIALES			
DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO
Acero AISI 1045	24,85	2	49,7
Acero AISI 4140	34,25	2	68,5
Envió	8	1	8
Dióxido de carbono solido (c/bloque)	30	3	90
Guantes Térmicos	7	1	7
Guantes Quirúrgicos	1,2	6	7,2
Lijas # 240	0,8	3	2,4
Lijas # 320	0,8	3	2,4
Lijas # 400	0,8	3	2,4
Lijas # 600	1,2	3	3,6
Lijas # 1000	1,2	3	3,6
Lijas # 2000	1,2	3	3,6
Cooler de Plástico	16	1	16
Paño (c/metro)	5	1	5
Deformímetro	45	1	45
	SUBTOTAL MATERIALES		314,4
RECURSOS HUMANOS			
Maquinado probetas de tracción	12	30	360
Maquinado probetas de impacto	8,5	30	255
Ensayo de Tracción E.P.N	9	7,28	65,52
	SUBTOTAL RR.HH		680,52
RECURSOS VARIOS			
Internet (c/mes)	25	4	100
Transporte	-	-	50
Copias	-	-	10
Material de Oficina	-	-	60
Impresiones y presentación	-	-	160
	SUBTOTAL VARIOS		380
	SUMA DE SUBTOTALES		1374,92
	IMPREVISTOS (10%)		137,492
	COSTO TOTAL		1512,412

Fuente: Autor

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez concluida la presente investigación realizada en su mayor parte en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, gracias a los equipos con lo que cuenta dicha institución para realizar este tipo de trabajo y otra parte realizada en los Laboratorios de análisis de Esfuerzos y Vibración de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, por la disponibilidad de la máquina Universal para los ensayos de tracción, se determinó que el tratamiento Sub-cero realizado durante 1 hora en los aceros AISI 1045 y AISI 4140 después de un temple en agua y previo a un revenido de alivio de tensiones, es el más idóneo para estos materiales debido al incremento significativo de la resistencia a la tracción y a la conservación de la mayoría de las propiedades en comparación con un tratamiento de temple y revenido convencional.

Este tratamiento se puede aplicar a elementos de gran resistencia a la tracción y al desgaste debido a la dureza superficial que este puede brindar, por lo cual se recomienda aplicar en materiales expuestos a golpe axiales como puntas de granetes, cabezas de martillos o vibradores de concreto, también podemos aplicar en pines para uniones, articulaciones o en insertos de cuchillas para el tratamiento de carnazas o triturado de neumáticos para un posterior tratamiento, gracias a la dureza de los materiales tratados, así también, en la aplicación de pines fusibles que trabajen a tracción y al recibir un impacto estos se rompan para prevenir daños colaterales a motores u otro tipo de equipos que pueden ser en matrimonios de ejes o para compuertas de cierre inmediato.

La presente investigación también es un aporte importante y servir de referencia para otras investigaciones que puedan derivarse de esta, como, la variación de este tratamiento aplicando diferentes medios de enfriamiento para el temple de las muestras, así también, tratamiento Sub-ceros múltiples, o la variación de los revenidos posteriores al tratamiento criogénico, para verificar el comportamiento de los materiales expuestos a estos tratamientos y principalmente incrementar la ductilidad de estos reduciendo un mínimo porcentaje la resistencia a la tracción alcanzado por los tratamientos criogénicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, D. R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Mexico: International Thomson Editores S.A.
- Callister Jr., W. D. (2007). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Mexico: Editorial Reverte, S.A.
- Daryani, P. H. (2001). *The art of Gear Fabrication*. New York: Industrial Press Inc.
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Nueva York: Prentice Hall.
- Smith, W. (2006). *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana Editores, S. A.
- Alpizar Torres, E. (2004). *Apuntes acerca del Tratamiento Térmico y la clasificación general de los aceros*. Matanzas: Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
- Bohler Peru S.A. (2010). *Tratamientos Térmicos y Aplicaciones Prácticas de los Aceros*. Lima: Grupo Bohler Uddeholm.
- Escuela de Ingeniería Julio Garavito. (2008). *Tratamientos Térmicos*. Bogota: Facultad de Ingeniería Industrial.
- Irias Rendón, A., & Stackpole Armendáriz, C. (2001). Aplicación de Tratamientos Térmicos Criogénicos. *Revista Oficial de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero de México*.
- I.Q.Msc. Johnny F. Obando. (2006). Subcero y Criogénico. *Innovación & Desarrollo. Tratamientos Ferrotérmicos SAS*.
- Linde S.A. (2008). *Manipulación y uso del Hielo Seco*. Madrid: Abello Linde.
- Zamora Carbó, J. F. (2014). *Técnicas de caracterización Estructural de Materiales*. Real-España: Universidad de Castilla.

Calmet, G. L. (2009). *Aplicación de la Criogenia En El Tratamiento Térmicos de ceros para Trabajo En Frio*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Laboratorio Virtual de Física de Materiales U.A.M. (23 de Junio de 2004). *Indice de Practicas*. Obtenido de:

<http://www.uam.es/docencia/labvformat/default.html>:

https://www.uam.es/docencia/labvformat/labvformat/practicas/practica4/fases%20del%20acero.htm#_top

Ortiz, A. (10 de 12 de 2012). *Diagramas Hierro-Carbono*. Recuperado el 06 de 04 de 2014, de:

<http://ortizalvarosua12.blogspot.com/>:

<http://ortizalvarosua12.blogspot.com/2012/12/diagrama-fe-c.html>

Uddeholm, G. (s.f.). *Aceros Especiales Bohler del Peru S.A*. Obtenido de:

<http://www.bohlerperu.com>:

http://www.bohlerperu.com/files/CIP_APM.pdf

Biblioteca Virtual Universidad Técnica de Ambato

Repositorio UTA

Atacusi Hidalgo , B. P. (2013). *Estudio del tratamiento térmico de normalizado en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza y la resistencia*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Obtenido de: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/4337>

Buenaño Barreno, J. W. (2012). *Estudio del ensayo de impacto y su incidencia en el comportamiento mecánico del acero AISI 8620 mediante la norma ASTM E 2*. Ambato : Universidad Técnica de Ambato.

Obtenido de: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/3704>

Criollo Camacho, M. X. (2011). *Estudio del temple en el acero utilizando grasas vegetales y su incidencia en las propiedades mecánicas*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Obtenido de: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/1266>

Paredes Robalino , M. (2011). *Estudio del recocido en el hierro fundido gris y su incidencia en la dureza*. Ambato: Universidad Tecnica de Ambato .

Obtenido de: <http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/1330>

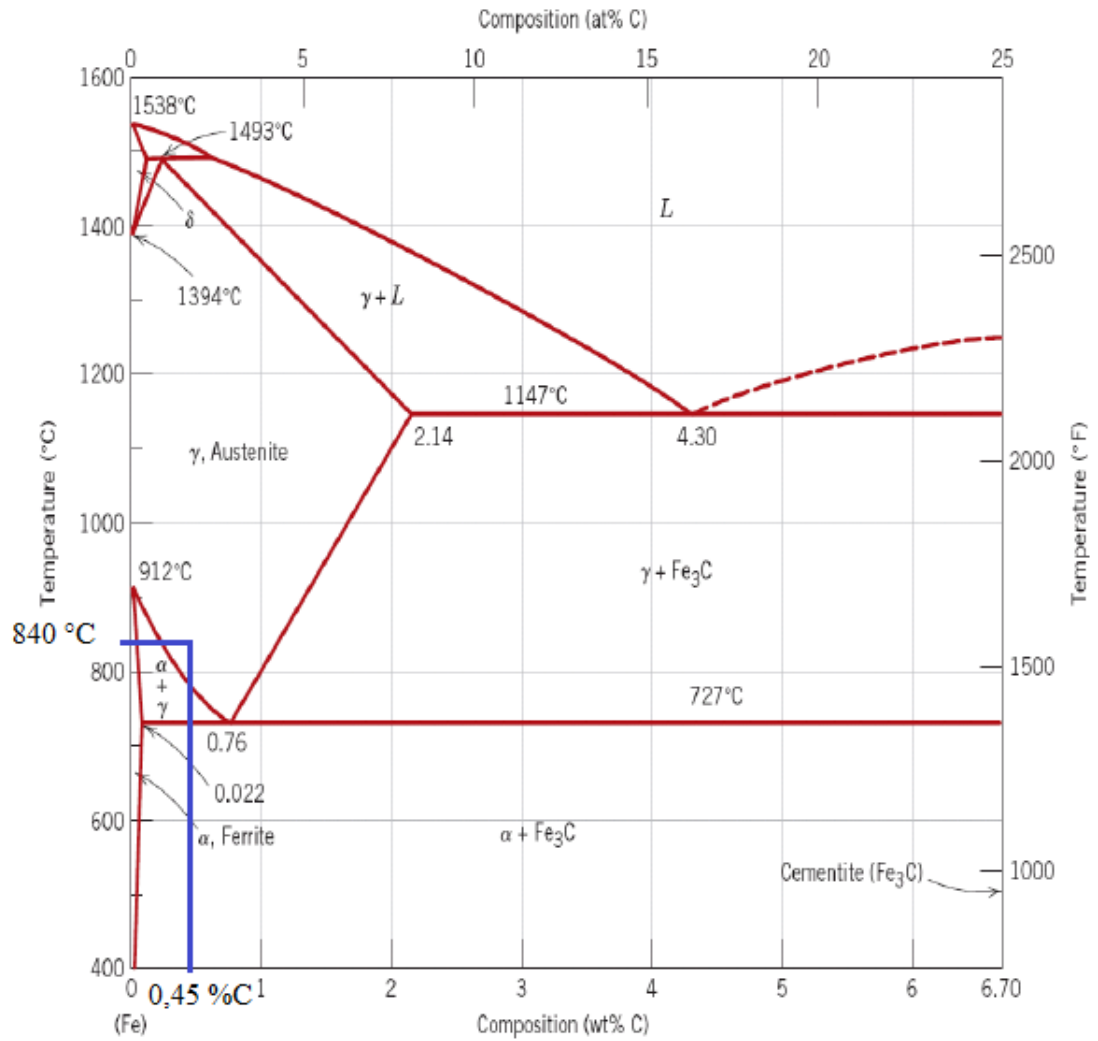
Villegas Proaño, D. A. (2014). *Estudio del tiempo y número de revenidos del acero AISI 1045 templado en aceite de oliva y su influencia en las propiedades mecánicas*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Obtenido de:<http://repo.uta.edu.ec/handle/123456789/7911>

ANEXOS

Anexo 1

Diagrama Hierro – Carbono



Fuente: CALLISTER, William D. (2007). Materials Science and Engineering. (Seven Edition). John Wiley & Sons, Inc. United States of America.

