

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE PREVIO  
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE POLIMERIZACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA PINTURA EPOXI POLIÉSTER APLICADA EN LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ S.A.”

---

**AUTOR:** Alvaro Ricardo Valencia Medina

**TUTOR:** Ing. Mg. GONZALO LÓPEZ

**AMBATO – ECUADOR**

**2014**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de Tutor del trabajo investigativo “ESTUDIO DE UN SISTEMA DE POLIMERIZACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA PINTURA EPOXI POLIÉSTER APLICADA EN LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ S.A.”. Elaborado por Alvaro Ricardo Valencia Medina, egresado de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica, carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente informe es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Está concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato. Agosto, 2014

-----  
Ing. Mg. Gonzalo López  
**DOCENTE INGENIERÍA MECÁNICA**

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

Declaro que el contenido del trabajo investigativo “ESTUDIO DE UN SISTEMA DE POLIMERIZACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA PINTURA EPOXI POLIÉSTER APLICADA EN LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ S.A.”, así como sus ideas, opiniones, resultados, análisis, conclusiones y propuesta son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del presente proyecto.

Ambato. Agosto, 2014

-----  
Egdo. Alvaro Ricardo Valencia Medina

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme fuerza para seguir adelante y no desmayar ante la adversidad.

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba

A mis padres Olmedo y Glenda, a todos mis hermanos por su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles.

A mis compañeros y amigos porque de todos he aprendido mucho, es imposible olvidar los momentos agradables que hemos compartido.

## **AGRADECIMIENTO**

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora

Al Ing. Mg. Gonzalo López tutor de tesis, por su ayuda, colaboración y orientación en la realización del presente trabajo investigativo.

A todos mis profesores y a las personas que de una u otra manera contribuyeron en mi formación personal y espiritual, porque me enseñaron que las mayores satisfacciones se alcanzan cuando las cosas se hacen con esfuerzo, dedicación y honestidad.

## ÍNDICE GENERAL

Certificación.....	II
Autoría.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Índice general.....	VI
Resumen ejecutivo.....	XX
Executive summary.....	XXI

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### CAPÍTULO I

1. El problema .....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Contextualización.....	1
1.1.2 Análisis crítico.....	3
1.1.3 Prognosis .....	3
1.1.4 Formulación del problema.....	4
1.1.5 Delimitación del objeto de investigación .....	4
1.1.5.1 Espacial .....	4
1.1.5.2 Temporal .....	5
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5

1.3.2	Objetivos específicos.....	5
-------	----------------------------	---

## **CAPÍTULO II**

2.	Marco teórico .....	7
2.1	Investigaciones previas .....	7
2.2	Fundamentación filosófica .....	9
2.3	Categorías fundamentales .....	9
2.4	Sistemas de polimerización.....	10
2.4.1	Polimerización por resistencia eléctrica y convección forzada.....	11
2.4.2	Polimerización a gas por convección forzada.....	15
2.4.3	Polimerización de paneles infrarrojos.....	16
2.4.4	Polimerización.....	20
2.4.5	Hornos de polimerización .....	20
2.4.6	Clasificación de los hornos de polimerización.....	20
2.4.8	Preparación de superficies.....	23
2.4.9	Preparación del metal.....	24
2.4.10	Fosfatización .....	26
2.4.10.1	Historia.....	26
2.4.11	Equipos de aplicación para pintar con pintura en polvo .....	28
2.4.12	Las pistolas electrostáticas .....	29
2.4.13	Cabinas de aplicación.....	30

2.4.14	Salud y medio ambiente .....	31
2.4.15	Futuro de la pintura en polvo .....	32
2.4.16	Control de calidad .....	33
2.4.17	Pintura electrostática .....	34
2.4.18	Tipos de pintura en polvo .....	35
2.4.19	Flexión en vigas .....	38
2.4.20.	Esfuerzos de flexión en vigas.....	38
2.4.21.	Columnas .....	40
2.4.21	Razón de esbeltez.....	42
2.4.22	Análisis de columna corta .....	43
2.5	Hipótesis.....	44
2.6	Señalamiento de variables.....	44

### **CAPÍTULO III**

3.	Metodología .....	45
3.1	Enfoque investigativo.....	45
3.2	Modalidad básica de la investigación .....	45
3.3	Nivel o tipo de investigación.....	46
3.4	Población y muestra .....	46
3.4.1	Población.....	46
3.4.2	Muestra.....	46



3.4 Operacionalización de las variables .....	48
3.4.1 Variable independiente.....	48
3.4.2 Variable dependiente.....	49
3.5 Plan de recolección de la información .....	50
3.6 Procesamiento y análisis .....	50
3.6.1 Plan de procesamiento de la información .....	50
3.6.2 Plan de análisis de la información.....	51

## **CAPÍTULO IV**

4. Análisis e interpretación de resultados.....	52
4.1 Análisis de datos obtenidos en los ensayos.....	52
4.1.1. Factores que influyen en la calidad de la pintura epoxi poliéster. ....	52
4.1.2. Tratamientos previos del material que se debe hacer para la aplicación de la pintura epoxi poliéster.....	54
4.1.3 Ensayo de polimerización en el horno estático con quemadores a gas.....	57
4.1.4 Ensayo de curado en horno eléctrico bache .....	60
4.1.5 Ensayo de curado en horno infrarrojo de paneles catalíticos.....	62
4.2 Resultados de los ensayos obtenidos.....	64
4.2.1 Ensayos de Calidad en la Pintura Epoxi Poliéster. ....	64
4.2.2 Pinturas y productos afines. Determinación de la dureza de película método del lápiz. “INEN 1001” .....	64

4.2.3 Pinturas y productos afines. Determinación de la flexibilidad mediante mandriles cónicos. “INEN 1002” .....	66
4.2.4 Pinturas y productos afines. Determinación del impacto directo e inverso. “INEN 1005” .....	69
4.2.5 Pinturas y productos afines. Determinación de adherencia mediante prueba de la cinta. “INEN 1006” .....	71
4.2.6 Pinturas y productos afines. Determinación de la resistencia a la llama (método comparativo). “INEN 1008” .....	75
4.2.7 Resultados de las pruebas realizadas.....	81
4.3 Interpretación de resultados .....	82
4.3 Verificación de hipótesis.....	83

## **CAPÍTULO V**

5. Conclusiones y recomendaciones .....	85
5.1 Conclusiones .....	85
5.3 Recomendaciones.....	86

## **CAPÍTULO VI**

6 Propuesta.....	88
6.1 Datos informativos .....	88
6.2 Antecedentes de la propuesta .....	88
6.3 Justificación.....	89
6.4 Objetivos .....	89

6.4.1 Objetivo general.....	89
6.4.2 Objetivos específicos .....	89
6.5 Análisis de factibilidad.....	90
6.6 Fundamentación .....	90
6.6.1 Determinación de la carga en el horno.....	90
6.6.2 Distribución interna de la carga de los productos en el horno .....	91
6.6.3 Distancias, tiempos y velocidades necesarias para la polimerización de los productos .....	93
6.7 Metodología .....	94
6.7.1 Esquema del horno.....	94
6.7.2 Cálculo del coeficiente de convección.....	95
6.7.3 Coeficiente de convección externo .....	96
6.7.4 Coeficiente de convección interno .....	98
6.7.5 Tiempo de calentamiento de los productos.....	99
6.7.6 Selección del material de aislamiento .....	104
6.7.7 Calor necesario para el proceso de polimerización.....	106
6.7.8 Cálculo de la pérdida de calor .....	109
6.7.9. Rendimiento térmico .....	122
6.7.10. Selección del ventilador .....	123
6.7.11. Diseño de ductos .....	124

6.7.12. Perdidas en la succión .....	126
6.7.13. Perdidas en la descarga .....	127
6.7.14. Cálculo de las resistencias.....	130
6.7.15. Cálculo numérico de los elementos de resistencia.....	132
6.7.16. Diseño estructural del horno. ....	134
6.7.17. Cálculo de cargas .....	135
6.7.18. Cálculo de pórticos.....	142
6.7.19. Cálculo de momentos.....	144
6.7.20. Cálculo de reacciones.....	146
6.7.21. Cálculo de esfuerzos máximos.....	148
6.7.22. Cálculo de columna recta. ....	148
6.7.23. Análisis estructural mediante software. ....	152
6.7.24. Cálculo de placa base .....	153
6.7.25. Diseño del transportador del producto .....	157
6.7.26. Eje del rodamiento .....	162
6.7.27. Eje del pasador .....	163
6.7.28. Eje del pasador y eslabón.....	164
6.7.29. Selección del rodamiento .....	165
6.7.30. Selección de cadena - catalina.....	172
6.7.31. Selección del variador de velocidad.....	174

6.7.32. Sistema de control .....	176
6.7.33. Órgano de medición y control XMTG .....	176
6.7.34. Selección de la termocupla .....	177
6.7.35. Selección del contactor .....	178
6.7.36. Relé térmico .....	179
6.7.37. Selección del cable eléctrico .....	181
6.7.38. Diseño de los pernos de anclaje de la estructura.....	182
6.8 Administración.....	187
6.8.1 Costos directos. ....	187
6.8.2 Costos indirectos. ....	188
6.8.3 Mano de obra.....	189
6.8.4 Costos varios. ....	190
6.8.5 Costo total de la construcción del horno y del estudio realizado.....	191
6.8.6 Calculo del VAN y TIR .....	191
6.9 Previsión de la evaluación.....	192
6.10 Bibliografía .....	192
Anexos .....	195
Catalogo .....	243
Planos .....	252

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Red de categorías fundamentales. ....	10
Figura 2-2: Resistencia con aletas aluminizadas.....	11
Figura 2-3: Resistencia con aletas helicoidales en acero inoxidable. ....	12
Figura 2-4: Resistencia blindada tipo doble M.....	12
Figura 2-5: Convección forzada.....	13
Figura 2-6: Perfiles de velocidad .....	13
Figura 2-7: Flujo del aire al interior del horno.....	15
Figura 2-8: Quemador a gas.....	15
Figura 2-9: Espectro de radiación. ....	17
Figura 2-10: Emisión de calor panel infrarrojo.....	18
Figura 2-11: Panel infrarrojo catalítico .....	20
Figura 2-12: Pieza antes y después del desengrase.....	24
Figura 2-13: Cubas de Desengrase en Caliente.....	25
Figura 2-14: Piezas limpiadas por decapado.....	26
Figura 2-15: Cubas de Fosfatización.....	27
Figura 2-16: Equipos para la aplicación de la pintura en polvo.....	28
Figura 2-17: Unidad alimentadora .....	29
Figura 2-18: Pistola electrostática.....	29
Figura 2-19: Cabinas de aplicación.....	31

Figura 2-20: Fuerzas y esfuerzo sobre un elemento de la viga de longitud $dx$ .....	39
Figura 2-21: Valores de K para longitud efectiva.....	41
Figura 4-1: Curva de curado de la pintura epoxi poliéster.....	53
Figura 4-2: Sensores de temperatura.....	59
Figura 4-3: Curvas de curado de la pintura epoxi poliéster, horno estático con quemadores a gas. ....	59
Figura 4-4: Sensores de temperatura.....	61
Figura 4-5: Curvas de curado de la pintura epoxi poliéster, horno eléctrico bache. ....	61
Figura 4-6: Sensores de temperatura.....	63
Figura 4-7: Curvas de curado de la pintura epoxi poliéster, horno infrarrojo de paneles catalíticos.....	63
Figura 4-8: Implementos para el ensayo de dureza.....	65
Figura 4-9: Ejecución del ensayo de dureza .....	66
Figura. 4-10: Implementos para el ensayo de flexibilidad.....	67
Figura 4-11: Ejecución del ensayo de flexibilidad.....	68
Figura 4-12: Ejecución de ensayo de impacto .....	70
Figura 4-13: Implementos para el ensayo de adherencia .....	72
Figura 4-14: Cortes en la platina.....	73
Figura 4-15: Desprendimiento de la cinta.....	74
Figura 4-16: Mechero.....	76

Figura 4-17: Ejecución del ensayo de resistencia a la llama.....	77
Figura 4-18: Prueba de adherencia.....	81
Figura 4-19: Prueba de adherencia.....	81
Figura 4-20: Prueba de resistencia a la llama.....	81
Figura 6-1: Separación de los productos.....	92
Figura 6-2: Estructura principal del horno.....	94
Figura 6-3: Estructura externa e interna del horno.....	95
Figura 6-4: Espesor de aislamiento.....	104
Figura 6-5: Resistencia del horno.....	111
Figura 6-6: Estructura simétrica en pórtico de soporte fijo.....	142
Figura 6-7: Diagrama de cuerpo libre del pórtico.....	142
Figura 6-8: Pórtico fijo con carga concentrada en el centro.....	145
Figura 6-9: Momentos de una carga concentrada en el centro.....	145
Figura 6-10: Relación de esfuerzos en la estructura.....	153
Figura 6-11: Placa base de Cimentación.....	154
Figura 6-12: Diagrama Transportador.....	157
Figura 6-13: Diagrama Transportador.....	157
Figura 6-14: Diagrama de Fuerzas en el rodamiento.....	159
Figura 6-15: Sujetador de Gancho.....	160
Figura 6-16: Eje del rodamiento.....	162



Figura 6-17: Pasador de Cadena. ....	164
Figura 6-18: Eslabón y Pasador. ....	164
Figura 6-19: Rodamiento. ....	166
Figura 6-20: Ajuste del eje.....	172
Figura 6-21: Cadena.....	172
Figura 6-22: Motor Reductor. ....	175
Figura 6-23: Controlador de temperatura.....	177
Figura 6-24: Termocupla.....	177
Figura 6-25: Contactor. ....	179
Figura 6-26: Relés térmicos. ....	179
Figura 6-27: Mando. ....	181
Figura 6-28: Cable.....	181
Figura 6-29: Fuerzas y Momentos en la placa base. ....	182
Figura 6-30: Distancias de pernos.....	183
Figura 6-31: Equilibrio de las fuerzas y el momento en el plano de corte.....	184
Figura 6-32: Diagrama de la fuerza de corte resultante para el perno A.....	184
Figura 6-33: Diagrama de la fuerza de corte resultante para el perno A.....	185

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.Comparacion de diferentes tipos de pintura. ....	8
Tabla 2-2.Tabla de emisividad.....	19

Tabla 2-3. Propiedades mecánicas epoxi. ....	35
Tabla 2-4. Propiedades mecánicas poliéster-tgic .....	36
Tabla 2-5. Propiedades mecánicas epoxi/poliéster .....	37
Tabla 2- 6.Comparación de desempeño tipos de pinturas.....	38
Tabla 3-1. Operacionalización de la variable independiente.- Estudio de un sistema de polimerización. ....	48
Tabla 3-2. Operacionalización de la variable dependiente.- Calidad de la pintura epoxi poliéster. ....	49
Tabla 3-3. Plan de recolección de datos .....	50
Tabla 4-1. Proceso de Limpieza.....	57
Tabla 4-2.Características del horno estático con quemadores a gas .....	58
Tabla 4-3. Características del horno eléctrico bache. ....	60
Tabla 4-4. Características del horno infrarrojo de paneles catalíticos. ....	62
Tabla 4-5. Clasificación de los resultados del ensayo de adherencia. ....	74
Tabla 4-6. Comparación de los hornos industriales .....	82
Tabla 4-7. Comparación costos de hornos industriales.....	83
Tabla 6-1. Productos mensuales a pintar y sus pesos.....	91
Tabla 6-2. Dimensión de la arista Mayor.....	93
Tabla 6-3. Distancias y tiempos del horno.....	93
Tabla 6-4 .Dimensiones y sus propiedades térmicas del horno .....	113
Tabla 6-5. Cálculo de la pérdida de Calor.....	113

Tabla 6-6. Dimensiones y sus propiedades térmicas del horno .....	114
Tabla 6-7. Calculo de la perdida de Calor.....	114
Tabla 6-8. Dimensiones y sus propiedades térmicas del horno .....	115
Tabla 6-9. Calculo de la perdida de Calor.....	116
Tabla 6-10. Dimensiones y sus propiedades térmicas del horno .....	117
Tabla 6-11. Calculo de la pérdida de Calor.....	117
Tabla 6-12. Pérdidas de calor .....	120
Tabla 6-13. Componentes del Transportador.....	158
Tabla 6-14: Característica del rodamiento. ....	168
Tabla 6-15. Características de la cadena .....	172
Tabla 6-16. Características del motor reductor.....	176
Tabla 6-17. Campos de reglaje de los relés térmicos.....	180
Tabla 6-18 .Costos Directos .....	187
Tabla 6-19. Costos Indirectos .....	189
Tabla 6-20. Mano de Obra .....	190
Tabla 6-21. Administración de la tesis.....	190

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

“ESTUDIO DE UN SISTEMA DE POLIMERIZACIÓN PARA MEJORAR LA CALIDAD DE LA PINTURA EPOXI POLIÉSTER APLICADA EN LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ S.A.”

**Autor:** Alvaro Ricardo Valencia Medina

**Tutor:** Ing. Mg. Gonzalo López

**Fecha:** 25 de Agosto de 2014

**RESUMEN**

El presente trabajo de investigación se desarrolló en ciudad de Ambato en el cual se determinó las fallas que conlleva una sobre polimerización y su incidencia en los productos de la empresa Ecuamatriz S.A. apoyadas en las normas técnicas ecuatorianas para el control de calidad de pintura, las cuales permiten garantizar el buen funcionamiento de los recubrimientos superficiales en cuanto a propiedades mecánicas, químicas, color, brillo y textura.

En el diseño del horno de polimerización se consideró la selección de los materiales para la estructura principal y la cámara de polimerización, aislamiento térmico, ductos de ventilación, transporte y los elementos de resistencia.

Para lograr esta optimización se ha hecho un diagnóstico del funcionamiento de los siguientes sistemas: infrarrojo de paneles catalíticos, eléctrico bache, estático con quemadores a gas, ventilador y los aparatos para la recirculación de aire caliente.

Las pruebas fueron controladas en base a los parámetros que necesita la empresa, para cumplir con los ambientes de funcionamiento, tales como: niveles de consumo de energético, calidad de producto, etc.

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

"STUDY OF POLYMERIZATION SYSTEM TO IMPROVE THE QUALITY  
OF EPOXY POLYESTER PAINT APPLIED IN GOODS ECUAMATRIZ SA "

**Author:** Alvaro Valencia Ricardo Medina

**Tutor:** Ing. Mg. Gonzalo López.

**Date:** August 25, 2014

**SUMMARY**

This research was developed in Ambato in which failures leading to an over polymerization and its incidence was determined in the company's products Ecuamatrix S.A. supported by the Ecuadorian technical standards for quality control of paint, which allow ensure the smooth operation of surface coatings in mechanical, chemical, color, brightness and texture properties.

In the curing oven design the choice of materials for the main structure and the polymerization chamber, thermal insulation, ventilation ducts, transport and resistance elements are considered.

To achieve this optimization has made a diagnosis of the operation of the following systems: Infrared catalytic panels, electric bump, static gas burners, fan and apparatus for recirculation of hot air.

The tests were controlled based on the parameters required the company to meet operating environments, such as energy consumption levels, product quality, etc.

## **CAPÍTULO I**

### **1. EL PROBLEMA**

Estudio de un sistema de polimerización para mejorar la calidad de la pintura epoxi poliéster aplicada en los productos de la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda.

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.1.1 Contextualización**

En los últimos 50 años la industria ha perfeccionado los recubrimientos de pintura en polvo, mejorando no sólo sus materiales y componentes, sino también el proceso y la técnica de aplicación. Actualmente este revestimiento está altamente posicionado en el sector metalmecánico, gracias a que disminuye costos, se aplica rápido y produce pocos residuos, minimizando el impacto ambiental.

En los países industrializados se considera la polimerización como parte esencial de un producto terminado ya que este debe pasar por la inspección final.

La pintura en polvo ha ido ganando gran popularidad y aceptación en el mercado de los recubrimientos industriales no sólo en Estados Unidos y Europa, sino también en países vecinos como Brasil y Chile. El éxito de esta pintura radica en sus excepcionales propiedades finales: dureza, resistencia a la corrosión, excelente acabado, fácil aplicación y aceptabilidad ambiental.

Siendo una de las alternativas más limpias y eficientes, la pintura en polvo es un tipo de revestimiento orgánico que se usa para cubrir y proteger todo tipo de materiales metálicos. Comparada con las pinturas líquidas, es la única que tiene componentes secos cien por ciento libres de solventes.

Uno de los problemas actuales de la pintura epoxi poliéster es el polimerización de ésta, pues se trata de la apariencia final de las piezas lo que determina, en un principio, la calidad del producto. Para esto es muy importante seleccionar el tipo de proceso adecuado de acuerdo a su actividad, teniendo en cuenta costos y niveles de calidad, producción que se requieren.

Para la correcta polimerización de la pintura es muy importante mantenerse en los rangos establecidos puesto que el exceso de las mismas puede traer consecuencias como cambio de color, disminución de brillo, manchado y disminución en las propiedades mecánicas.

En el Ecuador aún se sigue considerando que la polimerización es simplemente colocar la superficie pintada en el horno sin tener en cuenta el tiempo adecuado que este debe estar, sin tener en cuenta los equipos de control de calidad para el acabado.

Las necesidades de aplicación de la polimerización, no son solo un problema del futuro sino también del presente, ya que cada uno de los sectores industriales y tecnológicos demandan un interés de desarrollo acorde a los procesos, empleando estrategias para mejorar sus procesos y minimizar el impacto de los cambios tecnológicos, para poder sustentar este desarrollo a través del tiempo.

La elaboración de productos de calidad se sustenta en el control de calidad realizadas a las características del producto y durante el proceso, de la polimerización equivocado de estos, puede ocasionar la entrega de productos defectuosos o el rechazo de los productos que no cumplen su especificación, reclamos de clientes, aumento de los costos de producción o pérdida de imagen y confianza. Para evitar estos problemas es necesario asegurar un nivel adecuado del acabado.

Mientras no se realice la polimerización adecuada, no se puede comprobar la calidad de un producto y más aún, producirla, ocasionando pérdidas significativas para la Empresa por productos rechazados; es por ello que este proceso surgió como

una necesidad del Estudio de un Sistema de Acabado que conlleva a optimizar el proceso de polimerización en la Empresa ECUAMATRÍZ CIA. LTDA.

### **1.1.2 Análisis crítico**

En la actualidad, en el Ecuador existen un gran número de empresas de renombre nacional e internacional, pero son pocas las que han desarrollado un Estudio de un Sistema de Polimerización de la pintura Epoxi Poliéster en el proceso de pintura.

En algunas ocasiones solo se considera el secado de la pintura como parte fundamental en el proceso de pintura, ignorando los factores del polimerización que pueden existir en el sistema, por ejemplo: los factores ambientales, humanos, fuentes de calor, calibración en los equipos de control de calidad, etc., se puede indicar un sin número de efectos que pueden provocar cambios en el producto final.

ECUAMATRÍZ CIA. LTDA., mediante el Estudio de un Sistema de Polimerización para mejorar la calidad de la pintura Epoxi Poliéster, se conseguirá la uniformidad del acabado en el proceso de pintura y producción cumpliendo de esta manera con las exigencias y parámetros establecidos por el cliente para obtener un producto garantizado.

### **1.1.3 Prognosis**

Una vez conocido el problema se pueden identificar los problemas como: pérdida de concursos por incumplimiento de los parámetros requeridos por el cliente, perder el renombre alcanzado durante varios años de trabajo, bajar la producción y que esto conlleve a la disminución tanto de personal como activos de la Empresa, aumento de gastos por adquisición de instrumentos y equipos innecesarios, pérdida en la producción por piezas inconformes.



#### **1.1.4 Formulación del problema**

¿Qué sistema de polimerización permitirá mejorar la calidad de la pintura epoxi poliéster que garantice la confiabilidad de los productos de la empresa Ecuamatrix S.A.?

##### **a) Preguntas directrices**

- ¿Qué factores afectan la calidad de la pintura epoxi poliéster?.
- ¿Qué tratamientos previos al material se debe hacer para la aplicación de la pintura epoxi poliéster?.
- ¿Existe un estudio realizado sobre el sistema de polimerización que garantice la calidad de la pintura epoxi poliéster?.
- ¿Qué tipo de polimerización será el apropiado para mejorar la calidad la pintura epoxi poliéster?.
- ¿De qué manera influye la polimerización en la calidad del producto elaborado?.

#### **1.1.5 Delimitación del objeto de investigación**

##### **1.1.5.1 Espacial**

El estudio de un sistema de polimerización se desarrollará en la Empresa de Matricería y Producción Ecuamatrix Cía. Ltda. ubicada a 1 kilómetro y medio de la Panamericana Norte de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua, sector Parque Industrial – Primera Etapa, calles 4 y F.

### **1.1.5.2 Temporal**

El presente estudio se llevará a cabo entre los meses de Diciembre del 2013 a Mayo del 2014.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

El motivo de este proyecto es conocer y buscar soluciones para mejorar la productividad, se vio en la necesidad de desarrollar un estudio para la implementación de un Sistema de Polimerización, cuyo sistema ayudará para el proceso de calificación de la Norma ISO 9001 (2009), que garantizará la calidad del producto y por ende la obtención de asegurar la confiabilidad de los tipos de polimerización que se realicen, lo cual contribuirá con el fortalecimiento de la capacidad competitiva de sus productos con estándares de calidad establecidos por clientes.

Para este estudio se realizará un control de calidad en la Empresa en sus diferentes departamentos como son: Diseño, Control de Calidad y Producción.

Esto permitirá un equilibrio de los intereses de proveedores y consumidores, optimizando de ésta forma el uso de los recursos y promoviendo la aplicación de las tecnologías más adecuadas, con la finalidad de lograr una producción de calidad.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo general**

Estudiando un sistema de polimerización mejorara la calidad de la pintura epoxi poliéster aplicada en los productos de la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Identificar los factores que influyen en la calidad de la pintura epoxi poliéster.

- Identificar la preparación del material apropiado para la aplicación de la pintura epoxi poliéster.
  
- Realizar un estudio de los sistemas de polimerización que garantice la calidad de la pintura epoxi poliéster.
  
- Seleccionar un sistema de polimerización apropiado para garantizar la calidad de la pintura epoxi poliéster.
  
- Proponer una alternativa de solución que conlleve a la calidad de la polimerización de la pintura epoxi poliéster.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS

La necesidad de minimizar los tiempos de producción, las grandes pérdidas e inconvenientes que trae consigo la aplicación para lacas líquidas, y tratando de mejorar la calidad superficial de los recubrimientos superficiales requeridos por la industria, se comienza a invertir en la búsqueda de nuevas técnicas para la protección anticorrosiva y acabados superficiales.

Es así como a partir del año 1950, se comienzan a realizar estudios con partículas de pintura en polvo, las cuales eran aplicadas sobre la superficie de un objeto polarizado de manera contraria al polvo, generándose entre ellos una atracción magnética que permitía la adherencia de las partículas a la superficie. Es entonces cuando Allen H. Turner en 1962 realiza la primera patente de este procedimiento de recubrimientos por electrostática, y nace la necesidad de utilizar los recubrimientos en polvo como alternativa para un acabado superficial más eficiente y de menor costo. A partir de entonces la empresa británica, “Volstatic LTDA”, es la pionera en la adaptación de este nuevo principio de recubrimiento basado en la electrostática. En Suiza nace la empresa “GEMA” en 1975, que con sus experimentos dota de la tecnología necesaria a la empresa “Ransburg”, para incursionar en la fabricación de equipos para la aplicación de este tipo de recubrimientos. De esta manera esas tres empresas, fueron las más destacadas en los inicios de esta nueva tecnología. [5]

Inician operaciones en los Estados Unidos de Norte América a comienzos de los años 80, década en la que crece exponencialmente el uso de esta innovadora técnica en la industria mundial.

**Tabla 2-1.** Comparacion de diferentes tipos de pintura.

	<b>Pintura liquida de aplicaci3n manual</b>	<b>Pintura liquida</b>	<b>Pintura en polvo</b>
Pre tratamiento	Desengrase por trapeado	Desengrase y fosfatizado por spray	Desengrase y fosfatizado por inmersi3n ambas caras.
Tipo de pintura	Fondo anticorrosivo sint3tico	Esmalte acrilico anticorrosivo	Poli3ster en polvo
Aplicaci3n	Liquida con aplicaci3n. Productos con carga mineral para darle mayor rendimiento	Liquida con proyeci3n por copa rotante utilizado por la industria automotriz. Aplicaci3n robotizada. Pintura sin carga mineral de mayor pureza.	Final en polvo. Electrost3tica. Una vez se hornea a 180°C para producir polimerizaci3n y lograr una capa uniforme. Aplicaci3n robotizada.
Secado	El secado es al aire. Puede generar diferencias en color y brillo dependiendo de las condiciones clim3ticas del momento.	El proceso de secado se acelera con horno a 80°C. Evita marcas en la manipulaci3n posterior de la cobertura. Permite un color y brillo uniformes	Fundido en horno a 180°C. La pintura en polvo se polimeriza transform3ndose en una pel3cula uniforme adherida a los productos
Durabilidad	Baja. Requiere repintado inmediato para su uso a la intemperie.	Media. El fosfatizado genera una pel3cula que, junto con la capa de pintura, impide la oxidaci3n. No protege ante rayaduras.	Alta. La extrema dureza de la pel3cula de polvo poli3ster protege de impactos y rayaduras.
Conclusi3n	La pintura solo cumple la funci3n de proteger.	Muy buena terminaci3n. Mayor poder de cobertura. Extiende la protecci3n para los primeros a3os.	Excelente terminaci3n. Uniforme, pareja, controlada. Lista para usar. Libre de mantenimiento de pintura posterior.

**Fuente:** (Deluxe pintura al horno)

Hoy en día esta técnica es utilizada en casi todos los sectores industriales que precinden de un recubrimiento superficial para la protección o estética de sus productos. [2]

La comparación de los diferentes tipos de acabados superficiales: fondo anticorrosivo y final en polvo, a continuación se muestran las diferentes sustancias entre una y otra tecnología.

## **2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA**

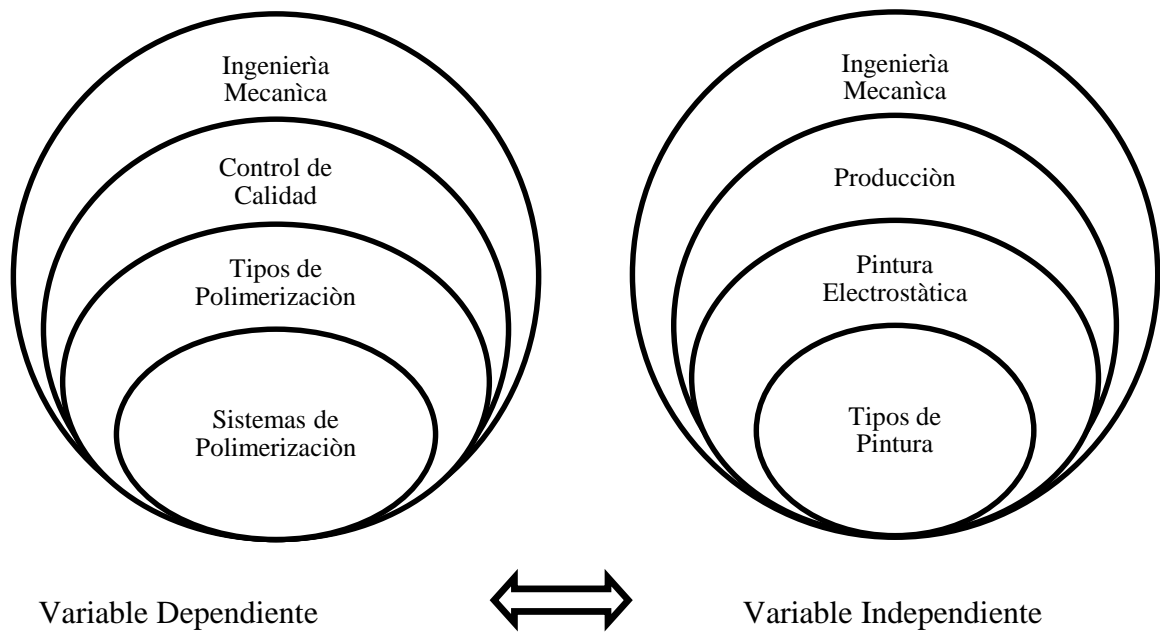
Los avances tecnológicos han permitido que las empresas se muevan a un ritmo acelerado. Con el tiempo las cosas han cambiado en pro de la búsqueda del perfeccionamiento personal y empresarial, dejando de lado los métodos tradicionalistas, por lo que cada día existen actualizaciones del mundo globalizado. Es así que las Empresas buscan métodos actuales que permitan actuar con rapidez, eficiencia en los procesos de producción.

## **2.3 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES**

¿Estudio de un sistema de polimerización para mejorar el acabado y secado de la pintura epoxi poliéster aplicada en los productos de la empresa Ecuamatrix S.A?

X= Estudio de un sistema de polimerización.

Y= Mejorar el acabado y secado de la pintura epoxi poliéster.



**Figura 2-1:** Red de categorías fundamentales.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

## 2.4 SISTEMAS DE POLIMERIZACIÓN

La polimerización de la pintura electrostática sobre la pieza es activar la reacción química del sistema de resinas por medio de calor. El perfecto balance del sistema de sustratos y el período en que la temperatura de este sustrato permanece en la especificación entregada por los boletines técnicos (para cada línea de productos) determinará la perfecta estabilidad y la performance especificada para los ensayos Físicos y Químicos.

Existe una clasificación principal de estos hornos de acuerdo al tipo de operación:

**a) Convección:** Estos hornos consiguen llegar a la temperatura de curado a través del calentamiento del aire dentro de la cámara de polimerización donde se colocan las piezas. Se pueden utilizar quemadores de gas como resistencias eléctricas. y sistemas de recirculación de aire para generar la convección forzada.

**b) Radiación:** Estos hornos utilizan la radiación infrarroja para llegar a la temperatura deseada. La presencia de calor radiante es gradual y el funcionamiento reside en la absorción de la radiación por los objetos.

**c) Eléctricos:** Los hornos infrarrojos eléctricos son generalmente continuos debido a que las piezas deben estar en contacto directo con la radiación.

#### **2.4.1 Polimerización por resistencia eléctrica y convección forzada.**

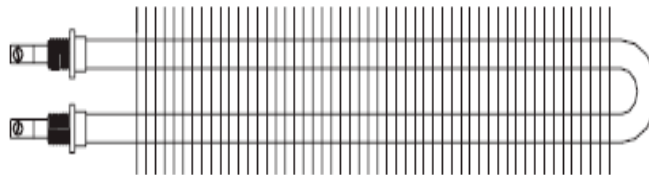
Los hornos eléctricos son más sencillos y de muchos usos en la industria, en el cual se genera calor mediante la corriente eléctrica utilizando un elemento resistivo que rodea el horno.

En los hornos que se calientan desde el exterior, los hornos de resistencia son especialmente útiles en aplicaciones en la que la temperatura pueda controlarse de forma precisa.

Existen diferentes tipos de resistencias para diferentes aplicaciones, en donde su ubicación dentro del horno también cumple un papel fundamental en el desempeño del mismo. Las resistencias más comunes utilizadas en los hornos de curado por resistencia eléctrica son:

##### **a) Resistencia con aletas aluminizadas.**

Elementos que por la afiliación de aletas aluminizadas permite una gran transmisión de calor al ambiente. Éste tipo de aletas rectangulares y la conductividad térmica del aluminio. La temperatura máxima de funcionamiento: 250°C



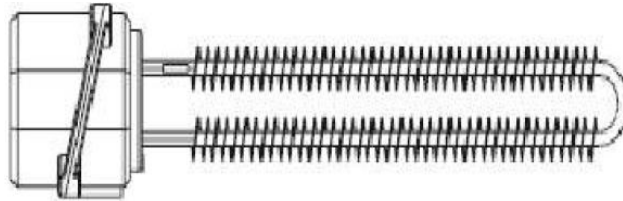
**Figura 2-2:** Resistencia con aletas aluminizadas.

**Fuente:**(TopResistance@2002)



**b) Resistencia con aletas helicoidales en acero inoxidable.**

Elementos especialmente estudiados para el calentamiento de aire a temperaturas elevadas. Admite una temperatura máxima del aire a 400°C con convección forzada.

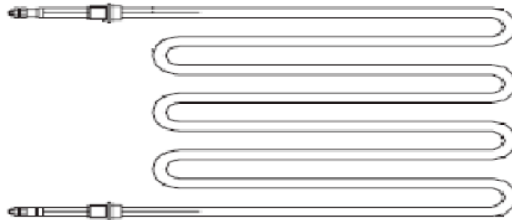


**Figura 2-3:** Resistencia con aletas helicoidales en acero inoxidable.

**Fuente:** (TopResistance@2002)

**c) Resistencia blindada tipo doble M.**

Elementos especialmente estudiados para el calentamiento de aire a una temperatura máxima de 400°C con convección forzada mínima de 3m/s. Son muy utilizadas para hornos industriales y baterías.

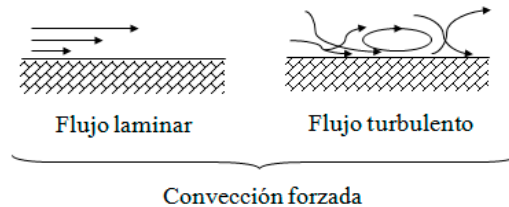


**Figura 2-4:** Resistencia blindada tipo doble M.

**Fuente:** (TopResistance@2002)

Además de la resistencia eléctrica encargada de proporcionar la energía calorífica al interior del horno, se necesita aire circundante, el cual será el encargado de homogenizar la temperatura dentro del horno. Este principio de funcionamiento se basa en la teoría de transferencia de calor por convección forzada.

Cuando un fluido caliente se mueve en contacto con una superficie fría, el calor se transfiere hacia la pared a un ritmo que depende de las propiedades del fluido y si se mueve por convección forzada, se dice que puede ser por flujo laminar o por flujo turbulento.



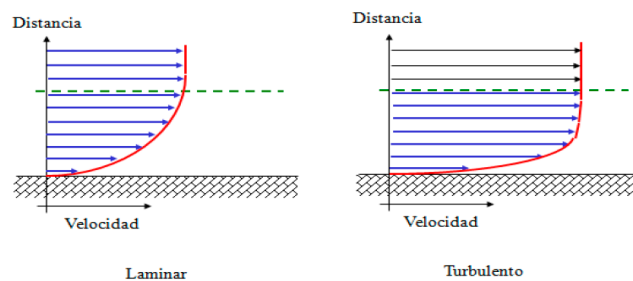
**Figura 2-5:** Convección forzada.  
**Fuente:** (K Galsгаа, 1999)

La convección es un fenómeno de transporte (materia y energía) que tiene su origen en diferencias de densidad. Cuando un fluido se calienta, se expande; en consecuencia su densidad disminuye.

$$Q = hA(T - T_{\infty}) = h A \Delta T$$

**Ecuación 2.1**

Si se tiene flujo laminar o flujo turbulento, varían de las propiedades de la convección debido a que afecta la distancia que recorre el fluido a la misma velocidad. Esto hace que sea más homogénea la transferencia de calor para el flujo turbulento como se puede apreciar en la figura 2.6.



**Figura 2-6:** Perfiles de velocidad  
**Fuente:** (K Galsгаа, 1999)

Como las piezas aplicadas de pintura electrostática para industria de matriceria, no presentan formas iguales, se debe establecer su funcionamiento en los principios de transferencia de calor para objetos sumergidos. Para flujo en conductos definiéndose un coeficiente de transferencia calórica según:

$$Q = h m A (T - T_{\infty})$$

**Ecuación 2.2**

Donde

A = Área de transferencia

T<sub>0</sub> = Temperatura media de la superficie del sólido

T<sub>∞</sub> = Temperatura del fluido lejos del sólido.

También en estos sistemas se puede definir un coeficiente local de transferencia de energía según:

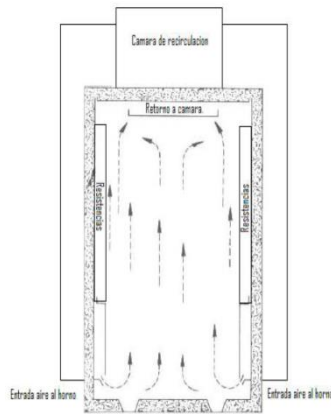
$$dQ = h \log (T_o - T_{\infty}) dA$$

**Ecuación 2.3**

Donde

T<sub>0</sub> = Temperatura de la superficie del sólido en un punto de superficie dA.

Para que se dé la convección forzada, los hornos requieren de moto-ventiladores en su interior, dispuestos de manera especial en cámaras sellada de recirculación para conservar el continuo movimiento del aire al interior del horno.



**Figura 2-7:** Flujo del aire al interior del horno  
**Fuente:** (Caltec@2008)

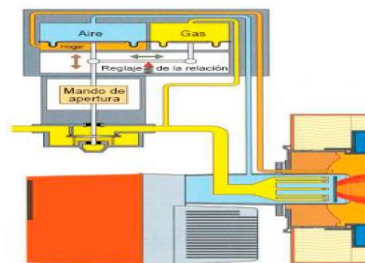
La cámara de recirculación es por medio de ductos laterales de inducir el aire al interior del horno, en el cual se calienta gracias a las resistencias eléctricas ubicadas en los laterales del mismo.

La eficiencia que tienen estos hornos para transferir el calor generado por las resistencias eléctricas depende del movimiento del fluido que genera este sistema.

#### 2.4.2 Polimerización a gas por convección forzada.

Los hornos a gas por convección forzada son muy similares a los de resistencia eléctrica por convección forzada, la diferencia es la fuente de la energía calorífica que se va a transferir a las piezas que se desean curar.

Para los hornos a gas el elemento que nos entregara esta energía calorífica se llama quemador.



**Figura 2-8:** Quemador a gas.  
**Fuente:** (Cuenod@,2009)

La variación de la temperatura máxima de los productos de combustión en función del exceso de aire de la combustión.

El calor disponible está definido como:

$$Q_{\text{disp}} = \text{PCS} - Q_{\text{gases}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde

$Q_{\text{DISP}}$  = Calor disponible

PCS = Poder calorífico superior del combustible

La eficiencia de un quemador está asociada a la energía química que es posible ser transformada en calentamiento de los productos de combustión.

Eficiencia de la combustión en un quemador a gas.

$$n_{\text{comb}} = \frac{\text{PCS} - (H_{\text{prod}} - H_{\text{react}})}{\text{PCS}} * 100\%$$

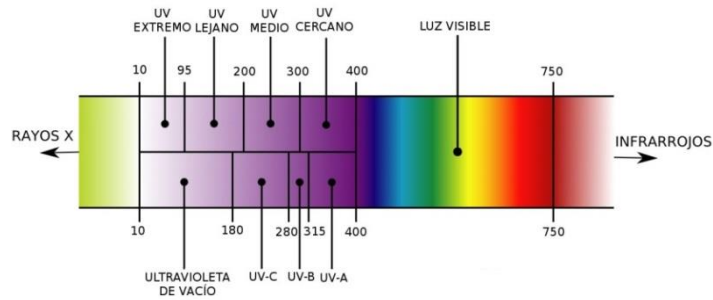
**Ecuación 2.5**

La Ecuación 2.5 muestra el comportamiento de la eficiencia de combustión de acuerdo a la temperatura que poseen los gases inmediatamente a la salida del quemador.

### **2.4.3 Polimerización de paneles infrarrojos.**

La técnica infrarroja ofrece ventajas importantes para determinados procesos industriales de secado, en los que resulta mucho más efectiva comparada con sistemas de calentamiento por convección.

La calefacción infrarroja consiste en la transferencia de energía térmica desde una fuente a un material, cuerpo o recubrimiento, por radiación electro-magnética. Esta energía radiante puede ser producida por diversas fuentes, tales como las ultravioleta, de radio frecuencia, o infrarrojas.



**Figura 2-9:** Espectro de radiación.  
**Fuente:** (Mckellar@2002)

La energía infrarroja es radiada a través del aire en forma de ondas electromagnéticas, y tal como la luz es direccional y puede ser enfocada, reflejada y absorbida por un cuerpo cercano.

No toda la energía infrarroja es absorbida por un material, un cuerpo o una superficie.

Ley de Stefan Boltzmann mientras más alta es la temperatura de la fuente, mayor es la radiación que emite y mayor es su eficiencia.

Ley de Boltzmann.

$$Q_{emitida} = \sigma A_S T_S^4$$

**Ecuación 2.6**

Donde

$\sigma = 5.67 \text{ E-}8 \text{ W/ (m}^2\text{k}^4\text{)}$  constante de Boltzmann

$A_S = \text{Área de la superficie emisora.}$

$T_S = \text{Temperatura de la superficie emisora}$

En la práctica, todos los cuerpos son grises; tienen un factor de emisividad o absorción menor que 1.

Calor emitido

$$Q_{emitida} = \varepsilon \sigma A_S T_S^4$$

**Ecuación 2.7**

Donde

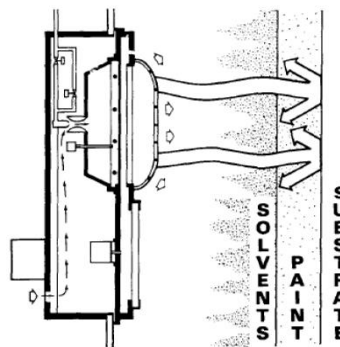
$\sigma = 5.67 \text{ E-}8 \text{ W/ (m}^2\text{k}^4\text{)}$  constante de Boltzman

$A_S =$  Área de la superficie emisora

$T_S =$  Temperatura de la superficie emisora

$\varepsilon =$  Es el valor de la emisividad

Al emitir la radiación infrarroja, las ondas viajan a la velocidad de la luz hacia la pieza cubierta de pintura electrostática. La porción absorbida de la radiación es convertida en energía térmica.



**Figura 2-10:** Emisión de calor panel infrarrojo

**Fuente:** (Franklin@2005)

**Tabla 2-2.**Tabla de emisividad.

<b>Material</b>	<b>Pulido</b>	<b>Opaco</b>	<b>Oxidado</b>
Aluminio	0,04	0,056	0,11-0,19
Bronce	0,03	0,06-0,2	0,6
Cobre	0,018-0,02	-	0,57
Oro	0,018-0,035	-	-
Hierro	0,12-0,40	0,75	0,80-0,95
Acero inoxidable	0,11	0,57	0,80-0,95
Plomo	0,057-0,075	0,28	0,63
Níquel	0,45-0,87	-	-
Plata	0,02-0,035	-	-
Estaño	0,04-0,065	-	-
Zinc	0,045-0,053	-	0,11
Hierro galvanizado	0,228	-	0,267
Ladrillo	0,75-0,93	-	-
Carbón	0,927-0,967	-	-
Roble plano	0,895	-	-
Papel	0,924-0,944	-	-
Plástico	0,86-0,95	-	-
Porcelana esmaltada	0,924	-	-
Cuarzo	0,932	-	-
Refractarios	0,65-0,91	-	-
Goma	0,86-0,95	-	-
Agua	0,95-0,963	-	-
Barniz	0,8-0,95	-	-
Esmalte	0,85-0,91	-	-
Oleos	0,92-0,96	-	-
Pintura aluminio	0,27-0,67	-	-

**Fuente:** (Bossman, 2000)



Este equipo no controla temperatura. Controla potencia entregada por los paneles por medio de recetas.



**Figura 2-11:** Panel infrarrojo catalítico  
**Fuente:** (Premac@2009)

#### **2.4.4 Polimerización**

Es la parte más crítica de toda la línea de recubrimientos con pinturas en polvo, se nivela y endurece la pintura aplicada por vaciado electrostático cuidadosamente; por que las características de temperatura fluidez de una pintura son peculiares y determinan cómo será la nivelación de la película curada.

Las resinas y sus agentes de curado se entrecruzan volviéndose más viscosas con el tiempo.

Las propiedades finales de un recubrimiento solo se logran uniformemente sobre la pieza, si los componentes son tratados en condiciones térmicas equivalentes.

#### **2.4.5 Hornos de polimerización**

Los Hornos de combustión son utilizados principalmente para la generación de calor en el interior del horno se lo puede obtener mediante la combustión de combustible o la conversión de energía eléctrica en calor.

#### **2.4.6 Clasificación de los hornos de polimerización**

La extensa gama de hornos se pueden clasificar según su aplicación, su fuente de energía, el proceso y su función.

**a) Clasificación según su aplicación.**

➤ Hornos domésticos.

Son hornos de baja temperatura utilizados principalmente para cocinar alimentos, su uso es específicamente en hogares.

➤ Hornos Industriales.

Son hornos de media y alta temperatura utilizados para transformar la materia prima mediante el calentamiento o la fundición de la misma.