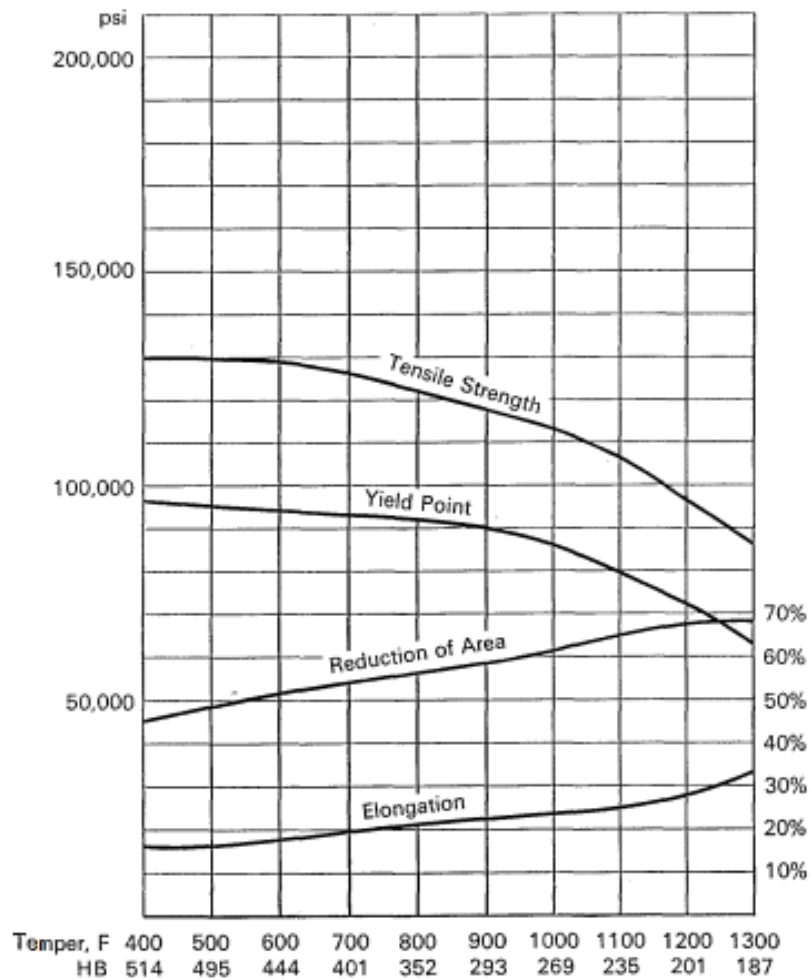
Anexo 2

Diagrama de Revenido

Acero 1040 templado en agua

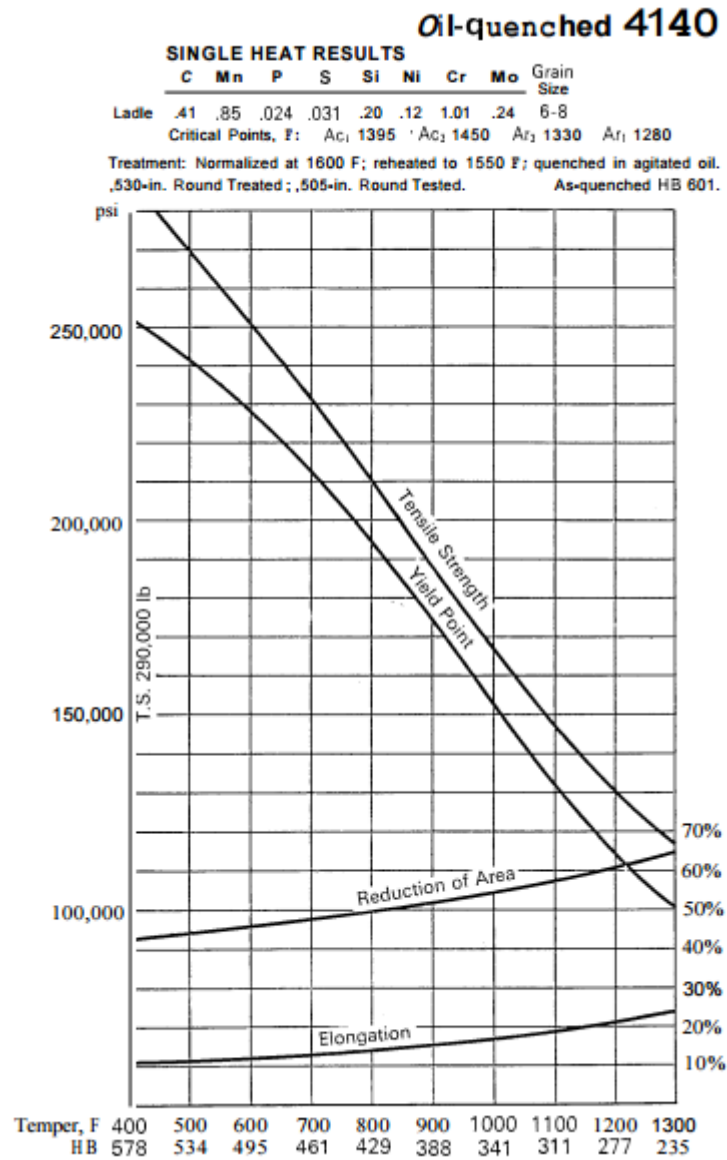
Water-quenched 1040

Treatment: Normalized at 1650 F; reheated to 1550 F; quenched in water.
1-in. Round Treated ; .505-in. Round Tested. As-quenched HB 534.



Fuente: Daryani, P. H. (2001). The art of Gear Fabrication . New York: Industrial Press Inc.

Acero 1040 templado en aceite



Fuente: Daryani, P. H. (2001). The art of Gear Fabrication . New York: Industrial Press Inc.

Anexo 3

Especificaciones acero AISI 1045

MANUAL DE ACEROS ESPECIALES - 2011

BÖHLER V 945

Tipo de aleación: C 0.45 Si 0.25 Mn 0.65 %

Color de identificación: Blanco

Estado de suministro: Recocido 180 HB

AISI - 1045
 DIN C45
 No. Mat. 1.1191

PROPIEDADES:

Acero al carbono de alta calidad, de mayores propiedades mecánicas que el acero de transmisión, puede mejorar sus propiedades mecánicas si es bonificado.

EMPLEO:

Para la fabricación de partes de maquinaria sometida a esfuerzos normales, como: árboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pesadores, cuñas, chavetas, portamatrices.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1100 - 850 °C
Recocido:	650 - 700 °C
enfriamiento lento en el horno	
Normalizado:	840 - 870 °C
Diferencializado:	300 °C
Temple:	730 - 850 °C
enfriamiento en: agua, aceite (pocos peces), sales	
Dureza obtenible:	54 - 56 HRC
Revenido: ver en el diagrama de bonificación la resistencia requerida	
Nitración: en baño de sales	580 °C

PROPIEDADES MECÁNICAS

Estado	Diámetro mm	Límite de fluencia N/mm ²	Resistencia a la tracción N/mm ²	Alargamiento (L _{0-5d}) min %	Contracción mín. %
Recocido	15 - 100	340	650 - 750	17	35
	100 - 250	330	660 - 700	18	—

DIAGRAMA DE BONIFICACIÓN

1.- Resistencia a la tracción
2.- Límite de fluencia

Temperatura de revenido en °C

Fuente: Catalogo de aceros especiales Bohler Ecuador S.A.

Anexo 4

Especificaciones acero AISI 4140

MANUAL DE ACEROS ESPECIALES - 2011 

BÖHLER V 320

Tipo de aleación: C 0.41 Si 0.30 Mn 0.70 Cr 1.10 Mo 0.20 %

Color de identificación: Blanco - café
Estado de suministro: Bonificado 850 - 1050 N/mm² (250 - 310 HB)
Acabado: Laminado en caliente

AISI - 4140
 DIN: 42CrA4
 No. Mat. 1.7225

PROPIEDADES:

Acero bonificado con aleación cromo - molibdeno de alta resistencia a la tracción y torsión en medianas y pequeñas secciones. Su suministro en estado bonificado lo hace aplicable en la mayoría de los casos sin necesidad de un tratamiento térmico. La adición de molibdeno previene la fragilidad de revenido en el acero.

EMPLEO:

Para la construcción de partes y piezas de automotores, motoredutores, árboles de transmisión, ejes, bielas, pernos grado 6, tuercas, pines, émbolos, ejes de bombas, cañones para armas de cacería.

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado:	1150 - 650 °C
Recocido:	680 - 720 °C
enfriamiento lento en el horno (217 HB máx.)	
Normalizado:	840 - 860 °C
Distensionado:	900 °C
Temple:	
al agua:	620 - 650 °C
al aceite, baño de sal (180 - 220 °C)	630 - 650 °C
Dureza obtenible:	54 - 56 HRC
Revenido: ver en el diagrama de revenido las duras obtenibles	540 - 560 °C
Nitruración: en baño de sal (nitro)	560 °C

PROPIEDADES MECÁNICAS

Diámetro mm	Límite de fluencia N/mm ² min	Resistencia a la tracción N/mm ²	Elongación N/mm ² min.			Reducción de área N/mm ²			Resistencia al impacto (30-10) J/min.		
			L	Q	T	L	Q	T	L	Q	T
≤ 16	830	1100 - 1300	10	-	-	40	-	-	30	-	-
≤ 16 - ≤ 40	750	1100 - 1200	11	-	-	48	-	-	35	-	-
≤ 40 - ≤ 100	850	900 - 1100	12	-	-	50	-	-	35	-	-
≤ 100 - ≤ 160	850	800 - 950	13	-	-	60	-	-	35	-	-
≤ 160 - ≤ 250	930	750 - 900	14	-	-	35	-	-	35	-	-

L: longitudinal
 Q: transversal
 T: tangencial

Los valores para otras dimensiones pueden ser establecidos por relación.

Fuente: Catalogo de aceros especiales Bohler Ecuador S.A.

Anexo 5

ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. BOEHLER
RUC: 1791304667001



CONTRIBUYENTE ESPECIAL
 Resolución 194 del 10/12/1999

FACTURA No. S001-001-00 0154811
 AUTORIZACIÓN S.R.L.: 1114865788

CLIENTE
 MALAN CASTRO WASHINGTON VLADIMIR
 RUC/C.I.: 1804642203
 DIRECCIÓN:
 CDLA. LA VICENTINA CALLES PIZARRO 1
 TEL: 032-426358
 AMBATO

Fecha de factura: 12.06.2014
Expedida en: EC04 - Quito Sur
Nr. pedido cliente: Sr Washington Malan
Vendedor: Gerencia Quito Sur
Cond. de entrega: FV Quito Sur
Condiciones de pago: CO12 - Contado
Vencimiento: 12.06.2014
Guía de Remisión No: S001-001-00-0042305
Referencia: 594721366

154811

Pos.	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Descuento	Valor USD
000010	5057002396 ACERO AISI/SAE 1045/CK45 Rd 20.00mm redonda 20 mm x 3.000 mm	15,200 KG	2,92 USD/KG		44,38
000020	5057012613 ACERO AISI 1010 CALIB. CUADRADO 9.50MM cuadrada 9,5 mm x 9,5 mm x 3.000 mm	2,200 KG	4,60 USD/KG		10,12
000030	5057012185 ACERO AISI/SAE 4140/42CRMO4 RD 22.00M redonda 22 mm x 3.000 mm	27,300 KG	3,36 USD/KG		91,73
Subtotal 12%					146,23
Subtotal 0%					
Descuento					
Subtotal					146,23
IVA		12,00 %	146,23 USD		17,55
Valor total					163,78

Observaciones:

El Producto Que Se Envie Por
 Transportes Que No Pertenece A La
 Organización Viaja Por Cuenta Y
 Riesgo Del Comprador.

DESPACHADO POR:

RECIBÍ CONFORME

Declaro haber recibido a entera satisfacción los productos y servicios detallados en esta factura y a la vez acepto la obligación del pago de este documento y todos los términos y condiciones que constan al reverso del mismo.

Estimado cliente: Solo se dará por cancelada esta factura mediante la presentación del recibo de caja emitido y suscrito por ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A. Sirvase cancelar con cheque cruzado a la orden de ACEROS BOEHLER DEL ECUADOR S.A.