**b) Clasificación según su fuente de energía.**

➤ Combustión de combustible.

Los hornos de combustión utilizan combustible sólido, líquido o gaseoso dependiendo del tipo de quemador.

➤ Conversión de la energía eléctrica en calor.

Se fundamentan en la utilización de resistencias eléctricas pueden alcanzar altas temperaturas.

**c) Clasificación según el proceso.**

➤ Hornos de carga por lotes.

El material permanece estático durante todo el proceso de calentamiento hasta retirar la carga y reemplazar por otro lote.

➤ Hornos continuos.

En estos hornos el material no permanece estático se desplaza a lo larga del horno mientras se calienta.

#### **d) Clasificación según su función.**

➤ Hornos de Fusión.

La función principal de este tipo de horno es la de fundir los materiales o minerales de hierro.

➤ Hornos de Recalentar.

Su función es el calentamiento de piezas para procesos de laminación, extrusión, forja, estampación y conformado.

➤ Hornos de Tratamiento Térmico.

Su función es la de conferir una propiedad al material. Algunos de los tratamientos existentes son:

Recocido, normalizado, temple, revenido, etc.

Cementación, carbonitruración, cianuración, etc.

Recubrimiento por galvanización, estañado, esmaltado, etc.

#### **e) Por su fuente de calor**

Las fuentes de calor de los hornos por lo general pueden ser de dos tipos: de combustión y de conversión de energía eléctrica a calor.

➤ Hornos Discontinuos y Continuos

Los hornos discontinuos se caracterizan por tener un punto máximo de temperatura al cual estarán sometidas las cargas.

➤ Por el tipo de combustible

Los hornos calentados eléctricamente normalmente utilizan resistencias eléctricas o se calientan por medio de inducción. Existen muchos otros tipos de calentamiento

eléctrico o electrónico. Entre los más importantes procesos de calentamiento por arcos de plasma, láser, radiofrecuencias, microondas y calentamiento electromagnético.

#### **d) Hornos por Recirculación**

Los hornos de temperaturas medias y bajas (bajo 760 °C) normalmente utilizan sistemas de recirculación de gases.

##### ➤ De Fuego Directo o de Fuego Indirecto

Si la llama o los gases de combustión circulan sobre la carga del horno, entonces se puede decir que es un horno de fuego directo.

Para productos que pueden ser afectados por la llama o por los gases de combustión, se prefiere utilizar otros métodos de calentamiento como pueden ser los tubos radiantes o los intercambiadores de calor.

#### **2.4.7 Factores que afectan la calidad de la pintura.**

La calidad de la pintura final depende de diversos factores a lo largo del proceso de pintado. Algunos de los más importantes son:

- Equipo de pintado.
- Calidad y Tipo de pintura a utilizar.
- Condiciones de aplicación.

#### **2.4.8 Preparación de superficies**

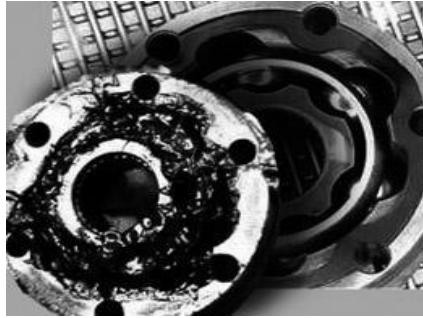
La preparación de superficie es suministrar la máxima adherencia de la pintura. Es eliminar todo tipo de material extraño que impida el contacto del recubrimiento con el sustrato y segundo proporcionar una superficie donde pueda anclarse con firmeza para desarrollar la máxima adherencia posible.

La oxidación deben ser totalmente eliminados mediante sistemas manuales o mecánicos hacer manualmente.

### 2.4.9 Preparación del metal

En general se habla de dos tipos que pueden ser Desengrase y Decapado (mecánico o químico) y fosfatizado.

#### a) Desengrase



**Figura 2-12:** Pieza antes y después del desengrase  
**Fuente:** [www.dow.com](http://www.dow.com)

Estos actúan de tres maneras diferentes: emulsión, peptización y saponificación.

- Emulsión: Se entiende la formación de una mezcla de líquidos que no se separan en capas al reposar.
- Peptización : Es el término dado a la reducción de partículas sólidas de suciedad en una forma finamente dividida, con lo cual se eliminan fácilmente.
- Saponificación: Es el nombre científico para la formación de jabón, que resulta de la acción química del álcali con grasas y aceites animales y vegetales.

#### b) Desengrasado por disolventes

Los disolventes actúan por reacciones moleculares las ventajas y desventajas se considerarse principios básicos:

El uso se incrementa la contaminación del disolvente que debe ser regenerado por destilación.

Las piezas metálicas que dan sobre su superficie una película de disolvente y una fracción de grasa disuelta que no se evapora con el disolvente.

### c) **Desengrasantes en caliente**

El desengrase en caliente es el método más general y común de los normalmente utilizados, especialmente en la primera eliminación.



**Figura 2-13:** Cubas de Desengrase en Caliente

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### d) **Desengrasado electrolítico**

El baño en ácido sulfúrico diluido, tiene el objeto de evitar transporte de residuos alcalinos a otros baños, y es indispensable su realización para obtener un neutralizado perfecto.

### e) **Decapado**

El decapado es un tratamiento superficial de metales que se utiliza para eliminar impurezas, tales como manchas, contaminantes inorgánicos o escoria.

#### ➤ Clases de decapado

Decapado mecánico: Consiste únicamente en el chorro centrifugado con granalla de las piezas a tratar.

Decapado químico: Es la eliminación de los óxidos de la superficie del metal base mediante su disolución química o electroquímica.



**Figura 2-14:** Piezas limpiadas por decapado

**Fuente:** euro-inox.org

## **2.4.10 Fosfatización**

### **2.4.10.1 Historia**

Los procesos modernos de fosfatizado empiezan con la necesidad de evitar que las varillas metálicas de los corsets comenzaran a oxidarse destruyendo la tela.

Inglés llamado Coslett calentaba esas varillas hasta el rojo vivo, y las introducía rápidamente en ácido fosfórico obteniendo así el primer proceso de fosfatizado.

En los últimos veinte años la expansión del mercado de fosfatizantes, vino obligado por varias circunstancias:

- El desarrollo de pinturas en polvo.
- Rendimiento y durabilidad de los productos.
- Uso de metales no ferrosos, (aluminio, zinc, etc.)

#### **a) Definición**

Los fosfatizantes son productos químicos derivados del ácido fosfórico que reaccionan con el metal base produciendo una película continua y poco porosa, que impide el desarrollo de la corrosión.

- Protege transitoriamente la pieza a ser cubierta.
- Aumenta perceptiblemente la adherencia de la pintura a la superficie.

- Entrega protección contra la corrosión durante el tiempo de vida del producto.



**Figura 2-15:** Cubas de Fosfatización  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### **b) Tipos de fosfatizantes**

- Fosfatizantes manuales: Para usos menores básicamente son desoxidantes y desengrasantes.
- Fosfatos de hierro o alcalinos o amorfos: Son fosfatos alcalinos con aditivos activos y catalizadores que brindan una capa de fosfato fino e ideal para pintar, y una buena a muy buena resistencia a la corrosión.
- Fosfatos de zinc o ácidos: Son fosfatos de zinc que pueden incluir refinadores de grano, y otros metales, dan una capa de fina a gruesa de fosfatos cristalinos, con una resistencia a la corrosión de muy buena a excelente.
- Fosfatos de manganeso: No se usan para pinturas sino como auto lubricantes y retenedores de aceites y jabones.
- Fosfatos orgánicos: Son solubles en solventes, y brindan protección de buena a muy buena.



#### 2.4.11 Equipos de aplicación para pintar con pintura en polvo

Para aplicar las pinturas en polvo es el rociado electrostático, para proporcionar medios más eficientes de aplicar recubrimientos rápidamente.

El proceso está compuesto de 5 partes básicas:

- a) Unidad Alimentadora
- b) Pistolas Electroestáticas
- c) Fuente Electroestática de Voltaje
- d) Unidad de Recuperación de Polvo
- e) Cabina de Rociado



**Figura 2-16:** Equipos para la aplicación de la pintura en polvo

**Fuente:** [www.fabriequipospinturas.com](http://www.fabriequipospinturas.com)

Se pueden aumentar otros componentes para mejorar el proceso generalmente conforman la mayoría de los sistemas de aplicación con pistola electrostática.

➤ La unidad alimentadora.

El polvo almacenado en esta unidad usualmente es suministrado por fluidización o por gravedad mediante una bomba que lo lleva a la pistola.

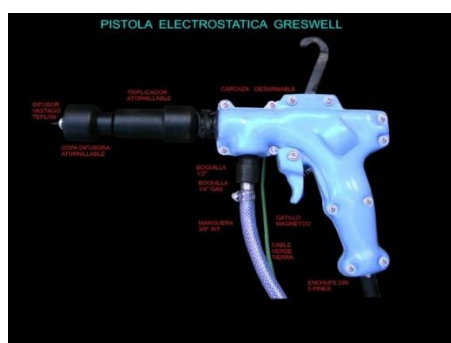


**Figura 2-17:** Unidad alimentadora  
**Fuente:** [www.maquinaria.cl/pintura.htm](http://www.maquinaria.cl/pintura.htm)

#### 2.4.12 Las pistolas electrostáticas

Las funciones de las pistolas electrostáticas son:

- Dar forma y dirigir el flujo de la pintura.
- Controlar el tamaño y forma del abanico de rociado.
- Regular la densidad de la pintura en polvo fluidizada.
- Impartir carga eléctrica a las partículas de pintura.
- Controlar el recubrimiento de la pieza que se pinta; según: La posición de la pistola, el abanico de rociado y el nivel de carga electrostática.



**Figura 2-18:** Pistola electrostática  
**Fuente:** Pintura en polvo DT13

El espesor del recubrimiento en polvo se puede controlar por:

- La posición de la pistola.
- El tiempo rociado.
- El nivel de carga electrostática.
- La velocidad del flujo de pintura en polvo de la pistola al objeto.
- La forma del objeto.

#### **2.4.13 Cabinas de aplicación.**

La cabina de aplicación de pinturas por rociado electrostático se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Los elementos y aberturas tengan el tamaño adecuado.
- Facilitar el acceso a los mecanismos manuales o mecánicos reguladores de la aplicación y garantizar la velocidad del aire en las aberturas.
- Asegurar la eficiencia del recubrimiento.
- Longitud y altura de la cabina de aplicación
- Flujo de aire que transporta el exceso hacia la unidad de recuperación de un modo eficiente y seguro.



**Figura 2-19:** Cabinas de aplicación  
**Fuente:** [www.europintura.com](http://www.europintura.com)

#### **2.4.14 Salud y medio ambiente**

La Pintura en Polvo puede ser calificada de "ecológica" y "natural" en comparación con las diferentes variedades de pintura líquida.

Los cuidados que es necesario tener cuando se manipulan estos compuestos son:

- Conservar la pintura en su embalaje original esta forma se evita la contaminación de la pintura desde y hacia el ambiente además de impedir el aumento de humedad del polvo.
  
- No dejar restos de pintura cerca de fuentes de ventilación.
  
- Utilizar máscara adecuada para evitar la inhalación de la pintura durante su aplicación.
  
- Utilizar guantes y ropa adecuada.
  
- Los restos de pintura en polvo deben ser eliminados, estos deben ser incinerados o acondicionados y remitidos como "basura tóxica".

#### **2.4.15 Futuro de la pintura en polvo**

La Pintura en polvo normalmente se aplica en películas de 30 a 70 micras.

Hay tecnología disponible para, mantener la buena terminación, bajar a 20-25 micras.

De acuerdo con las características que ofrecen las pinturas en polvo se utilizan en:

##### **a) Industria de muebles metálicos**

Muebles para el hogar, oficina, jardín, estanterías, exhibidores, equipos médicos y de laboratorio, gimnasio y otros muebles metálicos.

##### **b) Industria de la construcción**

Puertas, ventanas, marcos, cabinas, enchapes, cielos rasos, cajas eléctricas, andamios, chapas, mallas y otros objetos metálicos de la industria de la construcción.

##### **c) Industria de electrodomésticos**

Neveras, lavadoras, estufas, congeladores, aires acondicionados, botelleros, enfriadores, exterior de transformadores, y calentadores de agua, cajas y controles eléctricos, lámparas y otros electrodomésticos metálicos.

##### **d) Industria automotriz**

Rines, amortiguadores, bumpers, biseles, partes de motos y autopartes en general.

##### **e) Industria de mantenimiento industrial**

Tuberías de petroleras, gasoductos y otras.

La Pintura en polvo es una de las mejores alternativas de ahorro y desarrollo de producción en serie.

#### **2.4.16 Control de calidad**

La polimerización de estas pinturas es muy importante mantenerse en los rangos establecidos puesto que una sobre polimerización de las mismas puede traer resultados como cambio de color, disminución de brillo, manchado y disminución en las propiedades mecánicas.

En la Inspección Final de Sistema de Pinturas se debe tener en cuenta como mínimo la evaluación de los siguientes factores:

##### **a) Dureza (Anexo A1)**

El objetivo de esta prueba es comprobar la resistencia a la penetración de la película en polvo curada. El método empleado cumple con la norma INEN y se utilizan lápices con minas de los siguientes grados de dureza:

Blandos: 6B, 5B, 4B, 3B, 2B, B, HB, F.

Duros: H, 2H, 3H, 4H, 5H, 6H.

El lápiz de mina más dura que no raye la pintura indicará el grado de dureza; por ejemplo: Si el lápiz H no hiera la aplicación y el 2H la raya.

##### **b) Adherencia (Anexo A2)**

Este control sirve para comprobar el grado de adhesión de la pintura al sustrato en espesores de película hasta 5 mils (125 micrones) y sirve para detectar fallas como: Deficiente preparación de superficie, sobre horneado, excesivo espesor de capa y deficiencia en la composición de la pintura.

Para determinar la adherencia se deben tener presentes los siguientes requisitos:

El espesor de capa y condiciones de horneado deben ser los especificados por el fabricante de recubrimiento en polvo.

La limpieza del sustrato debe ser óptima.

Las aplicaciones deben estar libres de defectos como: "Cáscara de naranja", agujeros, descascaramientos u otras irregularidades.

**c) Flexibilidad (Anexo A3)**

La estimación de esta propiedad permite medir la capacidad que tiene la pintura en polvo para resistir la distorsión en un mandril cilíndrico cónico, simulando un proceso maquinado.

La flexibilidad de las pinturas varía de acuerdo con su composición, preparación de superficie, espesor de capa, condiciones de horneado, y adherencia.

**d) Resistencia al impacto (Anexo A4)**

Se puede definir como la propiedad que poseen las películas de pinturas en polvo de soportar los impactos sin resquebrajarse. Esta característica es importante para los acabados que, después de aplicados deben someterse a maquinado severo.

**e) Resistencia a la llama (Anexo A5)**

La evaluación de esta propiedad permite medir el tiempo de exposición directa al calor que tiene la pintura en polvo para su exposición a altas temperaturas como hornos de la línea blanca.

**2.4.17 Pintura electrostática**

La pintura en polvo es una mezcla homogénea de cargas minerales, pigmentos y resinas en forma sólida, en forma de partículas finas.

La consecuencia es un revestimiento uniforme, de alta calidad, adherido a la superficie, atractivo y durable.

Las ventajas que se tiene un reciclaje del 95% de la pintura que no queda aplicada a la pieza, tienen una resistencia fisicoquímica muy superior frente a impactos, rayones, dobleces y agentes químicos.

#### 2.4.18 Tipos de pintura en polvo

##### a) La pintura epoxi

La pintura Epoxi está compuesta por resinas epoxidicas, las cuales son utilizadas principalmente con fines funcionales, sacrificando así un poco el acabado. Las ventajas de este tipo de pintura son, elevada resistencia a los impactos, buen rendimiento de aplicación, mejora la adherencia, evitar la oxidación y no es contaminante.

**Tabla 2-3.** Propiedades mecánicas epoxi.

<b>BRILLO GARDNER A 60°C (ISO 2813)</b>	<b>15-75</b>
ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO ISO (2409)	100 %
DUREZA KONIG (ISO1522)	90-130 oscilaciones
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3H
FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO1519)	Resistente
ENSAYO DE IMPACTO (ASTM 2794)	80-120
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTM E 11-70)	
MALLA 200	0-9 %
MALLA 400	25-75 %
ESPESOR (ISO 2360)	50-60 micrones

**Fuente:** (Arnum, 2007)



## b) La pintura poliéster-tgic

La pintura poliéster-Tgic contienen resinas de poliéster endurecidas. Las ventajas de este tipo de pintura es la alta resistencia a la intemperie, con una alta retención de brillo, mantiene estables los colores y el acabado, tiene alta resistencia a los rayos ultra violetas y a la temperatura. Las desventajas son, reventarse si se tiene una alta carga funcional, como lo pueden ser impactos y dobleces, también tiene menor resistencia a la oxidación y a los agentes químicos.

**Tabla 2-4.** Propiedades mecánicas poliéster-tgic

<b>BRILLO GARDNER A 60°C (ISO 2813)</b>	<b>Mínimo 85</b>
ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO ISO (2409)	100 %
DUREZA KONIG (ISO1522)	130 oscilaciones (min)
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3H
FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÓNICO (ISO1519)	Resistente
ENSAYO DE IMPACTO (ASTM 2794)	160 (min)
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTM E 11-70)	
MALLA 200	0-9 %
MALLA 400	25-75 %
ESPESOR (ISO 2360)	50-60 micrones

**Fuente:** (Arnum, 2007)

## c) LA PINTURA EPOXI/POLIÉSTER

La pintura epoxi/poliéster contiene resinas poliéster, las cuales son endurecidas con resina epoxidicas. Las ventajas de este tipo de pinturas es resistencia a los impactos

y la dureza. Las aplicaciones más comunes para este tipo de pinturas son: usos generales en interiores y decoración, usos en exteriores.

**Tabla 2-5.** Propiedades mecánicas epoxi/poliéster

<b>BRILLO GARDNER A 60°C (ISO 2813)</b>	<b>Mínimo 85</b>
ADHERENCIA: RESISTENCIA AL CUADRICULADO ISO (2409)	100 %
DUREZA KONIG (ISO1522)	130 oscilaciones (min)
DUREZA AL LÁPIZ (ABNT NBR 7527)	3H
FLEXIBILIDAD AL MANDRIL CÒNICO (ISO1519)	Resistente
ENSAYO DE IMPACTO (ASTM 2794)	160 (min)
RETENIDO SOBRE ALPINE (ASTM E 11-70)	
MALLA 200	0-9 %
MALLA 400	25-75 %
ESPESOR (ISO 2360)	50-60 micrones

**Fuente:** (Arnum, 2007)

La constitución y las aplicaciones de los diferentes tipos de pintura, se realiza una tabla comparativa de las tres, teniendo en cuenta los factores y variables más importantes de desempeño, calificándose de 1 a 5, siendo 5 el mejor desempeño y 1 el peor.

**Tabla 2- 6.**Comparación de desempeño tipos de pinturas

<b>VARIABLE</b>	<b>EPOXI</b>	<b>EPOXI/POLIESTER</b>	<b>POLIESTER-TGIC</b>
Dureza	5	4	3
Flexibilidad	5	5	5
Resistencia al Exterior	2	3	5
Resistencia a la Corrosión	5	4	4
Resistencia Química	4	5	4
Propiedades Mecánicas	5	3	3
Estabilidad de estacionamiento	5	4	5
Durabilidad	2	3	4

**Fuente:** (Wiley, &Sons, 2002)

#### **2.4.19 Flexión en vigas**

#### **2.4.20. Esfuerzos de flexión en vigas**

Una viga se encuentra sometida a flexión pura cuando el momento flector es la única fuerza al interior de la sección. Estas cargas provocan momentos de flexión en la viga, que originan esfuerzos de tensión normales, tracción o compresión.

##### **a) Teoría de flexión pura.**

Se dice que una pieza está sometida a “flexión pura” cuando se aplica fuerza en sus extremos dos pares iguales y opuestos.

Las expresiones para las curvaturas en función de los momentos flectores son:

$$K_y = \frac{M_z I_y + M_y I_{yz}}{E(I_y I_z - I_{yz}^2)}$$

**Ecuación 2.8**

$$K_z = -\frac{M_y I_z + M_z I_{yz}}{E(I_y I_z - I_{yz}^2)}$$

**Ecuación 2.9**

Donde:

$M_y$  = Momento flector en el eje Y.

$I_y$  = Inercia en el eje Y.

$M_z$  = Momento flector en el eje Z.

$I_z$  = Inercia en el eje Z.

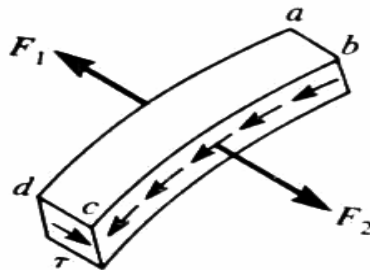
$E$  = Modulo de elasticidad.

Finalmente sustituyendo estas ecuaciones se obtiene:

$$x = \frac{(M_y I_z + M_z I_{yz}) Z - (M_z I_y + M_y I_{yz}) y}{(I_y I_z - I_{yz}^2)}$$

**Ecuación 2.10**

Donde  $M_{z1}$  es el momento flector en la cara (ad), y  $M_{z2}$  el momento en la cara (bc).



**Figura 2-20:** Fuerzas y esfuerzo sobre un elemento de la viga de longitud  $dx$   
**Fuente:**(Timoshenko, S. 1974)

Considerando que:

$$\frac{(M_{z2} - M_{z1})}{dx} = -Vy$$

**Ecuación 2.11**

Dicho esfuerzo se expresa como:

$$\tau = \frac{Vy}{t(I_y I_z - I_{yz}^2)} [ I_{yz} \int_0^s y dA - \int_0^s z dA ]$$

**Ecuación 2.12**

El cálculo de estos esfuerzos es necesario para hallar el punto de cortante de la sección.

### **b) Deflexión en vigas**

Por la acción de cargas transversales una viga se flexiona, deformándose así su eje longitudinal según una línea curva.

$$k = \frac{1}{\rho} = -\frac{M}{EI}$$

**Ecuación 2.13**

#### **2.4.21. Columnas**

Una columna es una pieza estructural que soporta una carga axial por compresión y tiende a fallar como resultado de inestabilidad elástica o pandeo.

Las propiedades de la sección transversal importantes son:

- El área de la sección transversal, A.
  
- El momento de inercia de la sección transversal (I) respecto al eje alrededor del cual es mínimo dicho valor.

➤ El valor mínimo del radio de giro de la sección transversal ( $r$ ).

El radio de giro se calcula a partir de:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

**Ecuación 2.14**

La manera en que se apoyan o sustentan ambos extremos de la columna afectan su longitud efectiva, que se define como:

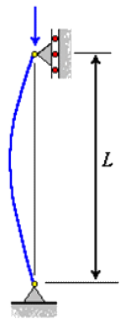
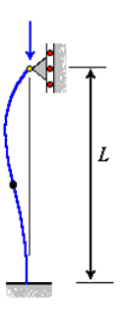
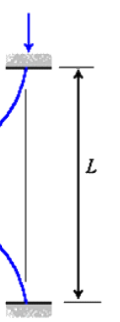
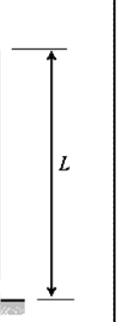
$$L_e = KL$$

**Ecuación 2.15**

Dónde:

L es la longitud real de la columna entre los soportes

K es una constante que depende de la fijación de los extremos.

Columna articulada-articulada	Columna empotrada-articulada	Columna empotrada-empotrada	Columna empotrada-libre
			
$L_e = L$	$L_e = 0.699L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 2L$
$K = 1$	$K = 0.699$	$K = 0.5$	$K = 2$

**Figura 2-21:** Valores de K para longitud efectiva.

**Fuente:** (Mott, R. 1995)

### 2.4.21 Razón de esbeltez

Es la relación de la longitud efectiva de la columna con su radio de giro mínimo.

Esto es:

$$\text{razón de esbeltez} = \frac{Le}{r_{min}} = \frac{KL}{r_{min}}$$

**Ecuación 2.16**

#### a) Razón de transición de esbeltez

Se presentan dos métodos para el análisis de columnas rectas con cargas en el centro: la fórmula de Euler para columnas largas y la fórmula de J.B. Johnson para columnas cortas. En relación con la razón de transición de delgadez,  $C_c$  se define como:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 E}{S_y}}$$

**Ecuación 2.17**

Donde los valores de  $E$  y  $S_y$  se refieren al material del que está construida la columna.

Análisis de columna larga Se realiza mediante la utilización de la Fórmula de Euler.

Este método se utiliza si la razón de delgadez es mayor que  $C_c$ .

La fórmula de Euler es la siguiente:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E A}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

**Ecuación 2.18**

De ella se obtiene la carga crítica  $P_{cr}$  a la cual la columna empezará a pandearse.

La ecuación también se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

**Ecuación 2.19**

Esta fórmula permite conseguir el tamaño y forma de una sección transversal para que soporte una determinada carga.

El objetivo del análisis y diseño de columnas es verificar que la carga es segura,

$P_{cr}$  = carga crítica que origina pandeo

$P_a$  = carga permisible o tolerable

$P$  = carga real que se aplica

$N$  = factor de diseño

Así:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$$

**Ecuación 2.20**

La carga real que se aplica ( $P$ ) debe ser menor que  $P_a$ .

**2.4.22 Análisis de columna corta**

Se realiza mediante la utilización de la Fórmula de J.B. Johnson.

La fórmula de J.B. Johnson se expresa de la siguiente manera:

$$P_{cr} = AS_y \left[ 1 - \frac{S_y \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

**Ecuación 2.21**



La carga crítica para una columna corta se ve afectada por la resistencia del material además de su rigidez (E).

## **2.5 HIPÓTESIS**

El estudio de un sistema de polimerización mejorará la calidad de la pintura epoxi poliéster aplicada en los productos de la empresa Ecuamatrix S.A

## **2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES**

### **VARIABLE INDEPENDIENTE**

Estudio de un sistema de polimerización

### **VARIABLE DEPENDIENTE**

Calidad de la pintura epoxi poliéster

### **TÉRMINO DE RELACIÓN**

Mejorará

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE INVESTIGATIVO**

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque cuanti- cualitativo debido a que a través de la recopilación de datos obtendremos factores que se tomarán en cuenta para el diseño de un Horno de Polimerización.

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

##### **a) Investigación de Campo**

En el presente proyecto se aplicará la investigación de campo, ya que la misma nos ayudará a realizar un estudio en sitio de la realidad existente.

Esta investigación en sitio nos permitirá tener de primera mano todos los datos necesarios, con los que, el investigador podrá manipular con mayor seguridad los mismos y por lo tanto podrá proponer la mejor alternativa de solución al problema existente.

##### **b) Investigación documental-bibliográfica**

La investigación bibliográfica nos ayudará a conocer, comparar, profundizar y por lo tanto a deducir diferentes enfoques y teorías sobre los sistemas de polimerización así como los efectos de los mismos al no aplicarlos en el tratamiento de la pintura epoxi poliéster.

##### **c) Intervención social o proyecto factible**

El presente proyecto tiene como finalidad ayudar a las empresas de matricería a proveer un mejor tratamiento de la pintura en polvo, beneficiando al acabado y al

secado de los diferentes productos metales mecánicos, obteniendo un mejor brillo, disminuyendo imperfecciones y reduciendo el tiempo curado.

### **3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Los tipos de investigaciones que se van a utilizar para el proyecto son los siguientes.

**a) Exploratoria.-** Dado que el personal de control de calidad busca que el producto salga con las especificaciones establecidas por el cliente, por lo que será necesario entrevistar al personal de calidad para que nos ayuden a determinar requerimientos para establecer técnicas de mejoramiento para el acabado.

**b) Descriptivos.-** Se conocerá las ventajas del Sistema de Polimerización, ya que especificaremos características importantes de este sistema.

**c) Explicativa.-** Pues a través de esta investigación lograremos fijar causas de los defectos de los productos y la manera en la que se podría corregirlas.

### **3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.4.1 Población**

La población está dirigida al área de Calidad de la Empresa Ecuamatrix S.A, para su beneficio y mejoramiento de sus productos.

#### **3.4.2 Muestra**

La muestra real involucrada en el problema motivo de estudio se procederá a calcular a través de la ecuación de cálculo de muestra infinita dado por la siguiente expresión:

$$n = \frac{Z^2 \times P \times Q}{E^2}$$

**Ecuación 3.1**

Dónde:

n: Probabilidad a Favor (0.15)

P: Probabilidad de ocurrencia, para nuestro caso tomaremos un valor de 0.5

Q: Probabilidad de no ocurrencia, para nuestro caso tomaremos un valor de 0.5

E: Error de muestreo (entre 3% a 5%), para nuestro caso tomaremos el 5%

Z: Nivel de confianza = 0.05 = 1.96

Reemplazando los valores en la formula tendremos:

$$q = 1 - p = 1 - 0,5 = 0,5$$

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2}$$

$$n = \frac{0,038416}{0.0025} = 15,366 = 15 \text{ mediciones}$$

Se utilizarán 15 mediciones como son: la dureza, la flexibilidad, la resistencia a la llama, adherencia, y la resistencia al impacto.

### 3.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

#### 3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

**Tabla 3-1.** Operacionalización de la variable independiente.- Estudio de un sistema de polimerización.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
Sistema de Curado: Hace referencia a las condiciones de polimerización de la pieza pintada con pintura en polvo, esto es, temperatura y tiempo. Ambos parámetros son necesarios a la hora de considerar la implementación de un horno.	Tiempo  Energía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de Calentamiento</li> <li>• Consumo Energético</li> </ul>	<p>¿Qué tiempo es el adecuado para el calentamiento del horno?.</p> <p>¿Cuál es el consumo eléctrico del sistema de curado?.</p>	<p>T: Observación de campo. I: Cuaderno de notas.</p> <p>T: Observación de campo. I: Cuaderno de notas.</p>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

**Tabla 3-2.** Operacionalización de la variable dependiente.- Calidad de la pintura epoxi poliéster.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS INSTRUMENTOS
<p>Pintura Epoxi Poliéster:</p> <p>Combinación de resinas epoxi con pinturas de poliéster indicadas para piezas de decoración. Tienen muy buena resistencia química, buenas propiedades mecánicas, permite diferentes tipos de acabados.</p>	Durabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dureza de la pintura.</li> </ul>	¿Cuál es la durabilidad de la pintura?. (0-10)	<p>T: Observación de campo.</p> <p>I: Cuaderno de notas.</p>
	Adherencia.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adherencia de la pintura</li> </ul>	¿Cuál es la adherencia de la pintura?.(35<100>65)	<p>T: Observación de campo.</p> <p>I: Cuaderno de notas.</p>
	Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Flexibilidad de la pintura.</li> </ul>	¿Cuál es la flexibilidad de la pintura?. (0-100)%	<p>T: Observación de campo.</p> <p>I: Cuaderno de notas.</p>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

**Tabla 3-3.** Plan de recolección de datos

<b>Técnicas</b>	<b>Instrumentos</b>
Observación.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ficha de Campo</li><li>• Formato de control de Recubrimientos bajo las Normas INEN (Pruebas sección de Anexo)</li></ul>
Medición	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cronómetro</li><li>• Termógrafo (PCE-HT 110)</li><li>• Termómetro Infrarrojo (tipo pistola) (EST-67 IR)</li><li>• Termocupla Tipo J para medir temperatura del aire</li><li>• Termocupla tipo K para medir temperaturas superficiales</li><li>• Medidor de Espesores (Elcometer 456)</li><li>• Medidor de Condiciones Ambientales (Fluke 345)</li></ul>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

#### 3.6.1 Plan de procesamiento de la información

A continuación se hace una descripción de los pasos que se llevaron a cabo para la ejecución y desarrollo de las pruebas de calidad: Los ensayos realizados en laboratorio incluyeron pruebas que involucraron cada uno de los métodos reportados en las normas INEN, las probetas usadas fueron láminas de acero

laminado en frío, las cuales se les realizó un pre tratamiento adecuado para garantizar una buena adherencia de la pintura y evitar la aparición de defectos en el recubrimiento, este pre tratamiento consistió en limpiar la pieza con un desengrasante fosfatizantes; a continuación se efectuó el pintado en la cabina. Es importante asegurarse de que la cabina esté totalmente limpia para evitar contaminación de la pintura; después de pintadas las piezas se ubicaron en el horno el cual tenía set point de 180°C, cuando la temperatura del horno se encontraba en 170°C se introdujeron las piezas y se dejaron durante 15 minutos para luego ser retiradas y ubicadas en un sitio ventilado para su enfriamiento.

### **3.6.2 Plan de análisis de la información**

Los resultados presentados aquí permiten hacer énfasis en las situaciones que requieren atención y los análisis dan solución complementando la información presentada en los resultados.

Los defectos presentados en los ensayos que se les realizó en la empresa Ecuamatrix fueron: los bits, contaminación, caja de faraday, ampollamiento y piel de naranja



## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

#### 4.1 ANÁLISIS DE DATOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS.

Los resultados presentados aquí permiten hacer énfasis en las situaciones que requieren atención y los análisis dan solución complementando la información presentada en los resultados.

El análisis e interpretación del proceso de secado determinará todas las características de dicho proceso. Dentro de este análisis se encuentra los parámetros de funcionamiento del proceso, y dentro del diagnóstico se encuentra los sistemas o aparatos que funcionan en el horno.

##### 4.1.1. Factores que influyen en la calidad de la pintura epoxi poliéster.

La calidad de la pintura final depende de diversos factores a lo largo del proceso de pintado.

##### a) Equipo de pintado.

➤ Unidad alimentadora: El polvo almacenado en esta unidad usualmente es suministrado por fluidización o por gravedad mediante una bomba que lo lleva a la pistola.

➤ Pistola electrostática: Las funciones de las pistolas electrostáticas son:

Dar forma y dirigir el flujo de la pintura.

Controlar el tamaño y forma del abanico de rociado.

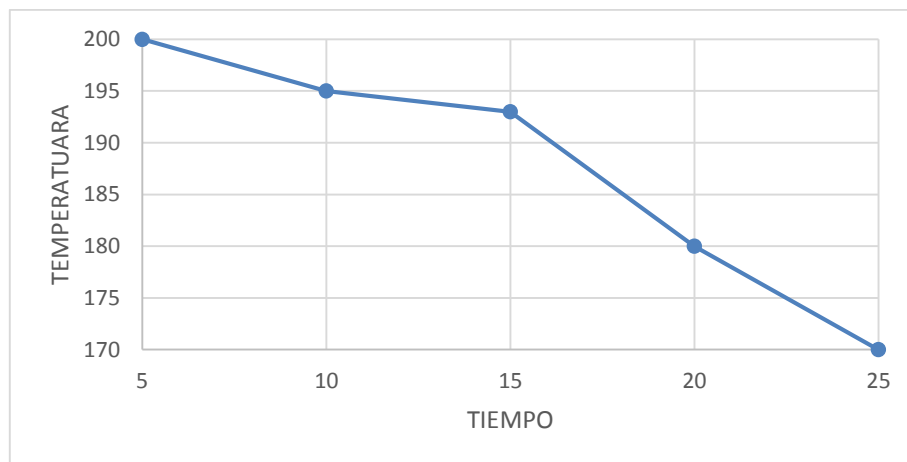
Regular la densidad de la pintura en polvo.

Impartir carga eléctrica a las partículas de pintura.

Controlar el recubrimiento de la pieza que se pinta; según: La posición de la pistola, el abanico de rociado y el nivel de carga electrostática.

### **b) Calidad y Tipo de pintura a utilizar.**

La pintura electrostática epoxi poliéster es la más adecuada ya que sus componentes químicos son los apropiados para la aplicación de los productos de la Empresa Ecuamatrix S.A.



**Figura 4-1:** Curva de curado de la pintura epoxi poliéster.

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### **c) Condiciones de aplicación.**

Para la aplicación de la pintura epoxi poliéster se debe tener en cuenta los siguientes pasos:

- Conservar la pintura en su embalaje original.

- No permitir la acumulación o dejar restos de pintura cerca de fuentes de ventilación.
- Utilizar máscara adecuada para evitar la inhalación de la pintura durante su
- Aplicación
- Utilizar guantes y ropa adecuada.
- Disposición de los residuos. (Reciclar)

#### **4.1.2. Tratamientos previos del material que se debe hacer para la aplicación de la pintura epoxi poliéster.**

La selección del tratamiento previo a la aplicación se determina por la cantidad de los productos, la geometría de las mismas, el tipo de resistencia a corrosión requerido.

Se determinó las tinajas de fosfatización por inmersión con los siguientes pasos.

##### **a) Desengrase**

Finalidad: Retirar aceites, grasas de la superficie.

Producto: Sosa cáustica o productos alcalinos.

Concentración: 5 a 6% (V/V)

PH: 12 a 13%

Tiempo: 10 minutos.

Temperatura: 70 a 90° C

### **b) Baño de lavado**

Finalidad: Retirar el producto utilizado para el desengrase

Producto: Agua corriente

PH: 10 a 11

Tempo: 2 minutos

Temperatura: Ambiental.

### **c) Baño de decapado**

Finalidad: Retirar cualquier inició de corrección provenientes de la chapa formada por la reacción con el medio ambiente

Producto: Ácido clorhídrico comercial.

Concentración: 1,3 a 1,5 g/l

Concentración del Inhibidor: 0.5 a 1.0 %

Cambio del baño: Cuando la concentración del hierro alcanza 380 g/l

Concertación de fierro admisible: 118 g/l

Temperatura: Ambiente

Tiempo: 2 minutos

### **d) Fosfatizado**

Finalidad: Homogenizar la capa de fosfato.

Producto: sales de oxalato de titanio y carbón de solidó.

Concentración: 1 a 5 g/l

PH: 6 a 8 %

Tiempo: 1 minutos.

Temperatura: Ambiente

**e) Baño de fosfato**

Finalidad: Depositar capa (cristalina) de fosfato en la superficie para prevención contra la corrosión y aumentar adhesión.

Producto: Fosfato de zinc.

PH: 2,6 a 2,9 %

Acidez libre: 1,4 a 2,6 puntos.

Acidez total: 28 a 34 puntos

Relación entre acidez libre / total: 13 a 20 puntos.

Acelerador: Nitrito de sodio 1.02 g/l

Concentración: 2.0 a 2.8 ml

Peso de capa: 12 a 60 mg/ dm<sup>2</sup> de KMN04 0.1N

Tiempo: 12 minutos.

Temperatura: Ambiente.

**f) Baños de pasiguado (orgánico)**

Finalidad: Proteger la capa de fosfato evitando oxidación prematura y cierre de los

poros entre los cristales de fosfato de la arena expulsada.

Producto: Solución de tanino y dispersante.

Concentración: 1 a 2 g/l

Tiempo: 1.5 minutos.

Temperatura: 50 a 60° C

#### **g) Secado**

Finalidad: Secar las piezas.

Tiempo: 10 min.

Temperatura: 100 a 120°C

Después del enfriamiento de las piezas debe haber cuidado en manejarlas con guantes y pintarlas enseguida a un plazo máximo de 2 horas.

**Tabla 4-1.** Proceso de Limpieza.

<b>Proceso</b>	<b>Tiempo</b>
Desengrasado	10 min
Baño de lavado	2 min
Baño de capado	2 min
Fosfatizado	1 min
Baño de fosfato	12 min
Baño de pasiguado	1.5 min
Secado	10 min

**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### **4.1.3 Ensayo de polimerización en el horno estático con quemadores a gas**

La mayor temperatura alcanzada en el horno estático es la registrada por el sensor No.3 ubicado en la parte adelante del horno (214°C) y la menor temperatura es la

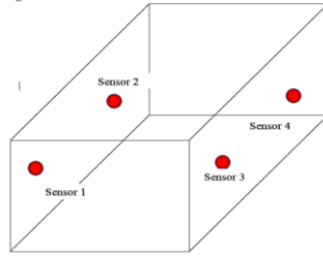
registrada por el sensor N° 4 ubicado en la parte de atrás del horno (182°C), se encontró una diferencia de 32°C lo que permitió concluir que el horno no es homogéneo entre zonas generando un sobre curado en las piezas.

**Tabla 4-2.**Características del horno estático con quemadores a gas

<b>Características</b>	<b>Horno Estático con Quemadores a Gas</b>
Dimensiones(H x L x A)(mm)	2591x4935x3912
Ancho Máximo Pieza (mm)	1100
Alto Máximo Pieza (mm)	2450
Temperatura Máximo( °C)	320
Sistema de Apagado	Manual
Sistema de Encendido	Manual
Control de Temperatura	Análogo
Tipo de Alarma	Luz, Sonido
Potencia (Kw)	350
Consumo de Gas (kw/h)	352
Consumo de Energía (kw/h)	7,64
Tiempo de Curado (min)	4,5
Piezas x Minuto	0,7

**Fuente:** Valencia Alvaro.

Los sensores N° 1 y 3 alcanzan 200°C durante 10,29 y 21,03 minutos respectivamente, los sensores N° 1 ,3 y 4 alcanzan 180°C durante 31, 32,5 y 13,2 minutos respectivamente todas las zonas censadas alcanzan los 160 °C durante 15 minutos, las piezas ubicadas en la parte adelante del horno pueden quedar sobre horneadas ya que las mayores temperaturas se presentan allí, esto puede ocasionar fallas en las propiedades mecánicas tales como impacto, adherencia y dureza.



**Figura 4-2:** Sensores de temperatura.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

En la figura 4-3 se representan las curvas de curado en el horno estático con quemadores a gas, obteniendo datos de tiempo (min) vs temperatura (°C) graficado con el software Curve-X3



**Figura 4-3:** Curvas de curado de la pintura epoxi poliéster, horno estático con quemadores a gas.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.



#### 4.1.4 Ensayo de curado en horno eléctrico bache

La mayor temperatura alcanzada en el horno es la registrada por el sensor No.6 ubicado en la parte adelante del horno (185°C) y la menor temperatura es la registrada por los sensores N° 5 y 3 ubicados en el centro y parte de atrás del horno (170°C), se encontró una diferencia de 10°C, lo que representa un mínimo desfase de temperatura dentro del horno.

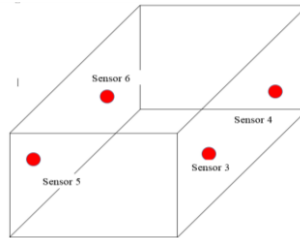
**Tabla 4-3.** Características del horno eléctrico bache.

<b>Características</b>	<b>Horno Eléctrico Bache</b>
Dimensiones(H x L x A)(mm)	2591x4952x3150
Ancho Máximo Pieza (mm)	950
Alto Máximo Pieza (mm)	2450
Temperatura Máximo( °C)	260
Sistema de Apagado	Manual
Sistema de Encendido	Manual
Control de Temperatura	Análogo
Tipo de Alarma	Luz, Sonido
Potencia (Kw)	157,64
Consumo de Gas (kw/h)	N.A
Consumo de Energía (kw/h)	157,64
Tiempo de Curado (min)	6
Piezas x Minuto	0,4

**Fuente:** Valencia Alvaro.

Ninguno de los sensores alcanzan temperatura de 200 °C, los sensores N° 4 y 6 alcanzan 180°C durante 15,12 y 7,02 minutos respectivamente todas las zonas censadas alcanzan los 178 °C durante 15 minutos, las piezas ubicadas en la parte de

atrás del horno pueden presentar falta de curado ya que las menores temperaturas se presentan allí, esto puede ocasionar fallas en textura, color y brillo de la película de recubrimiento.



**Figura 4-4:** Sensores de temperatura.  
**Fuente:** Valencia Alvaro

En la figura 4-5 se representan las curvas de curado en el horno eléctrico bache, obteniendo datos de tiempo (min) vs temperatura (°C) graficado con el software Curve-X3



**Figura 4-5:** Curvas de curado de la pintura epoxi poliéster, horno eléctrico bache.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### 4.1.5 Ensayo de curado en horno infrarrojo de paneles catalíticos

La mayor temperatura alcanzada en el horno es la registrada por el sensor No.6 ubicado en la parte adelante del horno (190°C) y la menor temperatura es la registrada por los sensores N° 5 y 3 ubicados en el centro y parte atrás del horno (165°C), se encontró una diferencia de 25°C, lo que representa un desfase considerable de temperatura dentro del horno.

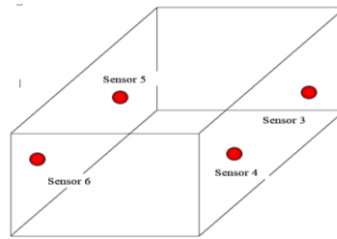
**Tabla 4-4.** Características del horno infrarrojo de paneles catalíticos.

<b>Características</b>	<b>Horno Infrarrojo</b>
Dimensiones(H x L x A)(mm)	2260x5900x3210
Ancho Máximo Pieza (mm)	1322
Alto Máximo Pieza (mm)	2610
Temperatura Máximo( °C)	400
Sistema de Apagado	Automático/Manual
Sistema de Encendido	Automático/Manual
Control de Temperatura	Digital
Tipo de Alarma	Luz, Sonido
Potencia (Kw)	185
Consumo de Gas (kw/h)	180
Consumo de Energía (kw/h)	5
Tiempo de Curado (min)	6
Piezas x Minuto	2,5

**Fuente:** Valencia Alvaro.

Ninguno de los sensores alcanzan temperatura de 200°C, los sensores N° 4 y 6 alcanzan 190 °C durante 15,12 y 7,02 minutos respectivamente todas las zonas censadas alcanzan los 170 °C durante 15 minutos, las piezas ubicadas en la parte atrás del horno pueden presentar falta de curado ya que las menores temperaturas

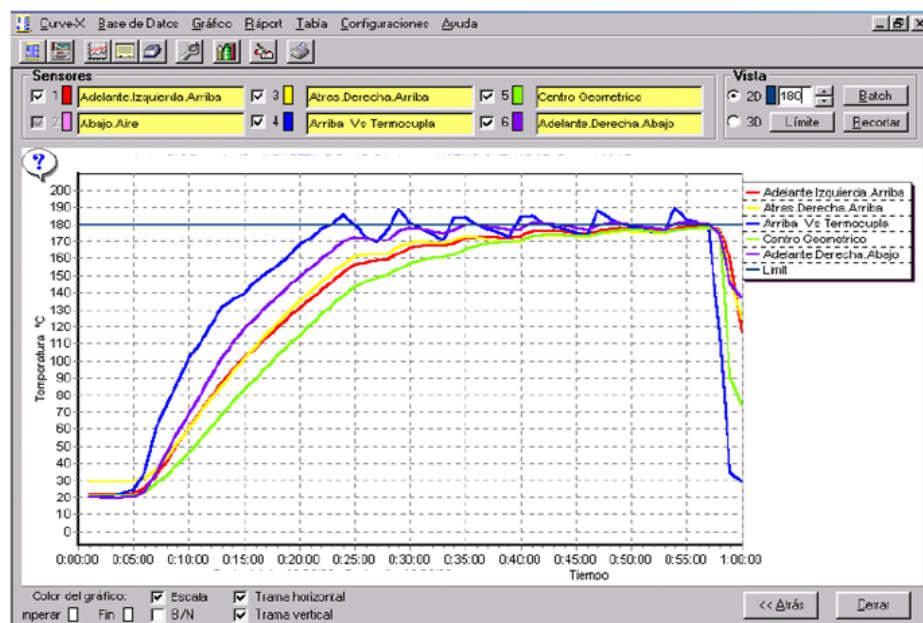
se presentan allí, esto puede ocasionar fallas en textura, color y brillo de la película de recubrimiento.



**Figura 4-6:** Sensores de temperatura.  
**Fuente:** Valencia Alvaro

En la figura 4-7 se representan las curvas de curado en el horno eléctrico bache, obteniendo datos de tiempo (min) vs temperatura (°C) graficado con el software

Curve-X3



**Figura 4-7:** Curvas de curado de la pintura epoxi poliéster, horno infrarrojo de paneles catalíticos.

**Fuente:** Valencia Alvaro.

## **4.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS OBTENIDOS**

### **4.2.1 Ensayos de Calidad en la Pintura Epoxi Poliéster.**

Las partículas de polvo, grasa u óxidos sobre la superficie del metal a revestir como una pintura en polvo, puede producir fallos importantes en adherencia y de resistencia a la corrosión, por lo que es obligado el desengrase y desoxidado de las piezas antes de ser pintadas. Así mismo si se recubren las piezas de una película de protección tras el desengrase considerablemente la resistencia a la corrosión, manteniendo una buena adherencia, optimizando esta cuando se exponen las superficies pintadas a condiciones ambientales.

### **4.2.2 Pinturas y productos afines. Determinación de la dureza de película método del lápiz. “INEN 1001”**

#### **4.2.2.1 Objeto**

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la dureza de películas, igualmente la resistencia de la película a la ruptura y al rasgado combinado con la adherencia de la película al substrato.