Matriz: QUITO NORTE
 De las Avellanas EI-112 y
 Panamericana Norte Km. 5 ½
 Tel.: 02 2473080 / 02 2473081 / 02 2478415
 02 2476138 / 02 2807937 / 02 2807936
 Fax: 02 2477918 Cel.: 099 4764247

Sucursal: QUITO SUR
 Av. Pedro Vicente Maldonado
 S22-151 y Taura
 Telefax: 02 3061418 / 02 3063721 / 02 3063653
 02 3063730 / 02 3063740 / 02 3063669
 Cel.: 099 7671136

Sucursal: CUENCA
 Av. Hurtado de Mendoza 219 y
 José Joaquín de Olmedo
 Telefax: 07 2805380 / 07 2802313
 Cel.: 099 4766686

Sucursal: GUAYAQUIL
 Vía Daule Km. 7 ½ s/n y Cuarta
 PBX: 04 2262922
 Fax: 04 2257352
 Cel.: 099 4762359

VE-FO-10 V-4.1 10-06-11

CLIENTE

Anexo 6

Informe de ensayos de tracción realizados en la Escuela Nacional Politécnica



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



INFORME TÉCNICO

LAEV – DIC.25

Quito, 15 de enero de 2015

TRABAJO SOLICITADO POR: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Sr. Washington Vladimir Malán Castro

ORDEN DE TRABAJO N° 0002504

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de sección circular pertenecientes al Sr. Washington Vladimir Malán Castro para el desarrollo del proyecto de titulación "Estudio del Tratamiento Térmico Sub-Cero Mediante la Aplicación de Dióxido de Carbono Sólido en los Aceros AISI 1045 y AISI 4140 y su Incidencia en las Propiedades Mecánicas". Las probetas fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

RESULTADOS

1. MUESTRAS: Nueve (9) probetas de sección circular para ensayo de tracción de acuerdo a la norma ASTM E8.

2. ENSAYO DE TRACCIÓN DE ACUERDO A LA NORMA ASTM E8

En la tabla 1 se muestran los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.



LAEV-EPN
Orden N°: 0002504



Página 1 de 7

Tabla 1. Resistencia a la tracción, límite de fluencia y elongación medidas en las muestras.

Id.	Diámetro promedio	Carga máxima registrada		Límite de fluencia		Resistencia a la tracción		% Elongación en 50 mm
	mm	lbf	N	ksi	MPa	ksi	MPa	
1H-T1	12,69	46.300	205.953	233,7	1611,3	236,2	1628,4	3,3*
1H-T2	12,48	47.100	209.511	245,8	1694,9	248,4	1712,7	3,2*
1H-T3	12,57	51.900	230.863	246,5	1699,6	269,8	1860,3	3,8*
3H-T1	12,59	35.300	157.022	141,2	973,4	182,9	1261,3	8,5
3H-T2	12,56	28.700	127.664	107,0	737,6	149,4	1030,4	12,8
3H-T3	12,66	30.300	134.781	116,6	804,1	155,3	1070,7	10,1
6H-T1	12,61	34.300	152.574	177,2	1221,8	177,2	1221,7	6,7
6H-T2	12,54	28.200	125.440	109,5	755,1	147,3	1015,7	8,9
6H-T3	12,62	40.100	178.374	180,9	1247,0	206,8	1426,0	5,1

*Falla fuera de las marcas

Las curvas de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestran en el anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en las curvas corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.



JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R"
 RUC: 1760005620001
 Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía
 Telfs.: 2 507-144 / Fax: 2 567-848
 P.O. Box: 17-01-2759 / QUITO - ECUADOR
 e-mail: dirfinan@server.epn.edu.ec

FACTURA
No. 001-001-000170223
Fecha Autorización: 13/Agosto/2014
Aut. SRI: 1115389089

Contribuyente Especial / Resolución 1308

Fecha de Emisión: 17/12/2014	Facultad/Instituto: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA
Empresa: WASHINGTON VLADIMIR MALAJI CASTRO	Laboratorio:
Señor (s):	Forma de Pago: Efectivo 66.52/0.0
RUC/CI: 4504642205	Cheque No. Banco: 66.52
Dirección: PIZARRO Y ALMAGRO CDLA. LA VIOLETA	Valor Total:
Telf: 032426356	

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	VALOR TOTAL
15	Servicio: ENSAYO DE TRACCION	10	6.50	66.50

OBSERVACIONES: ELABORADO POR Nombre: Documento Categorized: NO	 RECIBÍ CONFORME Nombre: C.I./RUC:	SUBTOTAL A TRIBUTAR	66.50
		I.V.A. 12.0%	7.02
		CON TARIFA 0%	0.00
		TOTAL FACTURA	66.52

Mejía Toscano Giber Ramiro - Gráficas Mejía - Telf. 2846-136-RUC. 1707504930001 / Aut. SRI 1706 / del 01/67501 al 01/75500 PARA SU EMISION HASTA 13/AGOSTO/2015

Original: CLIENTE / Iera. Copia EMISOR 2da. - 3ra. Sin Crédito Tributario

Anexo 7

Tablas de equivalencia de durezas

TABLAS

INDURA

DUREZA

TABLA COMPARATIVA DE DUREZA

Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi	Brinell	Vickers	Rockwell		Resistencia a la tracción x 1000 psi
		C	B				C	B	
898				440	223	223	20	97	110
857				420	217	217	18	96	107
817				401	212	212	17	96	104
780	1150	70		384	207	207	16	95	101
746	1050	68		368	202	202	15	94	99
712	960	66		352	197	197	13	93	97
682	885	64		337	192	192	12	92	95
653	820	62		324	187	187	10	91	93
627	765	60		311	183	183	9	90	91
601	717	58		298	179	179	8	89	89
578	675	57		287	174	174	7	88	87
555	633	55	120	276	170	170	6	87	85
534	598	53	119	266	166	166	4	86	83
514	567	52	119	256	163	163	3	85	82
495	540	50	117	247	159	159	2	84	80
477	515	49	117	238	156	156	1	83	78
461	494	47	116	229	153	153		82	76
444	472	46	115	220	149	149		81	75
429	454	45	115	212	146	146		80	74
415	437	44	114	204	143	143		79	72
401	420	42	113	196	140	140		78	71
388	404	41	112	189	137	137		77	70
375	389	40	112	182	134	134		76	68
363	375	39	110	176	131	131		74	66
352	363	37	110	170	128	128		73	65
341	350	36	109	165	126	126		72	64
331	339	35	109	160	124	124		71	63
321	327	34	109	155	121	121		70	62
311	316	33	108	150	118	118		69	61
302	305	32	107	146	116	116		68	60
293	295	31	106	142	114	114		67	59
285	287	30	105	138	112	112		66	56
277	279	29	104	134	109	109		65	56
269	270	28	104	131	107	107		64	56
262	263	26	103	128	105	105		62	54
255	258	25	102	125	103	103		61	53
248	248	24	102	122	101	101		60	52
241	241	23	100	119	99	99		59	51
236	235	22	99	116	97	97		57	50
229	229	21	98	113	95	95		56	49

Fuente: Manual de soldadura Indura

Anexo 8

Extracto de normas de la norma ASTM E-8/E8M



Designation: E8/E8M – 09

American Association of State
Highway and Transportation Officials Standard
AASHTO No. T58
An American National Standard

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E8/E8M; 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 (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope*

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

1.2 The gage lengths for most round specimens are required to be 4D for E8 and 5D for E8M. The gage length is the most significant difference between E8 and E8M Test Specimens. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

1.3 Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A370 and Test Methods B557, and B557M.

1.4 Room temperature shall be considered to be 10 to 38°C [50 to 100°F] unless otherwise specified.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as separate from inch/pound units. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.6 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:²

A356/A356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines

A370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products

B557 Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products

B557M Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum- and Magnesium-Alloy Products (Metric)

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

E1012 Practice for Verification of Test Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application

E1856 Guide for Evaluating Computerized Data Acquisition Systems Used to Acquire Data from Universal Testing Machines

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 *discontinuous yielding*—in a uniaxial test, a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 *elongation at fracture*—the elongation measured just prior to the sudden decrease in force associated with fracture. For many materials not exhibiting a sudden decrease in force, the elongation at fracture can be taken as the strain measured just prior to when the force falls below 10 % of the maximum force encountered during the test.

3.1.3 *lower yield strength, LYS* [FL^{-2}]—in a uniaxial test, the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.4 *uniform elongation, EL_u* [%]—the elongation determined at the maximum force sustained by the test piece just prior to necking or fracture, or both.

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved Dec. 1, 2009. Published December 2009. Originally approved in 1924. Last previous edition approved 2008 as E8/E8M – 08. DOI 10.1520/E0808_E0808M-09.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright (C) ASTM International, 100 Bar Harbor Dr., PO Box C700 West Conshohocken, Pennsylvania 19380-2929, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Thu Jul 15 12:39:35 EDT 2010

Downloaded/printed by

Universidad Del Valle pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

3.1.4.1 *Discussion*—Uniform elongation includes both elastic and plastic elongation.

3.1.5 *upper yield strength, UYS* [FL^{-2}]*—in a uniaxial test, the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding at or near the onset of plastic deformation.*

3.1.6 *yield point elongation, YPE**—in a uniaxial test, the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening portion of the stress-strain curve at the point of inflection. If there is no point at or near the onset of yielding at which the slope reaches zero, the material has 0% YPE.*

4. Significance and Use

4.1 Tension tests provide information on the strength and ductility of materials under uniaxial tensile stresses. This information may be useful in comparisons of materials, alloy development, quality control, and design under certain circumstances.

4.2 The results of tension tests of specimens machined to standardized dimensions from selected portions of a part or material may not totally represent the strength and ductility properties of the entire end product or its in-service behavior in different environments.

4.3 These test methods are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments. The test methods have been used extensively in the trade for this purpose.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machines*—Machines used for tension testing shall conform to the requirements of Practices E4. The forces used in determining tensile strength and yield strength shall be within the verified force application range of the testing machine as defined in Practices E4.

5.2 Gripping Devices:

5.2.1 *General*—Various types of gripping devices may be used to transmit the measured force applied by the testing machine to the test specimens. To ensure axial tensile stress within the gage length, the axis of the test specimen should coincide with the center line of the heads of the testing machine. Any departure from this requirement may introduce bending stresses that are not included in the usual stress computation (force divided by cross-sectional area).

NOTE 1—The effect of this eccentric force application may be illustrated by calculating the bending moment and stress thus added. For a standard 12.5-mm (0.500-in.) diameter specimen, the stress increase is 1.5 percentage points for each 0.025 mm (0.001 in.) of eccentricity. This error increases to 2.5 percentage points/0.025 mm (0.001 in.) for a 9 mm (0.350-in.) diameter specimen and to 3.2 percentage points/0.025 mm (0.001 in.) for a 6-mm (0.250-in.) diameter specimen.

NOTE 2—Alignment methods are given in Practice E1012.

5.2.2 *Wedge Grips*—Testing machines usually are equipped with wedge grips. These wedge grips generally furnish a satisfactory means of gripping long specimens of ductile metal

and flat plate test specimens such as those shown in Fig. 1. If, however, for any reason, one grip of a pair advances farther than the other as the grips tighten, an undesirable bending stress may be introduced. When liners are used behind the wedges, they must be of the same thickness and their faces must be flat and parallel. For best results, the wedges should be supported over their entire lengths by the heads of the testing machine. This requires that liners of several thicknesses be available to cover the range of specimen thickness. For proper gripping, it is desirable that the entire length of the serrated face of each wedge be in contact with the specimen. Proper alignment of wedge grips and liners is illustrated in Fig. 2. For short specimens and for specimens of many materials it is generally necessary to use machined test specimens and to use a special means of gripping to ensure that the specimens, when under load, shall be as nearly as possible in uniformly distributed pure axial tension (see 5.2.3, 5.2.4, and 5.2.5).

5.2.3 *Grips for Threaded and Shouldered Specimens and Brittle Materials*—A schematic diagram of a gripping device for threaded-end specimens is shown in Fig. 3, while Fig. 4 shows a device for gripping specimens with shouldered ends. Both of these gripping devices should be attached to the heads of the testing machine through properly lubricated spherical-seated bearings. The distance between spherical bearings should be as great as feasible.

5.2.4 *Grips for Sheet Materials*—The self-adjusting grips shown in Fig. 5 have proven satisfactory for testing sheet materials that cannot be tested satisfactorily in the usual type of wedge grips.

5.2.5 *Grips for Wire*—Grips of either the wedge or snubbing types as shown in Figs. 5 and 6 or flat wedge grips may be used.