#### **4.2.2.3 Métodos de ensayo**

##### **a) Resumen.**

El lápiz o mina de lápices se pasa por la superficie hasta cuando uno de estos rompa la película de pintura

##### **b) Aparatos**

Un juego de lápices de dibujo o minas de lápices con dureza de 7 B hasta B, HB, F y H son considerados estándar.

#### 4.2.2.4 Preparación de la muestra

Se prepara un panel de vidrio o una lámina de acero laminada en frío, cuyas dimensiones son 190 x 115 x 0,8 mm, previamente limpiado con un disolvente apropiado. El espesor de película seca debe ser de 25,4 mm.



**Figura 4-8:** Implementos para el ensayo de dureza  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### 4.2.2.5 Procedimiento

- Tajar los lápices removiendo la madera de la mina desnuda, de modo que se extienda 6 mm fuera de la madera. Debe tenerse cuidado de no raspar el borde de la mina. Lijar Luego el extremo de la mina perpendicularmente a su eje hasta que esté plano, liso y de sección circular.
- El lápiz se sostiene firmemente a un ángulo de  $45^\circ$  y se empuja sobre la película en dirección contraria del probador. Mientras el Lápiz es empujado sobre la película de pintura, debe aplicarse suficiente presión hacia abajo para cortar la película hasta el substrato o hasta aplastar el borde agudo del lápiz. La estría debe tener un mínimo de 6 mm de largo. El proceso se repite usando sucesivamente lápices de diferente dureza, hasta encontrar el lápiz más duro que no produzca estría en la película. La dureza de este lápiz expresa la dureza de la película. Al efectuar la prueba, si el borde agudo de la mina se repone o se

aplasta, deberá afilarse nuevamente.



**Figura 4-9:** Ejecución del ensayo de dureza  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

### **4.2.3 Pinturas y productos afines. Determinación de la flexibilidad mediante mandriles cónicos. “INEN 1002”**

#### **4.2.3.1 Objeto**

Esta norma establece el método para determinar la flexibilidad y elasticidad de una película de pintura seca aplicada sobre un panel de ensayo que se somete a doblado sobre mandriles cónicos. El ensayo de flexibilidad de pinturas sobre mandril se practica según dos métodos.

- a) Doblado alrededor de mandriles cilíndricos de distintos diámetros.
- b) Doblado alrededor de mandril cónico con radio de curva progresivo.

#### **4.2.3.2 Método de ensayo**

##### **a) Resumen.**

Preparar un panel con la pintura que debe ensayarse. Colocar en el aparato de mandriles cónicos y proceder a doblarlos.

## b) Equipos.

Mandril cónico con radio de curvatura progresivo. Consiste en un cono truncado, rectificado y de acero. Tiene 203 mm de longitud con un diámetro de 3 mm en un extremo y 38 mm de diámetro en el otro. Está sujeto con un soporte montado sobre una placa de base maciza de acero. Esta placa tiene cuatro agujeros para atornillar el aparato a la mesa de trabajo. A un costado del mandril paralelo a la generatriz del cono se encuentra el dispositivo de sujeción de las chapas de ensayo que se compone de una placa con tuercas de mariposa y un tope.

El arco doblador, con palanca de mano y presa paneles, está sujeto en el eje del cono.

Se utilizan láminas de acero cuyas dimensiones son de aproximadamente 190 mm x 115 mm x 0,8 mm o 290 mm x 115 mm x 0,8 mm. El espesor de la película seca en una de las caras del panel puede ser de 25,4  $\mu\text{m}$  o a convenirse entre las partes.



**Figura. 4-10:** Implementos para el ensayo de flexibilidad  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 4.2.3.3 Procedimiento

- La determinación debe realizarse por duplicado
- El recubrimiento aplicado sobre el panel debe tener un espesor uniforme y estar curado.



- Colocar el rodillo del aparato de modo que el mango del mismo se ubique frente al operador en una posición horizontal.
- Colocar el panel con la superficie pintada hacia afuera en el canal del aparato, insertar un papel entre la superficie pintada y el rodillo del aparato.
- Ajustar el panel mediante las tuercas tipo mariposa de modo que el borde del panel esté alineado con el extremo más delgado del mandril cónico.
- Levantar el mango del rodillo a una velocidad uniforme, girar  $180^\circ$  a fin de doblar el panel aproximadamente  $135^\circ$ , en un tiempo de 15 segundos.
- Examinar la superficie doblada del panel a simple vista y observar si se encuentran rajaduras en la superficie recubierta.
- Determinar y señalar, la rajadura más alejada del extremo pequeño del mandril, indicando la distancia en centímetros a dicho extremo. Esta distancia es usada para calcular la flexibilidad.
- Para retirar el panel, retornar el mango del rodillo a su posición inicial, aflojar las tuercas y levantar el panel del mandril cónico.



**Figura 4-11:** Ejecución del ensayo de flexibilidad  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### **4.2.4 Pinturas y productos afines. Determinación del impacto directo e inverso. “INEN 1005”**

##### **4.2.4.1 Objeto**

Esta norma establece el método de ensayo para determinar los efectos de la prueba del impacto directo e inverso en pinturas y productos afines.

##### **4.2.4.2 Alcance**

**a) Impacto directo o cóncavo.** Este método nos permite determinar cuando se efectúa directamente sobre la superficie del panel que tiene la película de pintura seca, la resistencia al impacto y la fuerza de adhesión de dicha película.

**b) Impacto inverso o convexo.** Si la prueba se efectúa del lado del panel que no tiene la película de pintura, determinará por este método la elasticidad o habilidad de elongación de la película alrededor de la protuberancia hecha por el instrumento bajo las condiciones del impacto.

##### **4.2.4.3 Métodos de ensayo**

Equipo para prueba de impacto.

- Un tubo cilíndrico hueco que tiene una escala en centímetros, que va de 0 a 203,2 cm. El tubo cilíndrico que contiene un peso muerto de 1,816 kg puede dejarse caer a la altura deseada, de acuerdo a la escala especificada anteriormente.
- Panel. Se utiliza un panel laminado en frío, un milímetro de espesor (1 mm) y un espesor de película de pintura seca de 25,4 a 38,1 mm.
- Soportes circulares. Los soportes circulares pueden ser de varios diámetros; para la prueba se puede escoger de acuerdo al tamaño de la abertura deseado.

#### 4.2.4.4 Procedimiento

Para efectuar la prueba de impacto directo, colocar el panel perpendicular al tubo cilíndrico que contiene el peso muerto. Levantar este peso hasta la altura deseada y dejar caer libremente. Para la prueba de impacto inverso, seguir el mismo procedimiento. Hacer varias pruebas y reportar los resultados.



**Figura 4-12:** Ejecución de ensayo de impacto  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### 4.2.4.5 Cálculos

Para calcular la fuerza del impacto, se emplea la siguiente ecuación:

$$I = M \times d$$

**Ecuación 4.1**

Donde:

I = impacto en kg. cm.

M = peso muerto, en kilogramos.

d = altura en centímetros.

M = 2 kg

d = 100cm

I = 200 kg.cm

#### **4.2.5 Pinturas y productos afines. Determinación de adherencia mediante prueba de la cinta. “INEN 1006”**

##### **4.2.5.1 Objeto**

Esta norma establece los métodos para determinar la adherencia de películas de recubrimientos de pinturas y productos afines aplicados sobre paneles metálicos o superficies recomendadas, mediante la aplicación y remoción de una cinta sensible a la presión, sobre cortes realizados en la película.

##### **4.2.5.2 Métodos de ensayo**

###### **a) Método de la cuadrícula**

Equipos

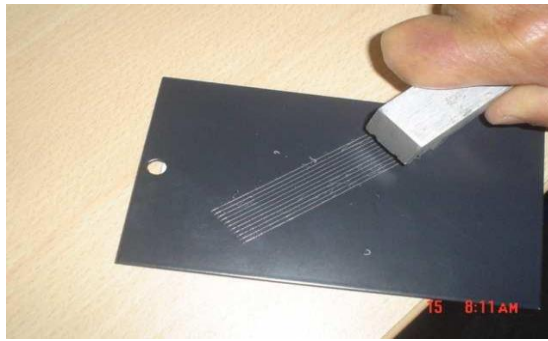
- Aparato de corte con cuchilla de dientes múltiples para corte cruzado (con 6 u 11 dientes).
- Cinta adhesiva de 25,4 mm de ancho semi transparente sensible.
- Borrador de caucho colocado en el extremo de un lápiz
- Una fuente de luz útil para determinar si los cortes han sido hechos a través de la película seca hasta el panel.
- Cepillo de cerdas plásticas
- Panel metálico o superficie recomendada de acuerdo al tipo de pintura.



**Figura 4-13:** Implementos para el ensayo de adherencia  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### 4.2.5.3 Procedimiento

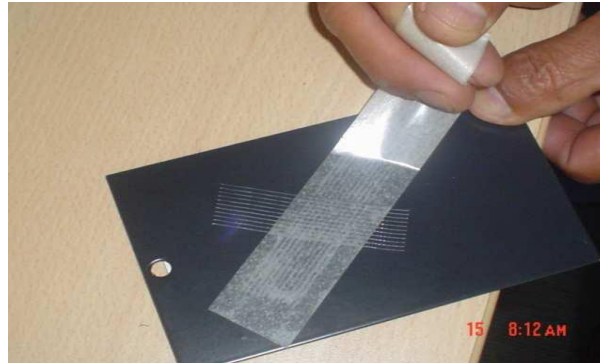
- Seleccionar un área libre de manchas e imperfecciones.
- Asegurar que la superficie esté limpia y seca (valores extremos de temperatura y humedad relativa pueden afectar la adherencia de la cinta)
- Colocar el panel sobre una base firme y hacer cortes cruzados usando el aparato de corte con cuchilla de dientes múltiples.
- Para recubrimientos que tengan hasta 50 micrómetros de espesor de película seca, usar la cuchilla que tenga 11 dientes y 1 mm de separación entre dientes y realizar el corte
- Para recubrimientos que tengan un espesor de película seca entre 50 micrómetros y 125 micrómetros, usar una cuchilla que tenga 6 dientes y 2 mm de separación entre dientes y realizar el corte



**Figura 4-14:** Cortes en la platina  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

- Hacer los cortes en el recubrimiento con un movimiento firme y presión suficiente para que el borde cortante alcance el panel.
- Revisar los bordes cortantes de las cuchillas y si es necesario limpiarlos, hacer entonces los cortes adicionales a 90° y centrados en los cortes anteriores.
- Proceder a limpiar con el cepillo el área de los cortes para remover cualquier residuo de recubrimiento levantado. Si el metal no ha sido alcanzado, hacer otro corte igual en otra área hasta alcanzar el metal.
- Cortar un pedazo de cinta de adherencia de aproximadamente 75 mm de largo.
- Colocar el centro de la cinta sobre la rejilla formada por el corte y sus alrededores, dejando un extremo libre, después alisarla con el dedo. Luego frotar firmemente con el borrador del extremo de un lápiz para lograr un buen contacto.

- Esperar de 60 a 120 segundos después de la aplicación y retirar la cinta de la superficie halando rápidamente del extremo libre formando un ángulo de aproximadamente 180°.



**Figura 4-15:** Desprendimiento de la cinta  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

- Inspeccionar el área de la rejilla para comprobar si hay remoción del recubrimiento del panel, comparar la cuadrícula resultante con las que se indican en la tabla 4-5, seleccionar la más parecida y calificar el porcentaje de adherencia entre los valores menores de 35 y 100 %.

**Tabla 4-5.** Clasificación de los resultados del ensayo de adherencia.

<b>Clasificación</b>	<b>Superficie de corte cruzado en la cual ha ocurrido desprendimiento (seis cortes paralelos) Adherencia</b>	<b>% Adherencia</b>	<b>% Desprendimiento</b>	<b>Criterio</b>
5	Ninguno	100	0	Ningún desprendimiento

4		95-100	0-5	El desprendimiento es en los ángulos de los cuadrados.
3		85-95	5-15	El desprendimiento es a lo largo de los bordes y en las intersecciones de los cortes.
2		65-85	15-35	El desprendimiento es a lo largo de los bordes y parte del área de los cuadrados
1		35-65	35-65	El desprendimiento es a lo largo de los bordes y en todo el cuadrado.
0	Mayor de 65%	< 35	> 65	El desprendimiento es mayor que en el grado 1.

Fuente: Norma INEN “1006”

#### **4.2.6 Pinturas y productos afines. Determinación de la resistencia a la llama (método comparativo). “INEN 1008”**

##### **4.2.6.1 Objeto**

Esta norma establece el método para determinar la resistencia a la llama de las pinturas.

##### **4.2.6.2 Aparatos**

Paneles de acero dulce doble desapado, de forma cuadrada, de 200 mm de lado y de 0,86 mm de espesor.



#### a) Mecheros

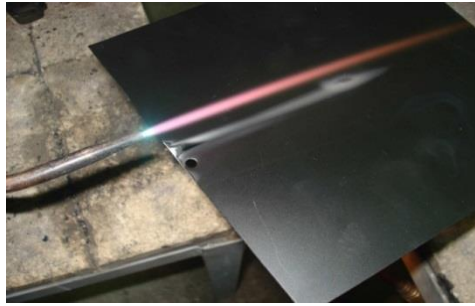


**Figura 4-16:** Mechero

**Fuente:** [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bunsen\\_burner.jpg](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bunsen_burner.jpg)

#### 4.2.6.3 Métodos de ensayo

- Sobre los paneles de las características puntualizadas en 2.1 se aplica a pincel una mano de la pintura en examen y una de la muestra tipo (ver nota 1); en cada uno de los paneles se deja secar 24 h, posteriormente se aplica una segunda mano en cada uno y se deja secar 72 h.
- Cada uno de dichos paneles se disponen sobre un trípode común de laboratorio en la forma indicada en la figura 1 de la Norma INEN 1008 y se calienta durante un minuto con el mechero (a), con la abertura incolora de las característica establecidas en la figura 4-16.
- Al cumplir el minuto se inicia el calentamiento con el mechero b, de acuerdo con lo indicado en la figura 1 de la Norma INEN 1008, manteniendo esas condiciones durante un minuto.
- Durante dicho lapso se observa si de la película de la pintura en examen se desprenden vapores inflamables y si entra en combustión. Una vez frío se observa la película de pintura de los paneles comparativamente.





**Figura 4-17:** Ejecución del ensayo de resistencia a la llama  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

Al realizar las diversas pruebas de calidad en probetas de laminado en frío bajo las Normas INEN de pintura se detallan a continuación en los registros, en el siguiente orden:

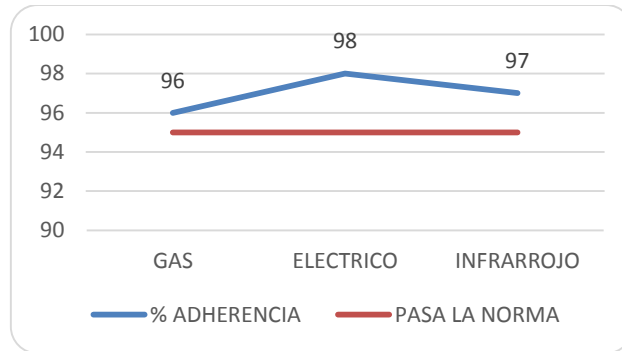
- a) Horno a gas.
- b) Horno eléctrico bache.
- c) Horno infrarrojo.



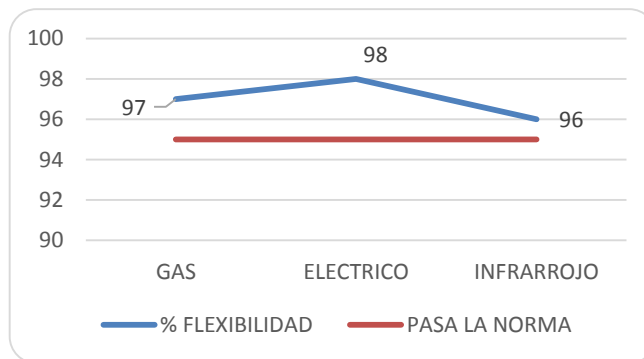
<p>ENSAYO N°-2</p>	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b></p>		<p>Hoja N°- 2</p> 
<p><b>PLACAS:</b> 6, 7, 8, 9, 10.</p> <p><b>PRODUCTO DE ENSAYO :</b> PROBETA LAMINADO EN FRIO DE 190 x 115 x 0,8 mm <b>APLICADA CON PINTURA EPOXI POLIESTER PLATINIUM</b></p>			
<p>SOLICITADO POR: TESIS DE GRADO  REVISADO: ING.GONZALO LÓPEZ  REALIZADO: HORNO ELÉCTRICO BACHE  ENSAYADO POR: <b>VALENCIA MEDINA ALVARO RICARDO</b>  Fecha de inicio: 27/01/2014 <span style="float:right">Fecha de terminación: 29/01/2014</span></p>			
<p>EQUIPO: 1°- Kit de Adherencia                      4°- Tubo Cilíndrico                      7°- Mechero  2°- Mandril Cónico                                      5°- Peso Muerto 1,816 Kg  3°- Medidor de Espesores                              6°- Juego de Lápices</p>			
<p align="center"><b>TIPO DE ENSAYO</b></p>	<p align="center"><b>CARGA NORMAL</b></p>	<p align="center"><b>RESULTADOS</b></p>	<p align="center"><b>OBSERVACIONES</b></p>
<p>ADHERENCIA</p>	<p>98 % Cuadrícula</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1006)</p>	<p>La adherencia del sustrato es perfecta</p>
<p>DUREZA</p>	<p>2H</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1001)</p>	<p>La probeta no presenta rayaduras</p>
<p>FLEXIBILIDAD</p>	<p>35 %</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1002)</p>	<p>No existe rajadura de la pintura la flexibilidad es del 98%</p>
<p>IMPACTO</p>	<p>d=0 M=1.816 Kg</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1005)</p>	<p>No existe desprendimiento de la pintura</p>
<p>RESISTENCIA A LA LLAMA</p>	<p>1 min</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1008)</p>	<p>La pintura se evapora a los 1min 33 seg</p>
<p><b>CONCLUSIONES:</b> La probeta no presento fallas con lo cual se determina la selección del horno.</p>			

<p>ENSAYO N°-3</p>	<p align="center"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>INGENIERÍA MECÁNICA</b></p>		<p>Hoja N°- 3</p> 
<p><b>PLACAS:</b> 11, 12, 13, 14, 15.</p> <p><b>PRODUCTO DE ENSAYO :</b> PROBETA LAMINADO EN FRIO DE 190 x 115 x 0,8 mm <b>APLICADA CON PINTURA EPOXI POLIESTER PLATINIUM</b></p>			
<p>SOLICITADO POR: TESIS DE GRADO  REVISADO: ING.GONZALO LÓPEZ  REALIZADO: HORNO INFRARROJO  ENSAYADO POR: <b>VALENCIA MEDINA ALVARO RICARDO</b>  Fecha de inicio: 39/01/2014 <span style="float:right">Fecha de terminación: 03/02/2014</span></p>			
<p>EQUIPO:1°- Kit de Adherencia                      4°- Tubo Cilíndrico                      7°- Mechero  2°- Mandril Cónico                                      5°- Peso Muerto 1,816 Kg  3°- Medidor de Espesores                              6°- Juego de Lápices</p>			
<p align="center"><b>TIPO DE ENSAYO</b></p>	<p align="center"><b>CARGA NORMAL</b></p>	<p align="center"><b>RESULTADOS</b></p>	<p align="center"><b>OBSERVACIONES</b></p>
<p>ADHERENCIA</p>	<p>97 % Cuadrícula</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1006)</p>	<p>La adherencia del sustrato es perfecta</p>
<p>DUREZA</p>	<p>2H</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1001)</p>	<p>La probeta no presenta rayaduras</p>
<p>FLEXIBILIDAD</p>	<p>36 %</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1002)</p>	<p>No existe rajadura de la pintura la flexibilidad es del 96%</p>
<p>IMPACTO</p>	<p>d=0 M=1.816 Kg</p>	<p>PASA LA NORMA (Norma INEN1005)</p>	<p>No existe desprendimiento de la pintura</p>
<p>RESISTENCIA A LA LLAMA</p>	<p>1 min</p>	<p>NO PASA LA NORMA (Norma INEN1008)</p>	<p>La pintura se evapora a los 25 seg</p>
<p><b>CONCLUSIONES:</b> La probeta presento fallas al someterla a la prueba de resistencia a la llama la cual no supero el minuto que se expone la pintura a esta prueba.</p>			

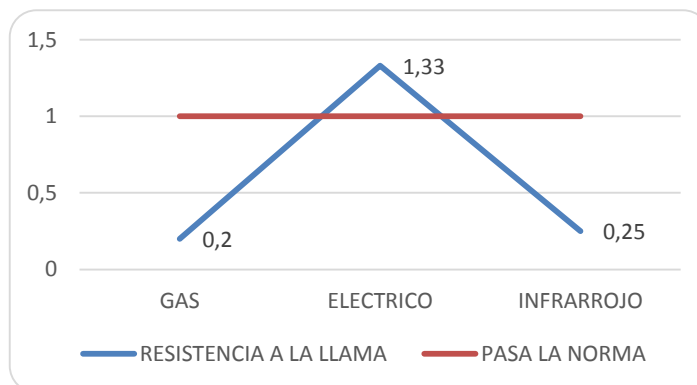
#### 4.2.7 Resultados de las pruebas realizadas.



**Figura 4-18:** Prueba de adherencia.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.



**Figura 4-19:** Prueba de adherencia.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.



**Figura 4-20:** Prueba de resistencia a la llama.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la mejor selección del horno se debe considerar los parámetros establecidos para la pintura epoxi poliéster, el mejor rendimiento, costo, temperaturas, tiempo.

**Tabla 4-6.** Comparación de los hornos industriales

FACTORES	TIPO DE HORNO		
	GAS	ELÉCTRICO	INFRARROJO
Tamaño	3	5	5
Inversión Inicial	4	4	5
Volumen de producción	3	4	3
Transporte Interno	4	4	3
Mantenimiento	3	3	4
Disponibilidad de Trabajo	4	5	3
Consumo de energía	3	4	3
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>29</b>	<b>26</b>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### Indicadores

- 5 Muy buena
- 4 Buena
- 3 Regular
- 2 Mala
- 1 Muy mala

**Tabla 4-7.** Comparación costos de hornos industriales

FACTORES	COSTOS DE CONSTRUCCION HORNO		
	GAS	ELÉCTRICO	INFRARROJO
Construcción	5	4	4
Circulación interna de aire	3	5	3
Acceso a los equipos	5	5	5
<b>TOTAL</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>12</b>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### **Indicadores**

- 5 Muy buena
- 4 Buena
- 3 Regular
- 2 Mala
- 1 Muy mala

### **4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.**

Los parámetros de diseño utilizados en el Horno para la polimerización de los productos es la causa de los problemas de funcionamiento que actualmente presenta en la empresa Ecuamatrix S.A de la ciudad de Ambato

De lo revisado en este capítulo, al realizar las diversas pruebas de calidad en probetas de laminado en frio bajo las Normas INEN de pintura se estableció que la mejor opción en la selección del Horno Eléctrico.



Basado en la tabla 4-6 y 4-7, se llega a la conclusión que la configuración para el horno que satisface los factores de diseño es el de la segunda propuesta, el horno eléctrico debido a que la ubicación de los equipos es la que proporciona el diseño más compacto y simple.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Mediante la investigación se determinó que los equipos deben estar en óptimas condiciones para la aplicación de la pintura epoxi poliéster, ya que esto conlleva a la uniformidad de la aplicación de la pintura.
- Se determinó que el tiempo en el tratamiento previo del material debe ser sincronizado ya que si estos permanecen sumergidos puede perder sus propiedades.
- El tratamiento de fosfatización nos permite obtener una capa superficial que permite una mejor adherencia de la pintura epoxi poliéster en los materiales.
- Mediante la investigación la temperatura máxima obtenida en los ensayos con los diferentes hornos, se obtuvo en el horno a gas con una temperatura de 200°C con un tiempo de 10,29 y 21,03 minutos.
- Mediante la investigación la temperatura que necesita la pintura epoxi poliéster para su polimerización se da en el horno eléctrico alcanzando una temperatura de 180°C durante 15,12 y 7,02 minutos.
- Las pruebas de calidad mediante las normas INEN se determinaron que la polimerización en el horno eléctrico da un 98 % de adherencia con respecto a los diferentes hornos.

- Las pruebas de calidad mediante las normas INEN se determinaron que la polimerización en el horno eléctrico da un 98 % de flexibilidad con respecto a los diferentes hornos.
- Las pruebas de calidad mediante las normas INEN se determinaron que la polimerización en el horno eléctrico da un tiempo de 1.33 min de resistencia a la llama con respecto a los diferentes hornos.
- Las pruebas de calidad mediante las normas INEN de dureza, impacto no presento fallas en ninguno de los hornos.

### **5.3 RECOMENDACIONES**

- Para un buen proceso de aplicación de la pintura es preciso, realizar un tratamiento previo de la pieza adecuado, calibrar las condiciones en el equipo de aplicación, limpiar totalmente la cabina de aplicación cuando se cambia de color y usar la temperatura y tiempo de curado necesario para el polimerizado del recubrimiento.
- Tener un control de calidad de la pintura más riguroso para lograr que el rendimiento de esta sea 100% eficiente y evitar que se aprecien defectos en la película del recubrimiento.
- Es muy importante que la superficie a pintar llegue rápidamente a la temperatura especificada. El polvo aplicado sufre cambios, una vez que se los somete al calor.
- El tiempo de horneado es fijo para cada carga o para cada velocidad y la temperatura que alcanza cada pieza depende de la masa de metal. Para que

las condiciones sean uniformes se recomienda armar cada carga con piezas de masa semejante caso contrario las piezas de menor masa corren riesgo de amarilleo en los colores claros porque sufren sobre horneado.

➤ La pintura en polvo se aplica para proteger la pieza pintada. En el diseño e instalación de la pieza se recomienda tener en cuenta algunas consideraciones. Los distintos materiales se pintan por separado y luego se ensamblan.

➤ El contacto del aluminio con cobre, plomo o acero debe ser evitado porque los pares galvánicos generan corrosión.

➤ Así mismo ciertos tipos de madera en contacto con aluminio no son recomendables. En el caso de maderas tratadas hay que controlar que no tengan sales de cobre, de plata o fluoruros.

➤ El aluminio en contacto con materiales de construcción alcalinos sufre un manchado en la superficie que promueve la corrosión.

## **CAPÍTULO VI**

### **6 PROPUESTA**

DISEÑO DE UN HORNO ELÉCTRICO PARA LA POLIMERIZACIÓN DE LA PINTURA EPOXÍ POLIÉSTER APLICADA EN LOS PRODUCTOS DE LA EMPRESA ECUAMATRIZ S.A DE LA CIUDAD DE AMBATO.

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

Los datos para el diseño del horno son los siguientes:

- El espacio de planta disponible
- Dimensiones del horno (1500 x 2000 x 10000 )mm
- Dimensiones y peso de las piezas a pintar
- Transporte de las piezas
- Altura interior del horno
- Suministro de calor

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

Ecuamatrix Cía. Ltda. es una empresa dedicada al diseño, fabricación, producción, de todo lo que es en el área de matricería su ubicación es en el Parque Industrial Ambato II etapa calle IV y la F.

Ecuamatrix Cía. Ltda. ha alcanzado un desarrollo industrial y tecnológico que le permite obtener un prestigio importante en el Ecuador, en todo lo referente a matricería, herramientas de la construcción, auto partes, línea eléctrica y servicios de troquelado.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Es importante que el horno utilizado en la polimerización de los productos de la empresa sea capaz de funcionar eficazmente con su propósito tomando en cuenta las dimensiones de los productos que fábrica la empresa.

Con los datos obtenidos en el capítulo cuatro se llega a comprobar la necesidad de implementar un sistema de polimerización, siendo el más adecuado para los requerimientos de la empresa horno eléctrico ya que su capacidad y eficiencia la hacen la más propicia en la empresa.

La implementación del horno eléctrico se justifica porque con ella se conseguirá reducir los costos y tiempos de producción, y la empresa no tendrá que pagar horas extras a los trabajadores para culminar la producción.

### **6.4 OBJETIVOS**

#### **6.4.1 Objetivo general**

Diseño de un horno eléctrico para mejorar la calidad de la pintura epoxi poliéster aplicada en los productos de la empresa Ecuamatrix S.A.

#### **6.4.2 Objetivos específicos**

➤ Realizar un diseño térmico con una alta eficiencia energética de acuerdo al tamaño requerido por la empresa.

- Realizar un diseño estructural interior, exterior de acuerdo al tamaño requerido por la empresa.
- Diseñar un sistema de control que cumpla adecuadamente con los parámetros de funcionamiento del horno.
  
- Diseñar un sistema de transporte interno que cumpla adecuadamente con los parámetros de funcionamiento del horno.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El diseño del horno para el mejorar la calidad en el proceso de polimerización en la empresa ECUAMATRIZ Cía. Ltda. ubicada en la ciudad de Ambato es factible ya que esto será la guía para el futuro. Los elementos para la construcción se encuentran fácilmente en nuestro medio, además los materiales utilizados en el diseño son los encontrados en el mercado, el desmontaje de las partes innecesarias y las que se van a reemplazar así como la implementación de los nuevos elementos implica procedimientos sencillos y que pueden ser realizados por el personal de la misma empresa y sin el requerimiento de equipo ajeno a la empresa, motivo por el cual el costo de estos procedimientos resultaría bajo.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

La presente propuesta se basa en la información recolectada en el capítulo II que se relaciona con el marco teórico y en los resultados obtenidos del estudio de los parámetros de diseño de la estructura en el capítulo IV. La propuesta se ha realizado bajo los siguientes parámetros fundamentales de diseño para la estructura.

### **6.6.1 Determinación de la carga en el horno**

La principal variable a determinarse en el diseño del horno es la carga de ingreso de los productos. Anexo D1

Dentro los principales productos de fabricación de la empresa son las siguientes:

**Tabla 6-1.** Productos mensuales a pintar y sus pesos

PRODUCTOS	PROD- MENSUAL	PESOS DE COMPONENTES			PESO TOTAL (gr)
		Base	Tapa	Rejilla	
Caja 220x200	2000	0,6	0,32	0,12	1,04
Caja 300x200	4000	0,85	0,68	0,21	1,74
Caja 400x200	300	1,005	0,82	0,21	2,035
Caja 250x220	2500	1,52	0,965	0,31	2,795
Caja 470x320	500	1500	0,86	0,12	2,48
Carretillas	200				1500

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 6.6.2 Distribución interna de la carga de los productos en el horno

Los elementos descritos en la tabla 6-1, son los productos los cuales estarán sometidos en el horno.

Para precisar la distribución correcta en la parte interior del horno es conviene ubicarlas con su lado más corto en el sentido del transporte para aumentar el volumen de la carga.

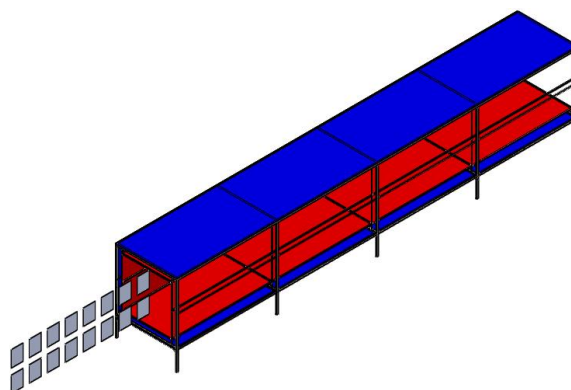
La separación entre piezas para evitar el contacto entre ellas con el movimiento de transporte que se pudiera producir en el interior del horno.

Esta separación permite que la radiación pase entre las piezas favoreciendo a la polimerización de la pintura.

Por la experiencia en el horno actual y recomendaciones esta distancia oscila entre:



Distancia de Separación	100-200 mm
-------------------------	------------



**Figura 6-1:** Separación de los productos.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

La distribución vertical de las piezas que se pueden poner en columna de acuerdo a la disponibilidad de la altura útil de la cámara se determinó mediante la medición de los productos.

El tiempo es determinado en base a las especificaciones de la pintura epoxi poliéster, se debe variar en función al tamaño, peso, y su incidencia de los factores de transferencia de calor.

Su tiempo es 15 minutos para cualquier tipo de horno sin sufrir un sobre curado o falta del mismo.

**Tabla 6-2.** Dimensión de la arista Mayor

<b>PRODUCTOS</b>	<b>MED.ARISTA MAYOR</b>	<b>PIEZA POR COLUMNA</b>
Caja 220x200	200	4
Caja 300x200	300	3
Caja 400x200	400	2
Caja 250x220	250	2
Caja 470x320	470	1
Carretillas	800	1

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### **6.6.3 Distancias, tiempos y velocidades necesarias para la polimerización de los productos**

Al realizar las pruebas en el capítulo 4 se determinó las distancias, tiempos y la velocidad, los cuales permitirán el diseño estructural, termodinámico.

**Tabla 6-3.** Distancias y tiempos del horno

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Unid.</b>
Longitud total del horno	10000	mm
Ancho total del horno	1500	mm
Alto total del horno	2000	mm
Velocidad de la cadena	0,4 – 1.1	m/s
Longitud necesaria para la polimerización a 180°C	9800	mm
Ancho útil del horno	1300	mm
Alto útil del horno	1800	mm

Ancho útil del Piso	1200	mm
Tiempo necesario para la polimerización a 180°C	15	min
Tiempo que se mantiene sobre los 180 ° C	4	min
Tiempo que se mantiene debajo de los 180 ° C	3	min

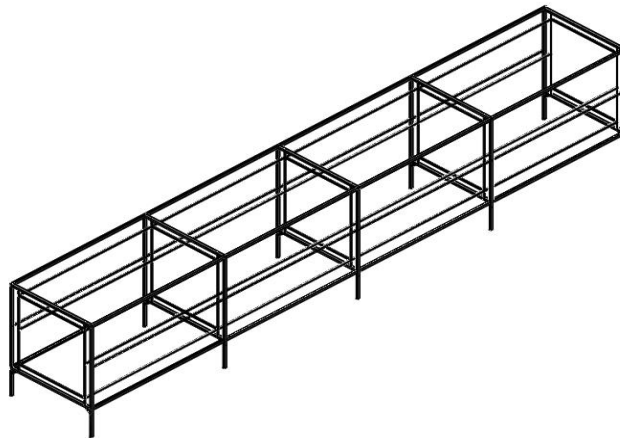
**Fuente:** Valencia Alvaro.

## 6.7 METODOLOGÍA

Para el desarrollo del diseño del horno se seguirá los siguientes pasos:

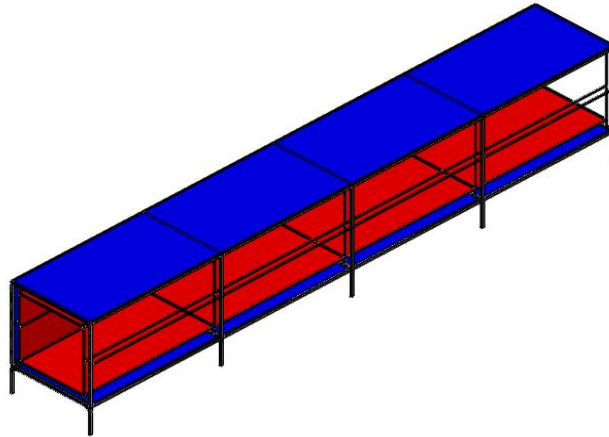
- Cálculo de coeficiente de Convección
- Cálculo de Perdidas de Calor
- Cálculo de las Resistencia
- Cálculo Estructural

### 6.7.1 Esquema del horno



**Figura 6-2:** Estructura principal del horno.

**Fuente:** Valencia Alvaro.



**Figura 6-3:** Estructura externa e interna del horno.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 6.7.2 Cálculo del coeficiente de convección

Para el cálculo tendremos efectos convectivos y para el cálculo del calor se determinará el coeficiente de convección del aire  $T_i$  y fuera del horno  $T_0$  del ambiente.

Calculamos en base a datos como la velocidad de flujo externa e interna del horno se tomará las siguientes suposiciones

- Condiciones de estado estable
- Flujo de aire interno a presión de 1 atm.
- Flujo de aire por ducto (cámara de polimerización)

Para poder determinar tomaremos las fórmulas de transferencia por ductos circulares se debe obtener un diámetro efectivo o equivalente como longitud características del ducto rectangular como sigue:

$$De = 1,3 \frac{(axb)^{0.625}}{(a + b)^{0.25}}$$

### Ecuación 6.1

Donde a y b son los lados del ducto, m.

Las dimensiones de la cámara de calentamiento son: 1.50 m, de alto por 1m de ancho entonces tenemos:

$$De = 1,3 \frac{(1.5 \text{ m} \times 1 \text{ m})^{0.625}}{(1.5 \text{ m} + 1 \text{ m})^{0.25}} = 1.332 \text{ m}$$

### 6.7.3 Coeficiente de convección externo

Aplicado para paredes verticales se obtiene los valores del Anexo E1:

Propiedades del Aire a 24,8 °C = 297.95 °K = Tf

$$K = 0.02551 \text{ W/m} \cdot \text{°K}$$

Conductivida térmica

$$\nu = 1.562 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Viscocidad cinemática

$$\alpha = 2.141 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s}^2$$

Difusividad térmica

$$Pr = 0.7296$$

Número de Prandtl

$$\rho = 1.181 \text{ Kg/m}^3$$

Densidad aire

$$\beta = \frac{1}{Tf} = \frac{1}{297.95 \text{ °K}} = 3.356 \times 10^{-03} \text{ °K}^{-1}$$

### Ecuación 6.2

$\beta$  Coeficiente de expansión térmica.

Cálculo del número de Rayleigh asociado con la transferencia de calor en el interior del fluido. Cuando el número de Rayleigh está por debajo de un cierto valor crítico, la transferencia de calor se produce principalmente por conducción.

Si  $Ra > 1000$  la transferencia de calor se da por convección.

Si  $Ra < 10$  la transferencia de calor se da por conducción.

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_{sp} - T_{\infty}) L^3}{\alpha \cdot \nu} ; L = 1.2 \text{ m (altura de la pared)}$$

**Ecuación 6.3**

$$Ra_L = \frac{9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times (3.356 \times 10^{-03} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}) \times (30 - 24)^\circ\text{K} (1.2 \text{ m})^3}{\left(2.141 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}\right) \times \left(1.562 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)}$$

$$Ra_L = 1.0196 \times 10^9$$

Cálculo del número de Nusselt mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie en la que un fluido fluye.

$$Nu_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

**Ecuación 6.4**

$$Nu_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 (3.162392 \times 10^9)^{1/6}}{\left[ 1 + \left( \frac{0.492}{0.7296} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu_L = 176.1923$$

Cálculo del coeficiente de convección promedio

$$h_e = \frac{Nu_L \times K}{De}$$

**Ecuación 6.5**

$$h_e = \frac{176.1923 \times 0.02551 \frac{W}{m \cdot K}}{1.332 m}$$

$$h_e = 3.3743 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

#### 6.7.4 Coeficiente de convección interno

Propiedades del aire a  $180^\circ\text{C} = 453.15 \text{ }^\circ\text{K}$  se obtiene los valores del Anexo E1:

$K = 0.03646 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{K}$  Conductividad térmica

$v = 1.6 - 3.3 \text{ m/s}$  Velocidad del flujo Recomendado ASHARAE

$\rho = 0.7788 \text{ Kg/m}^3$  Densidad aire

$Pr = 0.6992$  Número de Prandtl

$\mu = 250.4 \times 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{s/m}^2$  Viscosidad dinámica

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot De}{\mu}$$

**Ecuación 6.6**

$$Re = \frac{0.7788 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 3.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1.332 m}{250.4 \times 10^{-7} \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^2}}$$

$$Re = 138327.9872$$

Si el número de Reynolds es menor de 2100 el flujo será laminar y si es mayor de 3000 el flujo será turbulento.

El valor del número de Reynolds es de régimen turbulento.

$$Nu = 0,0296 \cdot Re^{4/5} \cdot Pr^{1/3}$$

**Ecuación 6.7**

$$Nu = 0,0296 (138327.9872)^{4/5} (0.6992)^{1/3}$$

$$Nu = 340.5808$$

Entonces:

$$he = \frac{Nu \times K}{De}$$

$$he = \frac{340.5808 \times 0.03646 \frac{W}{m \cdot K}}{1.332 m}$$

$$he = 9.3225 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### 6.7.5 Tiempo de calentamiento de los productos

La temperatura del aire en el horno para el curado de los recubrimientos debe ser lo suficientemente alta, como para lograr que la superficie de la pieza alcance una temperatura de 180 °C durante un tiempo de 15 min. Basado en la figura 4-3, donde se presenta una curva tomada en un horno a gas de la empresa Ecuamatrix, se establece que el límite inferior de temperatura del horno es 170 °C, y se puede observar que el periodo de tiempo en el cual la superficie de la pieza, se mantiene por encima de los 180 °C supera los 10 min.



En el caso más crítico se tiene que el área equivalente expuesta al calentamiento y la longitud característica del producto son:

$$A_s = (0.3 \times 0.4) \text{ m}^2$$

$$A_s = 0.12 \text{ m}^2$$

$$L_c = 0.4 \text{ m}$$

$$m = 1 \text{ Kg (Masa de la placa)}$$

Para encontrar el valor de conducción térmica K de la placa ingresamos con la temperatura media:

$$T_m = \frac{T_i + T_a}{2}$$

**Ecuación 6.8**

Dónde:

$T_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  Temperatura inicial o del ambiente

$T_i = 180 \text{ }^\circ\text{C}$  Temperatura dentro de la cámara de polimerización

$$T_m = \frac{20 \text{ }^\circ\text{C} + 180 \text{ }^\circ\text{C}}{2} = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 383,15 \text{ }^\circ\text{K}$$

Tenemos que la Temperatura media es de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  con la misma se obtiene del Anexo E2:

$K = 42,2 \text{ W/m.}^\circ\text{K}$  Conductivida térmica.

$C_p = 487 \text{ J/Kg.}^\circ\text{K}$  Calor específico.

Reemplazando los valores obtenidos:

$$Bi = \frac{h \cdot Lc}{K}$$

**Ecuación 6.9**

$$Bi = \frac{9.3225 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \times 0.4 m}{42.2 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}} = 0,08836 < 0,1$$

El resultado obtenido indica que la resistencia interna del horno es despreciable lo cual valida el método de análisis térmico.

En el proceso de polimerización se lo hará por medio de convección forzada emitida por las resistencias eléctricas, lo que por su naturaleza emite una radiación térmica con lo cual el aire también es calentado dentro de la cámara de polimerización, convirtiéndose en un efecto mixto.

La ecuación de la conservación de la energía para cualquier instante en el tiempo es:

$$[h(T - T_\infty) + \varepsilon \sigma(T^4 - T_{alr}^4)]As = m \cdot Cp \frac{dT}{dt}$$

**Ecuación 6.10**

Al no ser posible integrar la ecuación diferencial se analizará por separado respectivamente para cada fenómeno de convección y radiación.

Considerando el efecto convectivo insignificante se reduce la ecuación a:

$$m \cdot Cp \frac{dT}{dt} = -\varepsilon \cdot \sigma(T^4 - T_{alr}^4) \cdot As$$

**Ecuación 6.11**

Separando las variables e integrando para la condición de que alcance una Temperatura T en un tiempo t se tiene que:

$$\frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s}{m \cdot C_p} \int_0^t dt = \int_{T_i}^T \frac{dt}{T_{alr}^4 - T^4}$$

$$t = \frac{m \cdot C_p}{4 \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s T_{alr}^3} \left[ \ln \left| \frac{T_{alr} + T}{T_{alr} - T} \right| - \left| \frac{T_{alr} + T_i}{T_{alr} - T_i} \right| + 2 \left( \tan^{-1} \left( \frac{T}{T_{alr}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{T_i}{T_{alr}} \right) \right) \right]$$

Esta expresión no sirve para evaluar de forma explícita el tiempo buscando ya que al ser la temperatura de los alrededores menor que la temperatura final de la placa, obtendremos un valor negativo el mismo que no existe el logaritmo natural.

Sin tomar en cuenta la temperatura de los alrededores  $T_{alr} = 0$  estableciendo los límites de integración se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s}{m \cdot C_p} \int_0^t dt = \int_{T_i}^T \frac{dt}{T^4}$$

$$t = \frac{m \cdot C_p}{3 \varepsilon \cdot \sigma \cdot A_s T_{alr}^3} \left( \frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_i^3} \right)$$

### Ecuación 6. 12

Para la aplicación de esta ecuación se debe conocer la emisividad de la placa laminado en frío. La cual está en la Tabla 2-2 y es  $\varepsilon = 0,3$

$m = 1 \text{ Kg}$  masa de probeta

$A_s = 0.12 \text{ m}^2$  área de probeta

$\varepsilon = 0,3$  emisividad

$\sigma = 1.38 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \text{°K}^4$  (Constante Boltzmann)

$T_a = 20 \text{ °C} = 293 \text{ °K}$  temperatura ambiente

$T_i = 180 \text{ °C} = 356 \text{ °K}$  temperatura interior

$C_p = 487 \text{ J/Kg} \cdot ^\circ\text{K} = 0,1352 \text{ Wh / Kg } ^\circ\text{K}$  calor específico.

$$t = \frac{m \cdot C_p}{3 \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^3} \left( \frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_i^3} \right)$$

$$t = \frac{1 \text{ Kg} \times 0,1352 \frac{\text{Wh}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}}{3 \left( 5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}^4} \right) (0,3) (0,12 \text{ m})^3} \left( \frac{1}{293^3 \text{ } ^\circ\text{K}} - \frac{1}{356^3 \text{ } ^\circ\text{K}} \right)$$

$$t = 0,388 \text{ h} = 23,30 \text{ min}$$

El cálculo obtenido es el tiempo que se demorara en calentar la probeta sin pintar, este valor es justificado ya que el metal tiene un coeficiente de absorción ( $a = \varepsilon$ ) de la energía emitida muy baja.

Al ingresar la probeta cubierta con pintura epoxi poliéster su emisividad cambia  $\varepsilon = 0.86 - 0.9$ , siendo necesario un tiempo de calentamiento con la probeta pintada.

$$t = 0,132 \text{ h} = 7,94 \text{ min}$$

Dado los valores de los tiempos se verificó que están dentro del rango consultando a los especialistas en estos hornos de polimerización, este tiempo logrará a reducir de 5 a 8 minutos.

Para la verificación del tiempo requerido se tomará los efectos convectivos sin tomar en cuenta la transferencia de calor por radiación.

Integrando con los límites establecidos de la ecuación 6.11 obtendremos

$$t = \frac{m \cdot C_p}{h_{\infty} \cdot A_S} \ln \left| \frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} \right|$$

**Ecuación 6. 13**

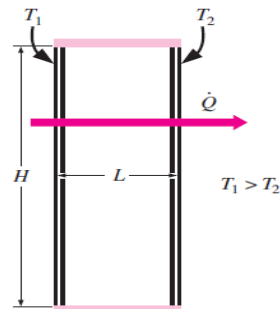
$$t = \frac{1 \text{ Kg} \times 0,1352 \frac{\text{Wh}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}}}{3.3743 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}} \times 0.12 \text{ m}^2} \ln \left| \frac{180 \text{ } ^\circ\text{K} - 200 \text{ } ^\circ\text{K}}{20 \text{ } ^\circ\text{K} - 200 \text{ } ^\circ\text{K}} \right|$$

$$t = 0,254 \text{ h} = 15,25 \text{ min}$$

Este tiempo concuerda con lo recomendado por las hojas técnicas de los proveedores de pintura epoxi poliéster la cual nos indica de 15 min a 180 °C.

### 6.7.6 Selección del material de aislamiento

La selección del aislante térmico se la debe realizar tomando en cuenta el precio y sus propiedades térmicas.