5.3 *Dimension-Measuring Devices*—Micrometers and other devices used for measuring linear dimensions shall be accurate and precise to at least one half the smallest unit to which the individual dimension is required to be measured.

5.4 *Extensometers*—Extensometers used in tension testing shall conform to the requirements of Practice E83 for the classifications specified by the procedure section of this test method. Extensometers shall be used and verified to include the strains corresponding to the yield strength and elongation at fracture (if determined).

5.4.1 Extensometers with gage lengths equal to or shorter than the nominal gage length of the specimen (dimension shown as "G-Gage Length" in the accompanying figures) may be used to determine the yield behavior. For specimens without a reduced section (for example, full cross-sectional area specimens of wire, rod, or bar), the extensometer gage length for the determination of yield behavior shall not exceed 80% of the distance between grips. For measuring elongation at fracture with an appropriate extensometer, the gage length of the extensometer shall be equal to the nominal gage length required for the specimen being tested.

6. Test Specimens

6.1 General:

6.1.1 *Specimen Size*—Test specimens shall be either substantially full size or machined, as prescribed in the product specifications for the material being tested.

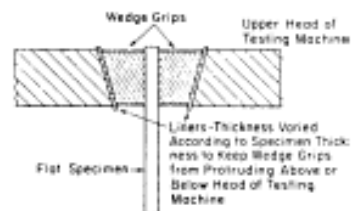


FIG. 2 Wedge Grips with Liners for Flat Specimens

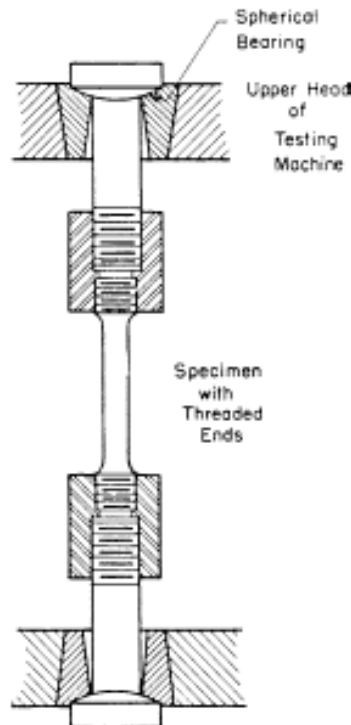


FIG. 3 Gripping Device for Threaded-End Specimens

6.1.2 *Location*—Unless otherwise specified, the axis of the test specimen shall be located within the parent material as follows:

6.1.2.1 At the center for products 40 mm [1.500 in.] or less in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.2.2 Midway from the center to the surface for products over 40 mm [1.500 in.] in thickness, diameter, or distance between flats.

6.1.3 *Specimen Machining*—Improperly prepared test specimens often are the reason for unsatisfactory and incorrect test results. It is important, therefore, that care be exercised in the preparation of specimens, particularly in the machining, to maximize precision and minimize bias in test results.

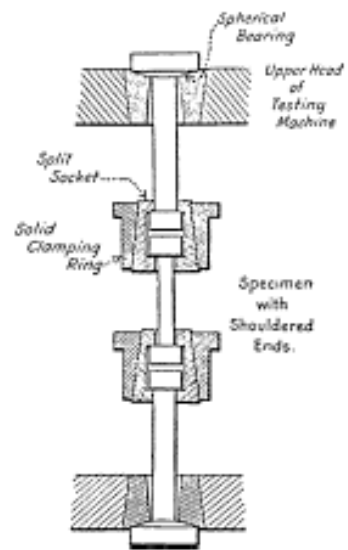


FIG. 4 Gripping Device for Shouldered-End Specimens

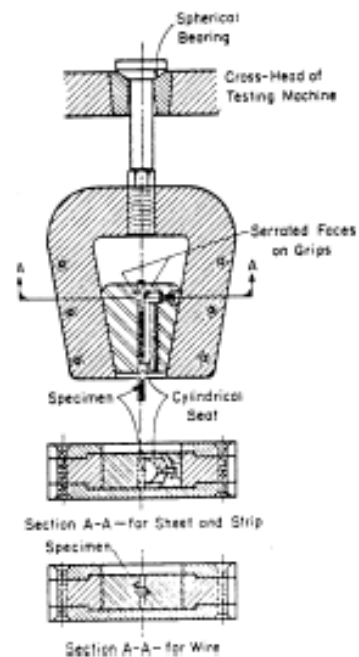
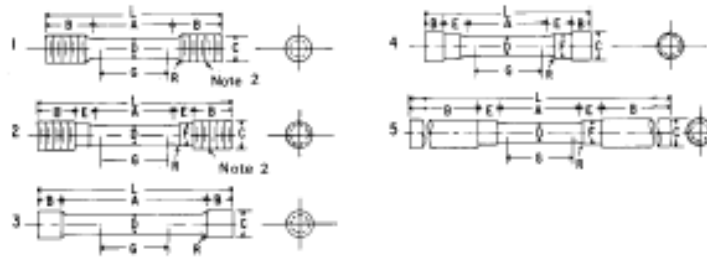


FIG. 5 Gripping Devices for Sheet and Wire Specimens

6.1.3.1 The reduced sections of prepared specimens should be free of cold work, notches, chatter marks, grooves, gouges,

E8/E8M - 09



Dimensions, mm [in.] For Test Specimens with Gage Length Four times the Diameter (E8)					
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0825]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	50 [2.25] min	50 [2.25] min	100 [4] approximate	50 [2.25] min	50 [2.25] min
L—Overall length, approximate	145 [5]	125 [5.0]	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375] approximate	25 [1] approximate	20 [0.75] approximate	15 [0.5] approximate	75 [3] min
C—Diameter of end section	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]
E—Length of shoulder and fillet section, approximate		15 [0.625]		20 [0.75]	15 [0.625]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

Dimensions, mm [in.] For Test Specimens with Gage Length Five times the Diameter (E8M)					
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	10 [0.375]	2 [0.0825]	10 [0.375]	10 [0.375]
A—Length of reduced section	75 [3] min	75 [3] min	75 [3] approximate	75 [3] min	75 [3] min
L—Overall length, approximate	145 [5]	155 [5.5]	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
B—Length of end section (Note 3)	35 [1.375] approximate	25 [1] approximate	20 [0.75] approximate	15 [0.5] approximate	75 [3] min
C—Diameter of end section	20 [0.75]	20 [0.75]	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
E—Length of shoulder and fillet section, approximate		15 [0.625]		20 [0.75]	15 [0.625]
F—Diameter of shoulder		15 [0.625]		15 [0.625]	15 [0.625]

Note 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center with the ends not more than 1% larger in diameter than the center.

Note 2—On Specimens 1 and 2, any standard thread is permissible that provides for proper alignment and aids in assuring that the specimen will break within the reduced section.

Note 3—On Specimen 5 it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

Note 4—The values stated in SI units in the table for Fig. 9 are to be regarded as separate from the inch/pound units. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other.

FIG. 9 Various Types of Ends for Standard Round Tension Test Specimens

6.5.1 For material with a nominal thickness of 0.13 to 5 mm [0.005 to 0.1875 in.], use the sheet-type specimen described in 6.3.

6.5.2 For material with a nominal thickness of 5 to 12.5 mm [0.1875 to 0.500 in.], use either the sheet-type specimen of 6.3 or the plate-type specimen of 6.2.

6.5.3 For material with a nominal thickness of 12.5 to 19 mm [0.500 to 0.750 in.], use either the sheet-type specimen of 6.3, the plate-type specimen of 6.2, or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4 For material with a nominal thickness of 19 mm [0.750 in.], or greater, use the plate-type specimen of 6.2 or the largest practical size of round specimen described in 6.4.

6.5.4.1 If the product specifications permit, material of a thickness of 19 mm [0.750 in.], or greater may be tested using a modified sheet-type specimen conforming to the configuration shown by Fig. 1. The thickness of this modified specimen must be machined to 10 ± 0.5 mm [0.400 ± 0.020 in.], and must be uniform within 0.1 mm [0.004 in.] throughout the

Anexo 9

Extracto de normas de la norma ASTM E-23



Designation: E 23 – 02a

An American National Standard

Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 23; 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 (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 These test methods describe notched-bar impact testing of metallic materials by the Charpy (simple-beam) test and the Izod (cantilever-beam) test. They give the requirements for: test specimens, test procedures, test reports, test machines (see Annex A1) verifying Charpy impact machines (see Annex A2), optional test specimen configurations (see Annex A3), pre-cracking Charpy V-notch specimens (see Annex A4), designation of test specimen orientation (see Annex A5), and determining the percent of shear fracture on the surface of broken impact specimens (see Annex A6). In addition, information is provided on the significance of notched-bar impact testing (see Appendix X1), methods of measuring the center of strike (see Appendix X2), and the availability of Charpy V-notch verification specimens (see Appendix X3).

1.2 These test methods do not address the problems associated with impact testing at temperatures below -196°C (-320°F , 77 K).

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. Inch-pound units are provided 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.* Specific precautionary statements are given in Section 5.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods²

E 399 Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials³

E 604 Test Method for Dynamic Tear Energy of Metallic Materials³

¹These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.07 on Impact Testing.

Current edition approved Nov. 10, 2002. Published May 2003. Originally approved in 1933. Last previous edition approved 2002 as E 23 – 02.

²Annex I Book of ASTM Standards, Vol. 14.02.

³Annex I Book of ASTM Standards, Vol. 03.01.

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method²

E 1271 Practice for Qualifying Charpy Verification Specimens of Heat-treated Steel³

E 1313 Guide for Recommended Formats for Data Records Used in Computerization of Mechanical Test Data for Metals⁴

3. Summary of Test Method

3.1 The essential features of an impact test are: a suitable specimen (specimens of several different types are recognized), a set of anvils, and specimen supports on which the test specimen is placed to receive the blow of the moving mass, a moving mass that has sufficient energy to break the specimen placed in its path, and a device for measuring the energy absorbed by the broken specimen.

4. Significance and Use

4.1 These test methods of impact testing relate specifically to the behavior of metal when subjected to a single application of a force resulting in multi-axial stresses associated with a notch, coupled with high rates of loading and in some cases with high or low temperatures. For some materials and temperatures the results of impact tests on notched specimens, when correlated with service experience, have been found to predict the likelihood of brittle fracture accurately. Further information on significance appears in Appendix X1.

5. Precautions in Operation of Machine

5.1 Safety precautions should be taken to protect personnel from the swinging pendulum, flying broken specimens, and hazards associated with specimen warming and cooling media.

6. Apparatus

6.1 General Requirements:

6.1.1 The testing machine shall be a pendulum type of rigid construction.

6.1.2 The testing machine shall be designed and built to conform with the requirements given in Annex A1.

6.2 Inspection and Verification

⁴Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.01.

6.2.1 Inspection procedures to verify impact machines directly are provided in A2.2 and A2.3. The items listed in A2.2 must be inspected annually.

6.2.2 The procedures to verify Charpy V-notch machines indirectly, using verification specimens, are given in A2.4. Charpy impact machines must be verified annually.

7. Test Specimens

7.1 Configuration and Orientation:

7.1.1 Specimens shall be taken from the material as specified by the applicable specification. Specimen orientation should be designated according to the terminology given in Annex A5.

7.1.2 The type of specimen chosen depends largely upon the characteristics of the material to be tested. A given specimen may not be equally satisfactory for soft nonferrous metals and hardened steels; therefore, many types of specimens are recognized. In general, sharper and deeper notches are required

to distinguish differences in very ductile materials or when using low testing velocities.

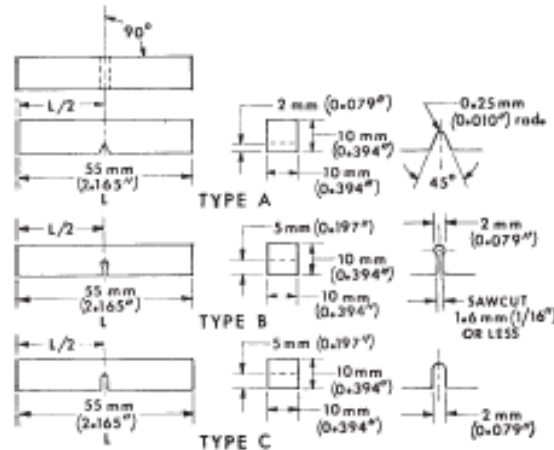
7.1.3 The specimens shown in Figs. 1 and 2 are those most widely used and most generally satisfactory. They are particularly suitable for ferrous metals, excepting cast iron.⁵

7.1.4 The specimen commonly found suitable for die-cast alloys is shown in Fig. 3.

7.1.5 The specimens commonly found suitable for powdered metals (P/M) are shown in Figs. 4 and 5. The specimen surface may be in the as-produced condition or smoothly machined, but polishing has proven generally unnecessary. Unnotched specimens are used with P/M materials. In P/M materials, the impact test results are affected by specimen orientation. Therefore, unless otherwise specified, the position of the specimen in the machine shall be such that the pendulum will strike a surface that is parallel to the compacting direction.

7.1.6 Sub-size and supplementary specimen recommendations are given in Annex A3.

⁵ Report of Subcommittee XV on Impact Testing of Committee A-3 on Cast Iron, Proceedings, ASTM, Vol 33 Part 1, 1953.



Note 1—Permissible variations shall be as follows:

Notch length to edge	90 ± 2°
Adjacent sides shall be at	90° ± 10 min
Cross-section dimensions	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Length of specimen (L)	+0, -2.5 mm (± 0, -0.100 in.)
Centering of notch (L/2)	± 1 mm (± 0.039 in.)
Angle of notch	± 1°
Radius of notch	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Notch depth:	
Type A specimen	± 0.025 mm (± 0.001 in.)
Types B and C specimen	± 0.075 mm (± 0.003 in.)
Finish requirements	2 μm (80 μin.) on notched surface and opposite face; 4 μm (125 μin.) on other two surfaces

FIG. 1 Charpy (8) Impact Test Specimens, Type A, B, and C

Anexo 10

Extracto de normas de la norma ASTM E-112



Designation: E112 – 10

Standard Test Methods for Determining Average Grain Size¹

This standard is issued under the fixed designation E112; 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 approval. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

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 E1181. Measurement of individual, very coarse grains in a fine grained matrix is described in Test Methods E930.

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 E1382.

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
Hiland Single-Circle Procedure		14.2

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E04 on Metallography and are the direct responsibility of Subcommittee E04.09 on Grain Size.

Current edition approved Nov. 1, 2010. Published December 2010. Originally approved in 1955. Last previous edition approved 2004 as E112 – 98(2004) ϵ . DOI: 10.1520/E0112-10.

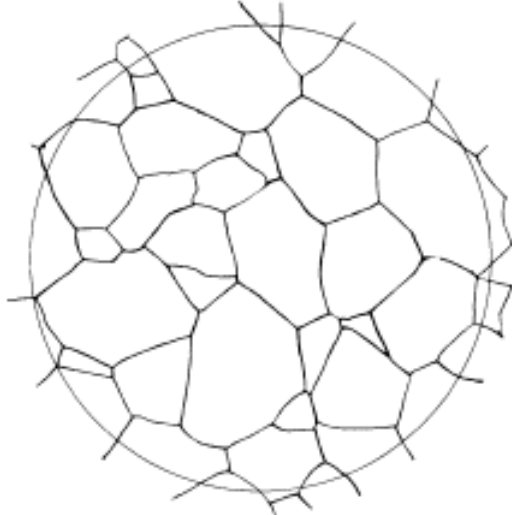


FIG. 1 Example of Untwinned Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

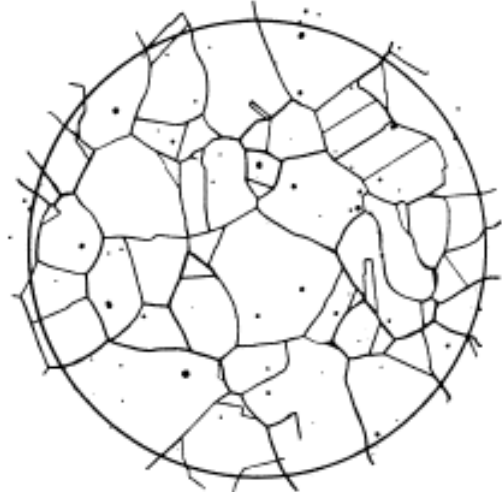


FIG. 2 Example of Twin Grains (Flat Etch) from Plate I. Grain Size No. 3 at 100X

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

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**.

Nom 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



FIG. 3 Example of Twin Grains (Contrast Etch) from Plate III. Grain Size 0.090 mm at 75X

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**.

10.6 Grain size estimations shall be made on three or more representative areas of each specimen section.

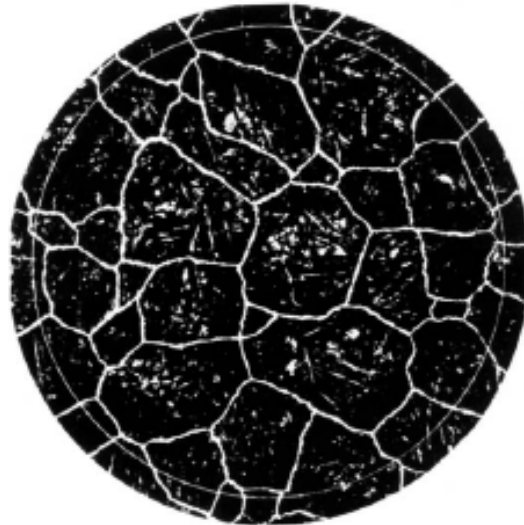


FIG. 4 Example of Austenite Grains in Steel from Plate IV. Grain Size No. 3 at 100X

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 (9.2)	0.030 (7.2)	0.045 (6.0)	0.080 (5.2)	0.075 (4.5)	0.105 (3.8)	0.135 (2.8)	0.150 (2.5)	0.180 (2.0)	0.210 (1.8)	0.270 (0.8)	0.360 (0)	0.451 (0/00)	0.600 (00+)
50X	0.0075 (11.2)	0.015 (9.2)	0.0225 (8.0)	0.030 (7.2)	0.0375 (6.5)	0.053 (5.8)	0.0675 (4.8)	0.075 (4.5)	0.090 (4.0)	0.105 (3.8)	0.135 (2.8)	0.180 (2.0)	0.225 (1.4)	0.300 (0.5)
75X	0.005 (12.3)	0.010 (10.3)	0.015 (9.2)	0.020 (8.3)	0.025 (7.7)	0.035 (6.7)	0.045 (6.0)	0.050 (5.7)	0.060 (5.2)	0.070 (4.7)	0.090 (4.0)	0.120 (3.2)	0.150 (2.5)	0.200 (1.7)
100X	0.00375 (13.2)	0.0075 (11.2)	0.0112 (10.0)	0.015 (9.2)	0.019 (8.5)	0.026 (7.8)	0.034 (6.8)	0.0375 (6.5)	0.045 (6.0)	0.053 (5.8)	0.067 (4.8)	0.090 (4.0)	0.113 (3.4)	0.150 (2.5)
200X	0.0019 (15.2)	0.00375 (13.2)	0.0056 (12.0)	0.0075 (11.2)	0.009 (10.5)	0.013 (9.8)	0.017 (8.8)	0.019 (8.5)	0.0225 (8.0)	0.026 (7.8)	0.034 (6.8)	0.045 (6.0)	0.056 (5.4)	0.075 (4.5)
400X	—	0.0019 (15.1)	0.0028 (14.0)	0.0038 (13.1)	0.0047 (12.5)	0.0067 (11.5)	0.0084 (10.8)	0.009 (10.5)	0.0112 (10.0)	0.0133 (9.5)	0.0168 (8.8)	0.0225 (8.0)	0.028 (7.3)	0.0375 (6.5)
500X	—	—	0.0022 (14.8)	0.003 (13.7)	0.00375 (13.1)	0.00525 (12.1)	0.0067 (11.5)	0.0075 (11.1)	0.009 (10.6)	0.010 (10.3)	0.0133 (9.5)	0.018 (8.7)	0.0225 (8.0)	0.03 (7.1)

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 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:

$$Q = 2 \log_2 (M/M_s) \tag{2}$$

$$= 0.64 \log_{10} (M/M_s)$$

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_s (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.

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.

Anexo 11

Extracto de normas de la norma ASTM E-18



Designation: E 18 – 00

Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials^{1,2}

This standard is issued under the fixed designation E 18; 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 approval. A superscript symbol (^a) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the Rockwell hardness and the Rockwell superficial hardness of metallic materials, including test methods for the verification of machines for Rockwell hardness testing (Part B) and the calibration of standardized hardness test blocks (Part C).

1.2 Values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard. SI units are provided for information only.

1.3 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. (See Note 5.)

Note 1—The National Institute of Standards and Technology (NIST) maintains the national Rockwell hardness standards for the United States. In June 1998, NIST released new Rockwell C scale (HRC) test blocks as Standard Reference Materials (SRMs). The blocks were calibrated using NIST's primary reference standardizing machine. The major benefit of the NIST standards is that their HRC levels are in line with the other industrialized countries around the world. The NIST HRC levels establish the hardness of materials slightly harder than the historical standards used in the United States for the past 75 years. The revision of E 18 requires that all performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines must be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST. This can be accomplished through the use of commercial test blocks calibrated traceable to the NIST standards or by directly using the NIST SRMs. This requirement will apply only to the Rockwell scale(s) for which NIST supplies primary reference test blocks.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E-18 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E18.06 on Indentation Hardness Testing.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as E 18 – 32 T. Last previous edition E 18 – 98.

² In this test method, the term Rockwell refers to an internationally recognized type of indentation hardness test as defined in Section 3, and not to the hardness testing equipment of a particular manufacturer.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 01.03.

- B 19 Specification for Cartridge Brass Sheet, Strip, Plate, Bar, and Disks (Blanks)⁴
- B 36/B36 M Specification for Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 96 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes and Pressure Vessels⁴
- B 97 Specification for Copper-Silicon Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar for General Purposes⁵
- B 103/B 103 M Specification for Phosphor Bronze Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 121/B 121 M Specification for Leaded Brass Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 122/B 122 M Specification for Copper-Nickel-Tin Alloy, Copper-Nickel-Zinc Alloy (Nickel Silver), and Copper-Nickel Alloy Plate, Sheet, Strip, and Rolled Bar⁴
- B 130 Specification for Commercial Bronze Strip for Bullet Jackets⁴
- B 134 Specification for Brass Wire⁴
- B 152 Specification for Copper Sheet, Strip, Plate, and Rolled Bar⁴
- B 291 Specification for Copper-Zinc-Manganese Alloy (Manganese Brass) Sheet and Strip⁴
- B 370 Specification for Copper Sheet and Strip for Building Construction⁴
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁶
- E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁷
- E 140 Hardness Conversion Tables for Metals⁶

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *calibration*—determination of the values of the significant parameters by comparison with values indicated by a reference instrument or by a set of reference standards.

3.1.2 *Rockwell hardness number, HR*—a number derived from the net increase in the depth of indentation as the force on

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 02.01.

⁵ Discontinued, see 1981 Annual Book of ASTM Standards, Part 6.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol. 14.02.

an indenter is increased from a specified preliminary test force to a specified total test force and then returned to the preliminary test force.

3.1.2.1 *Discussion—Indenters*—Indenters for the Rockwell hardness test include a diamond spheroconical indenter and steel ball indenters of several specified diameters.

3.1.2.2 *Discussion—Rockwell hardness numbers* are always quoted with a scale symbol representing the indenter and forces used. The hardness number is followed by the symbol HR and the scale designation.