**Figura 6-4:** Espesor de aislamiento.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

$$T_i = 250 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura máxima interna en el techo.

$$h_i = 9.3225 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Coefficiente de convección interno medio.

$$T_a = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatura ambiente.

$$h_o = 3.3743 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Coefficiente de convección

$$K = 0,032 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

Conductividad térmica del aislante

Para el cálculo consideraremos lo siguiente:

- Transferencia de Calor estacionaria
- Transferencia de calor unidimensional

Las resistencias térmicas por convección y conducción se calculan mediante:

$$R_{conveccion} = \frac{1}{hi \cdot A}$$

**Ecuación 6. 14**

$$R_{conduccion} = \frac{x}{Kx \cdot A}$$

**Ecuación 6. 15**

Área del techo = (10 x 1.20) m<sup>2</sup> = 12 m<sup>2</sup>

$$R_{conveccion} = \frac{1}{9.3225 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 12 \text{ m}^2} = 8.938 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C/W$$

$$R_{conduccion} = \frac{1}{3.3743 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \times 12 \text{ m}^2} = 0.0246 \text{ } ^\circ C/W$$

$$R_x = \frac{x}{0,032 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \times 12 \text{ m}^2} = \frac{x}{0.384} \text{ } ^\circ C/W$$

$$R_{Total} = R_{conv} + R_{cond} + R_x$$

**Ecuación 6. 16**

$$R_{Total} = 8.938 \times 10^{-3} + 0.0246 + \frac{x}{0.384}$$

$$R_{Total} = 0.0335 + \frac{x}{0.384} = \frac{12.878 x 10^{-3} + x}{0.384}$$

La pérdida de calor hacia el ambiente por paredes planas es:

$$Q = \frac{T_i - T_o}{R_{Total}} = \frac{(180 - 20)}{\frac{12.878 x 10^{-3} + x}{0.384}} = \frac{61.44 W}{12.878 x 10^{-3} + x}$$

**Ecuación 6.17**

$$Q = \frac{T_s - T_a}{R_x} = \frac{(160 - 18)}{\frac{x}{0.384}} = \frac{54.52 W}{x}$$

**Ecuación 6.18**

Igualando las ecuaciones 6.17 = 6.18 se obtiene:

$$\frac{54.52}{x} = \frac{61.44 W}{12.878 x 10^{-3} + x}$$

$$61.44 x = 54.52 (12.878 x 10^{-3} + x)$$

$$x = 0.196 m = 8 plg$$

### 6.7.7 Calor necesario para el proceso de polimerización

Para determinar este valor se empleara la siguiente expresión:

$$Q_{curado} = Q_s + Q_p + Q_a$$

**Ecuación 6. 19**

Dónde:

Qs = carga térmica para calentar el producto

Qp = carga térmica por Pérdida

$Q_a$  = carga térmica del aire renovable ventilador

$Q_t$  = carga térmica del transportador

Todos estos valores son necesarios para cada periodo de tiempo.

### a) Cálculo de $Q_s$

El cálculo de calor necesario mínimo que requiere los productos para alcanzar la temperatura adecuada para la pintura epoxi poliéster tenga una buena polimerización. Para encontrar  $Q_s$  debemos sumar la carga térmica del sustrato  $Q_{s1}$  y la carga térmica de la pintura epoxi poliéster  $Q_{s2}$ .

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2}$$

**Ecuación 6.20**

Dónde:

$$Q_{s1} = m_{sustrato} \times Cp \Delta T$$

Propiedades del material:

Acero laminado en frio 0,9 mm  $\approx$  AISI 1010 (Tabla Anexo E2)

$C_p = 434 \text{ J/Kg}^\circ\text{K}$

Calor especifico

$m = 0.7 \text{ Kg}$

(peso de la base 220x200x70)

$m_T = m * \# \text{ piezas}$

# cantidad que entran en el horno

$m_T = 0,7 * 92$

$m_T = 64.4 \text{ Kg}$



$$\Delta T = (180 - 18) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 163 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_{s1} = 64.4 \text{ Kg} \times 0.434 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \times 163 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$Q_{s1} = 4555.784 \text{ KJ}$$

Q<sub>s2</sub> Carga térmica de la pintura o recubrimientos:

$$Q_{s1} = m_{pintura} \times C_p \Delta T$$

**Ecuación 6.21**

Propiedades de la pintura epoxi poliéster

$$C_p = 1.884 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{K}$$

Calor específico

$$\rho = 1473.69 \text{ Kg / m}^3$$

Densidad

$$e = 100 \text{ } \mu\text{m} = 9,9744 \times 10^{-5} \text{ m}$$

Espesor de la pintura 80 micras

$$A_t = 0.12 \text{ m}^2$$

Area probeta

$$T_i = 180^\circ\text{C}$$

Temperatura interior

$$T_a = 18^\circ\text{C}$$

Temperatura ambiente

$$m = \rho \cdot A_t \cdot e$$

**Ecuación 6.22**

$$m = 1473.69 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.12 \text{ m}^2 \times 9.9744 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$m = 0,01766 \text{ Kg}$$

Masa Total:

$$m_T = m \cdot \# \text{ piezas}$$

$$m_T = 0,01766 \text{ Kg} \times 92$$

$$m_T = 1,6254 \text{ Kg}$$

$$Q_{s2} = 1.6254 \text{ Kg} \times 1.884 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}} (180 - 18) ^\circ\text{K}$$

$$Q_{s2} = 496.08 \text{ KJ}$$

Reemplazando los valores:

$$Q_{s2} = 4555.784 \text{ KJ} + 496.08 \text{ KJ}$$

$$Q_s = 5051.864 \text{ KJ}$$

El tiempo de polimerización recomendado por los fabricantes de pintura epoxi polyester es de 15 min. = 0.25 h.

$$Q_s = \frac{5051.864 \text{ KJ}}{0.25} \frac{\text{KJ}}{\text{h}} = 20207.456 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

### 6.7.8 Cálculo de la pérdida de calor

$Q_p$  es el calor perdido por las paredes planas, techo, aberturas, puertas que pueda tener el horno durante su funcionamiento y su jornada de trabajo.

Dónde:

$Q_{pp}$ : calor perdido en paredes

$Q_{pt}$ : calor perdido en techo

$Q_{ps}$  : calor perdido en el piso

$Q_{pu}$  : calor perdido en puertas frontal y posterior

$Q_{pa}$  : calor perdido en aberturas (aire que se escapa al ambiente)

$Q_{pr}$  : calor perdido por radiación

$$Q_p = Q_{pp} + Q_{pt} + Q_{ps} + Q_{pu} + Q_{pa} + Q_{pr}$$

**Ecuación 6. 23**

**a) Cálculo de  $Q_{pp}$**

La determinación de las Pérdida por las paredes del horno de polimerización se da por la siguiente expresión:

$$Q_{pp} = \frac{T_{int} - T_{amb}}{\Sigma R}$$

**Ecuación 6. 24**

Dónde:

$T_{int}$  = Es la temperatura dentro de la cámara polimerización

$T_{amb}$  = Es la temperatura del medio ambiente

$\Sigma R$  = Resistencia total desde el ambiente interno hasta el medio ambiente.

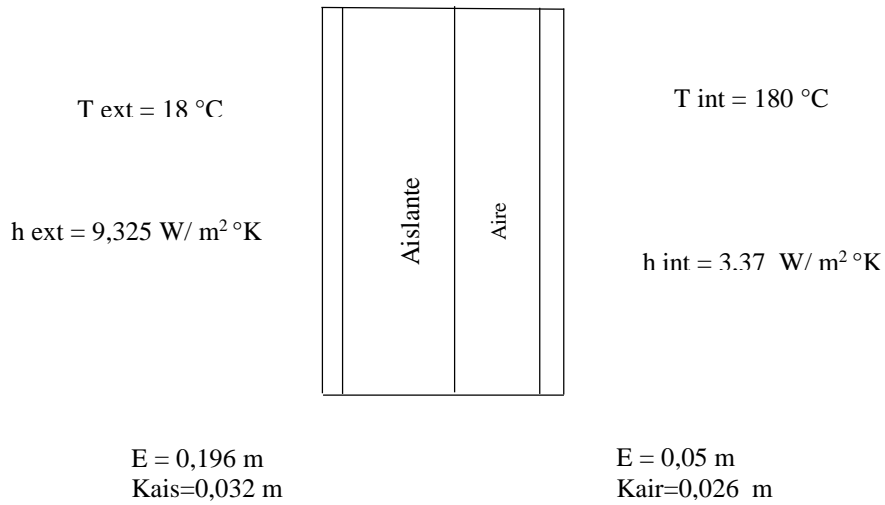
La resistencia equivalente o total es igual a:

$$\Sigma R = R_{\infty} + R_{aire} + R_s + R_a + R_e + R_o$$

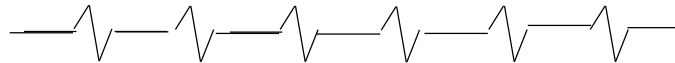
**Ecuación 6.25**

Placa  $K = 65,25 \text{ W/m}^\circ\text{K}$   
 Espesor placa = 0,9 mm

Placa  $K = 55,35 \text{ W/m}^\circ\text{K}$



$R_o$     $R_e$     $R_a$     $R_s$     $R_{aire}$     $R_\infty$



**Figura 6-5:** Resistencia del horno.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

Dónde:

$R_\infty$  = Resistencia por convección del ambiente interno a la pared de la cámara.

$R_s$  = Resistencia por conducción de la pared interna a la superficie interna del aislamiento térmico.

$R_a$  = Resistencia por conducción de la superficie interna a la externa del aislamiento.

$R_e$  = Resistencia por conducción de la pared externa del aislamiento hacia la pared externa del horno.

$R_o$  = Resistencia por convección de la pared externa del horno al medio ambiente.

$R_{aire}$  = Resistencia por convección de la pared externa del horno al aire interno.

Las resistencias  $R_{\infty}, R_o$  por convección se determinarán por la ecuación 6.14 y  $R_s, R_a, R_e$  se calcular por medio de la ecuación 6.15.

Los valores de las pérdidas de calor por las paredes se determinarán por las ecuaciones 6. 14 y 6.15.

#### **a) Cálculo de la pérdida de calor en las paredes**

La pared del horno está compuesta por lámina galvanizada de acero al carbono cuyo espesor es 0,9 mm, y contiene el aislante seleccionado en la sección 6.7.6.

Para el cálculo de las pérdidas de calor en el horno se realizan las siguientes suposiciones:

- Conducción en estado estable.
- Conducción unidimensional a través de la pared.
- Conductividad térmica constante.
- Resistencia térmica de contacto despreciable.
- Se supone una cámara interna del horno un poco más amplia para efecto de los cálculos.

**Tabla 6-4 .Dimensiones y sus propiedades térmicas del horno**

<b>DIMENSIONES</b>				
Largo	9,8	m		
Alto	1,8	m		
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>				
°T ambiente	18	°C		
°T Trabajo	180	°C		
hi	9,325	W/m2 °C		
ho	3,37	W/m2 °C		
K AISI 1010	65,25	W/m°K	0,0009	m
K AISI 1010	55,35	W/m°K	0,0009	m
K lana de Vidrio	0,032	W/m°K	0,196	m
K aire	0,026	W/m°K	0,05	m

**Fuente:** Valencia Alvaro.

**Tabla 6-5. Cálculo de la pérdida de Calor**

<b>CÁLCULOS</b>				
			Datos	Unid.
$R_{conveccion} = \frac{1}{hi \cdot A}$	Área		35,28	m2
	R∞		0,003039643	°C/W
	Ro		0,008410882	°C/W
		Rs	3,90961E-07	°C/W
$R_{conduccion} = \frac{x}{Kx \cdot A}$	Ra		4,60889E-07	°C/W
	Re		0,090171485	°C/W
	Raire		0,03270539	°C/W
		Resist.Total	0,134328252	°C/W
		Qpp	1206,000957	W

		Qpp	1,21	KW
--	--	-----	------	----

**Fuente:** Valencia Alvaro.

**b) Cálculo de la pérdida de calor en el techo**

**Tabla 6-6.** Dimensiones y sus propiedades térmicas del horno

<b>DIMENSIONES</b>				
Largo	9,8	m		
Ancho	1,3	m		
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>				
°T ambiente	18	°C		
°T Trabajo	180	°C		
hi	9,325	W/m <sup>2</sup> °C		
ho	3,37	W/m <sup>2</sup> °C		
K AISI 1010	65,25	W/m°K	0,0009	m
K AISI 1010	55,35	W/m°K	0,0009	m
K lana de Vidrio	0,032	W/m°K	0,196	m
K aire	0,026	W/m°K	0,05	m

**Fuente:** Valencia Alvaro.

**Tabla 6-7.**Calculo de la perdida de Calor

<b>CÁLCULOS</b>			
		Datos	Unid.
$R_{conveccion} = \frac{1}{hi.A}$	Área	12,74	m <sup>2</sup>
	R <sub>∞</sub>	0,008417473	°C/W
	R <sub>o</sub>	0,023291672	°C/W
	R <sub>s</sub>	1,08266E-06	°C/W

$R_{conduccion} = \frac{x}{Kx.A}$	Ra	1,27631E-06	°C/W
	Re	0,249705651	°C/W
	Raire	0,090568772	°C/W
	Resist.Total	0,371985928	°C/W
	Qpt	435,5003455	W
	Qpt	0,435	KW

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### c) Cálculo de la pérdida de calor en el piso

Tomando en cuenta que el horno reposa en sus soportes en el piso y está compuesta por lámina galvanizada de acero al carbono cuyo espesor es 0,9 mm, se realiza el cálculo de transferencia de calor en el piso para hallar las pérdidas de calor que en este se generan.

**Tabla 6-8.** Dimensiones y sus propiedades térmicas del horno

<b>DIMENSIONES</b>				
Largo	9,8	m		
Ancho	1,2	m		
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>				
°T ambiente	18	°C		
°T Trabajo	180	°C		
hi	9,325	W/m <sup>2</sup> °C		
ho	3,37	W/m <sup>2</sup> °C		
K AISI 1010	65,25	W/m°K	0,0009	m
K AISI 1010	55,35	W/m°K	0,0009	m
K lana de Vidrio	0,032	W/m°K	0,196	m
K aire	0,026	W/m°K	0,05	m

**Fuente:** Valencia Alvaro.



**Tabla 6-9.** Calculo de la perdida de Calor

CÁLCULOS				
			Datos	Unid.
$R_{conveccion} = \frac{1}{hi .A}$	Área		11,76	m2
	R∞		0,009118929	°C/W
	Ro		0,025232645	
$R_{conduccion} = \frac{x}{Kx .A}$	Rs		1,17288E-06	°C/W
	Ra		1,38267E-06	°C/W
	Re		0,270514456	°C/W
	Raire		0,270514456	°C/W
	Resist.Total		0,575383041	°C/W
	Qps		281,5515724	W
	Qps		0,281	KW

**Fuente:** Valencia Alvaro.

**d) Cálculo de la pérdida de calor en las puertas**

Tomando en cuenta:

- Que existe una puerta de entrada y otra de salida.
  
- Que la cantidad de estaciones en el transportador depende del ancho del horno y de la distancia mínima que se permite entre pieza. Esta distancia se toma como 200 mm, para que de esta manera se puedan colgar marcos de carretillas, cuyo ancho es 1000 mm, uno al lado del otro.

**Tabla 6-10.** Dimensiones y sus propiedades térmicas del horno

<b>DIMENSIONES</b>				
Dimensiones				
Alto	1,8	m		
Ancho	1,2	m		
<b>PROPIEDADES TERMICAS</b>				
°T ambiente	18	°C		
°T Trabajo	180	°C		
hi	9,325	W/m <sup>2</sup> °C		
ho	3,37	W/m <sup>2</sup> °C		
K AISI 1010	65,25	W/m°K	0,0009	m
K AISI 1010	55,35	W/m°K	0,0009	m
K lana de Vidrio	0,032	W/m°K	0,196	m
K aire	0,026	W/m°K	0,05	m

**Fuente:** Valencia Alvaro.

**Tabla 6-11.** Calculo de la pérdida de Calor

<b>CÁLCULOS</b>				
			Datos	Unid.
$R_{conveccion} = \frac{1}{hi \cdot A}$	Área		4,32	m <sup>2</sup>
	R <sub>∞</sub>		0,024823751	°C/W
	R <sub>o</sub>		0,068688867	°C/W
$R_{conduccion} = \frac{x}{Kx \cdot A}$	R <sub>s</sub>		3,19285E-06	°C/W
	R <sub>a</sub>		3,76393E-06	°C/W
	R <sub>e</sub>		0,736400463	°C/W
	R <sub>aire</sub>		0,267094017	°C/W
		Resist.Total	1,097014055	°C/W

		Qpu	147,6735865	W
		Qpu	0,147	KW

**Fuente:** Valencia Alvaro.

**e) Cálculo del calor perdido en aberturas**

El calor perdido hacia el ambiente se da por fenómenos convectivos, utilizando las siguientes ecuación

$$Q_{pp} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{pa}}$$

**Ecuación 6.27**

$$R_{pa} = \frac{1}{h_{\infty} - A_{to}}$$

**Ecuación 6.28**

Dónde:

Rpa: Resistencia por convección hacia el medio ambiente.

Ato: Es el área total de los orificio

Las pérdidas de calor en las aberturas se toman un valor de 5mm en el peor de casos tanto en las puertas y elementos soldados.

$$A_{to} = 0,025 \text{ m}^2$$

Reemplazando en las ecuaciones se obtiene los siguientes valores:

$$R_{pa} = \frac{1}{9.3225 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} - 0,025 \text{ m}^2} = 0,1075 \frac{^\circ K}{W}$$

$$Q_{pp} = \frac{180^{\circ}K - 18^{\circ}K}{0,1075 \frac{^{\circ}K}{W}} = 1.506 \text{ KW}$$

#### f) Cálculo del calor perdido por radiación

Las superficies emiten y absorben energía radiante con diferente intensidad, según sea la naturaleza de la propia superficie.

$$Q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A (T_s^4 - T_a^4)$$

**Ecuación 6.29**

Dónde:

Q<sub>r</sub>= Calor transmitido por radiación

ε = Emisividad de la superficie emisora 0,074

σ = Constante universal 5.67 x 10<sup>8</sup> W/m<sup>2</sup> · K<sup>4</sup>

T<sub>s</sub> = temperatura de la superficie emisora 180°C

T<sub>a</sub> = temperatura ambiente 18 °C

A = Área de la superficie emisora 12,74 m<sup>2</sup>

$$Q_r = 0,074 \cdot \left( 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right) \cdot 12,74 \text{ m}^2 (180^4 - 18^4)^{\circ}K$$

$$Q_r = 0.056 \text{ KW}$$

Sumando el valor de todas las pérdidas de calor

$$Q_{pp} = (1.21 + 0.435 + 0.281 + 0.147 + 1.506 + 0.056) \text{ KW}$$

$$Q_{pp} = 3.635 \text{ KW}$$

**Tabla 6-12.** Pérdidas de calor

<b>Descripción</b>	<b>Perdida de calor</b>
Paredes	1.21 KW
Techo	0.435 KW
Piso	0.281 KW
Puertas	0.147 KW
Aberturas	1.506 KW
Radiación	0.056 KW
<b>Total</b>	<b>3.635 KW</b>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

**g) Cálculo de la carga térmica del aire**

El cálculo de la masa del aire ocupado en la cámara de polimerización debemos partir del volumen ocupado.

$$V = L. a. h$$

**Ecuación 6.30**

$$V = 9,8 \times 1,8 \times 1,2$$

$$V = 21,168 \text{ m}^3$$

$$T_i = 180^\circ\text{C}$$

$$T_a = 18^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 162^\circ\text{C}$$

$$^{\circ}\text{T promedio} = 100^\circ\text{C} = 373,15^\circ\text{K}$$

Propiedades del aire a 373,15 °K

$$C_p = 1,009 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{K}$$

$$\rho = 0,9458 \text{ Kg/m}^3$$

$$m = \rho \times V$$

**Ecuación 6.31**

$$m = 0,9458 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 21,168 \text{ m}^3 = 20.02 \text{ Kg}$$

En el catálogo de ventiladores S & P la renovación de aire para este tipo de ambientes es de 30 a 60 NR/h (NR = renovación de aire por hora). Para los cálculos se tomó el valor promedio.

$$\dot{m} = 40 \frac{\text{NR}}{\text{h}} \times 20.02 \text{ Kg}$$

$$\dot{m} = 800,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Reemplazando estos valores obtendremos la carga térmica del aire renovable:

$$Q_a = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

**Ecuación 6.32**

$$Q_a = 800,8 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1,009 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \times 162^\circ\text{K}$$

$$Q_a = 130897.166 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} = 36.36 \text{ KW}$$

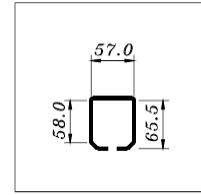
El calor del transportador es de 25% del calor del perfil en el régimen de trabajo

Material del Perfil compuesto Tipo Riel

$$\text{masa} = 51,345 \text{ Kg} \times 6\text{m} = 83,86 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m}$$

$$C_p = 0,487 \text{ KJ/Kg } ^\circ\text{K}$$

$$\Delta T = (180 - 18) = 162 \text{ } ^\circ\text{K}$$



$$Q_t = 0,25 \left( \frac{83,86 \text{ Kg} \times 0,487 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \times 162 \text{ } ^\circ\text{K}}{0,25} \right)$$

$$Q_t = 6616.05 \text{ KJ}$$

Finalmente el calor empleado en el proceso de polimerización es:

$$Q_p = (5051.864 + 130897.166 + 6616.05) \text{ KJ}$$

$$Q_p = \frac{142565.08 \text{ KJ}}{900 \text{ s}} = 158.40 \text{ KW}$$

#### **h) Calor total suministrado por el sistema.**

Una vez que se conoce el valor de las pérdidas de calor para un ciclo de funcionamiento, y la cantidad de calor absorbido por la carga durante el periodo de calentamiento, el calor total aportado por el sistema es:

$$Q_T = Q_p - Q_{pp}$$

**Ecuación 6.33**

$$Q_T = 158.40 \text{ KW} - 3.635 \text{ KW} = 154.765 \text{ KW}$$

#### **6.7.9. Rendimiento térmico**

$$R_T = \frac{154.765 \text{ KW}}{158.40 \text{ KW}} = 97,77 \%$$

### 6.7.10. Selección del ventilador

Caudal del Ventilador

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow V = \frac{m}{\rho}$$

**Ecuación 6.34**

El sistema absorberá en un porcentaje del 50% del flujo interno de la cámara para el efecto se tomará del ambiente para renovarlo.

$$Q = \frac{800,8 \frac{kg}{h}}{0,9458 \frac{kg}{m^3}} \times 0,5 = 378,69 \frac{m^3}{h}$$

Velocidad del aire caliente que sale por las puertas

$$m = \rho \times v \times A \rightarrow v = \frac{m}{\rho \times A}$$

**Ecuación 6.35**

A área de la puerta

$$A = (1.8 \times 1.2) = 2,16 \text{ m}^2$$

$$v = \frac{800,8 \frac{kg}{h}}{0,9458 \frac{kg}{m^3} \times 2.16 \text{ m}^2} = 391.98 \frac{m}{h} = 0,108 \frac{m}{s}$$

La selección de la velocidad del soplador debe ser mayor que la velocidad de salida del aire caliente determinado en catalogo se determina una velocidad de 1 a 3,2 m/seg.

Selección del Ventilador



El caudal a renovarse es de  $400 \frac{m^3}{h}$  lo cual se seleccionará un ventilador centrífugo Soler & Palau. Catalogo Soler & Palau modelo CET-60000.

#### 6.7.11. Diseño de ductos

Debido a que el intercambiador utilizado es del tipo regenerador donde el fluido caliente fluye a través del mismo espacio seguido de un frío entre los cuales se intercambia el calor, los ductos del sistema serán utilizados para recircular el aire caliente y como intercambiador de calor.

Para el cálculo del caudal de flujo másico que ingresa al interior de la cámara de polimerización se utiliza la siguiente ecuación basada en las normas ASHRAE

$$Q = V \times A \quad \rightarrow \quad V = \frac{Q}{A}$$

**Ecuación 6.36**

Dónde:

$Q$  es el caudal de la corriente de aire, en  $m^3/h$

$A$  es la sección transversal del conducto, en  $m^2$

Obtenido el caudal que proporciona el ventilador y la velocidad de salida, que es una constante impuesta para el diseño.

Velocidad de salida del ventilador despejando de la ecuación 6.36 se obtiene.

$$V1 = \frac{Q}{A1}$$

$A1$  área de descarga del ventilador

$$A1 = (0,153 \times 0,089) \text{ m}^2$$

$$A1 = 0,0136 \text{ m}^2$$

$$V1 = \frac{400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,0136 \text{ m}^2} = 29375,04 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 8,159 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Velocidad en los ductos

$$Q = \frac{1}{2} Qv = \frac{1}{2} \left( 400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$A2 = (0,12 \times 0,06) \text{ m}^2$$

$$A2 = 0,0072 \text{ m}^2$$

$$V2 = \frac{400 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,0072 \text{ m}^2} = 55555,5 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 15,43 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Dimensionamiento del soplador

Aplicando la ecuación de continuidad

$$Q = A2 \times V2 = A3 \times V3$$

**Ecuación 6.37**

$$A3 = \frac{A2 \times V2}{V3} = \frac{0,0072 \text{ m}^2 \times 15,43 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}{2,5 \frac{\text{m}}{\text{seg}}} = 0,044 \text{ m}^2$$

La altura del soplador que cubre la superficie inferior de la cámara de curado, el ancho a entrar es de:

$$\text{altura} = \frac{A3}{h} = \frac{0,044 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 0,044 \text{ m}$$

### 6.7.12. Perdidas en la succión

$$Q = 400 \text{ m}^3/\text{h} = 406824,96 \text{ plg}^3/\text{min}$$

$$\varnothing = 152 \text{ mm} = 6 \text{ plg.}$$

La longitud total es de  $L = 0,4 \text{ m} = 15,74 \text{ plg}$

Las pérdidas por fricción para flujos de aire en ductos galvanizados están basadas en las normas ASHRAE (Asociación Americana de Aire Acondicionado y Ventilación)

$$Hf_n = \frac{\text{Pérdida (plg - ca)}}{100 \text{ plg}} \times \text{Longitud plg}$$

**Ecuación 6.38**

$$Hf_{nt} = \frac{1,75 (\text{plg} - \text{ca})}{100 \text{ plg}} \times 15,74 \text{ plg}$$

$$Hf_{nt} = 0,275 \text{ plg} - \text{ca}$$

Pérdida en la conexión de tubería al ventilador. Anexo E4

Número de piezas = 4

$$R = 145 \text{ mm} = 5.74 \text{ plg.}$$

$$D = 143 \text{ mm} = 5.62 \text{ plg.}$$

$$R/D = 1.013 = 1$$

C = Coeficiente de pérdidas .Anexo E4

Realizando la interpolación  $C = 0,7$

Área del ducto

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 = \frac{\pi}{4} (5.62 \text{ plg})^2 = 24,80 \text{ plg}^2$$

Velocidad del flujo

$$Vt = \frac{Q}{Ad} = \frac{406824,96 \frac{\text{plg}^3}{\text{min}}}{24,80 \text{ plg}^2} = 16400.04 \text{ plg}/\text{min}$$

$$Hfn = C \left[ \frac{Vt}{4000} \right]^2$$

**Ecuación 6.39**

$$Hfn = 0,7 \left[ \frac{16400.04 \text{ plg}/\text{min}}{4000} \right]^2 = 11.76 \text{ plg} - ca$$

Pérdida total de Succión

$$Hfs = Hfn + Hfnt$$

**Ecuación 6.40**

$$Hfs = 0,275 \text{ plg} - ca + 11.76 \text{ plg} - ca = 12.042 \text{ plg} - ca$$

### 6.7.13. Perdidas en la descarga

El caudal es de 406824,96 plg<sup>3</sup>/min

a = 77 mm = 3,03 plg.

b = 138 mm = 5,433 plg.

Diámetro equivalente  $\emptyset = 5,5 \text{ plg}$ .

$$Hf_1 = \frac{1,5 (\text{plg} - ca)}{100 \text{ plg}} \times 5,5 \text{ plg}$$

$$Hf_1 = 0,0825 \text{ plg} - ca$$

Pérdida en la reducción el ducto.

$$a = 77 \text{ mm} = 3,03 \text{ plg.}$$

$$b = 138 \text{ mm} = 5,433 \text{ plg.}$$

$$c = 87 \text{ mm} = 3,425 \text{ plg.}$$

$$A1 = 3,425 \times 5,433 = 18 \text{ plg}^2.$$

$$A2 = 3,425 \times 3,03 = 10 \text{ plg}^2.$$

$$A1/A2 = 18/10 = 1,8$$

$C = 0,05$  Se toma el mínimo valor. Anexó E4

Reemplazando estos valores en la ecuación 6.39

$$Hf_2 = 0,05 \left[ \frac{16400.04 \text{ plg}/\text{min}}{4000} \right]^2 = 0,084 \text{ plg} - ca$$

$$Hf_t = 0,084 \text{ plg} - ca + 0,0825 \text{ plg} - ca = 0,1665 \text{ plg} - ca$$

Pérdida en el distribuidor de ductos en el ramal se analiza 1 ramal equivalente a un codo de radio uniforme.

$$R = 100 \text{ mm} = 3,93 \text{ plg.}$$

$$W = 95 \text{ mm} = 3,74 \text{ plg.}$$

$$H = 118 \text{ mm} = 4,64 \text{ plg.}$$

$$R/W = 3,93/3,74 = 1,05$$

$$H/W = 4,64/3,74 = 1,24 \quad C = 0,2. \text{Anexo E4}$$

$$A = (3,74 \times 4,64) = 17,35 \text{ plg}^2$$

$$V = \frac{16400.04 \text{ plg}/\text{min}}{17.35 \text{ plg}^2} = 945.24 \text{ plg} - ca$$

$$Hf = 0,2 \left[ \frac{945.24 \text{ plg} - ca}{4000} \right]^2 = 0,011 \text{ plg} - ca$$

Caudal en cada ramal  $Q = 406824,96 \text{ plg}^3/\text{min}$  en cada ramal.

Pérdida en el ducto.

$$L = 0,5 \text{ m} = 19,69 \text{ plg.}$$

$$a = 118 \text{ mm} = 4,64 \text{ plg.}$$

$$b = 150\text{mm} = 5,90 \text{ plg.}$$

$\emptyset = 5,9 \text{ plg.}$  “Diámetro Equivalente”

$$Hf3 = \frac{0,55}{100} \times 5,9 \text{ plg} = 0,032 \text{ plg} - ca$$

Pérdida en el codo de radio uniforme.

$$R = 117 \text{ mm} = 6,96 \text{ plg.}$$

$$W = 118 \text{ mm} = 4,645 \text{ plg.}$$

$$H = 150 \text{ mm} = 5,90 \text{ plg.}$$

$$R/W = 1,17; H/W = 1,270 \quad C = 0,16. \text{ Anéxo E4}$$

$$A = (4,645 \times 5,90) = 27.04 \text{ plg}^2$$

$$v = 16400.04 \text{ plg}/\text{min} / 0,23 = 1027,60 \text{ p} / \text{min.}$$

$$V_4 = \frac{16400.04 \text{ plg}/\text{min}}{27.40 \text{ plg}^2} = 598.54 \frac{\text{plg}}{\text{min}}$$

$$H_{f4} = 0,16 \left[ \frac{598.54 \text{ plg}/\text{min}}{4000} \right]^2 = 0,0035 \text{ plg} - \text{ca}$$

Pérdida Total en el difusor

$$H_{ft} = (0,1665 + 0,011 + 0,032 + 0,0035) \text{ plg} - \text{ca}$$

$$H_{ft} = 0,213 \text{ plg} - \text{ca}$$

Pérdida total del sistema

$$H_{ft} = (0,1085 + 0,1079 + 0,0825) \text{ plg} - \text{ca}$$

$$H_{ft} = 0,2989 \text{ plg} - \text{ca}$$

Diseño del Difusor

Para el diseño del difusor es necesario tomar en cuenta la altura del difusor que es equivalente a la altura de la cámara de curado en ancho es de  $2 \text{ plg} = 0,508 \text{ m}$ .

#### **6.7.14. Cálculo de las resistencias**

Dentro el cálculo de las resistencias para el horno, intervienen varios factores importantes:

- Potencia del horno
- Tensión disponible en la red
- Temperatura de los elementos
- Carga específica
- Coeficiente de resistividad

- Elementos de resistencia y duración de los elementos.
- Conexión eléctrica.

Para nuestro caso tenemos:

Potencia del horno = 158400 W

Tensión = 220 V

Temperatura de trabajo = 180 °C

**a) Potencia de fase.**

$$PF = \frac{Pt}{3} = \frac{158400 \text{ W}}{3} = 52800 \text{ W}$$

**Ecuación 6.41**

**b) Corriente de fase.**

$$IF = \frac{Pt}{Vl} = \frac{52800 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 240 \text{ A}$$

**Ecuación 6.42**

**c) Corriente de línea.**

$$IL = \sqrt{3} IF = \sqrt{3} (240 \text{ A}) = 415.69 \text{ A}$$

**Ecuación 6.43**

**d) Potencia total.**

$$Pt = 3 Req \times IF^2$$

**Ecuación 6.44**



e) **Resistencia equivalente.**

$$R_{eq} = \frac{Pt}{3 \times IF^2} = \frac{52800 W}{3(415.69^2)} = 0.10 \Omega$$

$$R = 2 R_{eq}$$

$$R = 2 \times 0.10 \Omega = 0.203 \Omega$$

### 6.7.15. Cálculo numérico de los elementos de resistencia

Con lo expuesto anteriormente se calcula los parámetros que determinan los elementos de resistencia.

Para calcular el diámetro del elemento utilizaremos los siguientes datos:

Potencia del horno = 52800 W

Tensión = 220 V

Temperatura de trabajo = 180°C

Factor de temperatura Ct, para T = 180°C, tenemos un valor de 1.01

Carga específica (p) = 6,67 W/cm<sup>2</sup>.

Resistividad eléctrica (ρ) = 139 μΩ /cm = 1.39\*10<sup>-4</sup> Ω/cm.

$$cm^2 / \Omega = \frac{P^2 \times Ct}{V^2 \times p} = \frac{(52800^2) \times 1.01}{(220^2)(6.67)} = 8722.03 \quad cm^2 / \Omega$$

**Ecuación 6.45**

Con este valor vamos a la tabla del Anexo E3, observamos que corresponde un diámetro d = 8 mm (diámetro de hilo), cuya resistencia por unidad de longitud es 0.0288 Ω/m.

Datos por elemento

**a) Resistencia en caliente (Rc)**

$$R_c = R = 9.68 \Omega$$

**b) Resistencia en frío (R20°C)**

$$R_c 20^\circ C = \frac{R_c}{Ct} = \frac{9.68}{1.01} = 9.584 \Omega$$

**Ecuación 6.46**

**c) Longitud radiante de hilo (L)**

$$L = \frac{P}{3.1416 \times d \times p} = \frac{30000}{3.1416 \times 5.5 \times 6.67} = 260.30 \text{ cm}$$

**Ecuación 6.47**

$$L = 2.60 \text{ m}$$

**d) Diámetro de la espiral (D)**

Para hornos industriales, la temperatura de los elementos menores a 1000 °C, se tiene:  $D/d = 6 - 8$

$$D/d = 7 \text{ esto implica } D = 7d = 7 \times (5.5) = 38.5 \text{ mm} - 39 \text{ mm}$$

**e) Número de espiras (n)**

$$n = \frac{1000 \times L}{3.1416 (D - d)} = \frac{1000(2.60)}{3.1416(39 - 5.5)} = 25 \text{ espiras}$$

**Ecuación 6.48**

**f) Longitud de la espira comprimida (Lw)**

$$L_w = n \cdot d = 25 \times 5.5 = 137.5 \text{ mm.} \quad \text{Ecuación 6.49}$$

**g) Paso de arrollamiento (s)**

Se tratara de obtener la distancia más larga entre las espiras vecinas, para que sea menor la radiación recíproca.

Los valores recomendados para el paso son:  $s/d = 2 - 4$

Se escoge 3.

$$S / d = 3 \text{ esto es } S = 4 \times d; s = 4 \times 5.5 = 22 \text{ mm.} \quad \text{Ecuación 6.50}$$

**h) Longitud de la espira extendida (L)**

$$L = s \times n$$

$$L = 22 \times 25 = 550 \text{ mm.} \quad \text{Ecuación 6.51}$$

**6.7.16. Diseño estructural del horno.**

En el diseño de este tipo de hornos para la polimerización se debe construir con elementos metálicos como perfiles y planchas de acero, elementos no metálicos resistentes al calor.

- Carga muerta (D)
- Carga Viva (L)
- Carga de Viento (W)

En el diseño no se considera cargas de viento, accidentales ya que el horno se encuentra en la parte interna de la empresa.

### 6.7.17. Cálculo de cargas

#### a) Cálculo de carga muerta

El cálculo de esta carga es permanente y está compuesta por todos los elementos estructurales.

➤ Peso total de paredes

Peso del Tool de pared

$$\dot{m} \text{ paredes} = L \times h \times 2e \times \rho$$

**Ecuación 6.52**

Dónde:

L = longitud del horno (10000mm)

h = altura del horno (1500 mm)

e = espesor del tool laminado en frio (0.9mm)

$\rho$  = densidad del tool (acero ASTM A 36) Anexo E7 (7832 Kg/m<sup>3</sup>)

N = 4 pórticos.

$$\dot{m} \text{ paredes} = 10m \times 1.5m \times 2(0.0009) m \times 7832 \frac{Kg}{m^3} = 211.952 Kg$$

$$\dot{m} \text{ paredes} = \frac{211.952}{4} = 52.86 Kg$$

Peso del aislante de pared

Utilizando la ecuación 6.20 tenemos:

$$L=10000 \text{ mm}$$

$$h = 1500 \text{ mm}$$

$$e = 196 \text{ mm}$$

$$\rho = 36.3 \text{ kg / m}^3$$

$$\dot{m} \text{ aislante} = 10m \times 1.5m \times 2(0.196m) \times 36.3 \frac{Kg}{m^3} = 213.44 \text{ Kg}$$

$$\dot{m} \text{ aislante} = \frac{213.44 \text{ Kg}}{4} = 53.36 \text{ Kg}$$

El peso total de las paredes es:

$$\dot{m} \text{ total paredes} = \dot{m} \text{ paredes} + \dot{m} \text{ aislante}$$

**Ecuación 6.53**

$$\dot{m} \text{ total paredes} = 52.86 \text{ Kg} + 53.36 \text{ Kg}$$

$$\dot{m} \text{ total paredes} = 106.22 \text{ Kg}$$

➤ Peso total del piso

Peso del Tool de piso

$$\dot{m} \text{ piso} = L \times a \times e \times \rho$$

**Ecuación 6.54**

Dónde:

a = ancho el horno 1500 mm

$$L = 10000 \text{ mm}$$

$$e = 0.9 \text{ mm}$$

$$\rho = 7832 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} \text{ piso} = 10m \times 1.5m \times 0.0009 m \times 7832 \frac{Kg}{m^3} = 105.732 Kg$$

$$\dot{m} \text{ piso} = \frac{105.732 Kg}{4} = 26.43 kg$$

Peso del aislante de piso

Utilizando la ecuación 6.20 tenemos:

$$L = 10000 \text{ mm}$$

$$a = 1500 \text{ mm}$$

$$e = 196 \text{ mm}$$

$$\rho = 36.3 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m} \text{ aislante piso} = 10m \times 1.5m \times 0.196 m \times 36.3 \frac{Kg}{m^3} = 106.722 Kg$$

$$\dot{m} \text{ aislante piso} = \frac{106.722 Kg}{4} = 26.68 kg$$

El peso total del piso es:

$$\dot{m} \text{ total piso} = \dot{m} \text{ piso} + \dot{m} \text{ aislante piso}$$

$$\dot{m} \text{ total piso} = 26.43 kg + 26.68 kg$$

$$\dot{m} \text{ total piso} = 53.11 Kg$$

➤ Peso total del techo

Peso del tool del techo

$$\dot{m} \text{ techo} = L \times a \times e \times \rho = 105.732 \text{ kg}$$

$$\dot{m} \text{ aislante techo} = L \times a \times e \times \rho = 106.722 \text{ kg}$$

$$\dot{m} \text{ total techo} = \frac{212.454 \text{ Kg}}{4} = 53.11 \text{ Kg}$$

Carga muerta total es la suma de todos los pesos de la estructura.

$$\text{Carga muerta} = 106.22 \text{ Kg} + 53.11 \text{ Kg} + 53.11 \text{ Kg} = 212.44 \text{ Kg}$$

➤ Peso techo y piso interno

Peso del Tool de techo y piso

$$\dot{m} \text{ paredes} = L \times h \times 2e \times \rho$$

Dónde:

L = longitud del horno (10000mm)

h = altura del horno (1000 mm)

e = espesor del tool laminado en frio (0.9mm)

$\rho$  = densidad del tool (acero ASTM A 36) Anexo E7 (7832 Kg/m<sup>3</sup>)

N = 4 pórticos.

$$\dot{m} \text{ techo, piso, pa inte} = 10m \times 1m \times 2(0.0009) m \times 7832 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 140.97 \text{ Kg}$$

$$\dot{m} \text{ techo, piso, paredes y inter} = \frac{140.97}{4} = 35.24 \text{ Kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 345.39 \text{ N}$$

### b) Cálculo carga viva (l)

La carga es eventual es decir que no es permanente por lo tanto su valor es variable en el cálculo estructural se tomará el peso que ocupa el producto al interior del horno.

Carga ejercida al interior del horno por el producto.

En el interior del horno geoméricamente alcanzan 28 bases de cajas 450x220 con una separación entre ellas de 150 mm.

$$W_{prod} = N^{\circ} \text{ productos} \times W_{bases}$$

**Ecuación 6.55**

$$W_{prod} = 92 \times 1.5 \text{ Kg} = \frac{138 \text{ Kg}}{4} = 34.5 \text{ Kg}$$

Carga de personal de mantenimiento

$$W_{pers} = 70 \text{ Kg} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 2 = 171.5 \text{ N}$$

### c) Cálculo carga de sismo (v)

Esta carga es proporcional de la carga muerta y esta depende de ella y se determina por:

$$V = \frac{Z \times I \times C}{R \times \phi_p \times \phi_c} \times D \quad [Kgf]$$

**Ecuación 6.56**

Dónde:

Z Factor de zonificación



I Factor de importancia de la estructura

C Factor relacionado con: definición del espectro del sismo de diseño

R Factor de reducción de respuesta estructural

$\phi_p$  Coeficiente de irregularidad en planta

$\phi_c$  Coeficiente de irregularidad en elevación

D Carga muerta

Z = 0.4 El valor Z es para la ciudad de Ambato correspondiente a la zona IV. Anexo E5.

I = 1.0 Factor de importancia de la estructura. Anexo E5.

Para determinar el coeficiente C, usamos

$$C = \frac{1.25 \times S^s}{T} \leq C_m$$

**Ecuación 6.57**

Donde:

S Coeficiente del suelo

T Periodo de Vibración

Valor comparativo relacionado con C.

Si  $C_m$  es mayor que C este valor se reemplaza en la ecuación para hallar V

Utilizando las tablas del Anexo E5. encontramos para suelos intermedios S=1,0 ,  
C=2,5

El valor de T se determina mediante

$$T = Ct \times h_n^{3/4}$$

**Ecuación 6.58**

$Ct = 0,09$  para porticos de acero

$h_n = 2m$  altura de la estructura del horno

$$T = 0,09 \times 2^{3/4}$$

$$T = 0,1513$$

Reemplazando en la ecuación 6.57

$$C = \frac{1.25 \times 1,0^{1,0}}{0.1513} \leq C_m$$

Utilizando la tabla del Anexo E6 ;R=7 para estructuras armadas de acero.

Teniendo en cuenta que la estructura no tiene irregularidades tanto como en la elevación como en la planta los coeficientes son respectivamente son :

$$\phi_p = 0,9 ; \phi_c = 1$$

Reemplazando los valores en la ecuacion 6.56

$$V = \frac{0.4 \times 1.0 \times 2,5}{7 \times 0,9 \times 1} \times D \quad [Kgf]$$

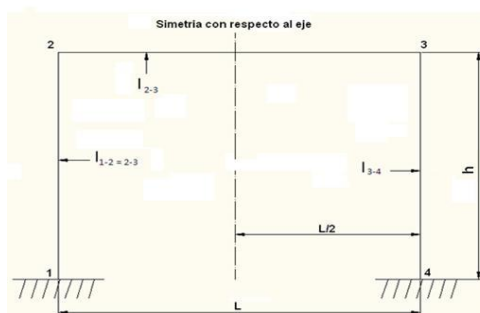
$$V = 0,158 \quad D = 25.44 \text{ kg}$$

En consecuencia la carga por sismo es del 15.796 % de la carga muerta.

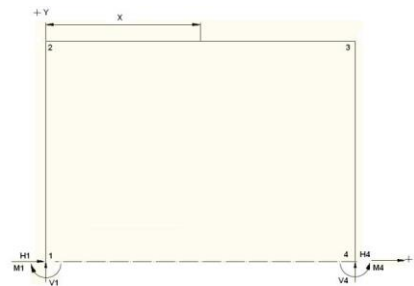
### 6.7.18. Cálculo de pórticos

Para el diseño de la estructura del horno se utilizará un diagrama de cuerpo libre con el objetivo de obtener un mejor entendimiento. La cual es una estructura simétrica con pórtico de soporte fijo y se determinará las cargas.

Las notaciones, coordenadas y constantes de la estructura se encuentran en el diagrama de cuerpo libre en la figura 6.7.



**Figura 6-6:** Estructura simétrica en pórtico de soporte fijo.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.



**Figura 6-7:** Diagrama de cuerpo libre del pórtico.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

Las constantes de la estructura se obtiene por las siguientes formulas:

$$\emptyset = \frac{I_{1-2} \times L}{I_{2-3} \times h}$$

**Ecuación 6.59**

$$F = 6 \left[ 2 + \frac{1}{\emptyset} \right]$$

**Ecuación 6.60**

Dónde:

$I_{1-2}$  = Momento de inercia de la sección transversal del miembro 1-2.

$I_{2-3}$  = Momento de inercia de la sección transversal del miembro 2-3.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

h = Dimensiones del eje vertical.

F y  $\emptyset$  = Constantes adimensionales, dependen de las propiedades geométricas y físicas de la estructura.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 6.59 se tiene:

$I_{1-2} = I_{2-3} = 14.13 \text{ cm}^4$       Perfil cuadrado 40 x 2; W = 17.58 Kg. Anexó E8

L = 1.5 m

h = 2.00 m

$$\emptyset = \frac{14.13 \text{ cm}^4 \times 1.5 \text{ m}}{14.13 \text{ cm}^4 \times 2 \text{ m}} = 0.75$$

Reemplazando en la ecuación 6.60.

$$F = 6 \left[ 2 + \frac{1}{0.75} \right] = 20$$

### 6.7.19. Cálculo de momentos.

Para el cálculo de momentos ver las Figuras 6-8 y 6-9.

Los momentos en las secciones correspondientes de la mitad derecha de la estructura, son idénticos de la mitad izquierda.

El cálculo de momentos en los puntos 1 y 4; 2 y 3 se resuelve con las siguientes ecuaciones:

$$M1 = M4 = \frac{3 PL}{4 F}$$

**Ecuación 6.61**

$$M2 = M3 = - \frac{3 PL}{2 F}$$

**Ecuación 6.62**

Dónde:

P = Carga concentrada

Mn= Momento de flexión en la sección n.

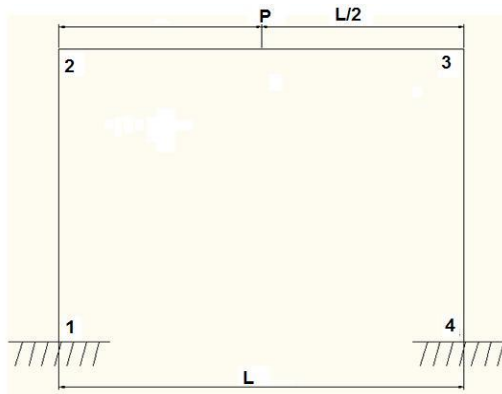
L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

Reemplazando los siguientes datos en las ecuaciones 6.61 y 6.62 se tiene:

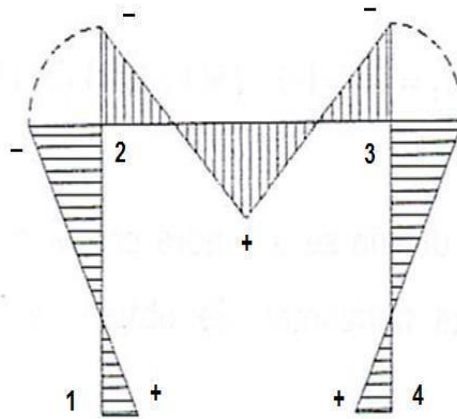
$$P = 40.29 \text{ Kg} + 34.5 \text{ Kg} + 17.58 \text{ Kg} = 92.37 \text{ Kg.}$$

$$L = 1.5 \text{ m}$$

$$F = 20$$



**Figura 6-8:** Pórtico fijo con carga concentrada en el centro.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.



**Figura 6-9:** Momentos de una carga concentrada en el centro.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

$$M_1 = M_4 = \frac{3 \times 92.37 \text{ Kg} \times 1.5 \text{ m}}{4 \times 20} = 5.431 \text{ Kg.m}$$

$$M_2 = M_3 = -\frac{3 \times 92.37 \text{ kg} \times 1.5 \text{ m}}{2 \times 20} = -10.39 \text{ Kg.m}$$

El momento de diseño se obtendrá con la carga concentrada en el punto medio de la viga horizontal, se diseña con la ecuación 6.62.

$$M_x = \frac{P X}{2} + M_2$$

**Ecuación 6.63**

Dónde:

P = Carga concentrada.

x = Distancia al centro de la viga horizontal.