3.1.2.3 *Examples*—64 HRC = Rockwell hardness number of 64 on Rockwell C scale. 81 HR30N = Rockwell superficial hardness number of 81 on Rockwell 30N scale.

3.1.3 *Rockwell hardness test*—an indentation hardness test using a verified machine to force a diamond spheroconical indenter (diamond indenter), or hard steel ball indenter under specified conditions, into the surface of the material under test in two operations, and to measure the difference in depth of the indentation under the specified conditions of preliminary and total test forces (minor and major loads, respectively).

3.1.4 *Rockwell superficial hardness test*—same as the Rockwell hardness test except that smaller preliminary and total test forces are used.

3.1.5 *verification*—checking or testing to assure conformance with the specification.

4. Significance and Use

4.1 The Rockwell hardness test is an empirical indentation hardness test. Rockwell hardness tests provide useful information about metallic materials. This information may correlate to tensile strength, wear resistance, ductility, and other physical characteristics of metallic materials, and may be useful in quality control and selection of materials.

4.2 Rockwell hardness testing at a specific location on a part may not represent the physical characteristics of the whole part or end product.

4.3 Rockwell hardness tests are considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments, and have been used extensively in industry for this purpose.

4.4 Performance verifications of Rockwell hardness indenters and hardness machines shall be made using test blocks calibrated traceable to the Rockwell standards maintained by NIST when primary reference test blocks are available from NIST for the specific Rockwell scale.

A. GENERAL DESCRIPTION AND TEST PROCEDURE FOR ROCKWELL HARDNESS AND ROCKWELL SUPERFICIAL HARDNESS TESTS

5. Principles of Test and Apparatus

5.1 *General Principles*—The general principles of the Rockwell hardness test are illustrated in Fig. 1 (diamond indenter) and Fig. 2 (ball indenters) and the accompanying Table 1 and Table 2. In the case of the Rockwell superficial test the general principles are illustrated in Fig. 3 (diamond indenter) and Fig. 4 (ball indenter) and the accompanying Table 3 and Table 4.

5.1.1 See *Equipment Manufacturer's Instruction Manual* for a description of the machine's characteristics, limitations, and respective operating procedures. Typical applications of the various hardness scales are shown in Tables 5 and 6. Rockwell hardness values are usually determined and reported in accordance with one of these standard scales. An indenter

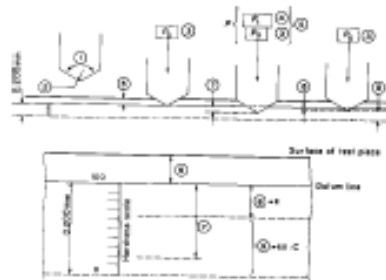


FIG. 1 Rockwell Hardness Test with Diamond Indenter (Rockwell C Example) (Table 1)

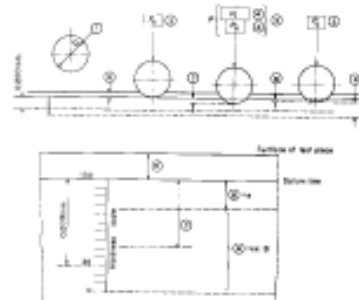


FIG. 2 Rockwell Hardness Test with Steel Ball Indenter (Rockwell B Example) (Table 2)

(diamond cone or steel ball) is forced into the surface of a test piece in two steps under specified conditions (see Section 7) and the difference in depth of indentation is measured as e .

5.1.2 The unit measurement for e is 0.002 mm and 0.001 mm for the Rockwell hardness test and Rockwell superficial hardness test, respectively. From the value of e , a number known as the Rockwell hardness is derived. There is no Rockwell hardness value designated by a number alone because it is necessary to indicate which indenter and force have been employed in making the test (see Table 5 and Table 6).

5.2 *Description of Machine and Method of Test*—The tester for making Rockwell hardness determinations is a machine that measures hardness by determining the difference in penetration depths of an indenter under two specified forces, called

TABLE 1 Symbols and Designations Associated with Fig. 3

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the top of the diamond indenter (120°)
2	...	Radius of curvature at the tip of the cone (0.200 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 10 kgf (98 N)
4	P_1	Additional Force = 140 kgf (1373 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 10 + 140 = 150$ kgf (1471 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of additional force, the increase being expressed in units of 0.002 mm
9	xx HRC	Rockwell C hardness = $100 - e$

TABLE 2 Symbols and Designations Associated with Fig. 2

Number	Symbol	Designation
1	D	Diameter of ball = $1/16$ in. (1.588 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 10 kgf (98 N)
4	P_1	Additional force = 90 kgf (883 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 10 + 90 = 100$ kgf (981 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of the additional force, the increase being expressed in units of 0.002 mm
9	xx HRB	Rockwell B hardness = $130 - e$



FIG. 3 Rockwell Superficial Hardness Test with Diamond Indenter (Rockwell 30N Example) (Table 3)

preliminary and total test forces.

5.2.1 There are two general classifications of the Rockwell test: the Rockwell hardness test and the Rockwell superficial hardness test.

5.2.2 In the Rockwell hardness test the preliminary test force is 10 kgf (98 N). Total test forces are 60 kgf (589 N), 100 kgf (981 N) and 150 kgf (1471 N). In the Rockwell superficial hardness test the preliminary test force is 3 kgf (29 N) and total test forces are 15 kgf (147 N), 30 kgf (294 N), and 45 kgf (441 N). The indenter for either test shall be of a spheroconical or spherical configuration. Scales vary by a combination of total test force and type of indenter.

5.2.3 The difference in depth is normally measured by an

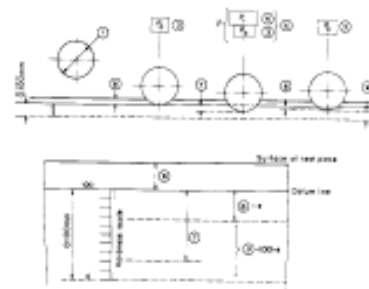


FIG. 4 Rockwell Superficial Hardness Test with Steel Ball Indenter (Rockwell 30T Example) (Table 4)

TABLE 3 Symbols and Designations Associated with Fig. 3

Number	Symbol	Designation
1	...	Angle at the tip of the diamond indenter (120°)
2	...	Radius of curvature at the tip of the cone (0.200 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 3 kgf (29 N)
4	P_1	Additional force = 27 kgf (265 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 3 + 27 = 30$ kgf (294 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of additional force, the increase being expressed in units of 0.001 mm
9	xx HR30N	Rockwell 30N hardness = $100 - e$

TABLE 4 Symbols and Designations Associated with Fig. 4

Number	Symbol	Designation
1	D	Diameter of ball = $1/16$ in. (1.588 mm)
3	P_0	Preliminary Test Force = 3 kgf (29 N)
4	P_1	Additional force = 27 kgf (265 N)
5	P	Total Test Force = $P_0 + P_1 = 3 + 27 = 30$ kgf (294 N)
6	...	Depth of penetration under preliminary test force before application of additional force
7	...	Increase in depth of penetration under additional force
8	e	Permanent increase in depth of penetration under preliminary test force after removal of the additional force, the increase being expressed in units of 0.001 mm
9	XXHR30T	Rockwell 30T hardness = $100 - e$

electronic device or by a dial indicator. The hardness value, as read from the instrument, is an arbitrary number which is related to the difference in the depths produced by the two forces; and since the scales are reversed, the higher the number the harder the material.

5.2.4 In accordance with the operating procedures recommended by the manufacturer of the hardness tester, the test is started by applying the preliminary test force causing an initial penetration of the specimen. Since measurement of the difference in depth starts after the preliminary force has been applied, the dial gage pointer is set to zero if the instrument is a dial indicator model. On a digital readout instrument, the zero point is captured by the electronics automatically. The instrument shall be designed to eliminate the effect of impact in

TABLE 5 Rockwell Hardness Scales

Scale Symbol	Indenter	Total Test Force, kgf	Dial Figures	Typical Applications of Scales
B	1/4-in. (1.588-mm) ball	100	red	Copper alloys, soft steels, aluminum alloys, malleable iron, etc. Steel, hard cast irons, pearlitic malleable iron, titanium, deep case hardened steel, and other materials harder than S100.
C	diamond	150	black	
A	diamond	80	black	Cemented carbides, thin steel, and shallow case-hardened steel. Thin steel and medium case hardened steel, and pearlitic malleable iron.
D	diamond	100	black	
E	1/4-in. (3.175-mm) ball	100	red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals.
F	1/4-in. (1.588-mm) ball	80	red	
G	1/4-in. (1.588-mm) ball	150	red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals. Malleable irons, copper-nickel-zinc and cupro-nickel alloys. Upper limit G80 to avoid possible flattening of ball. Aluminum, zinc, lead.
H	1/4-in. (3.175-mm) ball	80	red	
K	1/4-in. (3.175-mm) ball	150	red	Bearing metals and other very soft or thin materials. Use smallest ball and heaviest load that does not give anvil effect.
L	1/4-in. (6.350-mm) ball	80	red	
M	1/4-in. (6.350-mm) ball	100	red	
P	1/4-in. (6.350-mm) ball	150	red	
R	1/4-in. (12.70-mm) ball	80	red	
S	1/4-in. (12.70-mm) ball	100	red	
V	1/4-in. (12.70-mm) ball	150	red	

TABLE 6 Rockwell Superficial Hardness Scales

Total Test Force, kgf (N)	Scale Symbols				
	N Scale, Diamond Indenter	T Scale, 1/4-in. (1.588-mm) Ball	W Scale, 1/4-in. (3.175-mm) Ball	X Scale, 1/4-in. (8.350-mm) Ball	Y Scale, 1/4-in. (12.70-mm) Ball
15 (147)	15N	15T	15W	15X	15Y
30 (294)	30N	30T	30W	30X	30Y
45 (441)	45N	45T	45W	45X	45Y

applying the preliminary test force.

5.2.5 The additional force is applied for the required dwell time and then removed. The return to the preliminary test force position holds the indenter at the point of deepest penetration yet allows elastic recovery to occur and the stretch of the frame to be factored out. The test result is displayed by the testing machine.

5.3 Indenters:

5.3.1 The standard indenters, as have been mentioned in 3.3, are the diamond spheroconical indenter and steel ball indenters 1/4, 1/4, 1/4, and 1/4 in. (1.588, 3.175, 6.350, and 12.70 mm) in diameter.

5.3.2 The diamond indenter shall conform to the requirements prescribed in 13.1.2.1.

5.3.3 The steel balls shall conform to the requirements prescribed in 13.1.2.2.

5.3.4 Dust, dirt, grease, and scale shall not be allowed to accumulate on the indenter as this will affect the test results.

5.4 Anvils—An anvil shall be used that is suitable for the specimen to be tested. The seating and supporting surfaces of all anvils shall be clean and smooth and shall be free from pits, deep scratches, and foreign material. If the provisions of 6.3 on thickness of the test piece are complied with, there will be no danger of indenting the anvil, but, if it is so thin that the impression shows through on the under side, the anvil may be damaged. Damage may also occur from accidental contacting of the anvil by the indenter. If the anvil is damaged from any cause, it shall be replaced. Anvils showing the least visible dent will give inaccurate results on thin material.

5.4.1 Cylindrical pieces shall be tested with a V-grooved anvil that will support the specimen with the axis of the V-groove directly under the indenter or on hard, parallel, twin cylinders properly positioned and clamped in their base.

5.4.2 Flat pieces shall be tested on a flat anvil that has a smooth, flat bearing surface whose plane is perpendicular to the axis of the indenter.

5.4.3 For thin materials or specimens that are not perfectly flat, an anvil having an elevated, flat spot about 1/4 in. (6 mm) in diameter shall be used. This spot shall be polished smooth and flat and shall have a Rockwell hardness of at least 60 HRC. Very soft material should not be tested on the spot anvil because the applied force may cause the penetration of the anvil into the under side of the specimen regardless of its thickness.

5.4.4 When testing thin sheet material with a ball indenter, it is recommended that a diamond spot anvil be used.

Note 2—Caution: A diamond spot anvil should only be used with a superficial hardness tester and ball indenter. This recommendation should be followed, except when directed otherwise by material specification.

5.5 Test Blocks—Test blocks meeting the requirements of Part C shall be used to periodically verify the hardness tester.

6. Test Piece

6.1 The test shall be carried out on a smooth, even surface that is free from oxide scale, foreign matter, and, in particular, completely free from lubricants (except for reactive metals, such as titanium where lubrication such as kerosene is required).

6.2 Preparation shall be carried out in such a way that any alteration of the surface hardness (for example, due to heat or cold-working) is minimized.

6.3 The thickness of the test piece or of the layer under test should be as dictated in Tables 7-9, and Table 10 and as presented graphically in Figs. 5 and 6. These tables were determined from studies on strips of carbon steel and give reliable results. For all other materials it is recommended that

Anexo 12

Extracto de normas de la norma ASTM E-3



Designation: E 3 – 95

An American National Standard

Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation E 3; 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 approval. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

1. Scope

1.1 The primary objective of metallographic examinations is to reveal the constituents and structure of metals and their alloys by means of the light microscope. In special cases, the objective of the examination may require the development of less detail than in other cases but, under nearly all conditions, the proper selection and preparation of the specimen is of major importance. Because of the diversity in available equipment and the wide variety of problems encountered, the following text presents for the guidance of the metallographer only those practices which experience has shown are generally satisfactory; it cannot and does not describe the variations in technique required to solve individual problems.

Note 1—For a more extensive description of various metallographic techniques, refer to Samuels, L. E., *Metallographic Polishing by Mechanical Methods*, American Society for Metals (ASM) Metals Park, OH, 3rd Ed., 1982; Petzow, G., *Metallographic Etching ASM, 1978*; and Westervort, G., *Metallography: Principles and Practice*, McGraw Hill, NY, 1984.

1.2 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:

- E 7 Terminology Relating to Metallography²
- E 45 Practice for Determining the Inclusion Content of Steel²
- E 340 Test Method for Macroetching Metals and Alloys²
- E 407 Test Methods for Microetching Metals and Alloys²
- E 1077 Test Method for Estimating the Depth of Decarburization of Steel Specimens²
- E 1268 Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures²
- E 1558 Guide to Electrolytic Polishing of Metallographic Specimens²

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-4 on Metallography and is the direct responsibility of Subcommittee E04.01 on Sampling, Specimen Preparation, and Photography.

Current edition approved Jan. 15, 1995. Published March 1995. Originally published as E 3 – 21 T. Last previous edition E 3 – 80 (1986).

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol. 03.01.

3. Significance and Use

3.1 Microstructures have a strong influence on the properties and successful application of metals and alloys. Determination and control of microstructure requires the use of metallographic examination.

3.2 Many specifications contain a requirement regarding microstructure; hence, a major use for metallographic examination is inspection to ensure that the requirement is met. Other major uses for metallographic examination are in failure analysis, and in research and development.

3.3 Proper choice of specimen location and orientation will minimize the number of specimens required and simplify their interpretation. It is easy to take too few specimens for study, but it is seldom that too many are studied.

4. Selection of Metallographic Specimens

4.1 The selection of test specimens for metallographic examination is extremely important because, if their interpretation is to be of value, the specimens must be representative of the material that is being studied. The intent or purpose of the metallographic examination will usually dictate the location of the specimens to be studied. With respect to purpose of study, metallographic examination may be divided into three classifications:

4.1.1 *General Studies or Routine Work*—Specimens from locations that are most likely to reveal the maximum variations within the material under study should be chosen. For example, specimens should be taken from a casting in the zones wherein maximum segregation might be expected to occur as well as specimens from sections where segregation should be at a minimum. In the examination of strip or wire, test specimens should be taken from each end of the coils.

4.1.2 *Study of Failures*—Test specimens should be taken as closely as possible to the fracture or to the initiation of the failure. Before taking the metallographic specimens, study of the fracture surface should be complete, or, at the very least, the fracture surface should be documented. Specimens should be taken in many cases from a sound area for a comparison of structures and properties.

4.1.3 *Research Studies*—The nature of the study will dictate specimen location, orientation, etc. Sampling will usually be more extensive than in routine examinations.

4.2 Having established the location of the metallographic samples to be studied, the type of section to be examined must

E 3

be decided. For a casting, a section cut perpendicular to the surface will show the variations in structure from the outside to the interior of the casting. In hot-worked or cold-worked metals, both transverse and longitudinal sections should be studied. Special investigations may at times require specimens with surfaces prepared parallel to the original surface of the product. In the case of wire and small rounds, a longitudinal section through the center of the specimen proves advantageous when studied in conjunction with the transverse section.

4.3 Cross sections or transverse sections taken perpendicular to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.3.1 Variations in structure from center to surface.

4.3.2 Distribution of nonmetallic impurities across the section.

4.3.3 Decarburization at the surface of a ferrous material (see Test Method E 1077).

4.3.4 Depth of surface imperfections.

4.3.5 Depth of corrosion.

4.3.6 Thickness of protective coatings, and

4.3.7 Structure of protective coating.

4.4 Longitudinal sections taken parallel to the main axis of the material are more suitable for revealing the following information:

4.4.1 Inclusion content of steel (see Practice E 45).

4.4.2 Degree of plastic deformation, as shown by grain distortion.

4.4.3 Presence or absence of banding in the structure (see Practice E 1268), and

4.4.4 The quality attained with any heat treatment.

4.5 The locations of surfaces examined should always be given in reporting results and in any illustrative micrographs. A suitable method of indicating surface locations is shown in Fig. 1.

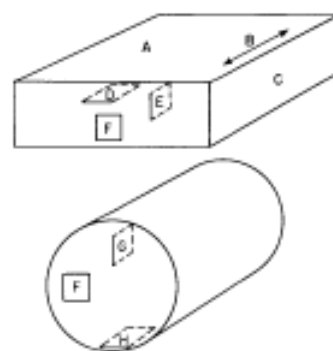
5. Size of Metallographic Specimens:

5.1 The specimens to be polished for metallographic examination are generally not more than about 12 to 25 mm (0.5 to 1.0 in.) square, or approximately 12 to 25 mm in diameter if the material is round. The height of the specimen should be no greater than necessary for convenient handling during polishing.

5.2 It is not always possible to secure specimens having the dimensions given in 5.1, when the material to be examined is smaller than the ideal dimensions. For example, in the polishing of wire, strip, and other small articles, it is necessary to mount the specimens because of their size and shape.

5.2.1 Larger samples may be mounted or not, as the available equipment dictates. However, the larger the specimen, the more difficult it is to prepare, especially by manual methods.

5.2.2 Specimens that are too small to be handled readily during polishing should be mounted to ensure a surface satisfactory for microscopical study. There are, based on technique used, three fundamental methods of mounting specimens (see Sections 7-9).



Symbol in Diagram	Suggested Designation
A	Roller surface
B	Direction of rolling
C	Roller edge
D	Longitudinal (or lengthwise) section parallel to roller surface
E	Longitudinal section perpendicular to roller surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

FIG. 1 Method of Designating Location of Area Shown in Photomicrograph.

body of the material, care must be exercised to minimize altering the structure of the metal. Three common types of sectioning are as follows:

6.1.1 Sawing, whether by hand or machine with lubrication, is easy and fast, and relatively cool. It can be used on all materials with hardnesses below approximately 35 HRC. It does produce a rough surface containing extensive plastic flow that must be removed in subsequent preparation.

6.1.2 An abrasive cut-off wheel will produce a smooth surface often ready for fine grinding. This method of sectioning is normally faster than sawing. The choice of cut-off wheel, lubricant, cooling conditions, and the grade and hardness of metal being cut will influence the quality of the cut. A poor choice of cutting conditions can easily overheat the specimen, producing an alteration of the microstructure. As a general rule, soft materials are cut with a hard bond wheel and hard materials with a soft bond wheel. Aluminum oxide abrasive wheels are preferred for ferrous metals and silicon carbide wheels are preferred for nonferrous alloys. Abrasive cut-off wheels are essential for sectioning metals with hardnesses above about 35 HRC. Extremely hard metallic materials and ceramics may be more effectively cut using diamond-impregnated cutting wheels. Manufacturer's instructions should be followed as to the choice of wheel and speeds.

6.1.3 Flame cutting completely alters the structure of the metal at the flame cut edge. If flame cutting is necessary to remove the specimen, it should be cut sufficiently large so that



E 3

the region of interest is not altered by the heat of the cutting flame.

6.2 Other methods of sectioning are permitted provided they do not alter the microstructure at the plane of polishing. All cutting operations produce some depth of damage, which will have to be removed in subsequent preparation steps.

7. Cleanliness

7.1 Cleanliness (see Appendix XI.) during specimen preparation is essential. All greases and oils on the specimen should be removed by some suitable organic solvent. Failure to clean thoroughly can prevent cold mounting castable resins from adhering to the specimen surface. Ultrasonic cleaning is particularly effective in removing the last traces of residues on a specimen surface.

7.2 Any coating metal that will interfere with the subsequent etching of the base metal should be removed before polishing, if possible. If etching is required, when studying the underlying steel in a galvanized specimen, the zinc coating should be removed before mounting to prevent galvanic effects. The coating can be removed by digestion in cold nitric acid (HNO_3 , sp gr 1.42), in dilute sulfuric acid (H_2SO_4) or in dilute hydrochloric acid (HCl). The HNO_3 method requires care to prevent overheating, since large samples will generate considerable heat. By placing the cleaning container in cold water during the stripping of the zinc, attack on the underlying steel will be minimized.

7.3 Oxidized or corroded surfaces may be cleaned as described in Appendix XI.

8. Mounting of Specimens

8.1 There are many instances where it will be advantageous to mount the specimens prior to grinding and polishing. Mounting of the specimen is usually performed on small, flimsy, or oddly shaped specimens, fractures, or in instances where the specimen edges are to be examined.

8.2 Specimens may be either mechanically mounted, mounted in plastic, or a combination of the two can be used to provide optimum results.

8.3 Mechanical Mounting

8.3.1 Strip and sheet specimens are frequently mounted by binding or clamping several specimens into a pack held together by two end pieces and two bolts. Clamp mounting generally affords a means of rapid mounting with very good edge retention.

8.3.2 The specimens should be tightly bound together to prevent absorption and subsequent exudation of polishing materials or etchants.

8.3.3 The use of filler sheets of a softer material alternated with the specimen may be used in order to minimize the seepage of polishing materials and etchants. Use of filler material is especially advantageous if the specimens have a high degree of surface irregularities.

8.3.4 Filler material must be chosen so as not to react electrolytically with the specimen during etching. Thin pieces of plastic, lead, or copper are typical materials that are used. Copper is especially good for steel specimens since the usual

layer of phenolic or epoxy resin before being placed in the clamp in order to minimize the absorption of polishing materials or etchants.

8.3.6 The clamp material should be similar in composition to the specimen to avoid galvanic effects that would inhibit etching. The specimen will not etch if the clamp material is more readily attacked by the etchant.

8.3.7 The clamp should preferably be of similar hardness as the specimens to minimize the rounding of the edges of the specimens during grinding and polishing.

8.3.8 Exercise care in clamping the specimen. Excessive clamping pressure may damage soft specimens; however, good sealing is required to prevent absorption of polishing materials or etchants.

8.4 Plastic Mounting

8.4.1 Specimens may be embedded in plastic to protect them from damage and to provide a uniform format for both manual and automatic preparation. This is the most common method for mounting metallographic specimens. Mounting plastics may be divided into two classes—compression mounting and castable.