M<sub>x</sub> = Momento de diseño.

M<sub>2</sub> = Momento de flexión en la sección 2.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 6.63 se tiene:

P = 92.37 Kg.

X = 0.75 m

M<sub>2</sub> = -10.39 Kg.m

$$M_x = \frac{92.37 \text{ kg} \times 0.75 \text{ m}}{2} + (-10.39 \text{ Kg.m})$$

$$M_x = 24.24 \text{ kg.m}$$

#### **6.7.20. Cálculo de reacciones.**

Las reacciones horizontales en los puntos 1 y 4 son los mismos por lo que se aplica la ecuación 6.63.

$$H_1 = H_4 = \frac{3M_1}{h}$$

**Ecuación 6.64**

Dónde:

$H_n$  = Componente horizontal de la reacción de la estructura de la sección n.

$M_1$  = Momento de flexión en la sección 1.

$h$  = Dimensiones del eje vertical.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 6.64 se tiene:

$$M_1 = 5.431 \text{ Kg. m}$$

$$h = 2.00 \text{ m}$$

$$H_1 = H_4 = \frac{3 \times 5.43}{2} = 8.145 \text{ Kg}$$

Las reacciones verticales en los puntos 1 y 4 se obtienen por medio de la ecuación 6.65.

$$V_1 = V_4 = \frac{P}{2}$$

**Ecuación 6.65**

Dónde:

$V_n$  = Componente vertical de las reacciones de la estructura de la sección n.

$P$  = Carga concentrada.

Reemplazando el valor de  $P$  en la ecuación 6.65 se tiene:

$$P = 92.37 \text{ Kg.}$$



$$V_1 = V_4 = \frac{92.37 \text{ Kg}}{2} = 46.185 \text{ kg}$$

### 6.7.21. Cálculo de esfuerzos máximos.

El esfuerzo máximo que soporta la viga horizontal se calcula por medio de la siguiente ecuación 6.66.

$$\sigma = \frac{Mx}{Z}$$

**Ecuación 6.66**

Dónde:

$\sigma$  = Esfuerzo máximo que soporta la viga horizontal.

S = Z = Módulo de sección del eje X.

Mx = Momento de diseño.

Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 6.63 se tiene:

$$M_x = 24.24 \text{ kg. m} = 1454.4 \text{ Kg.cm}$$

$$Z = 5.65 \text{ cm}^3. \text{ Anexó E8}$$

$$\sigma = \frac{1454.4 \text{ Kg. cm}}{5.65 \text{ cm}^3} = 257.41 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### 6.7.22. Cálculo de columna recta.

#### a) Longitud efectiva.

La manera en que se apoyan ambos extremos de la columna afecta la longitud efectiva de la misma, se define con la ecuación 6.67.

$$L_e = K \times L$$

**Ecuación 6.67**

Dónde:

Le = Longitud efectiva.

K = Constante práctica de fijación de los extremos.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 6.67 se tiene:

K = 2.10. Figura 2-21.

L = 2.00 m.

$$L_e = 2.10 \text{ m} \times 2.1 = 4,41 \text{ m}$$

**d) Razón de esbeltez.**

La razón de esbeltez es la relación de la longitud efectiva de la columna con su radio de giro mínimo, esto se indica en la ecuación 6.68

$$\text{Razon de esbeltez} = \frac{L_e}{r_{\min}} = \frac{L_e}{r_y}$$

**Ecuación 6.68**

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 6.68 se tiene:

Le = 4.41 m.

ry = 0.148 m

$$\text{Razon de esbeltez} = \frac{4.41 \text{ m}}{0.148 \text{ m}} = 29.79 \leq 200 \text{ Norma AISC}$$

**e) Razón de transición de esbeltez.**

La razón de transición de esbeltez o constante de columna  $C_c$  se define con la ecuación 6.69.

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 x E}{S_y}}$$

**Ecuación 6.69**

Dónde:

$C_c$  = Constante de columna.

$S_y$  = Resistencia a la fluencia del acero.

$E$  = Módulo de elasticidad del tubo rectangular (50 x 60 x 2)

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 6.69 se tiene:

$$E = 2.2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_y = 2536 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \pi^2 x (2.2 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2})}{2536 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}} = 130,85$$

Debido a que Razón de delgadez es mayor que la Razón de transición de esbeltez se trata de una columna larga.

**f) Análisis de Columna Larga.**

Para el análisis de columnas largas se emplea la fórmula de Euler como se indica en la ecuación 6.70.

$$Per = \frac{\pi^2 \times E \times I}{(K \times L)^2}$$

**Ecuación 6.70**

Dónde:

Per = Carga crítica a la cual la columna empezará a pandearse.

E = Módulo de elasticidad.

I = Momento de inercia para el tubo rectangular (50 x 60 x 2). Anexo E8

K = Constante práctica de fijación de los extremos.

L = Arco entre las líneas centrales de los apoyos.

Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 6.70 se tiene:

$$E = 2.2 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I = 18.39 \text{ cm}^4$$

$$K = 2.10. \text{ Figura 2-21.}$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$Per = \frac{\pi^2 \times \left(2.2 \times 10^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right) \times 18.39 \text{ cm}^4}{(2.10 \times 200 \text{ cm})^2} = 2263.63 \text{ Kg}$$

La falla se presentará a una carga límite admisible (Pa), el concepto de un factor de diseño (N) se aplica la carga crítica (Per) y no a la resistencia máxima del material (Sy).

$$Pa = \frac{Per}{N}$$

### **Ecuación 6.71**

Para columnas fijas en los extremos con cargas conocidas, se utiliza el factor más bajo de 2, ver Anexo E6.

$$Per = 1109,04 \text{ Kg}$$

$$N = 2$$

$$Pa = \frac{2263.63 \text{ Kg}}{2} = 1131.81 \text{ Kg}$$

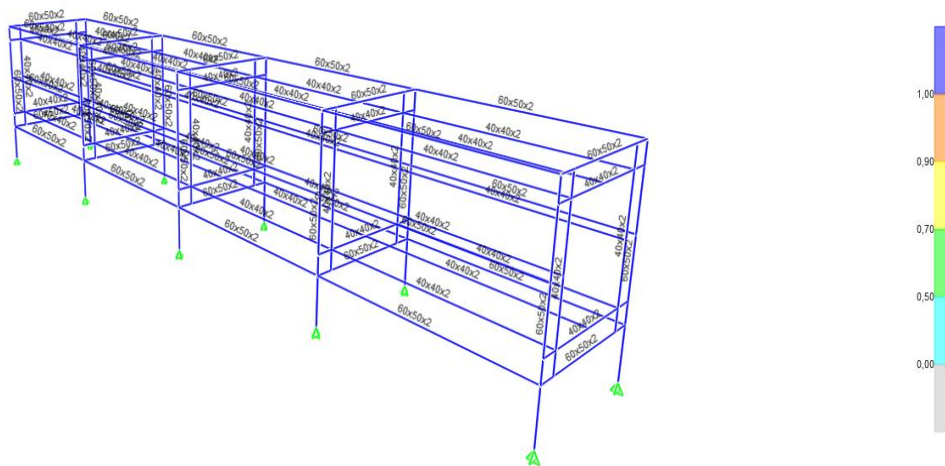
#### **6.7.23. Análisis estructural mediante software.**

Después de determinar las diferentes cargas se procederá a determinar las diferentes combinaciones utilizando el código de diseño AISC-ASD 89.

Carga Muerta – Viva

Carga Muerta – Sismo

Carga Muerta – Viva – Sismo



**Figura 6-10:** Relación de esfuerzos en la estructura.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

Se analizó las combinaciones antes mencionadas la estructura presenta las cargas y perfiles, determinando un rango aceptable los cuales son: 0,9 a 1

Tubo rectangular (50 x 60 x 2) mm                      Estructura principal.

Tubo cuadrado (40x2) mm                                      Cámara de polimerización.

Dando como resultado los siguientes valores.

$$F_x = 176,45 \text{ Kgf} \qquad M_x = 40,312 \text{ Kgf-m}$$

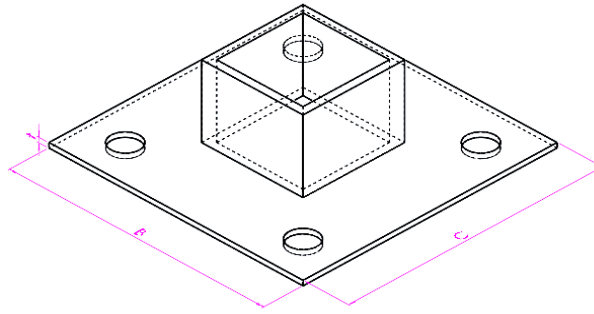
$$F_y = 34,73 \text{ Kgf} \qquad M_y = 7,489 \text{ Kgf-m}$$

$$F_z = 170,65 \text{ Kgf} \qquad M_z = 4,476 \text{ Kgf-m}$$

#### 6.7.24. Cálculo de placa base

Para el cálculo de la placa base se tomarán los valores máximos de momentos ( $M_x$  o  $M_y$ ) y de fuerza compresión ( $F_z$ ).

$$F_z = 170.65 \text{ Kgf} \qquad M_x = 40.132 \text{ Kgf.m}$$



**Figura 6-11:** Placa base de Cimentación  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

Para el cálculo utilizaremos el Manual de Especificaciones el cual proporciona la siguiente formula:

$$Fp \geq 0,35 f'c = \frac{F}{BC} \pm \frac{6M}{BC^2}$$

**Ecuación 6.71**

$Fp$  Presion unitaria permisible de contacto de cimentación Kgf/m<sup>2</sup>.

$f'c$  Esfuerzo permisible de la cimentación Kgf/m<sup>2</sup>.

F Fuerza axial aplicada Kgf

M Momento máximo Kgf.m

B Ancho de la Placa cm.

C Largo de la Placa cm.

La placa base estará sobre concreto el cual tiene una resistencia permisible de 210 Kgf/cm<sup>2</sup>. Reemplazando estos valores en la ecuación 6.71.

$$Fp \geq 0,35 (210)$$

$$Fp = 73,5 \text{ Kgf/cm}^2$$

Después de varias iteraciones y tomando  $B = 8 \text{ cm.}$ , se obtiene  $C = 7 \text{ cm.}$  Se tomará  $5 \text{ cm}$  más de estas dimensiones debido a que se tiene espacio suficiente para alojar los pernos, tuercas y arandelas que se usarán para el anclaje, así como, las medidas de las herramientas con que se ajustarán.

$$P = \frac{F}{BC} \pm \frac{6M}{BC^2}$$

**Ecuación 6.72**

$$P = \frac{170.65 \text{ Kgf}}{0,07 \text{ m} \times 0,08 \text{ m}} \pm \frac{6 \times 40.132 \text{ Kgf. m}}{0,07 \text{ m} \times (0,08 \text{ m})^2}$$

$$P = 842.21 \text{ Kgf/m}^2$$

$$P = - 232.75 \text{ Kgf/m}^2$$

Ahora, el espesor de la placa se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = \sqrt{\frac{6M}{Fb}}$$

**Ecuación 6.73**

Dónde:

$t$  es el espesor de la placa, en  $\text{cm.}$

$M$  es el momento real aplicado en la placa, en  $\text{Kgf-cm.}$

$Fb$  es el valor permisible del material de la placa, en  $\text{Kgf/cm}^2$ .

$n = 1 \text{ cm}$  Factor de cimentación

Si se considera el ancho de una placa de  $1 \text{ cm}$  el momento flexionante en el borde del rectángulo equivalente es:



$$M = P n \frac{n}{2} = P \frac{n^2}{2}$$

**Ecuación 6.74**

El módulo de sección necesario es:

$$S = \frac{M}{Fb} = \frac{P n^2}{2 Fb}$$

**Ecuación 6.75**

Para un acero A36,  $F_y = 25,31 \text{ MKgf/m}^2$ , por lo que,  $F_b = 0,75 \cdot F_y$

El momento de inercia de un rectángulo de 1 cm de ancho y “t” cm de espesor es:

$$I = \frac{1t^3}{12} = \frac{t^3}{12}$$

**Ecuación 6.76**

El centro de giro c es “t/2”

$$S = \frac{I}{c} = \frac{t^3/12}{t/2} = \frac{t^2}{6}$$

**Ecuación 6.77**

Igualando las ecuaciones 6.76, 6.77 y reemplazando en la ecuación 6.74.

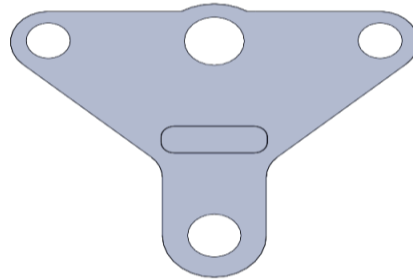
$$t = \sqrt{\frac{3 P x n^2}{0.75 F_y}}$$

$$t = \sqrt{\frac{3 x 842.21 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2} x (1 \text{ cm})^2}{0.75 x 25310 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}}}$$

$$t = 0.36 \text{ cm} = 3.64 \text{ mm} \cong 4 \text{ mm}$$

### 6.7.25. Diseño del transportador del producto

El diseño del transportador se la realizo considerando la carga, espacio en el interior del horno.



**Figura 6-12:** Diagrama Transportador  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

La carga que se necesita para el diseño de cada una de las partes y para la selección de los dispositivos de movimientos se toma en cuenta el peso de la carga neta a transportar y el peso de la cadena.



**Figura 6-13:** Diagrama Transportador  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

El peso máximo de carga es de 7.2 Kg. en el gancho.

Los diferentes materiales se describen en la siguiente tabla 6-13.

La longitud total de la cadena transportadora que cubre total del horno.

$$Lc = 2 \times R \times \pi + 2L$$

$$Lc = (2 \times 0,75 \times \pi + 2 \times 10)m$$

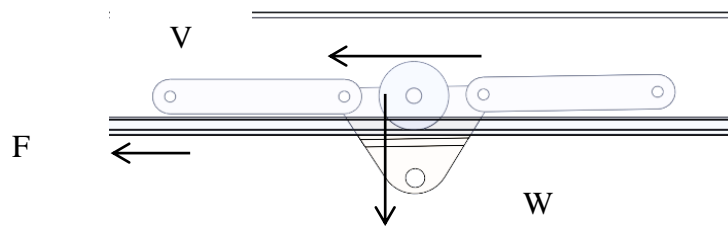
$$Lc = 24,712 m$$

La carga total determinada en la dirección del desplazamiento de la cadena se analizara las fuerzas sometidas sobre el rodamiento que se mueve en el riel del transportador.

**Tabla 6-13.** Componentes del Transportador

<b>Componente</b>	<b>Material</b>	<b>Densidad gr/mm<sup>3</sup></b>	<b>Volumen mm<sup>3</sup></b>	<b>Masa gr</b>	<b>Can.</b>	<b>Total gr</b>
Ganchera	ASTM A 36	0,01	1218.82	9.57	1	9.57
Eslabón	ASTM A 36	0,01	409.73	3.22	4	12.88
Eje de Rodamiento	Acero AISI 1010	0,01	401.64	3.16	1	3.16
Transportador	ASTM A 36	0,01	6192.75	48.61	1	48.61
Rodamiento				3	2	6
<b>MASA TOTAL (Kg)</b>						0.0802

**Fuente:** Valencia Alvaro.



**Figura 6-14:** Diagrama de Fuerzas en el rodamiento  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

$$v = 1.2 \text{ m/seg.}$$

$$e = 154 \text{ mm}$$

$$m_w = 7.2 \text{ kg}$$

$$m_t = 7.2 + 0.0802 = 7,28 \text{ Kg}$$

$$\Sigma F = m \cdot a$$

**Ecuación 6.78**

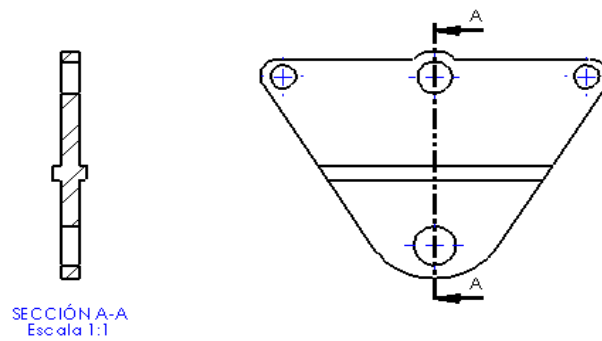
$$W - F = m \cdot \frac{v^2}{e}$$

$$F = m \cdot \frac{v^2}{e} - W = 7.2 \text{ kg} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} - \frac{1.2 \frac{\text{m}}{\text{seg}}}{0.154 \text{ m}} = 62,767 \text{ N}$$

Se determina la carga total.

$$FT = \frac{Lc}{e} \times F$$

$$FT = \frac{24,712 \text{ m}}{0,154 \text{ m}} \times 62,767 \text{ N} = 10,07 \text{ KN}$$



**Figura 6-15:** Sujetador de Gancho  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

El sujetador del gancho está sometido a esfuerzos combinados: flexión y cortante

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \times \sqrt{\sigma_1^2 + 4(\tau_{xy})^2}$$

**Ecuación 6.79**

Dónde:

$\sigma_1$  Esfuerzo flexionante normal.

$\tau_{xy}$  Esfuerzo cortante máximo.

$$\sigma_1 = \frac{M \times c}{I}$$

**Ecuación 6.80**

Siendo, M el momento máximo; c radio de giro; I inercia de la sección.

$$\sigma_1 = \frac{(Ft \times d) \times (bx^2)}{\frac{e \cdot b^2}{12}} = \frac{6Ft \times d}{eb^2}$$

$$\sigma_1 = \frac{6(10,07 \text{ KN}) \times 0,01312 \text{ m}}{0,005 \text{ m} \times 0,03394^2 \text{ m}} = 137,6 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A}$$

**Ecuación 6.81**

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A} = \frac{F}{b \cdot e}$$

$$\tau_{xy} = \frac{10,07 \text{ KN}}{0.005 \times 0.03394} = 59.34 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Aplicando la ecuación 6.79

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \times \sqrt{137.6^2 + 4(59.34)^2}$$

$$\sigma_t = 90,6 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

El material seleccionado para el sujetador es de Acero AISI A36 por su tenacidad aplicada a piezas de mediana resistencia. Anexo E7.

Siendo  $S_y = 250 \text{ MN/m}^2$  Esfuerzo a la cedencia.

Por consiguiente el factor de seguridad es:

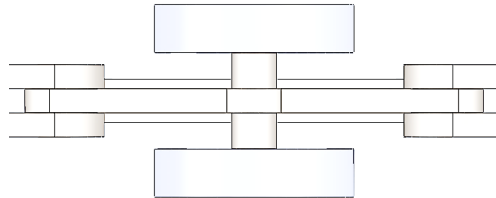
$$n = \frac{S_y}{\sigma_t}$$

**Ecuación 6.82**

$$n = \frac{250}{90,6} = 2,75$$

### 6.7.26. Eje del rodamiento

Para el diseño del eje del rodamiento se debe tomar en cuenta que está sometido una fuerza combinada: flexión y cortante. Aplicando las ecuaciones para secciones circulares de acuerdo a la Teoría de von Mises.



**Figura 6-16:** Eje del rodamiento  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

Se tiene

$$\sigma_1 = \frac{M \times c}{I} = \frac{32 M}{\pi \times d^3}$$

$$\sigma_1 = \frac{32 \times \left(\frac{10.07}{2} \text{ KN}\right) \times 0,032 \text{ m}}{\pi \times (0,004 \text{ m})^3}$$

$$\sigma_1 = 102.57 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{4 \times \left(\frac{F_t}{2}\right)}{\pi \times d^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{4 \times \left(\frac{5,035 \text{ KN}}{2}\right)}{\pi \times (0,004 \text{ m})^2} = 200.33 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

Aplicando la ecuación 6.79 obtenemos

$$\sigma_t = \frac{1}{2} \times \sqrt{102.57^2 + 4(200.33)^2}$$

$$\sigma_t = 206.79 \frac{MN}{m^2}$$

El material seleccionado para el eje del rodamiento es de acero para maquinaria IVAN BOHMAN AISI 4140 por su tenacidad aplicada a piezas de mediana resistencia. Anexo E7.

Siendo  $S_y = 686 \text{ MN/m}^2$  Esfuerzo a la cedencia.

Por consiguiente el factor de seguridad es:

$$n = \frac{686}{206.79} = 3,317$$

### 6.7.27. Eje del pasador

El eje del pasador está sometido a un esfuerzo cortante .Aplicando la ecuación 6.81

Se obtiene:

$$\tau_{xy} = \frac{4 \times \left(\frac{F_t}{2}\right)}{\pi \times d^2}$$

$$\tau_{xy} = \frac{4 \times \left(\frac{5,035}{2}\right)}{\pi \times 0,0066 \text{ m}^2} = 73.58 \frac{MN}{m^2}$$

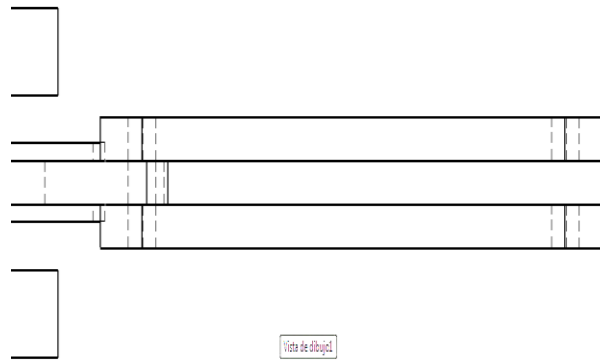
Aplicando la ecuación 6.81 obtenemos:

$$\sigma_t = \tau_{xy}$$

$$\sigma_1 = 0$$

$$\sigma_t = 73.580 \frac{MN}{m^2}$$





**Figura 6-17:** Pasador de Cadena.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

El material seleccionado para el sujetador es de Acero AISI 1018 por su tenacidad aplicada a piezas de mediana resistencia. Anexo E7.

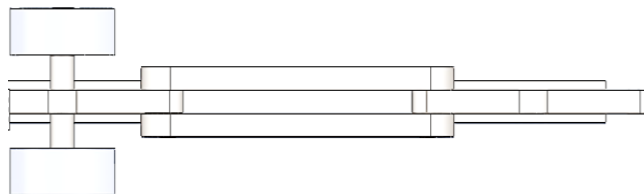
Siendo  $S_y = 303,8 \text{ MN/m}^2$  Esfuerzo a la cedencia.

Por consiguiente el factor de seguridad es:

$$n = \frac{303,8}{73,58} = 4,128$$

### 6.7.28. Eje del pasador y eslabón

La sección crítica para el pasador y el eslabón es el mismo ya que el esfuerzo cortante actúa en las dos partes.



**Figura 6-18:** Eslabón y Pasador.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

$$\tau_{xy} = \frac{Ft/2}{A}$$

$$A = (D - d) \times 2e$$

$$A = (0.009 - 0.0066) \times 2(0.005)$$

$$A = 0,024 \times 10E - 3 \text{ m}^2$$

$$\tau_{xy} = \frac{5,035 \text{ KN}}{0,024 \times 10E - 3 \text{ m}^2} = 209.791 \text{ KN/m}^2$$

Aplicando la ecuación 6.81 obtenemos:

$$\sigma_t = \tau_{xy}$$

$$\sigma_1 = 0$$

$$\sigma_t = 209.791 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$$

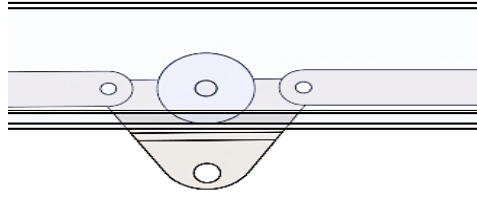
El material seleccionado para el eslabón y sujetador es de Acero ASTM A36. Anexo E7. Siendo  $S_y = 250 \text{ MN/m}^2$  Esfuerzo a la cedencia.

Por consiguiente el factor de seguridad es:

$$n = \frac{250}{209.791} = 1,191$$

### 6.7.29. Selección del rodamiento

Para la selección se debe tomar en cuenta que este va estar siempre en movimiento (0,4 a 2,2 m/seg) y con una carga radial



**Figura 6-19:** Rodamiento.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

$$v = 2,2 \text{ m/min}$$

$$d = 0,030 \text{ m , asumido}$$

$$W = \frac{v}{\pi \times d} = \frac{2,2 \text{ m/min}}{\pi \times 0,030 \text{ m}} = 23,342 \text{ rpm}$$

Capacidad de carga del rodamiento

$$C = P \sqrt[3]{\frac{L_h \times n \times 60}{10^6 \times a_1 \times a_2 \times a_3}}$$

**Ecuación 6.83**

Dónde:

P Capacidad de carga máxima, KN.

$L_h$  Vida nominal.

n = velocidad en rpm.

a1 factor de probabilidad de fallo.

a2 factor de material.

a3 factor de condiciones de servicio.

a=3, para cojinetes de bolas (10/3, para cojinetes de rodillo, cilíndrico y cónico).

Valores de orientación para fl y valores usuales de cálculo:

fl = 4,5 hornos giratorios, catálogo de la FAG siendo la ecuación

$$fl = \sqrt[3]{\frac{Lh}{500}}$$

**Ecuación 6.84**

Despejando Lh tenemos:

$$Lh = fl^3 \times 500$$

$$Lh = 4,5^3 \times 500$$

$$Lh = 45562,5$$

a1 factor de probabilidad de fallo.

Se toma un 10 % de probabilidad de fallo. Siendo a1 = 1

Factor a2 de material

Con el factor a2 se tienen en cuenta las características del material y del tratamiento térmico. Siendo a2 = 1

Factor a3 de condiciones de servicio

El factor a3 tiene en cuenta las condiciones de servicio, sobre todo las condiciones de lubricación a velocidad y temperatura de servicio. Siendo a3 = 1,5

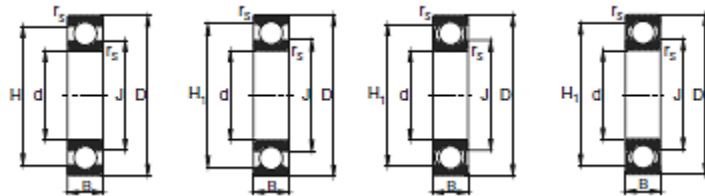
Reemplazando los valores en la ecuación 6.83.

$$C = 15 \times 10^{-3} \text{ KN} \sqrt[3]{\frac{45562,5 \times 23,342 \times 60}{10^6 \times 1 \times 1 \times 1,5}}$$

$$C = 0,243 \text{ KN} = 1 \text{ KN}$$

Determinando la carga total se divide para el numero de rodamientos en este caso es 2 obteniendo  $C = 0,5 \text{ KN}$ .

Calculado la carga se ingresa al Catálogo de rodamientos de la FAG, seleccionando una carga dinámica menor o igual a la determinada, designación 624. Anexó E8.



**Tabla 6-14:** Característica del rodamiento.

<b>Diámetro Interno (d)</b>	<b>Diámetro Externo (D)</b>	<b>Ancho del Rodamiento (B)</b>	<b>Carga Dinámica</b>	<b>Peso</b>
4 mm	13 mm	5 mm	1,29 KN	0,003 kg

**Fuente:** Valencia Alvaro.

$$f_s^* = \frac{C_0}{P_0^*}$$

**Ecuación 6.85**

$f_s^*$  factor de esfuerzos estáticos

Co capacidad de carga estática

Po\* carga equivalente del rodamiento [kN],

$$f_s^* = \frac{0.49 \text{ KN}}{15 \times 10^{-3} \text{ KN}}$$

$$f_s^* = 32.67 \text{ OK}$$

$f_s^* = 1,5 \dots 2,5$  para exigencias elevadas

Ratio de viscosidad k

$$k = k_1 + k_2$$

### **Ecuación 6.86**

El valor K1 puede tomarse del diagrama superior de esta página en función del tipo de rodamiento y del factor de esfuerzos estáticos  $f_s^*$ .

$K_1 = 0$ ; ya que los parámetros de  $f_s$  del rodamiento no se encuentra en el rango.

$K_2$  depende del ratio de viscosidad k y del factor  $f_s^*$ .

$K_2 = 0$ ; ya que los parámetros de  $f_s$  del rodamiento no se encuentra en el rango

El diámetro medio  $(D + d)/2$

$$dm = \frac{13 + 4}{2} = 8.5$$

### **Ecuación 6.87**

Se determina k con la siguiente ecuación.

$$\kappa = \frac{v}{v_1}$$

### **Ecuación 6.88**

Para el cálculo del ratio de viscosidad se utiliza la siguiente ecuación.

$$\kappa = \left( \frac{1000}{n} \right)^{1/3}$$

**Ecuación 6.89**

n revoluciones por minuto

Reemplazando en la ecuación se obtiene.

$$\kappa = \left( \frac{1000}{23} \right)^{1/3} = 3.51$$

Siendo

v viscosidad de servicio del lubricante en el área de contacto de rodadura

$$v = k \frac{4500}{\sqrt{n dm}}$$

**Ecuación 6.90**

Reemplazando en la ecuación se obtiene.

$$v = 3.51 \frac{4500}{\sqrt{23 \times 8.5}} = 1129.65$$

v1 viscosidad relativa en función del diámetro y la velocidad.

$$v = \frac{4500}{\sqrt{fv}}$$

**Ecuación 6.91**

Siendo fv factor de velocidad, reemplazando en la ecuación se obtiene.

$$v = \frac{4500}{\sqrt{25 \times 8.5}} = 308.69$$

Vida ampliada Lhna.

$$L_h = a_1 \times a_2 \times a_3 \left( \frac{C}{P} \right)^3 \frac{10^6}{n \times 60}$$

**Ecuación 6.92**

a1 factor de probabilidad de fallo.

a2 factor de material.

a3 factor de condiciones de servicio.

C capacidad de carga dinámica.

P capacidad de carga estática

n revoluciones por minuto

Reemplazando los valores se obtiene.

$$L_h = 1 \times 1 \times 1 \left( \frac{1.29}{0.49} \right)^3 \frac{10^6}{23 \times 60} = 132221.4 \text{ h}$$

**a) Selección de lubricación del rodamiento.**

La selección de la lubricación del rodamiento depende del funcionamiento y la temperatura de 180°C se contempla en el catálogo de la FAG.

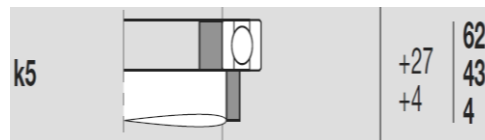
La selección se la realizo con grasa especial temperatura 200 KFK2U-40 DIN 5 1825. Es especialmente adecuada para aplicaciones que funcionan a temperaturas extremadamente altas desde -40 °C hasta 260 °C.



### b) Ajuste al eje.

El ajuste se lo realizo con el catálogo de la FAG siendo K5 ajuste fijo teniendo una tolerancia en micras (0,001um) al eje.

Diferencia del agujero al rodamiento +4, +27

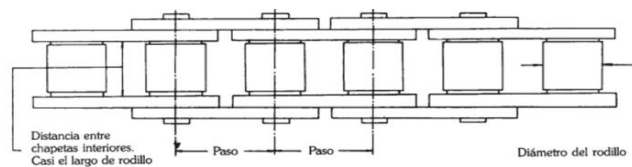


**Figura 6-20:** Ajuste del eje.  
**Fuente:** Catalogo de la FAG.

### 6.7.30. Selección de cadena - catalina

Este sistema de cadena - catalina permite transmitir el movimiento de los productos dentro del interior del horno.

La cadena de la empresa Ecuamatrix S.A tiene las siguientes características:



**Figura 6-21:** Cadena.  
**Fuente:** Robert Mott.

**Tabla 6-15.** Características de la cadena

Numero de Cadena	Paso (mm)	Ancho (mm)
ANSI 80	25,40	15,88

**Fuente:** Valencia Alvaro.

Se recomienda que el número mínimo de dientes de la catalina más pequeño de una transmisión por cadena sea:

N diente = 12 baja velocidad

N dientes = 17 media velocidad

N dientes = 21 alta velocidad

#### a) Selección de la Catalina

➤ El diámetro primitivo  $D_p$  se calcula mediante la fórmula:

$$D_p = \frac{P}{\text{sen} \frac{180}{N}}$$

**Ecuación 6.93**

$$D_p = \frac{25,40}{\text{sen} \frac{180}{12}} = 0,09466 \text{ m}$$

➤ El diámetro exterior  $D_e$  tiene los siguientes valores:

$$D_e = D_p + 0,85 d$$

**Ecuación 6.94**

$$D_e = 94,66 + 0,85 (15,88) = 0,108 \text{ m}$$

➤ El diámetro interior

$$D_f = D_p - d$$

**Ecuación 6.95**

$$D_f = 94,66 - 15,88 = 0,07878 \text{ m}$$

➤ El ancho de diente

$$L = 0.91 b$$

**Ecuación 6.96**

$$L = 0.91 \times 15,87 = 0,0144 \text{ m}$$

➤ El ancho extremo diente

$$I = 0,65 b$$

**Ecuación 6.97**

$$I = 0,65 \times 15,87 = 0,012 \text{ m}$$

La lubricación para la cadena ya que está expuesta se recomienda un engrase normal y mantenimiento regular.

### **6.7.31. Selección del variador de velocidad**

Para la selección de motor reductor se debe tomaren cuenta la velocidad de transporte  $v = 1,2 \text{ m/min} = 20 \text{ rpm}$

El factor de servicio para transporte con más de 10 horas de servicio por día:  $Sf = 1,25$

El torque normal se determina:

$$T = \frac{dp}{2} \times FT$$

**Ecuación 6.98**

$$T = \frac{0,108 \text{ m}}{2} \times 10070 \text{ N} = 543.78 \text{ N.m}$$

$$T = 543.78 \text{ N.m}$$

La potencia del motor es:

$$H = \frac{FT \times \pi \times dp \times n}{60000} \times Sf$$

**Ecuación 6.99**

Dónde:

Wt Carga transmitida

dp diámetro de contacto

n Velocidad en RPM

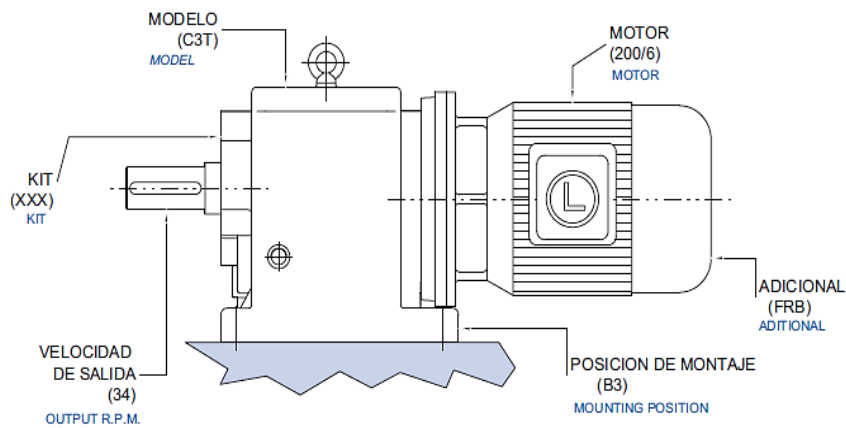
Sf Factor de Servicio

$$H = \frac{10070 \text{ N.m} \times \pi \times 0,0144 \text{ m} \times 20 \text{ rpm}}{60000} \times 1,25$$

$$H = 0.189 \text{ W} = 1 \text{ HP}$$

Para la selección del motor reductor se utiliza un Catálogo LENTAX.

Por la configuración del horno seleccionamos un motor reductor tipo U.



**Figura 6-22: Motor Reductor.**  
**Fuente: Valencia Alvaro.**

**Tabla 6-16.** Características del motor reductor.

<b>DATOS TÉCNICOS</b>						
<b>Potencia de Entrada</b>	<b>Velocidad de Entrada RPM</b>	<b>Velocidad de Salida RPM</b>	<b>Relación</b>	<b>Modelo</b>	<b>N Fac.S</b>	<b>Momento Útil</b>
0.189W 1HP	1,9	727,88	C6HR	4,00	1,00	13951

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### **6.7.32. Sistema de control**

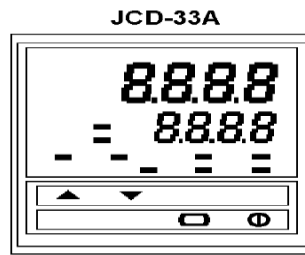
En el equipo de regulación de temperatura se distinguen tres elementos fundamentales:

- El aparato de medición y control, el cual envía una señal de actuación.
- El detector propiamente dicho (termopar)
- El órgano regulador, el cual recibe la señal del anterior y actúa, sobre la entrada de corriente en los hornos calentados eléctricamente.

### **6.7.33. Órgano de medición y control XMTG**

En este caso se ha escogido un aparato de medición que cae en el grupo de los de amplificación electrónica.

Se trata de un controlador de temperatura analógico XMTG, los detalles de funcionamiento y conexión de este controlador se encuentran en los planos.



**Figura 6-23:** Controlador de temperatura.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

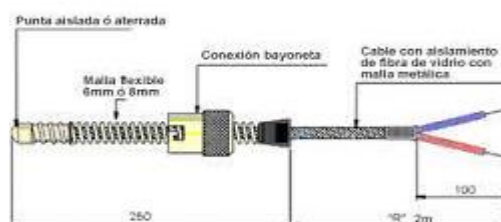
### 6.7.34. Selección de la termocupla

El dimensionamiento de la termocupla se lo hace mediante recomendaciones técnicas que vienen dadas por el órgano controlador de temperatura, el cual nos recomienda utilizar una termocupla tipo J para la entrada de la señal, el valor de mili voltaje generado por la termocupla está dentro de un rango de 4mV a 20 mV.

Según nos indica los valores más aproximados corresponde a una termocupla tipo J, con un mili voltaje de 12.23mV, y una temperatura de 438.8 °F.

Se observa claramente que los valores dados son similares con los valores que tenemos como datos.

El tipo de termocupla calculado coincide con la termocupla que nos recomienda el fabricante del controlador de temperatura XMTG.



**Figura 6-24:** Termocupla.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

### **6.7.35. Selección del contactor**

Para elegir el contactor que más se ajusta a nuestras necesidades, se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

Datos de la bobina del contactor:

- Tipo de corriente: Corriente altera
- Voltaje de alimentación: 220 V.
- Frecuencia: 60 Hz.
- Potencia nominal de la carga: (2.2 KW).

Condiciones de servicio: Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte.

Por la categoría de servicio: AC1, (carga puramente resistiva, para calefacción eléctrica).

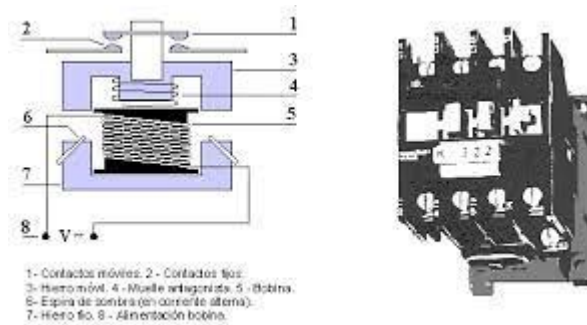
Tipo de corriente (alterna), tensión de alimentación de la bobina (220 V) y 60 Hz. de frecuencia.

Potencia nominal de la carga (1/2 HP).

Condiciones de servicio: Existen maniobras que modifican la corriente de arranque y de corte. En nuestro caso el servicio es normal.

Si es para el circuito de potencia, los contactos deberán soportar 2 A. Y el número de contactos auxiliares los necesarios.

Por la categoría de empleo AC2, (motor sincrónico).

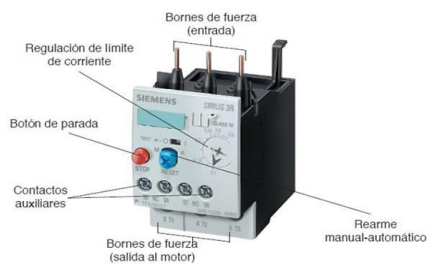


**Figura 6-25:** Contactor.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 6.7.36. Relé térmico

Este tipo de protección se la dimensionará casi de forma similar a la del contactor, tomando como referencia la corriente que circula por los elementos. Estos elementos cuentan con un contacto normalmente cerrado y otro normalmente abierto, el que nosotros utilizaremos en ambos casos es el contacto NC. Este contacto cumple la función de abrir el circuito de mando si este detecta una sobre corriente en las resistencias o en el motor del ventilador.

El rango que utilizaremos para la protección térmica de las resistencias es de 6 - 9.5 Amperios, mientras que la protección térmica del motor del ventilador lo aremos con un rango de 2.4-5 amperios. Estos valores lo obtenemos de la tabla 6.17. La cual nos da el tipo de relé térmico que se debe utilizar.



**Figura 6-26:** Relés térmicos.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.



**Tabla 6-17.** Campos de reglaje de los relés térmicos

Tipo	Campo de reglaje (A).	Tipo	Campo de reglaje (A).	Tipo	Campo de reglaje (A).
CT 3-0.16 A	0.1-0.16	CT 3-12.5 A	8.5-12.5	CT 1-90 A	70-90
CT 3-24 A	0.15-0.24	CT 3-16 A	12-16	CT 1-100 A	65-100
CT 3-0.38 A	0.24-0.38	CT 3-23 A	16-23	CT 1-145 A	90-145
CT 3-0.62 A	0.38-0.62	CT 3-32 A	23-32	CT 1-150 A	100-150
CT 3-1 A	0.62-1	CT 3-42-32 A	25-32	CT 1-200 A	140-200
CT 3-1.6 A	1-1.6	CT 3-42 A	32-42	CT 1-290 A	180-290
CT 3-2.5 A	1.6-2.5	CT 3-52 A	40-52	CT 1-400 A	275-400
CT 3-4 A	2.5-4	CT 3-60 A	52-60	CT 1-500 A	320-500
CT 3-6 A	3.8-6	CT 3-64 A	58-64	CT 1-800 A	500-800
CT 3-9.5 A	6-9.5	CT 3-72 A	64-72.5	CT 1-1250 A	780-1250

**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### **6.7.48. Elementos de mando y señalización**

Los elementos de mando utilizados en el horno son:

- Pulsador de color rojo de contactos normalmente cerrados (1,2), para el apagado del horno, con una capacidad de corriente de 10 A, y un voltaje de 500 V.
- Pulsador de color verde de contactos normalmente abiertos (3,4), para el encendido del horno, con una capacidad de corriente de 10 A, y un voltaje de 500 V.
- Luces piloto de de 220V, 10W, de color rojo, verde y azul, la luz verde indica el correcto encendido del horno, la luz azul indica el encendido y apagado del banco de resistencias, y la luz roja indicará si el horno no está funcionando correctamente.



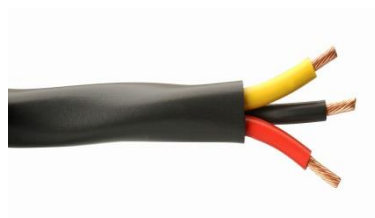
**Figura 6-27:** Mando.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 6.7.37. Selección del cable eléctrico

Esta selección está en función de la máxima cantidad de corriente que el conductor puede transportar.

La alimentación de los elementos de resistencia y el motor del ventilador están por medio de tres cables N° 10 AWG, que son suficiente para la corriente que necesitan estos elementos. Para el circuito de control se utiliza un alambre flexible N° 18 AWG.

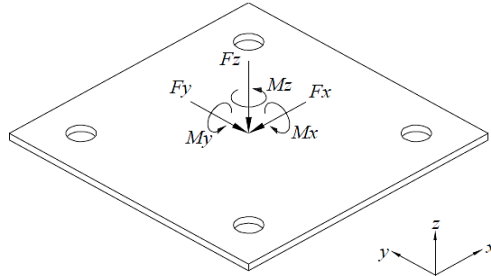
Para la alimentación de energía eléctrica en todo el sistema del horno utilizamos un enchufe trifásico de una capacidad de 30A, 500 V.



**Figura 6-28:** Cable.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 6.7.38. Diseño de los pernos de anclaje de la estructura

Determinando los esfuerzos cortantes y momentos máximos al desplegar se obtiene los siguientes datos de la figura 6-29:



**Figura 6-29:** Fuerzas y Momentos en la placa base.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

Para el cálculo del momento resultante se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$Mr = \sqrt{Mx^2 + My^2}$$

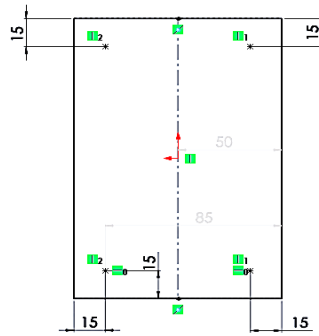
**Ecuación 6.100**

$$Mr = \sqrt{(40,312 \text{ Kgf.m})^2 + (7,489 \text{ Kgf.m})^2} = 41,00 \text{ Kgf.m}$$

Para determinar las fuerzas de tracción sobre los pernos A,B,C,D se realiza la sumatoria de momentos en los puntos

$$\sum Mp = 0$$

$$Mr = 80 F_A + 80 F_B + 15 F_C + 15 F_D + 50 F_Z$$



**Figura 6-30:** Distancias de pernos.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

De la figura 6-29, se observa que  $F_A = F_B$  y  $F_C = F_D$ ;

$$F_A = \frac{80}{15} F_C = 5,33 F_C$$

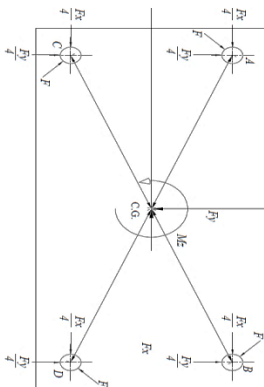
$$Mr = 2 (80 F_A) + 2(15 F_C) + 50 F_Z$$

$$41 \text{ Kg} \cdot \text{m} = 2 (80 \times 5,33 F_C) + 2(15 F_C) + 50 \times 170,65 \text{ Kg}$$

$$F_C = 36,77 \text{ Kg} = F_D$$

$$F_A = 195,73 \text{ Kg} = F_B$$

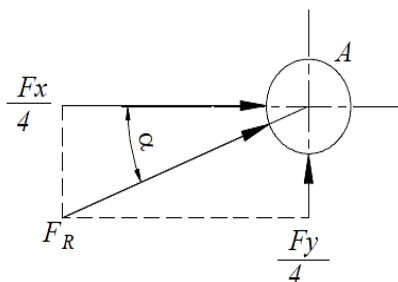
De acuerdo a éstos resultados se determina que los pernos sometidos a mayor tracción son: *A* y *B*.



**Figura 6-31:** Equilibrio de las fuerzas y el momento en el plano de corte.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

Por medio de la figura 6-32 se determina la fuerza cortante, momento eje z sobre los pernos de anclaje.

La fuerza resultante por las componentes en el eje x e y sobre el perno es:



**Figura 6-32:** Diagrama de la fuerza de corte resultante para el perno A.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

$$F_R = \sqrt{\left(\frac{F_x}{4}\right)^2 + \left(\frac{F_y}{4}\right)^2}$$

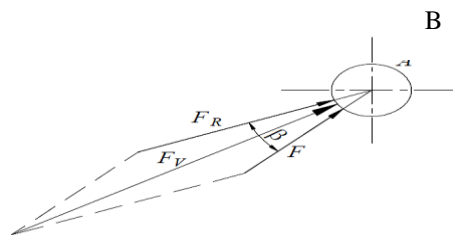
**Ecuación 6.101**

$$F_R = \sqrt{\left(\frac{176,45 \text{ Kgf}}{4}\right)^2 + \left(\frac{34,73 \text{ Kgf}}{4}\right)^2}$$

$$F_R = 44,95 \text{ Kgf}$$

$$\alpha = \arctg \frac{\frac{F_y}{4}}{\frac{F_x}{4}} = \arctg \frac{F_y}{F_x} = \frac{34,73}{176,45}$$

$$\alpha = 11,13^\circ$$



**Figura 6-33:** Diagrama de la fuerza de corte resultante para el perno A.  
**Fuente:** Valencia Alvaro.

$$\beta = 90 - 34,22 - \alpha$$

$$\beta = 90 - 34,22 - 11,3 = 44,36$$

Aplicando la ley de cósenos se obtiene:

$$F_V = \sqrt{FR^2 + F^2 + 2FR \times F \times \text{Cos } \beta}$$

**Ecuación 6.102**

Se realiza la sumatoria de momentos en el centro de gravedad obteniendo la dirección y el valor de la fuerza resultante aplicado en el perno B.

$$\sum M_{CG} = 0$$

$$M_Z - 4 F (0,91 \text{ m}) = 0$$

$$F = \frac{Mz}{3.64 \text{ m}} = \frac{4,476 \text{ Kgf} \cdot \text{m}}{3.64 \text{ m}} = 1.23 \text{ Kgf}$$

Reemplazando en la ecuación 6.94 la fuerza cortante es:

$$F_V = \sqrt{44,95 \text{ Kgf}^2 + 1.23 \text{ Kgf}^2 + 2 \times 44,95 \text{ Kgf} \times 1.23 \text{ Kgf} \times \cos 44,36}$$

$$F_V = 45,84 \text{ Kgf}$$

Los esfuerzos axiales y cortantes respectivamente son:

$$\sigma_1 = \frac{F_A}{At} \quad \Rightarrow \quad \sigma_1 = \frac{195,73 \text{ Kgf}}{At}$$

$$\tau_{xy} = \frac{F_V}{At} \quad \Rightarrow \quad \tau_{xy} = \frac{45,84 \text{ Kgf}}{At}$$

Aplicando el esfuerzo equivalente de la ecuación 6-49.

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_1^2 + 4 \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_e = \sqrt{\left(\frac{195,73 \text{ Kgf}}{At}\right)^2 + 4 \left(\frac{45,84 \text{ Kgf}}{At}\right)^2}$$

$$\sigma_e = \frac{216,13 \text{ Kgf}}{At}$$

El esfuerzo de prueba del perno, se obtiene por:

$$\frac{Sp}{n} = \sigma_e = \frac{216,13 \text{ Kgf}}{At}$$

Dónde:

Sp Es el esfuerzo de prueba del perno, Kgf/m<sup>2</sup>.

n Es el factor de seguridad, adimensional.

Para el esfuerzo de prueba utilizamos un perno normal ASME Grado 2, de bajo contenido de carbono rosca gruesa,  $S_p = 40,8 \text{ MKgf/m}^2$  y un factor de seguridad 2,5

$$At = \frac{2,5 \times 216,13 \text{ Kgf}}{40,8 \frac{\text{MKgf}}{\text{m}^2}} = 1.32 \times 10E - 5 \text{ m}^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 At}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.32 \times 10E - 5 \text{ m}^2}{\pi}} = 4.10 \times 10^{-3} \text{ m} = 4.10 \text{ mm}$$

Determinando el diámetro se elige un perno comercial 1/4 x 2" UNC.

## 6.8 ADMINISTRACIÓN

Los costos no se pueden predecir con absoluta certeza pero nos dan una información confiable y de base útil para la planeación, control, y toma de decisiones administrativas.

### 6.8.1 Costos directos.

Son los valores por concepto de material, de mano de obra y de gastos, correspondientes directamente a la fabricación o producción del horno eléctrico.

**Tabla 6-18 .Costos Directos**

DENOMINACIÓN	DIMENSIONES	CANTIDAD	PRECIO (USD)
Plancha de Tol	2440x1220x0,9	15	1200
Plancha de Tol galvanizado	2240x1220x0,7	4	500



Plancha de Aislante térmico Fiber Glass	1219 x 1 1/2 "	2	1500
Tubo Rectangular	50x60x2 mm	10	800
Tubo Cuadrado	50x2 mm	10	500
Tubo Cuadrado	20x2	4	120
Tubo Cuadrado	30x2	6	500
Pernos	1/2 x 2"	20	20
Pernos	5/16x3/4"	10	4
Remaches	3/16 x 1"	100	10
Tablero de Control		1	5000
Termocupla		4	1200
Sistema Eléctrico de Encendido del Horno		1	2500
Ventilador		2	650
Transportador		1	1200
Electrodos	6011	100	100
Electrodos	6013	100	100
Imprevistos			5000
<b>TOTAL</b>			<b>20900</b>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 6.8.2 Costos indirectos.

Los costos indirectos incluyen todo aquellos gastos correspondientes a la utilización de maquinaria, el costo de mano de obra, entre otros gastos que no se ven reflejados directamente en la construcción pero que fueron necesarios para la misma.

**Tabla 6-19.** Costos Indirectos

<b>DENOMINACIÓN</b>	<b>HORAS EMPLEADAS</b>	<b>PRECIO(USD)</b>
Dobladora	20	30
Suelda MIG	50	80
Suelda Eléctrica	10	15
Torno	5	10
Taladro de Pedestal	10	15
Troquel	4	10
Esmeril	10	5
Guillotina	6	10
Compresor	20	25
Remachado	25	10
Fresadora	20	40
Otros	36	250
<b>TOTAL</b>		<b>500</b>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### **6.8.3 Mano de obra.**

Es el costo por el personal que transforman la materia prima en el producto final pasando por muchos procesos con trabajos directos e indirectos ; en resumen la mano de obra es aquel esfuerzo aportado en proceso de fabricación que debe ser valorado en todo.

**Tabla 6-20.** Mano de Obra

<b>PERSONAL</b>	<b>HORAS EMPLEADAS</b>	<b>PRECIO(USD)</b>
Soldador	100	560
Ayudantes	150	500
Pintor	36	400
Eléctrico	24	200
Técnico	30	400
<b>TOTAL</b>		<b>2060</b>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

#### **6.8.4 Costos varios.**

Son todos aquellos costos de actividades paralelas y no directas necesarias para la realización del bien.

**Tabla 6-21.** Administración de la tesis

<b>DETALLES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO(USD)</b>
Resmas de hojas	4	20
Impresiones	1000	200
Impresión de planos formato A0	10	18
Impresión de planos formato A4	10	10
Copias	50	7,5
Anillados	4	15
Empastados	3	50
Horas de internet	300	300
Transporte	500	500
<b>TOTAL</b>		<b>1120.5</b>

**Fuente:** Valencia Alvaro.

### 6.8.5 Costo total de la construcción del horno y del estudio realizado

El costo total de la construcción del horno se suma los costó directos e indirectos mano de obra y el estudio realizado de la tesis.

<b>COSTO TOTAL(USD)</b>	<b>25000 dólares americanos</b>
-------------------------	---------------------------------

### 6.8.6 Calculo del VAN y TIR

También conocido como valor actualizado neto o valor presente neto, cuyo acrónimo es VAN.

La tasa interna de retorno (TIR) es una tasa de rendimiento utilizada en el presupuesto de capital para medir y comparar la rentabilidad de las inversiones.

1 Datos para el análisis						
Inversión	importe					
	21.947					
		Años				
		1	2	3	4	5
Flujo de caja (neto anual)	inversión	10.535	12.890	15.763	17.920	19.432
	-21.947					
2 Cálculo del V.A.N. y la T.I.R.						
Tasa de descuento	%					
	10,00%	← Pon la tasa de descuento aquí				
V.A.N a cinco años		Valor positivo, inversión (en principio) factible				
	34,431,82					
T.I.R a cinco años		Valor superior a la tasa, inversión (en principio) factible				
	54,21%					

**Fuente:** Valencia Alvaro.

## **6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN**

La presente propuesta debe estar sujeta a un plan de monitoreo y evaluación con el fin de mejorar los resultados obtenidos.

El diseño de la estructura del horno eléctrico de polimerización debe estar en constante monitoreo debido a los posibles cambios en los parámetros de funcionamiento, para lo cual deberá identificarse el parámetro modificado y verificando si este afecta al diseño de la estructura.

Se debe monitorear si en un futuro el horno eléctrico de polimerización no cumpliría otra función, para lo cual deberá identificarse los nuevos factores para el diseño y verificar si estos no afectan al diseño.

## **6.10 BIBLIOGRAFÍA**

1. BONIFAZ Palacios, Marcelo E, Mejoramiento del subproceso de pintura electrostática, Quito/ EPN.
2. BRASSO, Jorge (2006). Lussol Pinturas. Boletín N° 1.
3. CASTELLOT, Fernández, A, La Fosfatización anticorrosivo, base adherente para las pinturas. Para la deformación en frío de los metales. Barcelona/ España.
4. CENGEL – BOLES (2002). Transferencia de Calor y Masa. Quinta Edición. México.
5. CIDEPINT (CIC-CONICET), Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnología de Pinturas
6. DIPAC productos de acero. (2012). Perfiles. Ambato: Sin editorial.
7. DIPAC productos de acero. (2012). Planchas. Ambato: Sin editorial.
8. EDWARD G.PITA. Principios y Sistemas de Acondicionamiento de Aire. Segunda Edición. Editorial CECOSA
9. Fratelli, M. G. (2003). DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS estados límites LRFD (Primera ed.). Caracas, Venezuela: UNIVE.

10. Greswell, R., Pintura en Polvo Electrostática.
11. GROOVER, M (1997). Fundamentos de manufactura moderna. Prentice Hall. México.
12. HEINZLER, M (1990). Tabellenbuch Metall. Alemania. Editorial Europa.
13. INEN, Tratamientos Superficiales y recubrimientos metálicos, definiciones, terminología. Quito/ 1981.
14. INEN, Pinturas y productos afines determinación de la densidad, Quito/1983.
15. INEN, Pinturas y productos afines determinación de los tiempos de secamiento, Quito/1983.
16. IZQUIERDO José María, Tecnología de Recubrimientos en Polvo, Editorial Ingoprint, Barcelona 1990.
17. JIJON, Saa, P, Estudio del proceso de Pintura Electrostática. Ecuador/Quito/ 1986.
18. JULIO ASTIGARRAGA URQUIZA. (1998). Hornos Industriales de Resistencias. Editorial Nomos S.A. octubre. Colombia.
19. KERN, Donald (1999). Procesos de Transferencia de Calor. Trigésima primera edición. México
20. Leontovich, V. (1981). Pórticos y Arcos (Decima segunda ed.). México D.
21. F.: COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL S. A.
22. MOTT, Robert (1996). Mecánica de Fluidos aplicada. Cuarta edición. México.
23. McCormac. (2006). DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS (Cuarta ed.). Colombia: Alfaomega.
24. Stiopin, P. A. (1968). RESISTENCIA DE MATERIALES. MOSCU: MIR.
25. SHINGLEY JOSEPH EDWARD, Diseño en Ingeniería Mecánica, Quinta Edición Editorial. Mc Graw Hill 2007.
26. STUDEMANN, Hans, Ensayo de materiales y control de defectos en la industria del metal. Bilbao/ Urmo/ 1979.
27. TRINKS, W (2003). Industrial Furnaces. Sexta edición. United States.

28. Hojas Técnicas, Pinturas en polvo, WESCO S.A
29. [http:// www.directindustry.es](http://www.directindustry.es)
30. <http://www.igm.mex.tl/imagesnew2/0/0/0/0/./Pintura%20Electrostatica.pdf>
31. [http:// www.dow.com](http://www.dow.com)
32. [http:// www.euroinox.org](http://www.euroinox.org)
33. [http:// www.maquinaria.cl/pintura.htm](http://www.maquinaria.cl/pintura.htm)
34. [http:// www.pinturascondor.com](http://www.pinturascondor.com)
35. [http:// www.vilba.com.ar](http://www.vilba.com.ar)
36. <http://orbita.starmedia.com/~polpin/aplicacion.htm>
37. <http://www.arnum.com>
38. [http://www.asimet.cl/pintura\\_solida.htm](http://www.asimet.cl/pintura_solida.htm)
39. <http://www.geplastics.com>
40. <http://www.listopop.com.ec>
41. <http://www.metokote.com/spanish/powderCoatingProcessSpecifics.asp>
42. <http://www.peninsulacustomcoaters.com>

# **ANEXOS**



**ANEXO A**  
**NORMAS INEN**

## Anexo A1.Norma INEN 1001

CDU: 667.613

QU 04.05-302



Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN –Casilla 17-01-3999 –Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro –Quito-Ecuador –Prohibida la reproducción

	PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DE PELICULA. METODO DEL LAPIZ	INEN 1 001 1983-4
<p><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece el método de ensayo para determinar la dureza de películas, igualmente la resistencia de la película a la ruptura y al rasgado combinado con la adherencia de la película al sustrato.</p> <p><b>2. METODOS DE ENSAYO</b></p> <p><b>2.1 Resumen.</b> El lápiz o mina de lápices se pasa por la superficie hasta cuando uno de estos rompa la película de pintura</p> <p><b>2.2 Aparatos</b></p> <p><b>2.2.1</b> Un juego de lápices de dibujo o minas de lápices con dureza de 7 B hasta B, HB, F y H son considerados estándar.</p> <p><b>2.3 Preparación de la muestra</b></p> <p><b>2.3.1</b> Se prepara un panel de vidrio o una lámina de acero laminada en frío, cuyas dimensiones son 190 x 115 x 0,8 mm, previamente limpiado con un disolvente apropiado. El espesor de película seca debe ser de 25,4 µm.</p> <p><b>2.4 Procedimiento</b></p> <p><b>2.4.1</b> Tajar los lápices removiendo la madera de la mina desnuda, de modo que se extienda 6 mm fuera de la madera. Debe tenerse cuidado de no raspar el borde de la mina. Lijar Luego el extremo de la mina perpendicularmente a su eje hasta que esté plano, liso y de sección circular.</p> <p><b>2.4.2</b> El lápiz se sostiene firmemente a un ángulo de 45° y se empuja sobre la película en dirección contraria del probador. Mientras el Lápiz es empujado sobre la película de pintura, debe aplicarse suficiente presión hacia abajo para cortar la</p>		

película hasta el sustrato o hasta aplastar el borde agudo del lápiz. La estría debe tener un mínimo de 6 mm de largo. El proceso se repite usando sucesivamente lápices de diferente dureza, hasta encontrar el lápiz más duro que no produzca estría en la película. La dureza de este lápiz expresa la dureza de la película. Al efectuar la prueba, si el borde agudo de la mina se repone o se aplasta, deberá afilarse nuevamente.

## **2.5 Informe de resultados**

**25.1** La dureza se reporta como aquella comprendida entre la del primer lápiz que rompe la película y el inmediato anterior.

**2.5.1.1** El informe deberá tener:

**2.5.1.2** Dureza de la pintura,

**2.5.1.3** Fecha del ensayo.

**2.5.1.4** Número de ensayos.

**2-5.1.5** Identificación del producto, muestra y fabricante.

**2.5.1.6** Nombre del analista

## Anexo A2.Norma INEN 1002

CDU: 667.613  
ICS: 87.040



CIU: 3521  
QU 04.05.303

	PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. DETERMINACIÓN DE LA FLEXIBILIDAD MEDIANTE MANDRILES CÓNICOS.	NTE INEN 1002:98
<p><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece el método para determinar la flexibilidad y elasticidad de una película de pintura seca aplicada sobre un panel de ensayo que se somete a doblado sobre mandriles cónicos. El ensayo de flexibilidad de pinturas sobre mandril se practica según dos métodos.</p> <p>a) Doblado alrededor de mandriles cilíndricos de distintos diámetros.</p> <p>b) Doblado alrededor de mandril cónico con radio de curva progresivo.</p> <p><b>2. MÉTODO DE ENSAYO</b></p> <p><b>2.1 Resumen.</b></p> <p><b>2.1.1</b> Preparar un panel con la pintura que debe ensayarse. Colocar en el aparato de mandriles cónicos y proceder a doblarlos.</p> <p><b>2.2 Equipos</b></p> <p><b>2.2.1</b> Mandril cónico con radio de curvatura progresivo. Consiste en un cono truncado, rectificado y de acero. Tiene 203 mm de longitud con un diámetro de 3 mm en un extremo y 38 mm de diámetro en el otro. Está sujeto con un soporte montado sobre una placa de base maciza de acero. Esta placa tiene cuatro agujeros para atornillar el aparato a la mesa de trabajo. A un costado del mandril paralelo a la generatriz del cono se encuentra el dispositivo de sujeción de las chapas de ensayo que se compone de una placa con tuercas de mariposa y un tope. El arco doblador, con palanca de mano y presa paneles, está sujeto en el eje del cono.</p> <p><b>2.2.2</b> Se utilizan láminas de acero cuyas dimensiones son de aproximadamente 190 mm x 115 mm x 0,8 mm o 290 mm x 115 mm x 0,8 mm. El espesor de la película</p>		

seca en una de las caras del panel puede ser de 25,4  $\mu\text{m}$  o a convenirse entre las partes.

### **2.3 Procedimiento**

**2.3.1** La determinación debe realizarse por duplicado

**2.3.2** El recubrimiento aplicado sobre el panel debe tener un espesor uniforme y estar curado.

**2.3.3** Colocar el rodillo del aparato de modo que el mango del mismo se ubique frente al operador en una posición horizontal.

**2.3.4** Colocar el panel con la superficie pintada hacia afuera en el canal del aparato, insertar un papel entre la superficie pintada y el rodillo del aparato.

**2.3.5** Ajustar el panel mediante las tuercas tipo mariposa de modo que el borde del panel esté alineado con el extremo más delgado del mandril cónico.

**2.3.6** Levantar el mango del rodillo a una velocidad uniforme, girar  $180^\circ$  a fin de doblar el panel aproximadamente  $135^\circ$ , en un tiempo de 15 segundos.

(Continúa)

DESCRIPTORES: pinturas, productos afines, recubrimientos, método de ensayo, flexibilidad.

**2.3.7** Examinar la superficie doblada del panel a simple vista y observar si se encuentran rajaduras en la superficie recubierta.

**2.3.8** Determinar y señalar, la rajadura más alejada del extremo pequeño del mandril, indicando la distancia en centímetros a dicho extremo. Esta distancia es usada para calcular la flexibilidad.

**2.3.9** Para retirar el panel, retornar el mango del rodillo a su posición inicial, aflojar las tuercas y levantar el panel del mandril cónico.

## **2.4 Cálculos**

**2.4.1** Determinar la flexibilidad del acabado desde las coordenadas de la curva indicada en la figura 1.

Esta curva representa la relación entre el porcentaje de flexibilidad y el diámetro del mandril cónico para un espesor de 25 µm de recubrimiento. La relación entre la distancia a lo largo del mandril cónico y el correspondiente diámetro ha sido también trazada en esta curva.

**2.4.2** Ajustar el valor obtenido del porcentaje de flexibilidad de la figura 1 para el espesor del recubrimiento añadiendo el factor de corrección obtenido de la figura 2.

**2.4.3** Ejemplo: Suponga que la distancia entre el extremo pequeño del mandril y la rajadura más alejada de este extremo es de 75 mm. En la figura 1, determine el porcentaje de flexibilidad para esta distancia, siendo en este ejemplo 5,2 %. Para corregir el valor obtenido debido al espesor del recubrimiento utilice la figura 2. Para la distancia de 75 mm la corrección por 25 µm de espesor de recubrimiento es 0,3 %. Si en el ejemplo el espesor es de 50 µm, el porcentaje de flexibilidad es de  $5,2 + (2 \times 0,3) = 5,8$  %.

## **2.5 Informe de resultados**

**2.5.1** En el informe de resultados debe indicarse:

**2.5.1.1** El valor de flexibilidad como porcentaje con aproximación de una cifra decimal.

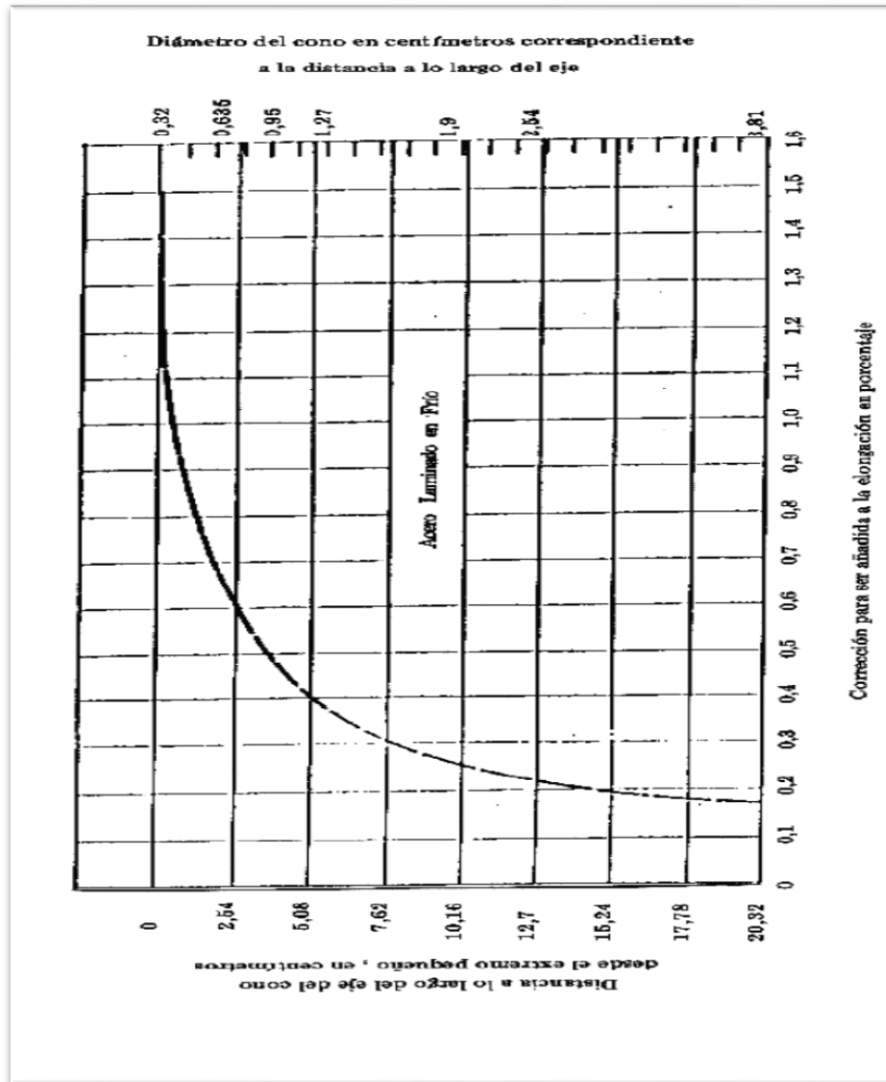
**2.5.1.2** Tipo, número de la muestra o cualquier otra indicación que la identifique.

**2.5.1.3** NTE INEN de referencia.

**2.5.1.4** Fecha de muestreo y ensayo.

**2.5.1.5** Debe mencionarse, además cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.

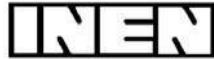
**2.5.1.6** Deben incluirse todos los detalles para la completa identificación de la muestra.





## Anexo A3.Norma INEN 1005

CDU: 667.613



QU 04.05-306

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN – Casilla 17-01-3999 – Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro – Quito-Ecuador – Prohibida la reproducción

	PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. DETERMINACIÓN DEL IMPACTO DIRECTO E INVERSO	INEN 1005 <b>1983-04</b>
<p><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece el método de ensayo para determinar los efectos de la prueba del impacto directo e inverso en pinturas y productos afines.</p> <p><b>2. ALCANCE</b></p> <p><b>2.1 Impacto directo o cóncavo.</b> Este método nos permite determinar cuándo se efectúa directamente sobre la superficie del panel que tiene la película de pintura seca, la resistencia al impacto y la fuerza de adhesión de dicha película.</p> <p><b>2.2 Impacto inverso o convexo.</b> Si la prueba se efectúa del lado del panel que no tiene la película de pintura, determinará por este método la elasticidad o habilidad de elongación de la película alrededor de la protuberancia hecha por el instrumento bajo las condiciones del impacto.</p> <p><b>3. METODOS DE ENSAYO</b></p> <p><b>3.1 Equipo</b></p> <p><b>3.1.1</b> Equipo para prueba de impacto. Este consiste en un soporte circular que sostiene el panel. Un tubo cilíndrico hueco que tiene una escala en centímetros, que va de 0 a 203,2 cm. El tubo cilíndrico que contiene un peso muerto de 1,816 kg puede dejarse caer a la altura deseada, de acuerdo a la escala especificada anteriormente.</p> <p><b>3.1.2</b> Panel. Se utiliza un panel laminado en frío, un milímetro de espesor (1 mm) y un espesor de película de pintura seca de 25,4 a 38,1 <math>\mu\text{m}</math>.</p> <p><b>3.1.3</b> Soportes circulares. Los soportes circulares pueden ser de varios diámetros; para la prueba se puede escoger de acuerdo al tamaño de la abertura deseado.</p> <p><b>3.2 Procedimiento</b></p>		

**3.2.1** Para efectuar la prueba de impacto directo, colocar el panel perpendicular al tubo cilíndrico que contiene el peso muerto. Levantar este peso hasta la altura deseada y dejar caer libremente. Para la prueba de impacto inverso, seguir el mismo procedimiento. Hacer varias pruebas y reportar los resultados.

**3.3 Cálculos.** Para calcular la fuerza del impacto, se emplea la siguiente ecuación:

$$I = M \times d$$

Dónde:

I = impacto en kg. cm.

M = peso muerto, en kilogramos.

d = altura en centímetros.

### **3.4 Informe de resultados**

**3.4.1** El informe de resultados debe tener:

- fecha de ensayo;
- Identificación de la muestra;
- Número de ensayos realizados;
- Impacto directo o inverso en kg. cm.;
- alturas empleadas;
- razón social o nombre del fabricante.

## Anexo A4.Norma INEN 1006

DU: 667.613

ICS: 87.040



CIU: 3521

QU 04.05.307

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN –Casilla 17-01-3999 –Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro –Quito-Ecuador –Prohibida la reproducción

Norma	PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES.	NTE
Técnica	DETERMINACIÓN DE ADHERENCIA MEDIANTE	INEN
Ecuatoriana	PRUEBA DE LA CINTA.	1006:98
Voluntaria		

**1. OBJETO**

**1.1** Esta norma establece los métodos para determinar la adherencia de películas de recubrimientos de pinturas y productos afines aplicados sobre paneles metálicos o superficies recomendadas, mediante la aplicación y remoción de una cinta sensible a la presión, sobre cortes realizados en la película.

**2. MÉTODOS DE ENSAYO**

**2.1 Método de la cuadrícula**

**2.1.1 Equipos**

**2.1.1.1** Aparato de corte con cuchilla de dientes múltiples para corte cruzado (con 6 u 11 dientes).

**2.1.1.2** Cinta adhesiva de 25,4 mm de ancho semitransparente sensible a la presión (ver nota 1).

**2.1.1.3** Borrador de caucho colocado en el extremo de un lápiz

**2.1.1.4** Una fuente de luz útil para determinar si los cortes han sido hechos a través de la película seca hasta el panel.

**2.1.1.5** Cepillo de cerdas plásticas

**2.1.1.6** Panel metálico o superficie recomendada de acuerdo al tipo de pintura.

**2.1.2 Procedimiento**

**2.1.2.1** Seleccionar un área libre de manchas e imperfecciones.

**2.1.2.2** Asegurar que la superficie esté limpia y seca (valores extremos de temperatura y humedad relativa pueden afectar la adherencia de la cinta).

**2.1.2.3** Colocar el panel sobre una base firme y hacer cortes cruzados usando el aparato de corte con cuchilla de dientes múltiples.

**2.1.2.4** Para recubrimientos que tengan hasta 50 micrómetros de espesor de película seca, usar la cuchilla que tenga 11 dientes y 1 mm de separación entre dientes y realizar el corte.

**2.1.2.5** Para recubrimientos que tengan un espesor de película seca entre 50 micrómetros y 125 micrómetros, usar una cuchilla que tenga 6 dientes y 2 mm de separación entre dientes y realizar el corte.

**2.1.2.6** Hacer los cortes en el recubrimiento con un movimiento firme y presión suficiente para que el borde cortante alcance el panel.

**2.1.2.7** Revisar los bordes cortantes de las cuchillas y si es necesario limpiarlos, hacer entonces los cortes adicionales a 90° y centrados en los cortes anteriores.

**2.1.2.8** Proceder a limpiar con el cepillo el área de los cortes para remover cualquier residuo de recubrimiento levantado. Si el metal no ha sido alcanzado, hacer otro corte igual en otra área hasta alcanzar el metal.

**2.1.2.9** Cortar un pedazo de cinta de adherencia de aproximadamente 75 mm de largo.

**2.1.2.10** Colocar el centro de la cinta sobre la rejilla formada por el corte y sus alrededores, dejando un extremo libre, después alisarla con el dedo. Luego frotar firmemente con el borrador del extremo de un lápiz para lograr un buen contacto.

**2.1.2.11** Esperar de 60 a 120 segundos después de la aplicación y retirar la cinta de la superficie halando rápidamente del extremo libre formando un ángulo de aproximadamente 180°.

**2.1.2.12** Inspeccionar el área de la rejilla para comprobar si hay remoción del recubrimiento del panel, comparar la cuadrícula resultante con las que se indican en la tabla 1, seleccionar la más parecida y calificar el porcentaje de adherencia entre los valores menores de 35 y 100 %.

**TABLA 1.** Clasificación de los resultados del ensayo de adherencia

Clasificación	Superficie de corte cruzado en la cual ha ocurrido desprendimiento (seis cortes paralelos)	Adherencia %	Desprendimiento %	Criterio
5	Ninguno	100	0	Ningún desprendimiento
4		95-100	0-5	El desprendimiento es en los ángulos de los cuadrados.
3		85-95	5-15	El desprendimiento es a lo largo de los bordes y en las intersecciones de los cortes.
2		65-85	15-35	El desprendimiento es a lo largo de los bordes y parte del área de los cuadrados
1		35-65	35-65	El desprendimiento es a lo largo de los bordes y en todo el cuadrado.
0	Mayor de 65%	< 35	> 65	El desprendimiento es mayor que en el grado 1.

**2.1.2.13** Repetir el ensayo en otro sitio de cada panel de prueba.

### 2.1.3 Errores de método

**2.1.3.1** Los siguientes criterios deben ser usados para evaluar la aceptabilidad de los resultados con un nivel de confianza del 95%.

a) Repetibilidad. Los resultados obtenidos por el mismo operador deben ser considerados dudosos si difieren en más de un rango para los dos ensayos.

b) Reproducibilidad. Dos resultados obtenidos por diferentes operadores deben ser considerados dudosos si difieren en más de dos rangos para los ensayos.

## **2.1.4 Informe de resultados**

### **2.1.4.1 En el informe de resultados debe indicarse:**

- a) El número de ensayos y su valor promedio.
- b) Para el caso de sistemas de recubrimientos indicar en donde se observó la falta de adherencia, por ejemplo, entre el primer recubrimiento y el panel, entre el primer y segundo recubrimiento, etc.
- c) El panel empleado.
- d) El tipo de recubrimiento y el método de curado.
- e) NTE INEN de referencia.
- f) Fecha de muestreo y ensayo.

## **2.2 Método del corte en X**

**2.2.1** Este método se aplica para espesores de película seca mayor a 125 micrómetros.

### **2.2.2 Equipo**

**2.2.2.1** Similares a los indicados en el método de la cuadrícula.

**2.2.2.2** Escalpelo, cuchillo u otro elemento de corte.

### **2.2.3 Procedimiento**

**2.2.3.1** Seleccionar un área libre de defectos e imperfecciones. La superficie debe estar limpia y seca.

Condiciones extremas de temperatura o humedad relativa pueden afectar la adherencia de la cinta o la pintura.

**2.2.3.2** Hacer dos cortes en la película seca de pintura, de aproximadamente 40 mm de largo cada uno, que intersectan cerca de sus mitades con un ángulo comprendido entre 30 y 45°. Cuando se hagan las incisiones se debe usar una guía de corte y atravesar la película hasta llegar al panel con un movimiento firme.

**2.2.3.3** Inspeccionar las incisiones por reflexión de la luz sobre el panel para establecer que la película de pintura ha sido penetrada. Si el panel no ha sido alcanzado se repite el procedimiento en un lugar diferente. No se debe profundizar un corte previo, porque esto puede afectar la adherencia a lo largo de la incisión.

**2.2.3.4** Cortar un pedazo de cinta de adherencia de aproximadamente 75 mm de largo.

**2.2.3.5** Colocar el centro de la cinta en la intersección de los cortes pasándola en la misma dirección de los ángulos comprendidos entre 30 y 45°. Alisar la cinta en el área de la incisión con el dedo y luego frotar firmemente con el borrador del extremo de un lápiz cuidando de que quede bien adherida; el color bajo la cinta adhesiva es una indicación útil de cuando se hace un buen contacto.

**2.2.3.6** Esperar de 60 a 120 segundos después de la aplicación y retirar la cinta de la superficie halando rápidamente del extremo libre formando un ángulo de aproximadamente 180°.

**2.2.3.7** Inspeccionar la remoción de pintura en el área del corte en X.

**2.2.3.8** Clasificar la adherencia de acuerdo a la escala que se indica en la tabla 2.

**TABLA 2.** Clasificación de la adherencia

Clasificación	Criterio	Adherencia %
5A	No existe remoción de la película o peladuras	100
4A	Trazas de peladuras o remoción a lo largo de las incisiones	95-100
3A	Remoción dentada de 1,6 mm a lo largo de la parte superior de las incisiones sobre cada lado	85-95
2A	Remoción dentada de 3,2 mm a lo largo de la parte superior de las incisiones sobre cada lado	65-85
1A	Remoción del área de la X cubierta por la cinta	35-65
0A	Remoción más allá del área de la X	> 65

**2.2.3.9** Repetir el ensayo en otro sitio del panel de prueba. Para estructuras grandes se hacen suficientes cortes para asegurar que la evaluación de la adherencia sea representativa de toda la superficie.

**2.2.3.10** Después de varios cortes, examinar el instrumento de corte y verificar que el borde cortante se encuentre en buenas condiciones. Los aparatos de corte que desarrollen irregularidades u otros defectos que dañan la película deben ser descartados.

#### **2.3.4** Errores de método

**2.3.4.1** Los siguientes criterios deben ser usados para evaluar la aceptabilidad de los resultados con un nivel de confianza del 95%.



a) Repetibilidad. Los resultados obtenidos por el mismo operador deben ser considerados dudosos si difieren en más de un rango para los dos ensayos.

b) Reproducibilidad. Dos resultados obtenidos por diferentes operadores deben ser considerados dudosos si difieren en más de dos rangos para los ensayos.

### **2.3.5 Informe de resultados**

#### **2.3.5.1** En el informe de resultados debe indicarse:

a) El número de ensayos y su valor promedio.

b) Para el caso de sistemas de recubrimientos indicar en donde se observó la falta de adherencia, por ejemplo, entre el primer recubrimiento y el panel, entre el primer y segundo recubrimiento, etc.

c) El panel empleado.

d) El tipo de recubrimiento y el método de curado.

e) NTE INEN de referencia.

f) Fecha de muestreo y ensayo.

**2.3.5.2** Debe mencionarse además cualquier condición no especificada en esta norma o considerada como opcional, así como cualquier circunstancia que pueda haber influido sobre el resultado.

**2.3.5.3** Deben incluirse todos los detalles para la completa identificación de la muestra.

## Anexo A5. Norma INEN 1008

CDU: 617.613



QU 04.05-309

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN –Casilla 17-01-3999 –Baquerizo Moreno E8-29 y Almagro –Quito-Ecuador –Prohibida la reproducción

Norma Técnica Ecuatoriana	PINTURAS Y PRODUCTOS AFINES. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA LLAMA. (METODO COMPARATIVO)	INEN 1 008 1983-4
<p><b>1. OBJETO</b></p> <p><b>1.1</b> Esta norma establece el método para determinar la resistencia a la llama de las pinturas.</p> <p><b>2. APARATOS</b></p> <p><b>2.1</b> Paneles de acero dulce doble desapeado, de forma cuadrada, de 200 mm de lado y de 0,86 mm de espesor.</p> <p><b>2.2</b> Mecheros</p> <p><b>3. METODOS DE ENSAYO</b></p> <p><b>3.1</b> Sobre los paneles de las características puntualizadas en 2.1 se aplica a pincel una mano de la pintura en examen y una de la muestra tipo (ver nota 1); en cada uno de los paneles se deja secar 24h, posteriormente se aplica una segunda mano en cada uno y se deja secar 72 h.</p> <p><b>3.2</b> Cada uno de dichos paneles se disponen sobre un trípode común de laboratorio en la forma indicada en la figura y se calienta durante un minuto con el mechero (a), con la abertura incolora de las características establecidas en la figura 1.</p> <p><b>3.3</b> Al cumplir el minuto se inicia el calentamiento con el mechero b, de acuerdo con lo indicado en la figura 1, manteniendo esas condiciones durante un minuto.</p> <p><b>3.4</b> Durante dicho lapso se observa si de la película de la pintura en examen se desprenden vapores inflamables y si entra en combustión. Una vez frío se observa la película de pintura de los paneles comparativamente.</p> <p><b>4. INFORME DE RESULTADOS</b></p>		

**4.1** Se considera que el producto en examen cumple este ensayo cuando la película de pintura no desprende vapores inflamables, no entra en combustión y el aspecto no difiere de la muestra comparativa.

**4.2** El informe debe reunir los siguientes puntos:

**4.2.1** Fecha del ensayo.

**4.2.2** Identificación de la muestra tipo (color, apariencia, fecha de producción, lote, etc.).

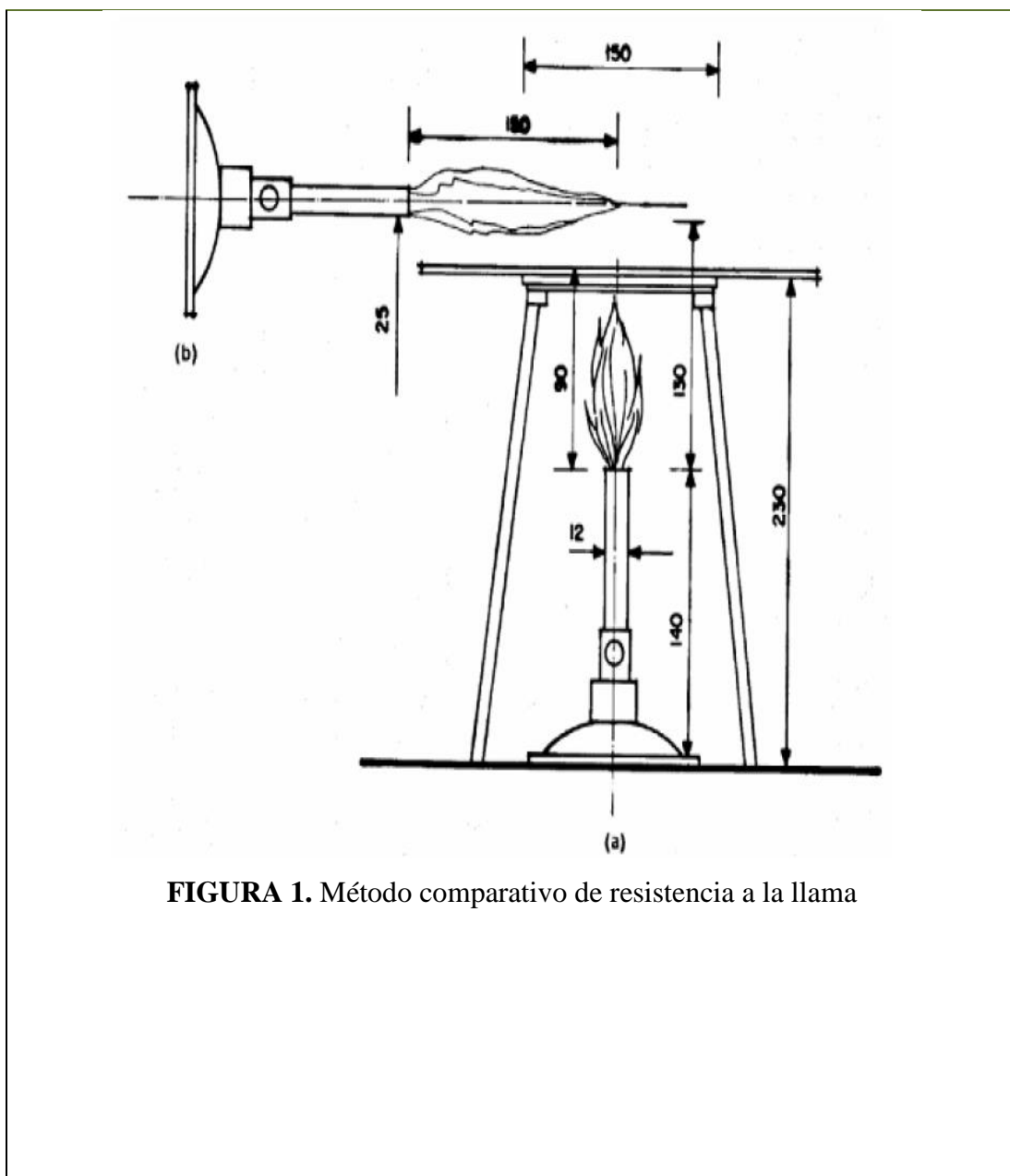
**4.2.3** Referencia del inciso 4.1.

**4.2.4** Nombre del analista.

**4.2.5** Número de ensayos

---

NOTA 1. Muestra tipo. Es una muestra de pintura con una composición, color, apariencia, etc., igual a la pintura que va a analizarse y que se toma como patrón para el ensayo. Esta muestra se toma de lotes anteriores que pasaron ésta determinación positivamente.

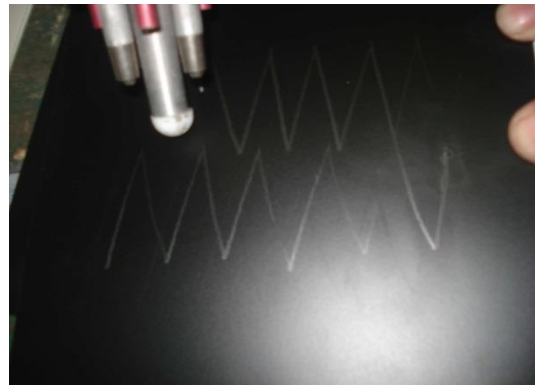


**FIGURA 1.** Método comparativo de resistencia a la llama

1983-010

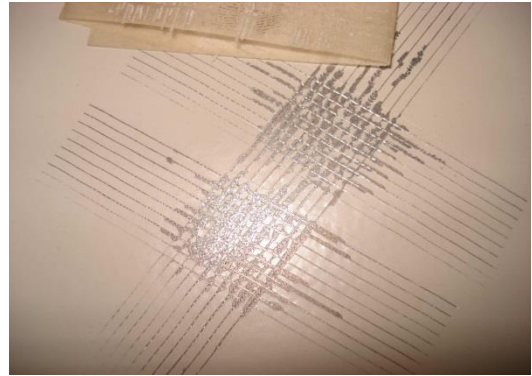
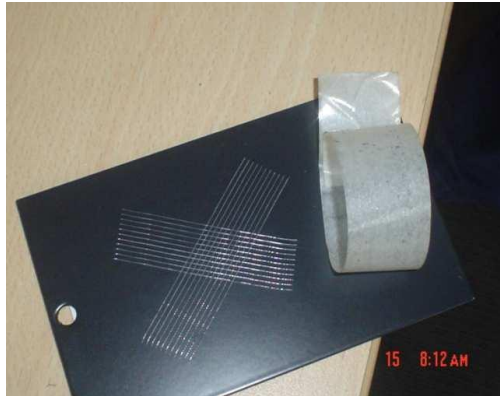
## **ANEXO B**

## Anexo B1.Pruebas de Dureza





## Anexo B2.Pruebas de Adherencia



### Anexo B3.Pruebas de Flexibilidad

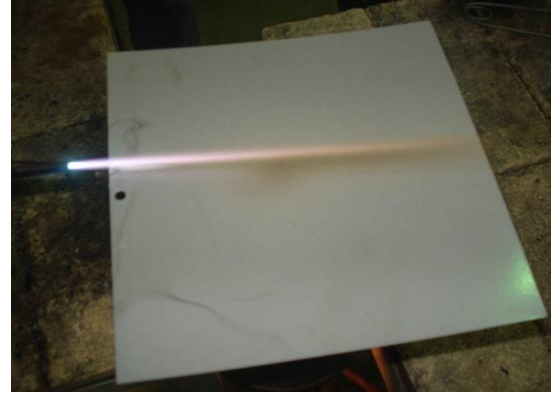
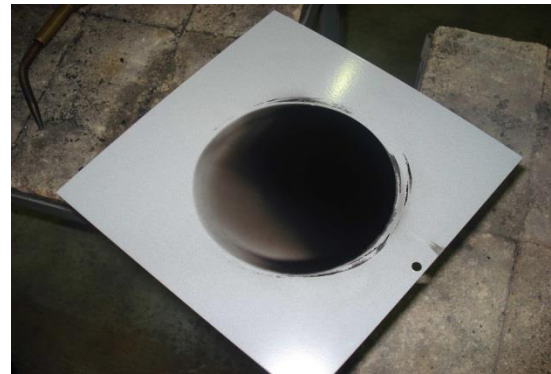


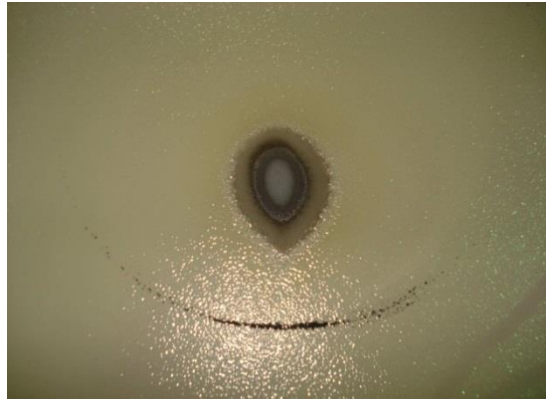


#### Anexo B4.Pruebas de Impacto



#### Anexo B5.Pruebas de Resistencia a la llama





# **ANEXO C**



# **ANEXO D**

**Anexo D1.Fotos de Productos**

Caja 220x200	Caja 300x200
	
Caja 250x220	Caja 470x320
	
Carretillas	Caja 400x200
	

# **ANEXO E**

## Anexo E1. Propiedades del Aire a la Presión de 1 ATM

**TABLA A-15**

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-6}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-5}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-5}$	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	$4.241 \times 10^{-5}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-5}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-5}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-5}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-5}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-5}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-5}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-5}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-5}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-5}$	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-5}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-5}$	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-5}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-5}$	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-4}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-5}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-4}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-5}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	$1.352 \times 10^{-4}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-5}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-4}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-4}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-4}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-4}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-4}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-4}$	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-4}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-4}$	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-4}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-4}$	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-4}$	$6.630 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-4}$	0.7539

Note: Para los gases ideales, las propiedades  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión  $P$  (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de  $\rho$ , a la temperatura dada, por  $P$  y al dividir  $\nu$  y  $\alpha$  entre  $P$ .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermanns, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.