8.4.2 When mounting specimens in plastic, exercise care in order to avoid rounding of specimen edges during the grinding operation. There are several methods available that prevent rounding. The specimens may be surrounded by hard shot, small rivets, rings, etc., of approximately the same hardness or, when using casting resin, a slurry of resin and alumina may be poured around the specimen to prevent rounding. The specimens may also be plated before mounting (see Section 9).

8.4.3 *Compression Mounting*—Thermosetting plastics require the use of a mounting press providing heat (up to approximately 160°C) and pressure (up to approximately 30 MPa). *The finished mounts can be ejected hot but the best results are obtained when the finished mount is cooled under pressure.* There are three types of thermosetting compression mounting plastics used predominantly in the metallographic laboratory. Regardless of the resin used to compression mount specimens, the best results are obtained when (1) the specimens are clean and dry, and (2) the cured mount is cooled under full pressure to below 30°C before ejection from the press.

8.4.3.1 Wood-filled bakelite resins cure in 5 to 10 min, are relatively inexpensive, can be obtained in several colors, and are opaque. These resins have a tendency to pull away from the specimen leaving a crevice, which will trap liquids that later can smear, stain, and obscure a portion of the specimen.

8.4.3.2 Diallyl phthalate resins are less likely to shrink and are more resistance to attack by etchants. They are more expensive than the phenolic resins with about the same hardness.

8.4.3.3 Filled dry epoxy resins provide minimal shrinkage. Commercial resins intended for metallography are usually filled with hard material, minimizing edge rounding during preparation. These resins are the most expensive of the three types of thermosetting plastics. Cost can be reduced by first adding a layer of filled epoxy resin and filling up the remainder



E 3

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. CLEANING SPECIMENS

X1.1 Metallographers frequently need to clean specimens. In some instances, the adherent debris, oxidation, or corrosion product must be collected for analysis, for example, by X-ray diffraction. In other cases, the adherent matter is of no interest, it merely needs to be removed. If the underlying surface is of no interest, the surface can be shot blasted, wire brushed, or ground. However, if the underlying surface is important, for example, a fracture surface, then the cleaning operation must do as little damage as possible. These different aims of the cleaning operation must be kept in mind before formulating the cleaning program.

X1.2 When the adherent material is to be analyzed, a variety of procedures may be applied depending upon whether or not the underlying surface can or cannot be damaged.

X1.2.1 In the case of debris or corrosion product on the surface of a part, a stylus, scalpel, or other sharp object can be used to scrape off or pry off enough material for analysis. This will do some damage to the surface, but it will be localized.

X1.2.2 As an alternative, use cellulose acetate replicating tape to remove surface debris by the extraction replica approach. A number of approaches have been developed and are described in STP 547³ as well as in many textbooks on electron microscopy. Generally, thick (0.127 mm or 0.005 in.) tape is employed. One surface is moistened with acetone and then pressed against the debris-coated surface. After it dries, strip off the tape in the same way as you would remove adhesive tape. The debris will adhere to the tape.

X1.3 When the surface is to be examined, but the adherent debris will not be analyzed, there are several approaches that can be used. Always try the simplest, safest methods first. For example, use a blast of compressed air to remove any loosely adherent material. A soft camel-hair brush or a soft toothbrush may also be useful for removing loosely adherent matter.

X1.3.1 If the techniques in X1.3 do not suffice, try aqueous

solutions, organic solvents, or alcohol with an ultrasonic cleaner. Aqueous solutions (8 g of Alconox per litre of warm water) containing Alconox⁴, a detergent, have been found (1, 2) to be effective. Follow the Alconox bath with washing under running water, then dry. Organic solvents, such as acetone, ethyl methyl ketone, toluene, xylene, or alcohol (ethanol is preferable to methanol because of potential health problems with the latter) are also very effective. Before choosing one of these solutions, be sure that it will not adversely affect the material being cleaned. Avoid use of chlorinated organic solvents (such as trichloroethylene or carbon tetrachloride) due to their carcinogenic nature. Repeated replication, as described in X1.2.2, is an effective method for cleaning fractures (3, 4).

X1.3.2 When the procedures in X1.3 and X1.3.1 are unsuccessful, more drastic methods are required. Electrolytic cleaning solutions (Table X1.1), have been found to be quite useful. An inert material (stainless steel, graphite, or platinum, for example) is used as an anode, while the specimen is the cathode in the electrolytic cell. Some of these solutions can generate dangerous fumes, hence they should be used under a hood with care. Endox 214⁵ has been found (1) to be useful for cleaning heavily rusted steel fractures.

X1.3.3 Cathodic cleaning solutions or acid-inhibited baths have also been employed to clean fractures (3, 5). However, as the degree of corrosion or oxidation increases, fracture features will be destroyed to a greater extent and cleaning, while it can remove the surface deposits, cannot restore damaged fracture features.

X1.3.4 A number of proprietary rust removal solutions have been developed. These are premixed and used directly out of the container. Two such products are described in Refs 6 and 7.

X1.3.5 Cleaning can also be accomplished by argon-ion bombardment (6) or by use of a glow-discharge method (7, 8). These methods require specialized equipment.

⁴ Alconox is available from Alconox, Inc., New York, NY 10003. An equivalent can be used.

⁵ Endox 214 is available from Linthos, Inc., 350 Frontage Rd., West Haven, CT 06516. An equivalent can be used.

³ "Manual Electron Metallography Techniques," 1973. Available from ASTM Headquarters. Request STP 547.

Anexo 13

Registro TR-01

Recolección de datos para ensayo de Tracción



Datos de Carga Vs. Deformación					Reg: TR-01	
Carga (Kg)	Deformación	Carga (Kg)	Deformación	Carga (Kg)	Deformación	
0		7000				
200		7200				
400		7400				
600		7600				
800		7800				
1000		8000				
1200		8200				
1400		8400				
1600		8600				
1800		8800				
2000		9000				
2200		9200				
2400		9400				
2600		9600				
2800		9800				
3000		10000				
3200		10200				
3400		10400				
3600		10600				
3800		10800				
4000		11000				
4200		11200				
4400		11400				
4600		11600				
4800		11800				
5000		12000				
5200						
5400						
5600						
5800						
6000						
6200						
6400						
6600						
6800						

Fuente: Autor

Anexo 14

Registro TR-02

Datos y cálculos para ensayo de tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 																			
CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN																			
Realizado por:	Autorizado por:																		
ENSAYO DE TRACCIÓN	Registro: TR-02																		
Calculos:																			
Tabla. Datos inicial del acero																			
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">Datos Iniciales</th></tr></thead><tbody><tr><td>Material</td><td></td></tr><tr><td>Tratamiento Térmico</td><td></td></tr><tr><td>Longitud Calibrada</td><td></td></tr><tr><td>Diámetro Inicial</td><td></td></tr><tr><th colspan="2">Datos Finales</th></tr><tr><td>Carga Máxima</td><td></td></tr><tr><td>Longitud Final</td><td></td></tr><tr><td>Diámetro Final</td><td></td></tr></tbody></table>		Datos Iniciales		Material		Tratamiento Térmico		Longitud Calibrada		Diámetro Inicial		Datos Finales		Carga Máxima		Longitud Final		Diámetro Final	
Datos Iniciales																			
Material																			
Tratamiento Térmico																			
Longitud Calibrada																			
Diámetro Inicial																			
Datos Finales																			
Carga Máxima																			
Longitud Final																			
Diámetro Final																			
Fuente: Autor																			
Diagrama Deformación- Esfuerzo																			
$\sigma = \frac{F}{A_0}$																			
Área Inicial:	$A_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$																		



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



CÁLCULOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN

Realizado por:

Autorizado por:

ENSAYO DE TRACCIÓN

Registro: TR-02

Deformación ingenieril:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Esfuerzo máximo (Sut):

$$S_{ut} = \frac{P_{Max}}{A_0}$$

Porcentaje de Elongación:

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100$$

Porcentaje de reducción de Área:

$$\% \text{ de reduccion del Área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} * 100$$

Fuente: Autor

Anexo 15

Registro TR-03

Presentación de Diagrama y Propiedades obtenidas del ensayo de tracción



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
		LABORATORIO DE MATERIALES			
DATOS INFORMATIVOS					
ENSAYO DE TRACCIÓN		Registro: TR-03			
Realizado por:		Autorizado por:			
Fecha:		Lugar:			
Probeta:		Instrumento:			
Método:		Marca:			
Norma Aplicada : ASTM - E8		Capacidad:			
 DIAGRAMA DEFORMACIÓN VS. ESFUERZO 					
Longitud Inicial	mm	Carga Máxima			
Longitud Final	mm	Sut			
Díámetro Inicial	mm	% E			
Díámetro Final	mm	% RA			

Fuente: Autor

Anexo 16

Registro CH-01

Registro de energía y cálculos de ensayo charpy

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 	
REGISTRO DE ENERGÍA ABSORBIDA Y CÁLCULOS	
Realizado por: Washington Malán	Autorizado por: Ing. César Arroba, Mg.
ENSAYO DE IMPACTO	Registro: CH-01
<p>Energía Absorbida durante el impacto : _____ Joules</p> <p>Cálculos:</p> <p>Área Transversal:</p> $A_t = l * l_1$ <p>Resistencia al impacto del acero AISI 4140</p> $KCU = \frac{\text{Energía Absorbida al Impacto [N. m]}}{\text{Área Transversal [cm}^2\text{]}}$	

Fuente: Autor

Anexo 17

Registro CH-02

Registro de presentación de ensayo Charpy


	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
DATOS INFORMATIVOS		
Realizado por:	Autorizado por:	
Fecha:	Lugar:	
Probeta:	Registro: CH-02	
PARÁMETROS DE ENSAYO CHARPY		
Norma Aplicada : ASTM - E23	Instrumento:	
Tipo de Muesca: V	Temperatura Ambiente:	
Energía Absorbida:		Área Transversal :
RESULTADOS		
Detalle Referencial		
 <p style="text-align: center;">IMAGEN DE RUPTURA (FOTO)</p>		
Resistencia al Impacto		
<u>KCU</u>		<u>J/cm²</u>

Fuente: Autor

Anexo 18

Registro MT-01

Registro de observación de metalografía



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
DATOS INFORMATIVOS		
Análisis Metalográfico	Registro: MT-01	
Realizado por:	Supervisado por:	
Fecha:	Lugar:	
Probeta:	Temperatura Ambiente:	
PARÁMETROS DEL ENSAYO		
Acondicionamiento de superficie		
Tiempo de preparación de la superficie		
Reactivo químico y tiempo de ataque		
RESULTADO		
IMAGEN DE MICRO-ESTRUCTURA		
DETALLE TRATAMIENTO Y MATERIAL Y AUMENTOS DE VISTA		

Fuente: Autor

Anexo 19

Registro MT-02

Registro de análisis de metalografía



	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES	
EVALUACIÓN DE LA MICRO-ESTRUCTURA		
Análisis Metalográfico	Registro: MT-02	
Muestra		
IMAGEN DE MICRO-ESTRUCTURA APLICADO SOFTWARE		
COMPONENTES DE MICRO-ESTRUCTURA		
PORCENTAJES DE ANALISIS DE MICRO ESCRUCTURA		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		

Fuente: Autor

Anexo 20

Registro DS-01

Registro de Dureza Superficial

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA LABORATORIO DE MATERIALES 		
DATOS INFORMATIVOS		
Ensayo de Dureza	Registro: DS-01	
Realizado por:	Autorizado por:	
Fecha:	Lugar:	
Probeta:	Tipo de Estudio :	
PARÁMETROS DE ENSAYO DE DUREZA		
Método:	Instrumento:	
Norma Aplicada : ASTM - E18	Carga Aplicada :	
Tipo de Identador		
RESULTADOS		
Muestra		Detalle Referencial
N° Medición	Dureza HRC	IMAGEN DE DETALLE DE LAS MEDICIONES
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
PROMEDIO		

Fuente: Autor