## Anexo E2. Propiedades de Metales Sólidos

ISSB  
APÉNDICE 1

**TABLA A-3**

Propiedades de metales sólidos

Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c <sub>p</sub> (J/kg · K)					
		$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$C_p$ J/kg · K	$k$ W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	100	200	400	600	800	1 000
<b>Aluminio:</b>											
Puro	933	2 702	903	237	97.1	302	237	240	231	218	
						482	798	949	1 033	1 146	
Aleación 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2 770	875	177	73.0	65	163	186	186		
Aleación 195, fundido (4.5% Cu)		2 790	883	168	68.2	473	787	925	1 042		
Berilio	1 550	1 850	1 825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8
						203	1 114	2 191	2 604	2 823	3 018
Bismuto	545	9 780	122	7.86	6.59	16.5	9.69	7.04			
						112	120	127			
Boro	2 573	2 500	1 107	27.0	9.76	190	55.5	16.8	10.6	9.60	9.85
						128	600	1 463	1 892	2 160	2 338
Cadmio	594	8 650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7			
						198	222	242			
Cromo	2 118	7 160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4
						192	384	484	542	581	616
Cobalto	1 769	8 862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1
						236	379	450	503	550	628
<b>Cobre:</b>											
Puro	1 358	8 933	385	401	117	482	413	393	379	366	352
						252	356	397	417	433	451
Bronce comercial (90% Cu, 10% Al)	1 293	8 800	420	52	14		42	52	59		
Bronce al níquel para engranes (80% Cu, 11% Sn)	1 104	8 780	355	54	17		41	65	74		
Latón para cartuchos (70% Cu, 30% Zn)	1 188	8 530	380	110	33.9	75	95	137	149		
Constantán (55% Cu, 45% Ni)	1 493	8 920	384	23	6.71	17	19				
						237	362				
Germanio	1 211	5 360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4
						190	290	337	348	357	375
Oro	1 336	19 300	129	317	127	327	323	311	298	284	270
						109	124	131	135	140	145
Iridio	2 720	22 500	130	147	50.3	172	153	144	138	132	126
						90	122	133	138	144	153
<b>Hierro:</b>											
Puro	1 810	7 870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8
						216	384	490	574	680	975
Acero (99.75% puro)		7 870	447	72.7	20.7	95.6	80.6	65.7	53.1	42.2	32.3
						215	384	490	574	680	975
<b>Aceros al carbono:</b>											
Simplé al carbono (Mn $\leq$ 1%, Si $\leq$ 0.1%)		7 854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0
								487	559	685	1 169
AISI 1010		7 837	434	63.9	18.8			58.7	48.8	39.2	31.3
								487	559	685	1 168
Al carbono-silicio (Mn $\leq$ 1%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		7 817	446	51.9	14.9			49.8	44.0	37.4	29.3
								501	582	699	971

### Anexo E3.Relación de Diámetro de las Resistencias

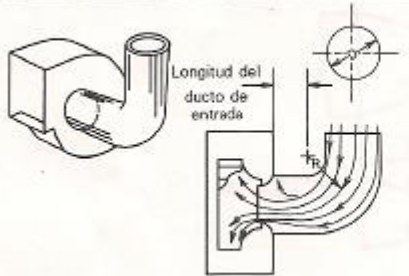
	°C	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400
Kenthal A-1	Ce	1	1	1	1	1	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04

the table figures are valid for kenthal a-1

diameter mm	Resistance Ω/m 20°C	cm <sup>2</sup> /Ω 20°C	weight per length g/m	surface cm <sup>2</sup> /m	area cm <sup>2</sup> /m	diameter mm
9,5	0,0205	14600	503	298	70,9	9,5
8,0	0,0288	8710	357	251	50,3	8,0
7,5	0,0328	7480	314	236	44,2	7,5
7,0	0,0377	5840	273	220	38,5	7,0
6,5	0,0437	4670	236	204	33,2	6,5
6,0	0,0513	3680	201	188	28,3	6,0
5,5	0,0610	2830	169	173	23,8	5,5
5,0	0,0738	2130	139	157	19,6	5,0
4,8	0,0801	880	128	151	18,1	4,8
4,5	0,0912	1550	113	141	15,9	4,5
4,2	0,1050	1260	98,4	132	13,9	4,2
4,0	0,1150	1090	89,2	126	12,6	4,0
3,8	0,1280	934	80,5	119	11,3	3,8
3,5	0,1510	730	68,3	110	9,6	3,5
3,2	0,1800	558	57,1	101	8,0	3,2
3,0	0,2050	459	50,2	94,2	7,1	3,0
2,8	0,2350	374	43,7	88,0	6,2	2,8
2,5	0,2950	266	34,9	78,5	4,9	2,5
2,2	0,3810	181	27,0	69,1	3,8	2,2
2,0	0,4620	136	22,3	62,8	3,1	2,0
1,9	0,5110	117	20,1	59,7	2,8	1,9
1,8	0,5700	99,2	18,1	56,5	2,5	1,8
1,7	0,6390	83,6	16,1	53,4	2,3	1,7
1,6	0,7210	69,7	14,3	50,3	2,0	1,6
1,5	0,8210	57,4	12,5	47,1	1,8	1,5
1,4	0,9420	46,7	10,9	44,0	1,5	1,4
1,3	1,0900	37,4	9,42	40,8	1,33	1,3
1,2	1,2800	29,4	8,03	37,7	1,13	1,2
1,1	1,5300	22,6	6,75	34,6	0,95	1,1
1,0	1,8500	17,0	5,58	31,4	0,79	1,0

## Anexo E4. Coeficientes para Acoples de Ductos de Aire

**TABLA 8.9. COEFICIENTES DE PÉRDIDA (C) PARA CONEXIONES DE DUCTO RECTO REDONDO A SUCCIÓN DE VENTILADOR.**



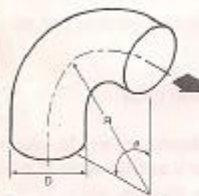
R/D	Longitud de la entrada, en diámetros		
	0	2D	5D
0.75	1.6	0.8	0.4
1.0	1.3	0.7	0.3
2.0	1.2	0.5	0.25
3.0	0.7	0.4	0.20

Reproducido con autorización del manual "HVAC System — Duct Design" SMACNA, segunda edición, 1981.

**TABLA 8.4. COEFICIENTES DE PÉRDIDA, CODOS**

Usar la presión de velocidad ( $H_v$ ) de la sección corriente arriba. Pérdida de la conexión ( $H_c$ ) = C X  $H_v$ .

### A. Codo de radio (troquelado), redondo



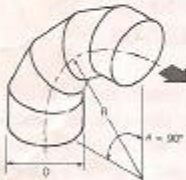
Coeficientes para codos de 90° (ver nota)

R/D	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
C	0.71	0.39	0.22	0.15	0.10	0.12

Nota: Para ángulos distintos de 90°, multiplicar por los siguientes factores:

$\theta$	$\theta'$	20°	30°	45°	60°	75°	90°	110°	130°	150°	180°
K	0	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1.00	1.13	1.20	1.28	1.40

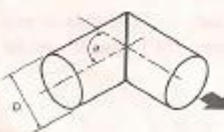
### B. Codo redondo, de 3 a 5 partes, 90°



Coeficiente C

No. of Peces	R/D				
	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
5	—	0.46	0.33	0.24	0.19
4	—	0.50	0.37	0.27	0.24
3	0.98	0.54	0.42	0.34	0.33

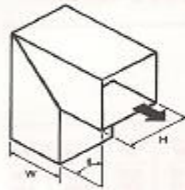
### C. Codo de ángulo, redondo



Coeficiente C

$\theta$	20°	30°	45°	60°	75°	90°
C	0.08	0.16	0.34	0.55	0.81	1.2

**D. Codo de ángulo, rectangular**

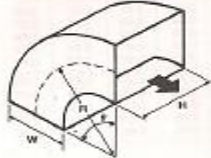


**Coefficiente C**

$\theta$	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
20°	0.08	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05
30°	0.18	0.17	0.17	0.16	0.15	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
45°	0.38	0.37	0.36	0.34	0.33	0.31	0.28	0.27	0.26	0.25	0.24
60°	0.60	0.58	0.57	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.41	0.39	0.38
75°	0.89	0.87	0.84	0.81	0.77	0.73	0.67	0.63	0.61	0.58	0.57
90°	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	0.98	0.92	0.89	0.85	0.83

**E. Codo, rectangular de radio uniforme sin álabes**

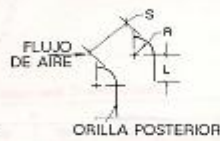
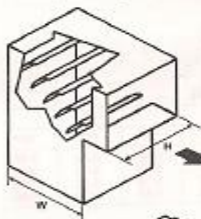
Coefficientes para codos de 90° (ver nota)



**Coefficiente C**

R/W	H/W										
	0.25	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	8.0
0.5	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
0.75	0.57	0.52	0.49	0.44	0.40	0.39	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44
1.0	0.27	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21
1.5	0.22	0.20	0.19	0.17	0.15	0.14	0.14	0.15	0.16	0.17	0.17
2.0	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15

**F. Codo, rectangular, en ángulo, con álabes de direccionamiento**



**ÁLABES DE ESPESOR SENCILLO**

*No.	Dimensiones, pulgadas			Coeficiente C
	R	S	L	
1	2.0	1.5	0.75	0.12
2	4.5	2.25	0	0.15
3	4.5	3.25	1.60	0.16

\*Los números son sólo referencia

Cuando no se tiene extensión de la orilla posterior para este codo, las pérdidas permanecen aproximadamente igual para codos sencillos, pero aumentan mucho para codos en zaga.



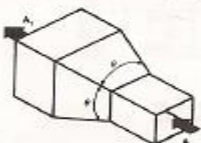
**ÁLABES DE ESPESOR DOBLE**

**Coefficiente C**

*No.	Dimensiones, in		Velocidad (V), ft/min				Observaciones
	R	S	1000	2000	3000	4000	
1	2.0	1.5	0.27	0.22	0.19	0.17	Embossed Vane Runner
2	2.0	1.5	0.33	0.29	0.26	0.23	Push-On Vane Runner
3	2.0	2.13	0.36	0.31	0.27	0.24	Embossed Vane Runner
4	4.5	3.25	0.26	0.21	0.18	0.16	Embossed Vane Runner

\*Los números son sólo referencia

**B. Transición, rectangular, piramidal**



**Coefficiente C (ver nota 1)**

A <sub>1</sub> /A	$\theta$							
	16°	20°	30°	45°	50°	90°	120°	180°
2	0.18	0.22	0.25	0.29	0.31	0.32	0.33	0.30
4	0.30	0.43	0.50	0.56	0.61	0.63	0.63	0.63
6	0.42	0.47	0.58	0.68	0.72	0.76	0.76	0.75
≥ 10	0.42	0.49	0.59	0.70	0.80	0.87	0.85	0.86

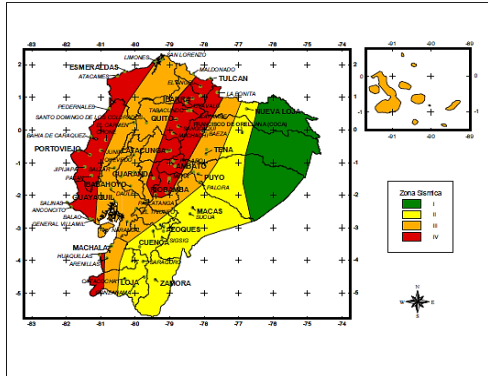
Nota: A = área, corriente de aire que entra, A<sub>1</sub> = área, corriente de aire que sale



## Anexo E5. Factores para el Cálculo de Carga de Sismo

### Valores del factor z en función de la zona sísmica adoptada

Zona sísmica	I	II	III	IV
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.4



### Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (i)

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Factor
1. Edificaciones esenciales y/o peligrosas	Hospitales, clínicas, centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación, transmisión y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1,5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1,3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

## Coefficiente de suelo $s$ y coeficiente $c_m$

Perfil tipo	Descripción	S	$C_m$
S1	Roca o suelo firme	1,0	2,5
S2	Suelos intermedios	1,2	3,0
S3	Suelos blandos y estrato profundo	1,5	2,8
S4	Condiciones especiales de suelo	2,0*	2,5

(\*) = Este valor debe tomarse como mínimo, y no substituye los estudios de detalle necesarios para construir sobre este tipo de suelos.

## Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R

Sistema estructural	R
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente, con muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	12
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas o de acero laminado en caliente.	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas banda y muros estructurales de hormigón armado (sistemas duales).	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y diagonales rigidizadoras.*	10
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda y diagonales rigidizadoras.*	9
Sistemas de pórticos espaciales sismo-resistentes de hormigón armado con vigas banda.	8
Estructuras de acero con elementos armados de placas o con elementos de acero conformados en frío. Estructuras de aluminio.	7
Estructuras de madera	7
Estructura de mampostería reforzada o confinada	5
Estructuras con muros portantes de tierra reforzada o confinada	3

(\*) = Cuando se utilizan diagonales, se debe verificar que los elementos en tensión cedan antes que los elementos en compresión.



## Coefficientes de configuración en planta.

Tipo	Descripción de las irregularidades en planta	$\Phi_{pi}$
1	<p><i>Irregularidad torsional</i> Existe irregularidad por torsión, cuando la máxima deriva de piso de un extremo de la estructura calculada incluyendo la torsión accidental y medida perpendicularmente a un eje determinado, es mayor que 1,2 veces la deriva promedio de los extremos de la estructura con respecto al mismo eje de referencia. La torsión accidental se define en el numeral 6.4.2 del presente código.</p>	0,9
2	<p><i>Entrantes excesivos en las esquinas</i> La configuración de una estructura se considera irregular cuando presenta entrantes excesivos en sus esquinas. Un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante.</p>	0,9
3	<p><i>Discontinuidad en el sistema de piso</i> La configuración de la estructura se considera irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, incluyendo las causadas por aberturas, entrantes o huecos, con áreas mayores al 50% del área total del piso o con cambios en la rigidez en el plano del sistema de piso de más del 50% entre niveles consecutivos.</p>	0,9
4	<p><i>Desplazamiento del plano de acción de elementos verticales</i> Una estructura se considera irregular cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p>	0,8
5	<p><i>Ejes estructurales no paralelos</i> La estructura se considera irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	0,9
6	<p><i>Sistema de piso flexible</i> Cuando la relación de aspecto en planta de la edificación es mayor que 4:1 o cuando el sistema de piso no sea rígido en su propio plano se deberá revisar la condición de piso flexible en el modelo estructural</p>	-

Coefficiente de configuración en elevación.

Tipo	Descripción de las irregularidades en elevación	Pórticos espaciales y pórticos con vigas banda $\Phi E_x$	Sistemas duales o con diagonales $\Phi E_x$
1	<b>Piso blando (irregularidad en rigidez)</b> La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.	0,9	1,0
2	<b>Irregularidad en la distribución de las masas</b> La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.	0,9	1,0
3	<b>Irregularidad geométrica</b> La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.	0,9	1,0
4	<b>Desalineamiento de ejes verticales</b> La estructura se considera irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento. Se exceptúa la aplicabilidad de este requisito cuando los elementos desplazados solo sostienen la cubierta de la edificación sin otras cargas adicionales de tanques o equipos.	0,8	0,9
5	<b>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia</b> La estructura se considera irregular cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).	0,8	1,0
6	<b>Columnas cortas</b> Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.	-	-



## Anexo E6. Factores de Diseño.

FACTORES DE DISEÑO.		
TIPO DE MATERIAL	FACTOR DE APLICACIÓN DISEÑO (N)	APLICACIÓN
Materiales Dúctiles	1.25 a 2.0	Diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.
	2.0 a 2.5	Diseño de elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño.
	2.5 a 4.0	Diseño de estructuras estáticas elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o al ambiente.
	4.0 o mas	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el ejemplo de estos valores.
Materiales Frágiles	3.0 a 4.0	Diseño de estructuras bajo cargas estáticas, donde haya un alto grado de confianza en todos los datos de diseño.
	4.0 a 8.0	Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o al ambiente.

## Anexo E7. Propiedades de los Aceros.

### ACERO AISI-SAE 1045 (UNS G10450)

**1. 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.

**2. Normas involucradas:** ASTM A108

**3. 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%)

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.43 – 0.50 % C  
0.60 – 0.90 % Mn  
0.04 % P máx  
0.05 % S máx

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

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

**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumplir el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

## ACERO AISI-SAE 4140 (UNS G41400)

1. **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

2. **Normas involucradas:** ASTM 322

3. **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%

4. **Propiedades físicas:** Densidad 7.85 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

5. **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

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

7. **Tratamientos térmicos:** se austeniza a temperatura entre 830 - 850 °C y se da temple en aceite. El revenido se da por dos horas a 200°C para obtener dureza de 57 HRC y si se da a 315°C la dureza será de 50 HRC. Para recocido se calienta entre 680 - 720°C con dos horas de mantenimiento, luego se enfría a 15°C por hora hasta 600°C y se termina enfriando al aire tranquilo. Para el alivio de tensiones se calienta entre 450 - 650°C y se mantiene entre 1/2 y 2 horas. Se enfría en el horno hasta 450°C y luego se deja enfriar al aire tranquilo.

**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumple el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

## ACERO AISI-SAE 1018 (UNS G10180)

**1. Descripción:** este acero de bajo - medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria.

**2. Normas involucradas:** ASTM A 108

**3. Propiedades mecánicas:** Dureza 126 HB (71 HRb)  
Esfuerzo de fluencia 370 MPa (53700 PSI)  
Esfuerzo máximo 440 MPa (63800 PSI)  
Elongación máxima 15% (en 50 mm)  
Reducción de área 40%  
Modulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)  
Maquinabilidad 76% (AISI 1212 = 100%)

**4. Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

**5. Propiedades químicas:** 0.15 – 0.20 % C  
0.60 – 0.90 % Mn  
0.04 % P máx  
0.05 % S máx

**6. Usos:** se utiliza en operaciones de deformación plástica como remachado y extrusión. Se utiliza también en componentes de maquinaria debido a su facilidad para conformarlo y soldarlo. Piezas típicas son los pines, cuñas, remaches, rodillos, piñones, pasadores, tornillos y aplicaciones de lámina

**NOTA:**

Los valores expresados en las propiedades mecánicas y físicas corresponden a los valores promedio que se espera cumpla el material. Tales valores son para orientar a aquella persona que debe diseñar o construir algún componente o estructura pero en ningún momento se deben considerar como valores estrictamente exactos para su uso en el diseño.

### Propiedades

Como la mayoría de los aceros, el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m<sup>3</sup> (0.28 lb/in<sup>3</sup>). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulg (203,2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPa (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPa (58 ksi). Las planchas con espesores mayores de 8 plg (203,2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPa (32 ksi), y el mismo límite de rotura.

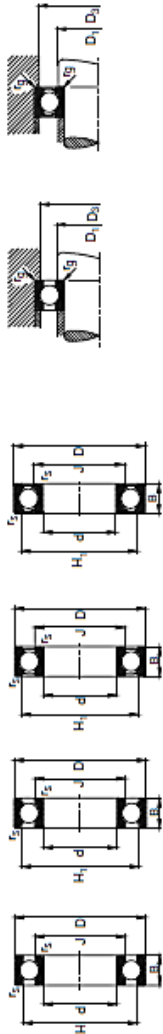
### Propiedades Mecánicas

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Máx	Min	Máx
250	36000	58000	80000	400	550



# Anexo E8. Catálogo de la FAG.

## Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida limitada, ver C<sub>10</sub>/P<sub>68</sub>, ver Pág.41.

Eje	Dimensiones										Peso m	Capacidad de carga C <sub>10</sub> stat. C <sub>0</sub>	Velocidad límite min <sup>-1</sup>	Velocidad de referencia	Denominación abreviada	Medidas auxiliares		
	d	D	B	f <sub>1</sub> min	H	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	J	J <sub>1</sub>	J <sub>2</sub>						D <sub>1</sub> min	D <sub>2</sub> max	f <sub>1</sub> min
3	10	4	0.15	7.7	6.2	5	0.001	0.04	0.22	53000	0.000	693	4.4	8.0	0.15			
	10	4	0.15	7.7	6.2	5	0.001	0.04	0.22	45000	0.000	693 ZR	4.4	8.0	0.15			
	10	4	0.15	7.7	6.2	5	0.001	0.04	0.22	50000	0.000	693 ZRS	4.4	8.0	0.15			
4	13	5	0.2	10.5	11.2	7	0.001	0.06	0.40	45000	0.000	854	5.8	11.2	0.2			
	13	5	0.2	10.5	11.2	7	0.001	0.06	0.40	38000	0.000	854 ZR	5.8	11.2	0.2			
	13	5	0.2	10.5	11.2	7	0.001	0.06	0.40	40000	0.000	854 ZRS	5.8	11.2	0.2			
5	16	5	0.3	12.5	13.4	8.5	0.005	0.12	0.44	45000	0.000	895	7.4	13.0	0.3			
	16	5	0.3	12.5	13.4	8.5	0.005	0.12	0.44	38000	0.000	895 ZR	7.4	13.0	0.3			
	16	5	0.3	12.5	13.4	8.5	0.005	0.12	0.44	40000	0.000	895 ZRS	7.4	13.0	0.3			
6	19	6	0.3	15.5	16.7	10.8	0.008	0.16	0.54	38000	0.000	835	7.4	16.0	0.3			
	19	6	0.3	15.5	16.7	10.8	0.008	0.16	0.54	30000	0.000	835 ZR	7.4	16.0	0.3			
	19	6	0.3	15.5	16.7	10.8	0.008	0.16	0.54	32000	0.000	835 ZRS	7.4	16.0	0.3			
7	19	6	0.3	15.5	16.7	10.8	0.007	0.16	0.54	38000	0.000	607	9	17	0.3			
	19	6	0.3	15.5	16.7	10.8	0.007	0.16	0.54	30000	0.000	607 ZR	9	17	0.3			
	19	6	0.3	15.5	16.7	10.8	0.007	0.16	0.54	32000	0.000	607 ZRS	9	17	0.3			
8	22	7	0.3	18	19.1	12.4	0.011	0.2	0.63	30000	0.000	827	9.4	19.0	0.3			
	22	7	0.3	18	19.1	12.4	0.011	0.2	0.63	24000	0.000	827 ZR	9.4	19.0	0.3			
	22	7	0.3	18	19.1	12.4	0.011	0.2	0.63	26000	0.000	827 ZRS	9.4	19.0	0.3			
9	24	7	0.3	19.0	20.5	14	0.015	0.25	0.83	30000	0.000	608	10	20	0.3			
	24	7	0.3	19.0	20.5	14	0.015	0.25	0.83	24000	0.000	608 ZR	10	20	0.3			
	24	7	0.3	19.0	20.5	14	0.015	0.25	0.83	26000	0.000	608 ZRS	10	20	0.3			
10	24	7	0.3	19.0	20.5	14	0.015	0.25	0.83	30000	0.000	608	11	22	0.3			
	24	7	0.3	19.0	20.5	14	0.015	0.25	0.83	24000	0.000	608 ZR	11	22	0.3			
	24	7	0.3	19.0	20.5	14	0.015	0.25	0.83	26000	0.000	608 ZRS	11	22	0.3			
11	26	8	0.3	21.4	22.5	14.7	0.02	0.3	1.06	34000	0.000	630	11.4	23.0	0.3			
	26	8	0.3	21.4	22.5	14.7	0.02	0.3	1.06	28000	0.000	630 ZR	11.4	23.0	0.3			
	26	8	0.3	21.4	22.5	14.7	0.02	0.3	1.06	30000	0.000	630 ZRS	11.4	23.0	0.3			

Hay demanda también en suministrables estas especificaciones, no dadas en unidades.

## Anexo E9.Grasa

### GRASA ESPECIAL TEMP200

#### TEMP200 \*)

Grasa especial para rodamientos de bolas y rodillos

**Aplicaciones típicas:**

- Rodillos de apoyo en hornos
- Bielas en compresores
- Vagonetas de horno
- Plantas químicas

**Adecuada para**

- |                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Bajas temperaturas                   | ++ |
| Altas temperaturas                   | ++ |
| Baja fricción,<br>alta velocidad     | -- |
| Grandes cargas,<br>bajas velocidades | +  |
| Vibraciones                          | -  |
| Propiedades obturadoras              | o  |
| Aptitud para relubricación           | o  |


**Valoración**

- ++ extremadamente adecuada
- + muy adecuada
- o adecuada
- poco adecuada
- no adecuada

**Cantidades disponibles:**

- 70 g tubo
- 1 kg bote

\*) Antigua designación FAG:  
Arcanol L79V



FAG Industrial Bearings AG

### FAG Rolling Bearing Grease Arcanol TEMP200

Properties, applications: High temperature greases for high loads

Characteristics	Unit	Value	Test method
Marking		KFGU-40	DIN 51825
Colour:		white	
Temperature range:	[°C]	-40 to 260	DIN 51825
Longtime limit temperature:	[°C]	200	
Specifications:			
Thickener:		PTMC	
Type of base oil:		fluorinated polyether oil	
Base oil viscosity	at 40°C [mm <sup>2</sup> /s]	400	DIN 51562 - 1
	at 100°C [mm <sup>2</sup> /s]	35	DIN 51562 - 1
Identification letters of additives:			
Worked penetration:	[0,1 mm]	265-266	DIN ISO 2137
Consistency:	[NLGI-Cl.]	2	DIN 51816
Drop point:	[°C]	not measurable	DIN ISO 2179
Oxidation stability			
Pressure drop after 100 h at 99 °C:	[kPa]	< 80	DIN 51906
Water resistance:	[Fmp]	0-90	DIN 51907 - 1
Flow pressure at -30 °C:	[kPa]	< 1400	DIN 51905
Emulsi Test:	[Corr./Grad]	0/1	DIN 51902
Copper corrosion after 24 h/150 °C:	[Corr./Grad]	1	DIN 51911
Four ball weld load:	[N]	4500	DIN 51350 - 4
Wear scar of four ball test:	[mm]		DIN 51350 - 5
FEB tests (rolling element wear)			
S36050 - 7,5/80 - 150	[mg]	7 / 19	DIN 51019
FEB tests (grease service lifetime)			
A / 1500 / 3000 - 150	[h]	1000 /	DIN 51821
A / 1500 / 3000 - 260	[h]	102 / 156	DIN 51821

Speed range:	Unit	Ball bearings and cylindrical roller bearings	Other roller bearings <sup>1)</sup>
Speed limit n°/min	[min/min]	300.000	100.000

<sup>1)</sup> not cylindrical roller thrust bearings and spherical roller thrust bearings

This copy is not taken into account by the updating service.  
The data are based on actual knowledge at the time of print and refer to the respective test method. Guaranteed properties or warranties cannot be taken over.  
Edition: 01.03.2002



# CATALOGO



## Catálogo S&P

Renovación del aire en locales habitados	Renovaciones/hora N
Catedrales	0.5
Iglesias modernas (techos bajos)	1 - 2
Escuelas, aulas	2 - 3
Oficinas de Bancos	3 - 4
Cantinas (de fábricas o militares)	4 - 6
Hospitales	5 - 6
Oficinas generales	5 - 6
Bar del hotel	5 - 8
Restaurantes lujosos (espaciosos)	5 - 6
Laboratorios (con campanas localizadas)	6 - 8
Talleres de mecanizado	5 - 10
Tabernas (con cubas presentes)	10 - 12
Fábricas en general	5 - 10
Salas de juntas	5 - 8
Aparcamientos	6 - 8
Salas de baile clásico	6 - 8
Discotecas	10 - 12
Restaurante medio (un tercio de fumadores)	8 - 10
Gallineros	6 - 10
Clubs privados (con fumadores)	8 - 10
Café	10 - 12
Cocinas domésticas (mejor instalar campana)	10 - 15
Teatros	10 - 12
Lavabos	13 - 15
Sala de juego (con fumadores)	15 - 18
Cines	10 - 15
Cafeterías y Comidas rápidas	15 - 18
Cocinas Industriales (Indispensable usar campana)	15 - 20
Lavanderías	20 - 30
Fundiciones (sin extracciones localizadas)	20 - 30
Tintorerías	20 - 30
Obradores de panaderías	25 - 35
Naves Industriales con hornos y baños (sin campanas)	30 - 60
Talleres de pintura (mejor instalar campana)	40 - 60

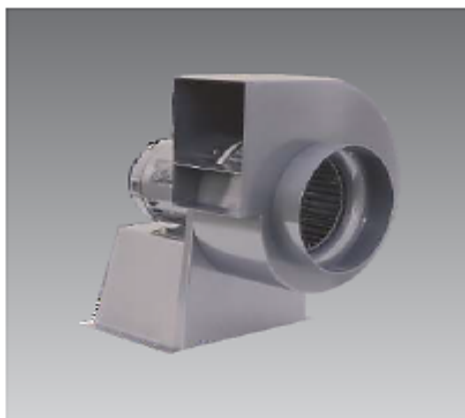
Locales Industriales	NR/H
Ambientes nocivos	30 - 60
Depósito de mercancías	3 - 6
Fundición	20 - 30
Lavandería Industrial	15 - 30
Sala de máquinas	20 - 30
Taller (general)	8 - 10
Taller con hornos	30 - 60
Taller de maquinado	5 - 10
Taller de pintura	30 - 60
Taller de soldura	15 - 30
Tintorería	20 - 30

## Selección del Ventilador



# CEB-T

EXTRACTORES CENTRÍFUGOS DE ÁLABES  
CURVOS ADELANTADOS  
800, 1200, 2000, 2500, 4000, 5000, 6000 m<sup>3</sup>/h



La serie CEB-T es una gama de extractores centrífugos de simple efecto de aspiración, con rodete de álabes curvos adelantados y motor directamente acoplado.

Dentro de una construcción ligera pero robusta y una óptima relación entre consumo y prestaciones, esta serie destaca por su gran versatilidad al disponer de siete modelos con cuatro alternativas en la posición de descarga en cada uno.

#### Características Principales:

Carcasa en acero electrosoldado, acabado en pintura en polvo poliéster homeada de gran resistencia a la corrosión, boca de descarga en cuatro posiciones con brida opcional.

#### Aplicaciones:

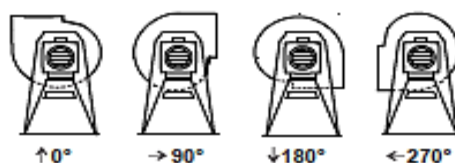
Instalaciones en sistemas de ventilación, extracción, calefacción y acondicionamiento de aire.  
Impulsión de aire dentro de conductos, refrigeración de máquinas industriales, etc.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Modelo	Velocidad RPM	Potencia HP	Tensión Volts	Intensidad A	Caudal a descarga libre m <sup>3</sup> /hr / CFM	Presión sonora dB(A)*	Peso aprox. Kg
CEB-800	1550	1/20	127	1.60	800 / 471	53	6
CEB-1200	1625	1/10	127	1.35	1,200 / 706	56	6
CEB-2000	1740	1/2	127/220	8.00 / 3.80	1,900 / 1,118	60	11
CEB-2800	1750	3/4	127/220	12.5 / 5.50	2,600 / 1,529	63	25
CET-2000	1700	1/2	220/440	1.90 / 1.00	1,900 / 1,118	60	11
CET-2800	1730	3/4	220/440	3.00 / 1.50	2,600 / 1,529	63	25
CET-4000	1750	1 1/2	208-230/460	4.20 / 2.10	3,950 / 2,324	72	28
CET-5000	1760	2	208-230/460	6.20 / 3.10	5,200 / 3,059	75	32
CET-6000	1755	3	208-230/460	7.80 / 3.90	6,500 / 3,824	80	34

\*Nivel sonoro medido de acuerdo a las normas AMCA 300/05 y 301/05

#### ORIENTACIÓN BOCA DE DESCARGA (CW)

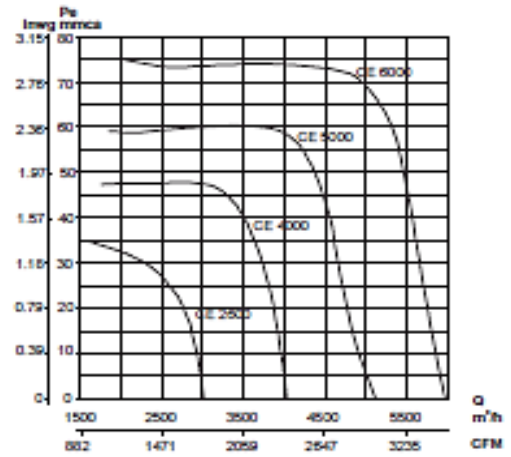
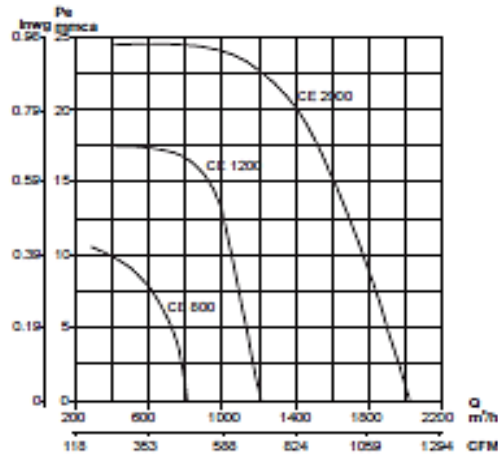




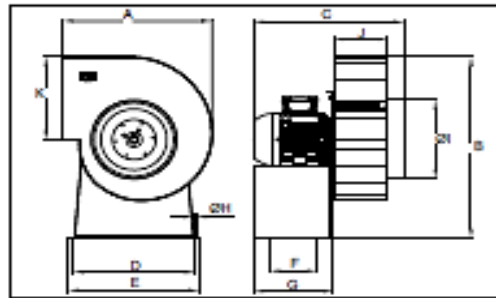
# CEB-T

EXTRACTORES CENTRIFUGOS DE ÁLABES  
CURVOS ADELANTADOS  
800, 1200, 2000, 2600, 4000, 5000, 6000 m<sup>3</sup>/h

## CURVAS CARACTERÍSTICAS



## DIMENSIONES



MODELO	A	B	C	D	E	F	G	ØH	ØI	J	K
CEB-800	272	395	238	285	310	70	113	7.9	152	89	153
CEB-1200	302	412	249	294	319	70	113	7.9	177	102	172
CEB-2000	315	435	390	257	287	111	188	11.5	185	125	187
CEB-2600	363	489	454	302	332	136	235	11.1	216	147	218
CEB-4000	454	574	515	348	383	132	239	11.1	258	173	273
CEB-5000	495	633	525	358	393	132	244	11.1	279	185	297
CEB-6000	536	768	588	476	511	185	311	11.1	333	210	351

\*Dimensiones mm.

## Catálogo DIPAC Perfiles

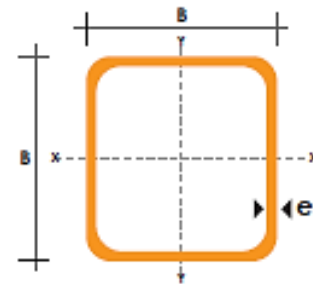
### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



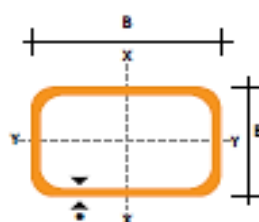
## TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 12mm x 25mm a 40mm x 80mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES				AREA	EJES X-X			EJES Y-Y		
A mm	B mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm
20	40	1,2	1,09	1,32	2,61	1,30	1,12	0,88	0,88	0,83
20	40	1,5	1,35	1,65	3,26	1,63	1,40	1,09	1,09	0,81
20	40	2,0	1,78	2,14	4,04	2,02	1,37	1,33	1,33	0,79
25	50	1,5	1,71	2,10	6,39	2,56	1,74	2,19	1,75	1,02
25	50	2,0	2,25	2,74	8,37	3,35	1,75	2,80	2,24	1,01
25	50	3,0	3,30	4,14	12,56	5,02	1,74	3,99	3,19	0,99
30	50	1,5	1,88	2,25	7,27	2,91	1,80	3,32	2,21	1,21
30	50	2,0	2,41	2,94	9,52	3,81	1,80	4,28	2,85	1,21
30	50	3,0	3,30	4,21	12,78	5,11	1,74	5,66	3,77	1,16
30	70	2,0	3,03	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,48	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	60	1,5	2,29	2,91	14,90	4,97	2,26	7,94	3,97	1,65
40	60	2,0	3,03	3,74	18,08	6,13	2,22	9,81	4,90	1,62
40	60	3,0	4,48	5,41	25,31	8,44	2,16	13,37	6,69	1,57
30	70	1,5	2,34	2,91	18,08	5,17	2,49	4,76	3,17	1,28
30	70	2,0	2,93	3,74	22,20	6,34	2,44	5,85	3,90	1,25
30	70	3,0	4,25	5,41	30,50	8,71	2,37	7,84	5,23	1,20
40	80	1,5	2,76	3,74	31,75	7,94	2,91	10,77	5,39	1,70
40	80	2,0	3,66	4,54	37,32	9,33	2,87	12,70	6,35	1,67
40	80	3,0	5,42	6,61	52,16	13,04	2,81	17,49	8,75	1,63
50	100	2,0	4,52	5,74	74,94	14,99	3,61	25,65	10,26	2,11
50	100	3,0	6,71	8,41	106,34	21,27	3,56	35,97	14,39	2,07
50	150	2,0	6,17	7,74	207,45	27,66	5,18	37,17	14,87	2,19
50	150	3,0	9,17	11,41	298,35	39,78	5,11	52,54	21,02	2,15



## PLANCHAS LAMINADAS AL FRIO

### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A366 JIS 3141 SPCC SAE 1008 SAE 1010
<b>Espesores</b>	0,40 a 1,90
<b>Rollos</b>	X 1219
<b>Planchas</b>	4 X 8 y medidas especiales



CALIDAD	DESIGNACION	CARBON	MANGANESO	FOSFORO	AZUFRE	ALUMINIO
Calidad Comercial	CS TIPO A	0,10	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO B	0,02 a 0,15	0,6	0,03	0,035	
	CS TIPO C	0,08	0,6	0,10	0,035	
Embutido leve	FS TIPO A	0,10	0,5	0,02	0,035	
	FS TIPO B	0,02 to 0,10	0,5	0,02	0,030	
Embutido profundo	DDS	0,08	0,5	0,02	0,025	0,01
	EDDS	0,02	0,4	0,02	0,020	0,01
Estructural SS Grd	30 (230)	0,20		0,040	0,040	
	37 (255)	0,20		0,10	0,040	
	40(275)	0,25		0,10	0,040	
	50(340)	0,40		0,20	0,040	
	50(340)	0,50		0,040	0,040	
	80 (550)	0,20		0,040	0,040	



# Catalogo Motor Reductor LENTAX.

Potencia Entrada	Velocidad Entrada aprox. (RPM)	Velocidad Salida aprox. (RPM)	Relación	MODELO	Factor de Seguridad	Momento Útil (Nm)	Potencia Entrada	Velocidad Entrada aprox. (RPM)	Velocidad Salida aprox. (RPM)	Relación	MODELO	Factor de Seguridad	Momento Útil (Nm)
kW	HP		β		(β)	(Nm)	kW	HP		β		(β)	(Nm)
		1400	230.0	6.00	HR	2.00	3.80	61					
		700	102.0	6.85	TR	2.00	0.95	138					
			130.0	5.38	TR	2.00	1.20	108					
			160.0	4.37	TR	2.00	1.50	88					
			193.0	3.64	TR	2.00	1.80	73					
		940	137.0	6.85	TR	2.00	1.25	103					
			175.0	5.38	TR	2.00	1.60	81					
			256.0	2.64	TR	2.00	3.30	40					
		1400	204.0	6.85	TR	2.00	1.90	69					
			260.0	5.38	TR	2.00	2.45	54					
			320.0	4.37	TR	2.00	3.00	44					
			385.0	3.64	TR	2.00	3.60	37					
			391.0	3.58	TR	2.00	0.95	36					
			476.0	2.96	TR	2.00	1.15	30					
			565.0	2.48	TR	2.00	1.35	25					
			664.0	2.11	TR	2.00	1.60	21					
			773.0	1.81	TR	2.00	1.90	18					
2.20	3.00	1415	1.5	960.00	C6HR	3.00	1.80	13714					
			1.6	878.92	C6HR	3.00	1.10	12545					
			1.9	727.88	C6HR	3.00	1.30	10389					
			2.3	613.08	C6HR	3.00	1.55	8751					
			2.7	522.88	C6HR	3.00	1.85	7463					
			3.1	450.14	C6HR	3.00	2.10	6425					
			3.6	390.24	C6HR	3.00	2.45	5570					
			3.8	371.84	C6HR	3.00	2.55	5307					
			4.5	313.20	C6HR	3.00	3.05	4670					
			5.3	267.12	C6HR	3.00	3.55	4013					
			5.8	244.35	C6HR	3.00	3.90	3688					
			2.9	491.89	C5HR	3.00	1.80	3021					
			3.4	419.53	C5HR	3.00	1.20	3988					
			3.9	361.16	C5HR	3.00	1.35	3755					
			4.5	313.10	C5HR	3.00	1.60	4669					
			5.4	262.67	C5HR	3.00	1.90	3749					
			6.2	227.71	C5HR	3.00	2.15	3250					
			7.2	197.75	C5HR	3.00	2.50	2823					
		940	5.1	183.54	C5T3	3.00	2.05	4007					
			6.6	143.29	C5T3	3.00	2.60	3130					
			7.0	133.89	C5T3	3.00	2.80	2914					
			8.1	115.92	C5T3	3.00	3.25	2530					
			9.0	104.29	C5T3	3.00	3.60	2276					
			9.8	95.94	C5T3	3.00	3.90	2094					
		1415	8.0	183.54	C5T3	3.00	3.05	2662					
			10.0	143.29	C5T3	3.00	3.95	2079					
			4.2	330.00	C45HR	3.00	1.80	4824					
			4.8	293.00	C45HR	3.00	1.15	4182					
			5.9	241.50	C45HR	3.00	1.60	3447					
			6.8	209.40	C45HR	3.00	1.60	2989					
			7.3	193.84	C45HR	3.00	1.75	2767					
		940	5.5	171.80	C45T3	3.00	1.35	2452					
			6.5	143.90	C45T3	3.00	1.60	2054					
			7.7	122.70	C45T3	3.00	1.90	1751					
			8.3	113.60	C45T3	3.00	2.05	1621					
			8.9	106.10	C45T3	3.00	2.20	1514					
		1415	8.2	171.80	C45T3	3.00	2.05	2452					
			9.8	143.90	C45T3	3.00	2.45	2054					
			11.5	122.70	C45T3	3.00	2.85	1751					
			12.5	113.60	C45T3	3.00	3.10	1621					
			13.3	106.10	C45T3	3.00	3.30	1514					
			15.3	92.70	C45T3	3.00	3.75	1323					
			7.7	182.77	C4T3	3.00	1.10	3650					
			8.2	172.13	C4T3	3.00	1.15	3696					
			9.9	143.44	C4T3	3.00	1.45	3080					
			10.1	139.83	C4T3	3.00	1.45	3028					
			12.1	116.53	C4T3	3.00	1.75	2690					
			14.0	98.50	C4T3	3.00	1.95	2428					
			15.0	96.12	C4T3	3.00	2.05	2394					
			16.0	90.53	C4T3	3.00	2.10	2313					
			17.0	82.88	C4T3	3.00	2.45	1990					
			19.0	73.54	C4T3	3.00	2.60	1866					
			23.0	61.28	C4T3	3.00	3.25	1609					
			27.0	53.21	C4T3	3.00	3.80	1422					
			28.0	50.99	C4T3	3.00	3.90	1399					
			12.0	118.75	C3T3	3.00	0.95	1722					
			14.0	104.43	C3T3	3.00	1.10	1514					
			15.0	96.46	C3T3	3.00	1.20	1399					
			16.0	88.40	C3T3	3.00	1.30	1282					
			18.0	78.96	C3T3	3.00	1.45	1145					
			20.0	72.26	C3T3	3.00	1.60	1048					
			21.0	66.23	C3T3	3.00	1.70	960					
			25.0	55.51	C3T3	3.00	2.05	805					
			28.0	49.97	C3T3	3.00	2.30	725					
			31.0	45.80	C3T3	3.00	2.50	664					
			34.0	41.91	C3T3	3.00	2.70	608					
			40.0	35.58	C3T3	3.00	3.20	516					
			43.0	32.61	C3T3	3.00	3.50	473					
			47.0	30.36	C3T2	3.00	3.35	447					
			21.0	68.75	C2T3	3.00	0.95	997					
			22.0	63.55	C2T3	3.00	1.05	922					
			24.0	57.94	C2T3	3.00	1.30	840					
			27.0	52.66	C2T3	3.00	1.35	764					
			30.0	47.47	C2T3	3.00	1.55	688					
			33.0	42.61	C2T3	3.00	1.75	618					
			37.0	37.88	C2T3	3.00	1.90	549					
			43.0	33.15	C2T3	3.00	2.25	481					
			30.0	38.29	C2T3	3.00	2.60	410					
			58.0	24.38	C2T2	3.00	3.00	353					
			61.0	23.09	C2T2	3.00	2.80	340					
			73.0	19.29	C2T2	3.00	3.10	284					
			86.0	16.41	C2T2	3.00	3.25	242					
			92.0	15.33	C2T2	3.00	3.40	226					
			100.0	14.14	C2T2	3.00	3.95	208					
			35.0	40.95	C1T3	3.00	1.05	594					
			41.0	34.45	C1T3	3.00	1.20	500					
			44.0	31.84	C1T3	3.00	1.25	462					
			48.0	29.34	C1T3	3.00	1.45	425					
			56.0	25.22	C1T3	3.00	1.70	366					
			65.0	21.84	C1T2	3.00	2.00	322					
			78.0	18.18	C1T2	3.00	2.25	268					
			92.0	15.40	C1T2	3.00	2.50	227					
			107.0	13.21	C1T2	3.00	2.60	195					
			114.0	12.44	C1T2	3.00	2.75	183					
			124.0	11.45	C1T2	3.00	2.95	169					
			134.0	10.54									

## Catologo de Pernos de Anclajes

### ESPARRAGOS (Studs)

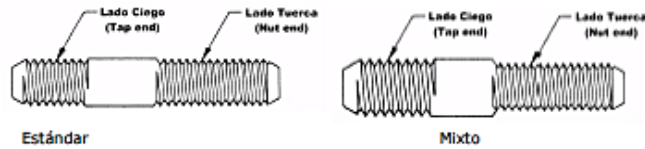
**Espárragos.** Son elementos de fijación formados por un eje cilíndrico roscado en ambos extremos. Se aplican fijando una de sus puntas a un agujero previamente roscado, y atornillado una tuerca en el otro extremos.

#### Características Técnicas

	ANSI/ASME	ISO
<b>Serie de Rosca</b>	UNC - UNF	MA - MB - Especial
<b>Clase de Rosca</b>	2A	6g
<b>Diámetros</b>	5/16" 3/8" 7/16" 1/2" 9/16" 5/8" 3/4"	M6 M8 M10 M12
<b>Longitudes</b>	Desde 1 1/4" hasta 4"	Desde 30 hasta 100mm
<b>Calidad del Material</b>	Grado 2	Clase 5.8
<b>Acabado</b>	Pavonado	Pavonado

Nota: Otras especificaciones consultar.

#### Tipos de Construcción



#### Combinaciones de Fabricación

Tipos de Espárrago	Estándar		Mixto	
	Lado Ciego (Tap end)	Lado Tuerca (Nut end)	Lado Ciego (Tap end)	Lado Tuerca (Nut end)
Serie de Rosca	UNC	UNC	UNC	UNF
	UNF	UNF	UNC	UNC
	UNC	UNF	-	-
	MA	MA	-	-
	MB	MB	-	-

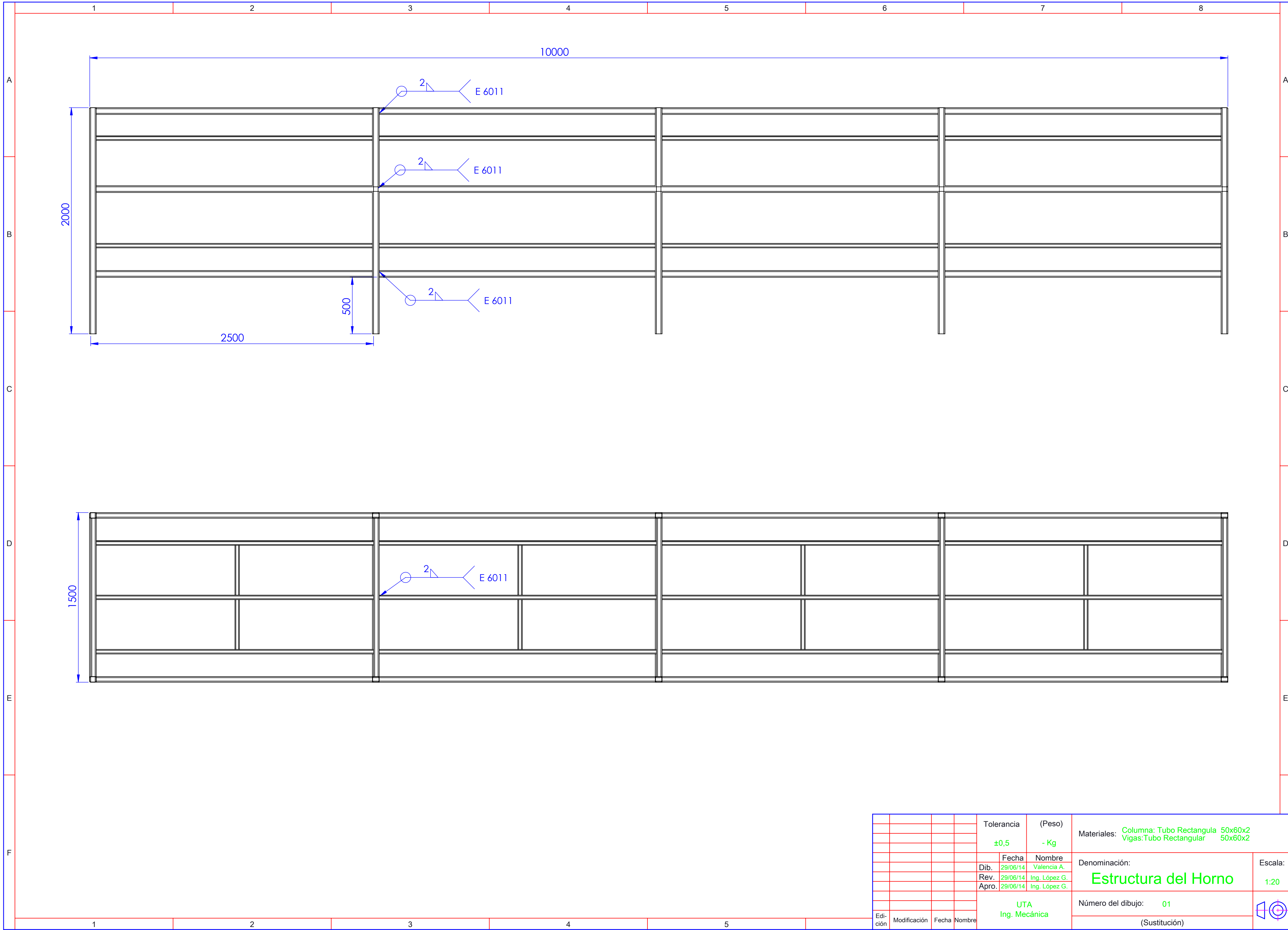
#### Materiales

Norma	Designación	Material (*)	Resistencia a la tracción	Elongación %	Dureza Rockwell	
					Min.	Max.

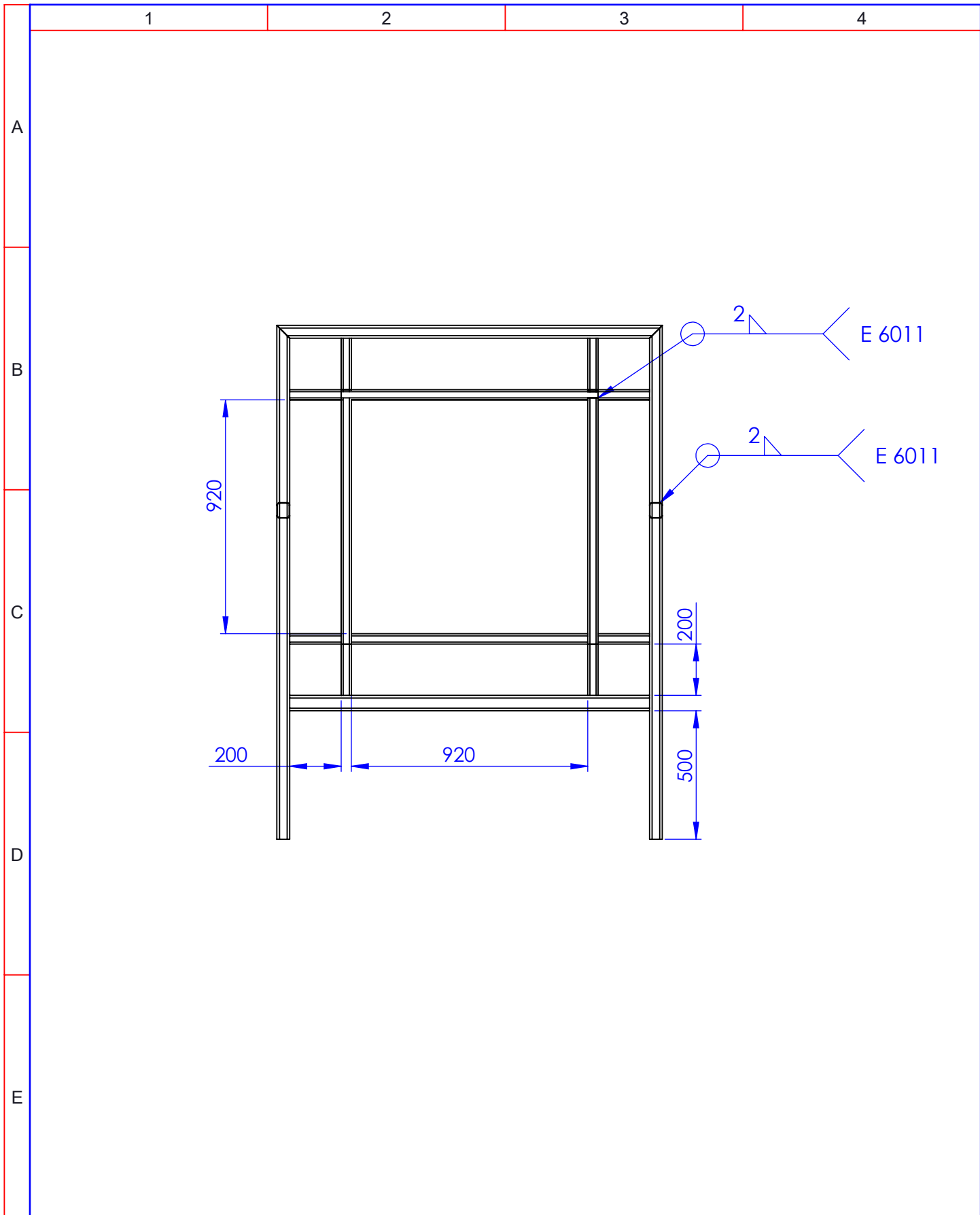




# PLANOS



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Columna: Tubo Rectangula 50x60x2</b> <b>Vigas: Tubo Rectangular 50x60x2</b>	Denominación:	Escala:
				±0,5	- Kg			
				Fecha	Nombre	Estructura del Horno	Número del dibujo: 01	1:20
				Dib. 29/06/14	Valencia A.			
				Rev. 29/06/14	Ing. López G.			
				Apro. 29/06/14	Ing. López G.			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 01	(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	Columna: Tubo Cuadrado 40 x 2
				±0,5	- Kg		Vigas: Tubo Cuadrado 40 x 2
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 29/06/14	Valencia A.		
				Rev. 29/06/14	Ing. López G.		
				Apro. 29/06/14	Ing. López G.	Estructura del Horno	1:20
				UTA Ing. Mecánica			Número del dibujo: 02
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

N7 MECANIZADO

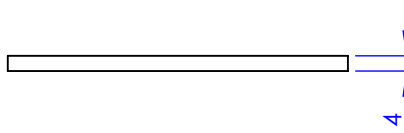
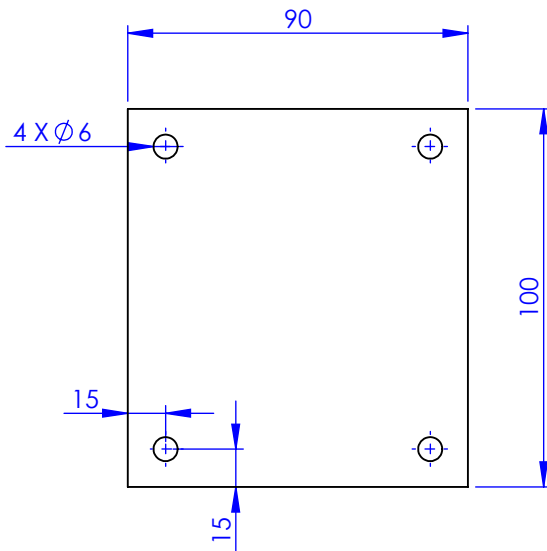
A

B

C

D

E



-	Columna Estructura		Tubo Rectan	3	50 x 60 x 2	0.0	
4	Pernos de Anclaje		ASME	2	1/4 x 2 "	0.0	Grado 2
1	Placa Base		ASTM A36	1	100 x 90	0.0	Taladro
N°	Denominación	No. de Dibujo	Material	No de Orden	No de Modelo	peso Kg	

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Acero A 36</b>	
				<b>±0,5</b>	<b>1,5 Kg</b>		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Placa Base</b>	Escala: <b>1:2</b>
			Dibujó:	30/06/14	Valencia A.		
			Revisó:	30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó:	30/06/14	Ing.López G.	
				<b>UTA</b>		Número del dibujo: <b>03</b>	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	<b>Ingeniería. Mecánica</b>		(Sustitución)	

1

2

3

4

A

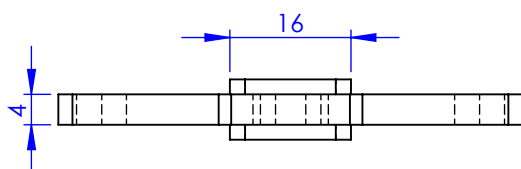
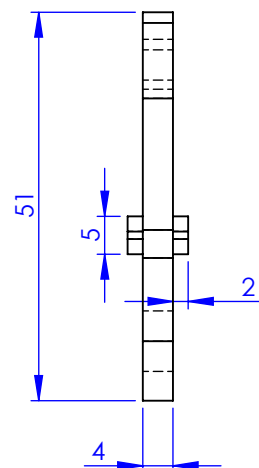
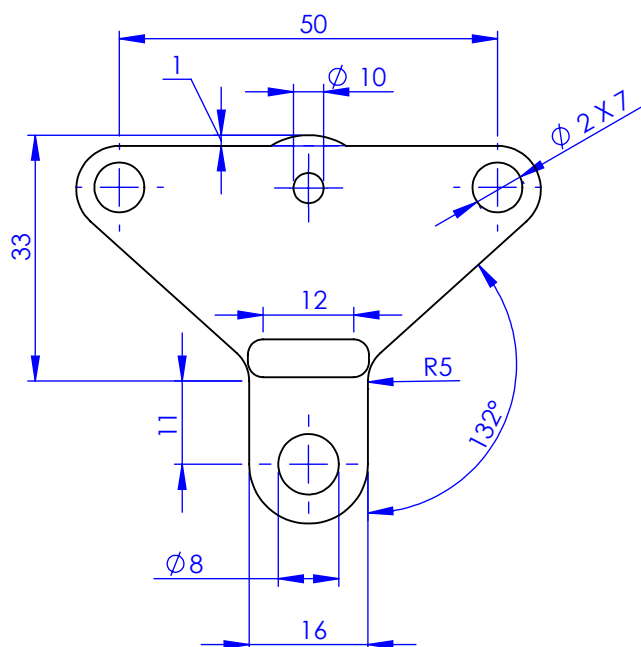
B

C

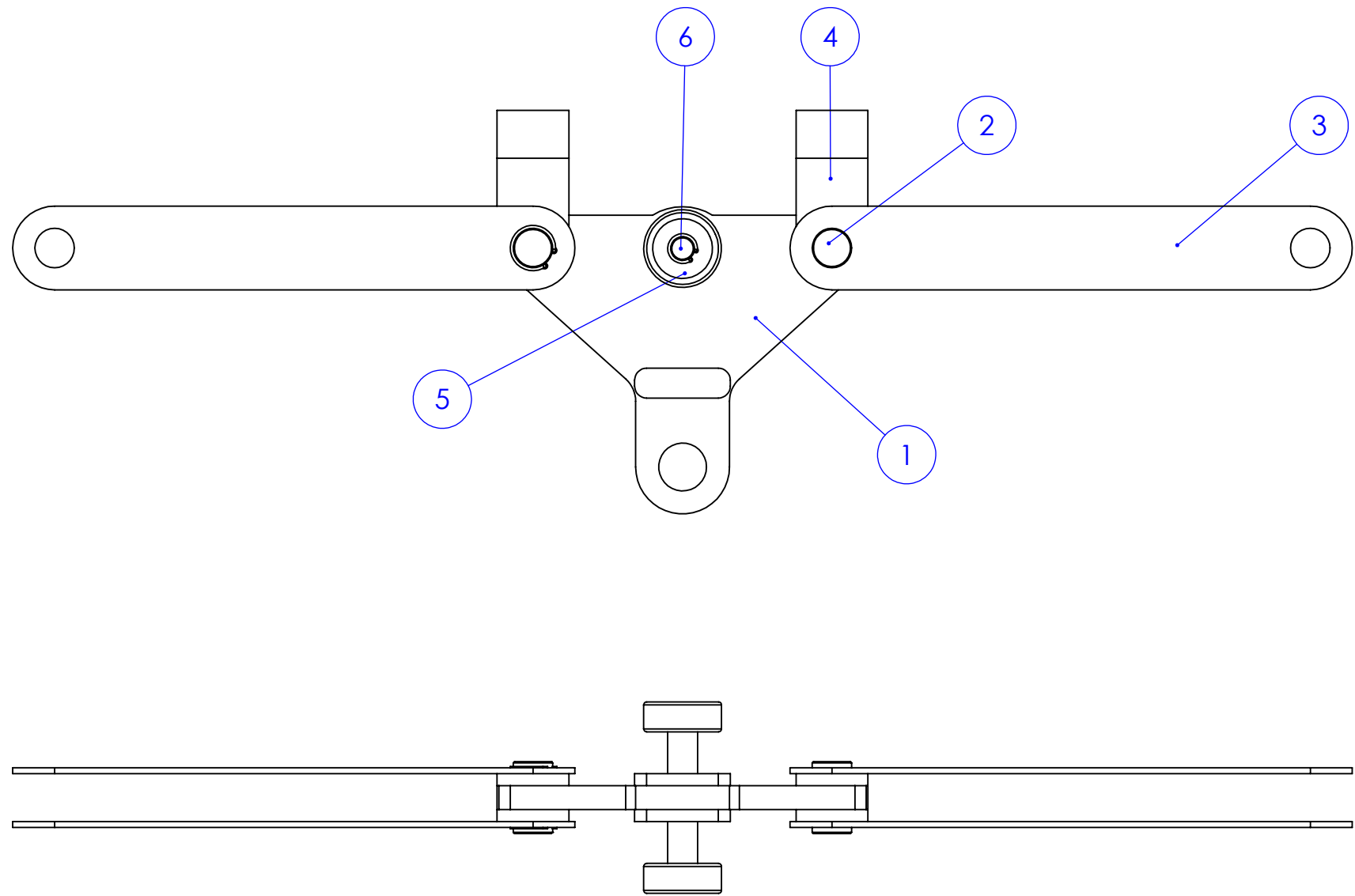
D

E

N7 MECANIZADO

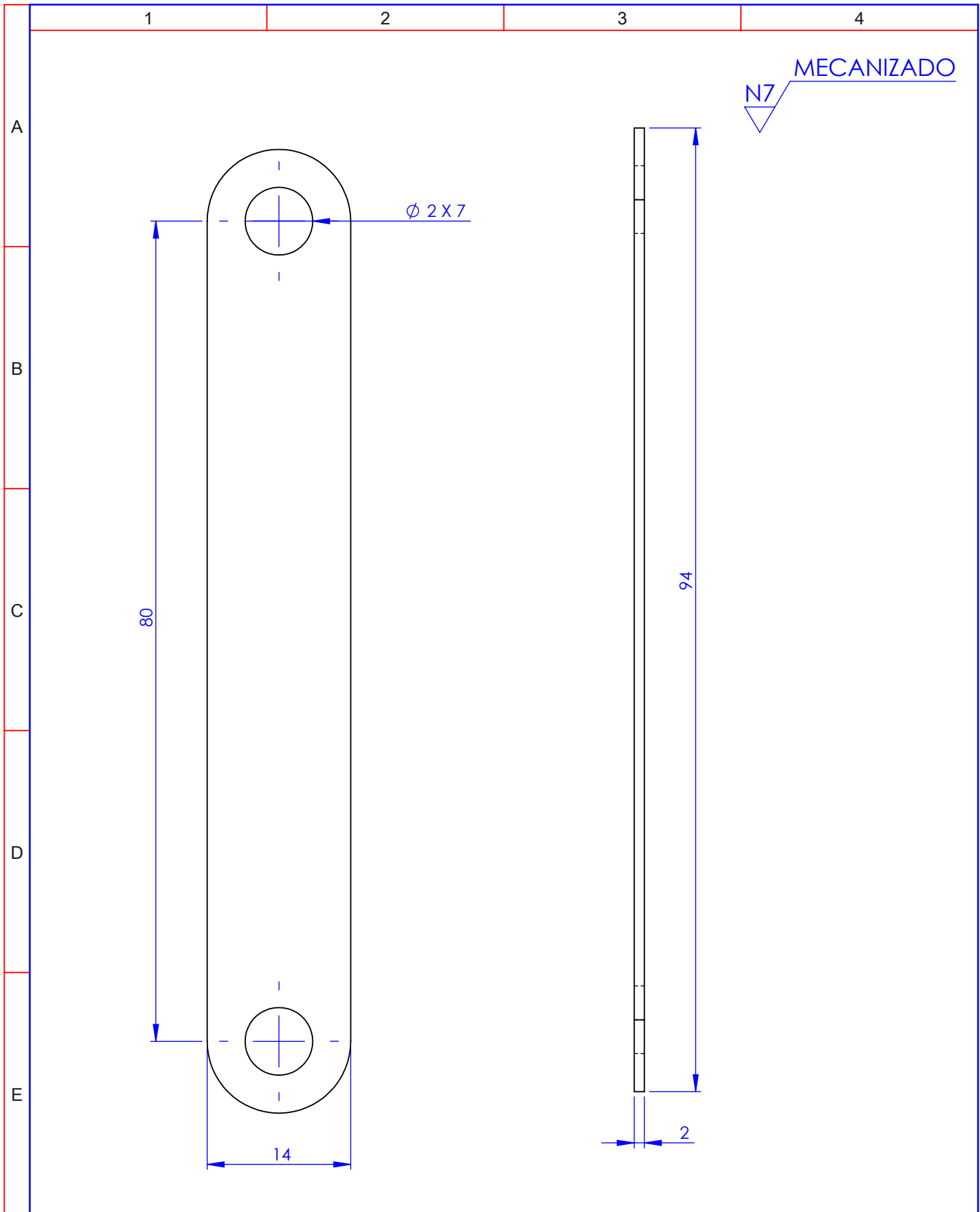


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A 36			
				±0,5	0.05 Kg				
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
			Dibujó:	30/06/14	Valencia A.			Transportador	1:1
			Revisó:	30/06/14	Ing.López G.				
			Aprobó:	30/06/14	Ing.López G.				
				UTA		Número del dibujo:			
				Ingeniería. Mecánica		05			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)			



2	Eje rodamiento		AISI 1018	6	∅ 4 x 32	0	Maquinado
4	Rodamiento		s/n	5		0	Adquirido
1	Gancho		ASTM A-36	4	28X12X2	0	Maquinado
4	Eslabon		ASTM A-36	3	80x14x2	0	Maquinado
2	Pasador eslabon		ASTM A-36	2	∅ 6,20x10	0	Maquinado
1	Transportador		Acero A 36	1	60x60x4	0	Maquinado
No pieza	Denominación	No de Dibujo	Material	No de Orden	No del Modelo	Peso Kg	Observaciones

		Tolerancia	(Peso)	Materiales:			
		±0,5	0,15 Kg				
		Fecha	Nombre	Denominación: <b>Despiece de Transportador</b>			Escala: 1:1
		Dibujó: 30/06/14	Valencia A.				
		Revisó: 30/06/14	Ing.López G.				
		Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.				
		UTA Ingeniería. Mecánica		Número del dibujo: 04			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			



N7 MECANIZADO

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A - 36	
				$\pm 0,5$	9,5 gr		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Eslabon</b>	Escala: 2:1
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.		
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.		
				UTA Ingeniería. Mecánica		Número del dibujo: 06	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

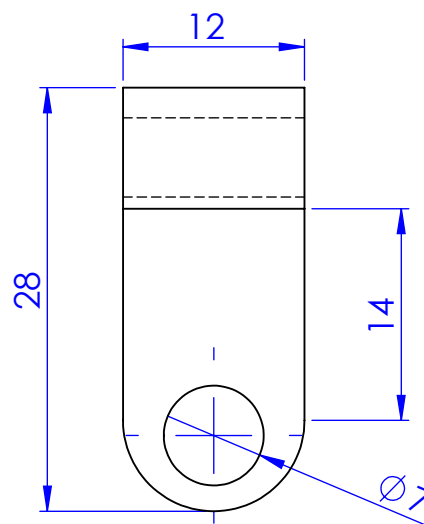
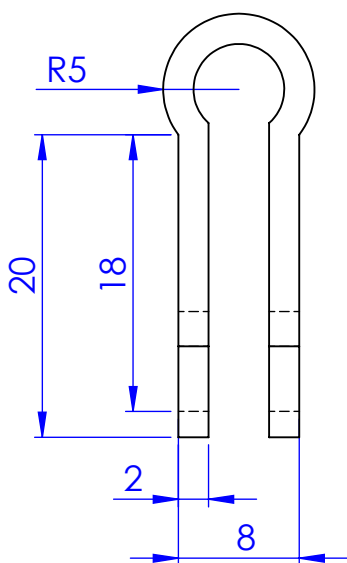
B

C

D

E

N8 MECANIZADO



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A-36	Escala:
				$\pm 0,5$	- Kg		
				Fecha	Nombre	Número del dibujo: 07 (Sustitución)	
				Dib. 02/06/14	Valencia A.		
				Rev. 02/06/14	Ing.Lopez G.		
				Apro. 02/06/14	Ing.Lopez G.		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica			



1

2

3

4

A

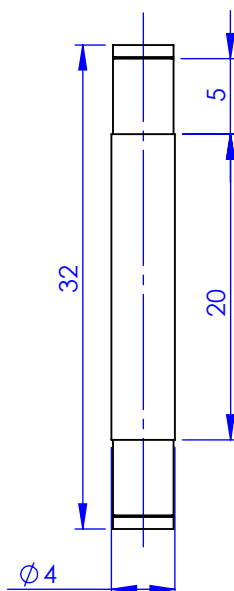
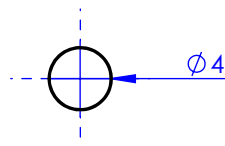
B

C

D

E

N8 MECANIZADO



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1018	
				±0,5	16 gr		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Eje de Rodamiento</b>	Escala: 2:1
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.		
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.		
				UTA Ingeniería. Mecánica		Número del dibujo: 08	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

N8 MEANIZADO

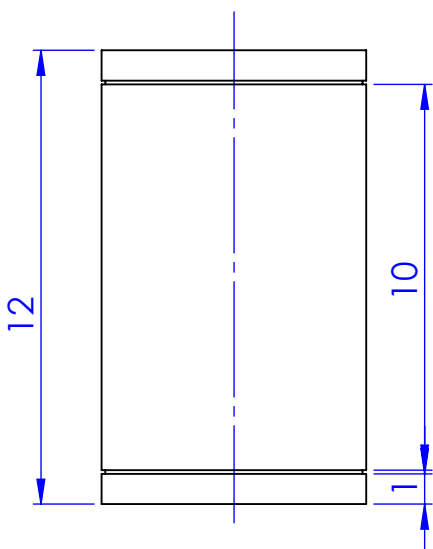
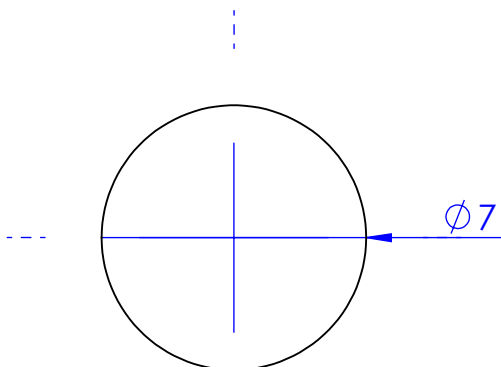
A

B

C

D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO AISI 1018			
				$\pm 0,5$	2,7 gr				
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.			<b>Eje de Eslabon</b>	5:1
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.				
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.				
				UTA		Número del dibujo:	09		
				Ingeniería. Mecánica		(Sustitución)			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre						

1

2

3

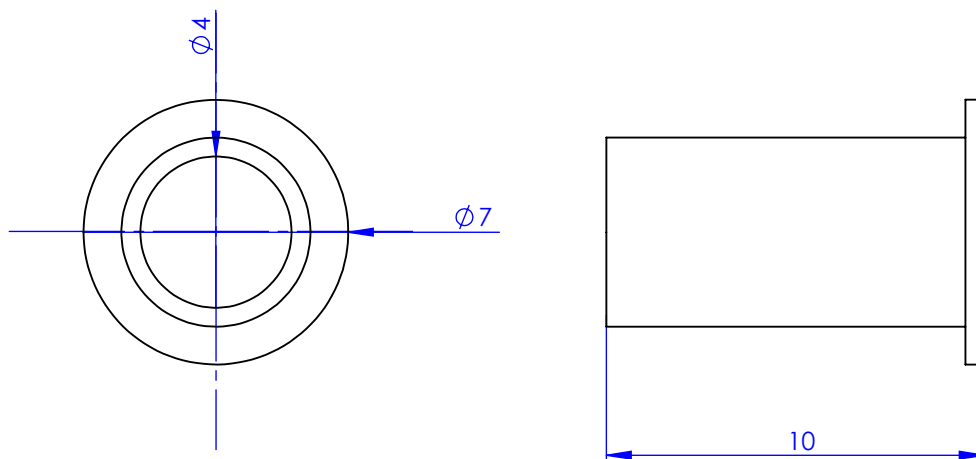
4

A

N6  
MECANIZADO

B

C



D

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Bronce</b>	
				$\pm 0,5$	2.2 gr		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Bocin de Rodamiento</b>	Escala: 5:1
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.		
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.		
				<b>UTA</b> Ingeniería. Mecánica		Número del dibujo: 10	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

N6 MECANIZADO

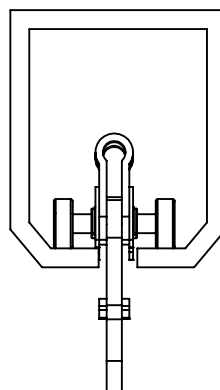
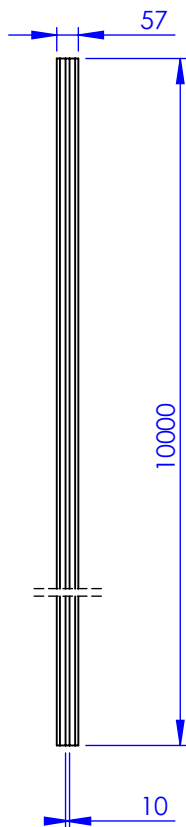
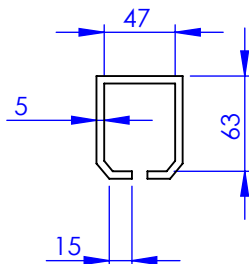
A

B

C

D

E



Tolerancia

(Peso)

Materiales: Perfil G DIPAC ASTM A-36

 $\pm 0,5$ 

4,6 Kg

Fecha

Nombre

Denominación:

Escala:

Dibujó: 30/06/14

Valencia A.

Transporte Interno

1:5

Revisó: 30/06/14

Ing. López G.

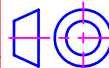
Aprobó: 30/06/14

Ing. López G.

Número del dibujo: 12

UTA  
Ingeniería. Mecánica

(Sustitución)

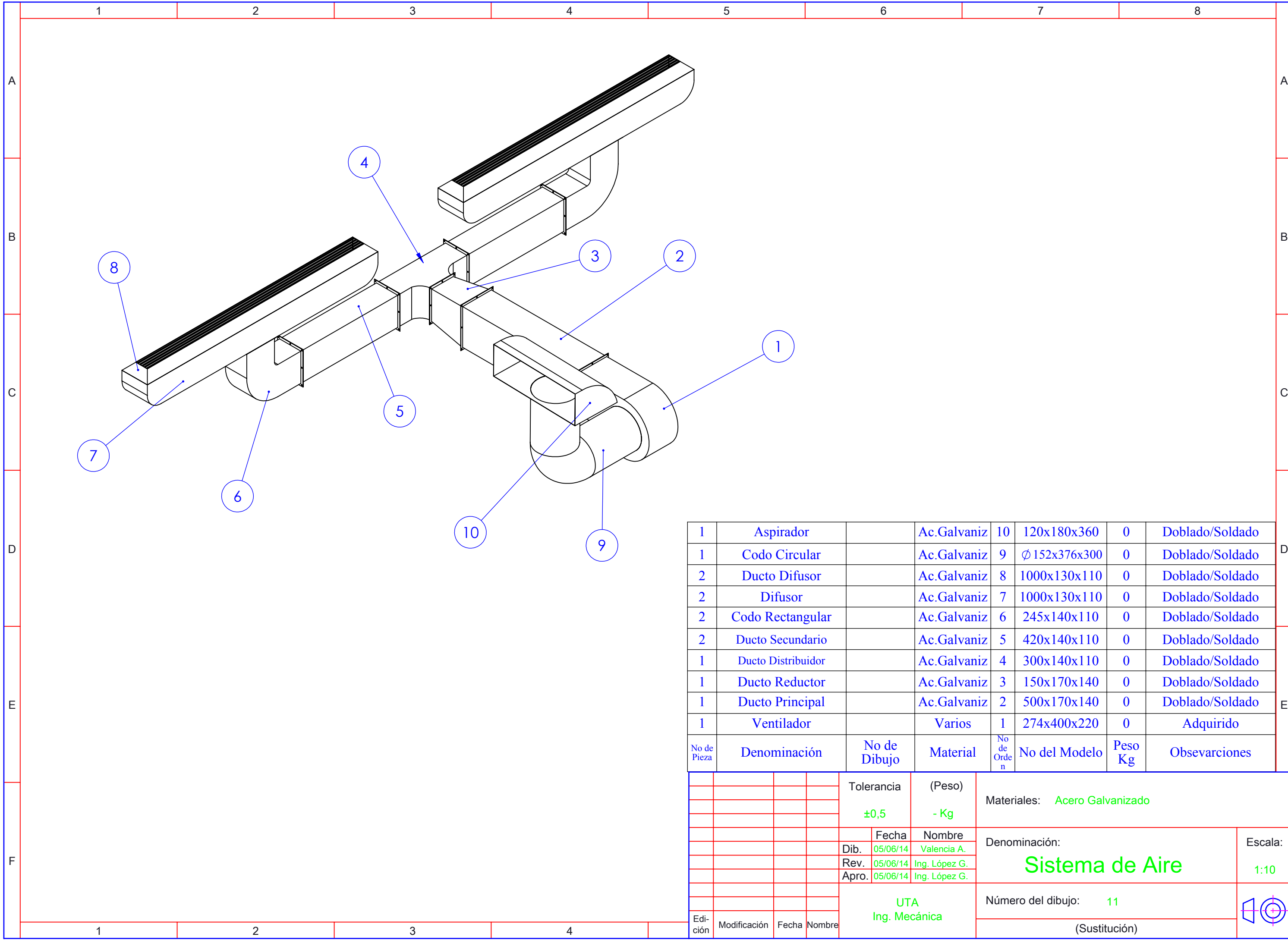


Edición

Modificación

Fecha

Nombre



1	Aspirador		Ac.Galvaniz	10	120x180x360	0	Doblado/Soldado
1	Codo Circular		Ac.Galvaniz	9	∅ 152x376x300	0	Doblado/Soldado
2	Ducto Difusor		Ac.Galvaniz	8	1000x130x110	0	Doblado/Soldado
2	Difusor		Ac.Galvaniz	7	1000x130x110	0	Doblado/Soldado
2	Codo Rectangular		Ac.Galvaniz	6	245x140x110	0	Doblado/Soldado
2	Ducto Secundario		Ac.Galvaniz	5	420x140x110	0	Doblado/Soldado
1	Ducto Distribuidor		Ac.Galvaniz	4	300x140x110	0	Doblado/Soldado
1	Ducto Reductor		Ac.Galvaniz	3	150x170x140	0	Doblado/Soldado
1	Ducto Principal		Ac.Galvaniz	2	500x170x140	0	Doblado/Soldado
1	Ventilador		Varios	1	274x400x220	0	Adquirido
No de Pieza	Denominación	No de Dibujo	Material	No de Orden	No del Modelo	Peso Kg	Obsevarciones

Tolerancia		(Peso)		Materiales: <b>Acero Galvanizado</b>			
±0,5		- Kg					
Fecha		Nombre		Denominación: <b>Sistema de Aire</b>		Escala: 1:10	
Dib.	05/06/14	Valencia A.					
Rev.	05/06/14	Ing. López G.					
Apro.	05/06/14	Ing. López G.					
UTA Ing. Mecánica				Número del dibujo: 11			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	(Sustitución)			

1

2

3

4

N8 MECANIZADO

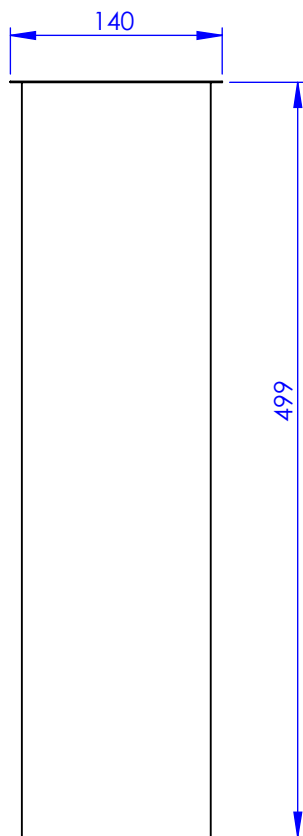
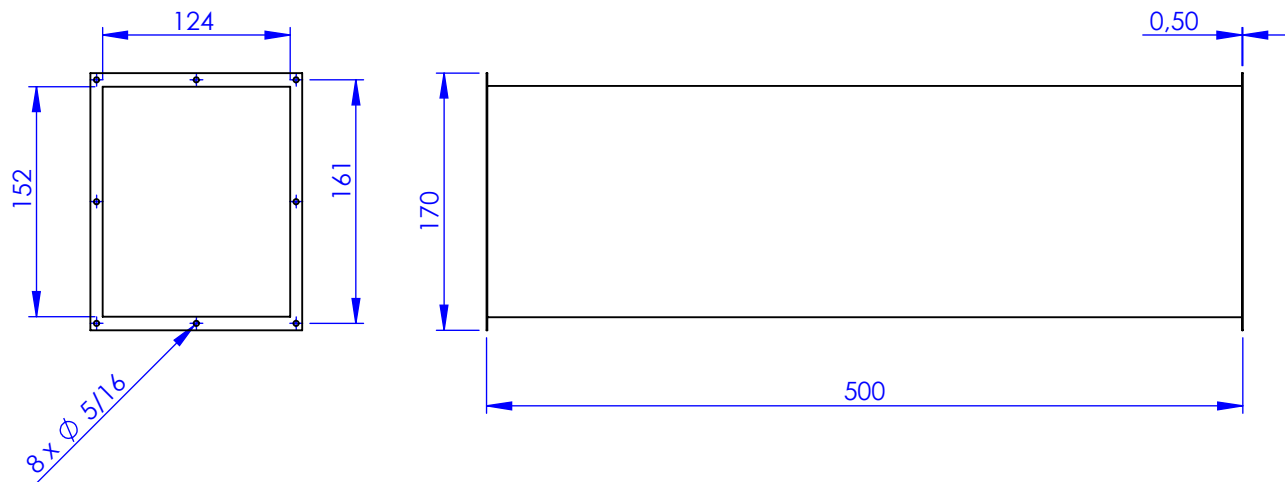
A

B

C

D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Acero Galvanizado</b>	
				$\pm 0,5$	1,1 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Ducto Principal</b>	Escala: 1:5
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.		
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.		
				UTA Ingeniería. Mecánica		Número del dibujo: 13	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

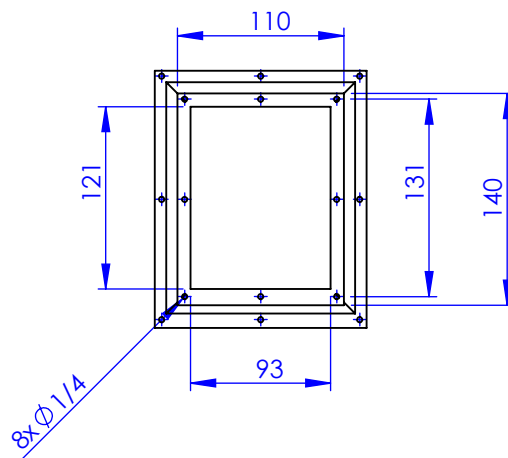
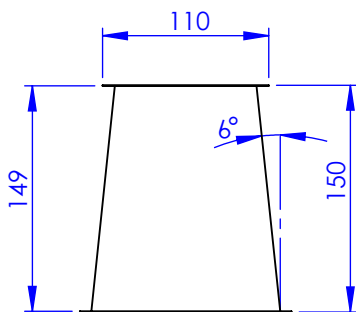
3

4

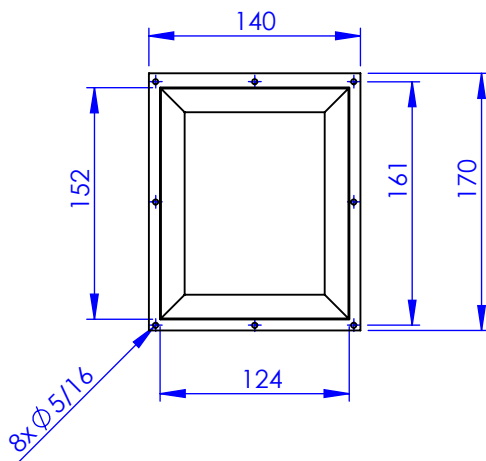
A

N8 MECANIZADO

B



C



D

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Acero Galvanizado</b>		
				$\pm 0,5$	0,03 Kg	Denominación:		
				Fecha	Nombre	<b>Ducto Reductor</b>		
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.			Escala:
				Revisó: 30/06/14	Ing. López G.			1:5
				Aprobó: 30/06/14	Ing. López G.	Número del dibujo: 14		
				UTA		(Sustitución)		
				Ingeniería. Mecánica				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

1

2

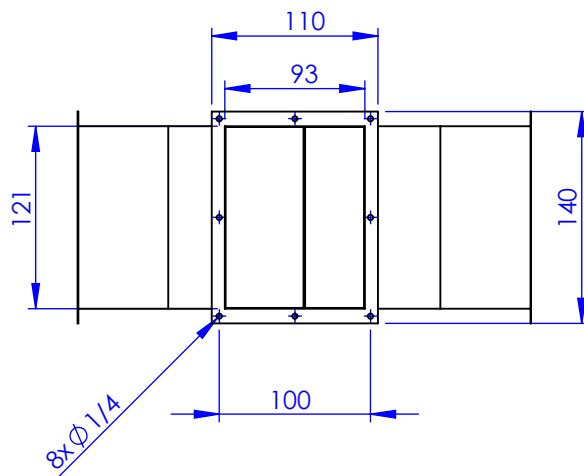
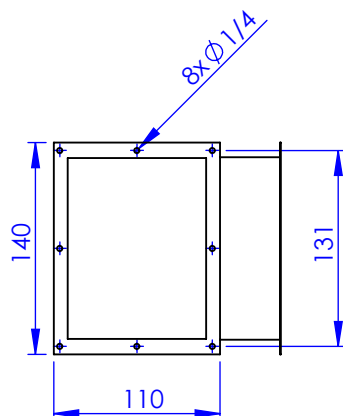
3

4

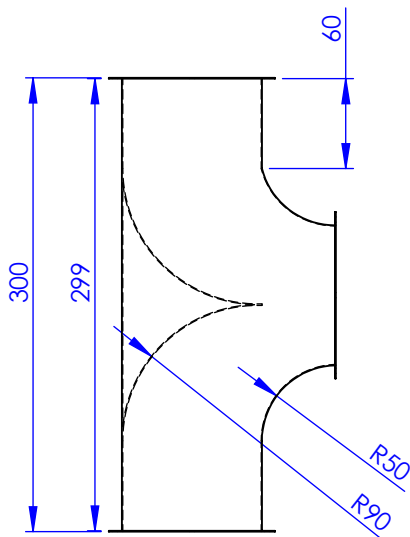
N8 MECANIZADO

A

B



C



D

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Acero Galvanizado</b>
				±0,5	0,07 Kg	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Ducto Distribuidor</b>
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.	
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.	
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.	Escala: 1:5
				UTA Ingeniería. Mecánica		Número del dibujo: 15
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)



1

2

3

4

A

B

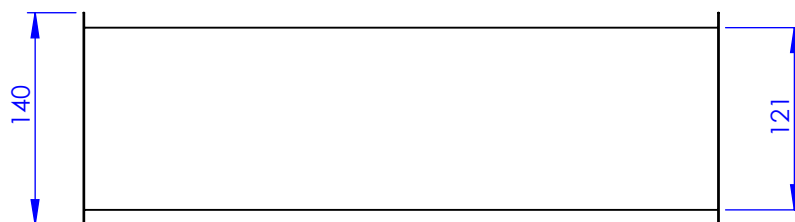
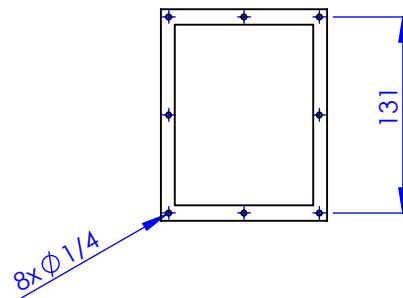
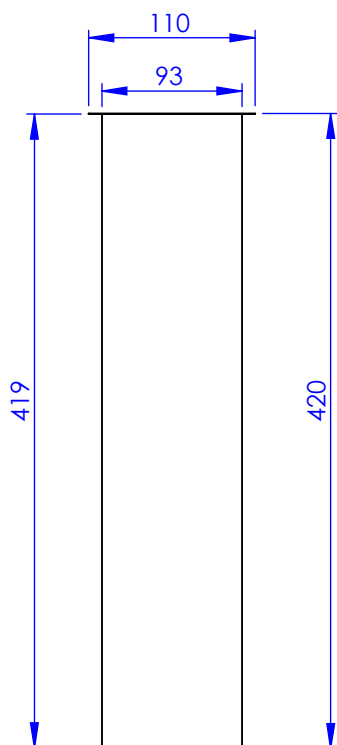
C

D

E

MECANIZADO

N8



Tolerancia

(Peso)

 $\pm 0,5$ 

0,7 Kg

Materiales: Acero Galvanizado

Fecha

Nombre

Dibujó: 30/06/14

Valencia A.

Revisó: 30/06/14

Ing. López G.

Aprobó: 30/06/14

Ing. López G.

Denominación:

Ducto Secundario

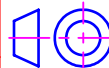
Escala:

1:5

UTA  
Ingeniería. Mecánica

Número del dibujo: 16

(Sustitución)



Edición

Modificación

Fecha

Nombre

1

2

3

4

N8 MECANIZADO

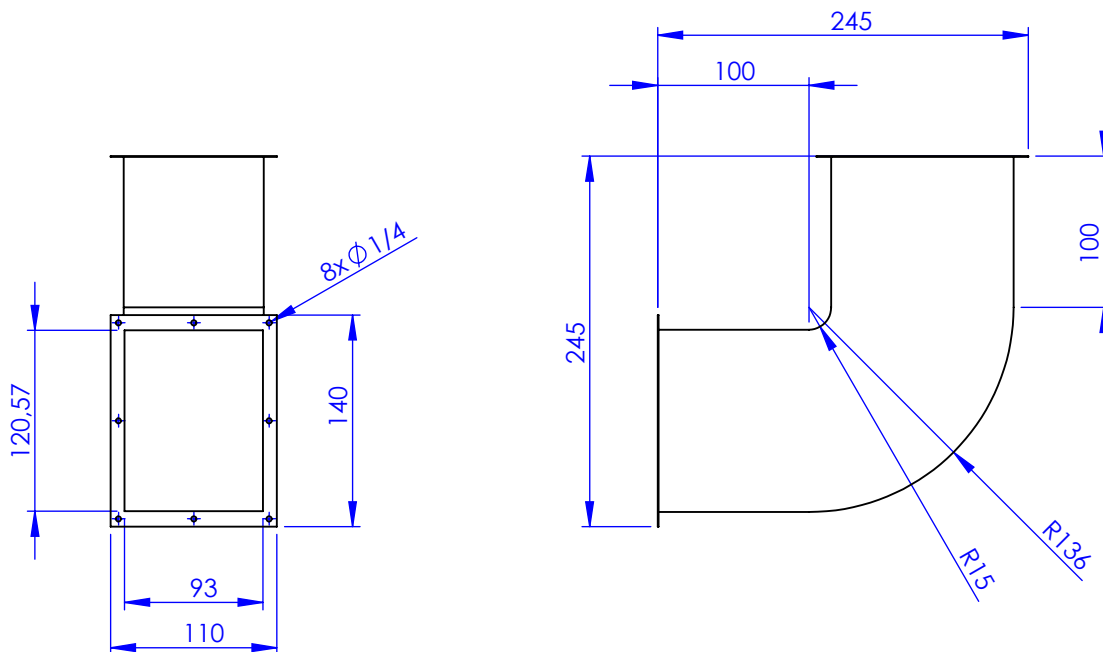
A

B

C

D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Acero Galvanizado</b>	Escala:
				$\pm 0,5$	0,6 Kg		
				Fecha	Nombre	Número del dibujo: <b>17</b> (Sustitución)	
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.		
				Revisó: 30/06/14	Ing. López G.		
				Aprobó: 30/06/14	Ing. López G.		
				<b>UTA</b> <b>Ingeniería. Mecánica</b>			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

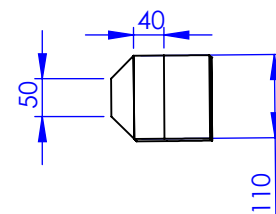
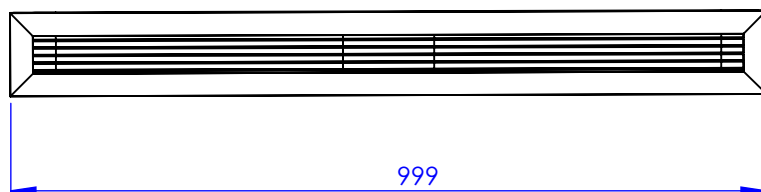
3

4

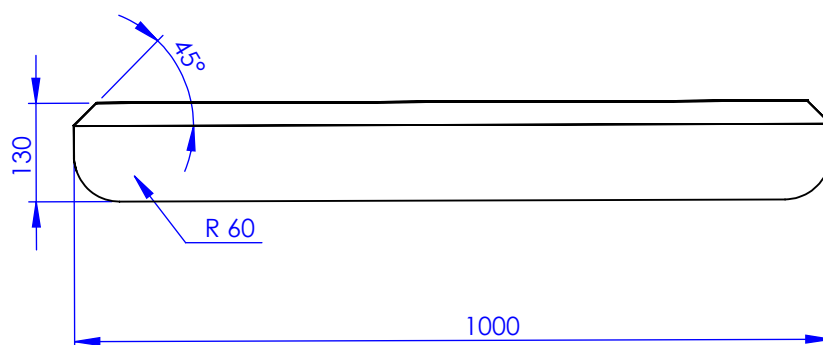
N8 MECANIZADO

A

B



C



D

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Acero Galvanizado</b>	
				$\pm 0,5$	1,8 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Difusor</b>	Escala: 1:10
			Dibujó:	30/06/14	Valencia A.		
			Revisó:	30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó:	30/06/14	Ing.López G.	
				UTA Ingeniería. Mecánica		Número del dibujo: 18	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

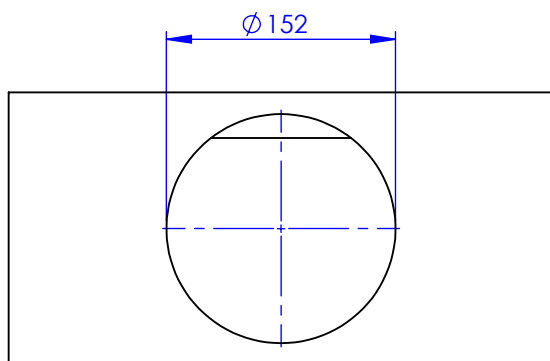
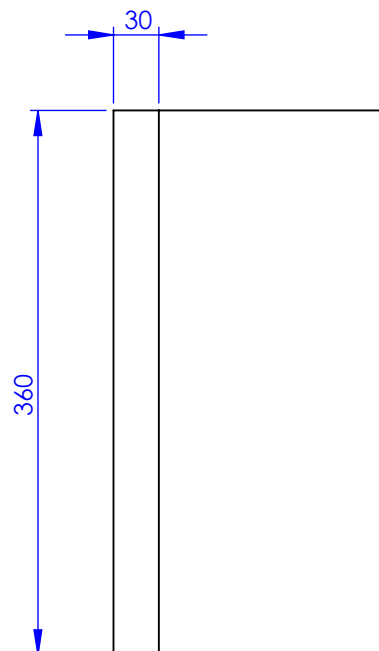
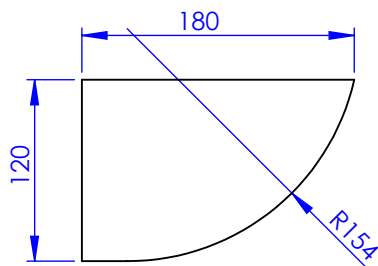
B

C

D

E

N8 MECANIZADO



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Acero Galvanizado</b>	Escala:
				$\pm 0,5$	0,6 Kg		
				Fecha	Nombre	Número del dibujo: <b>19</b> (Sustitución)	
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.		
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.		
				<b>UTA</b> <b>Ingeniería. Mecánica</b>			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

A

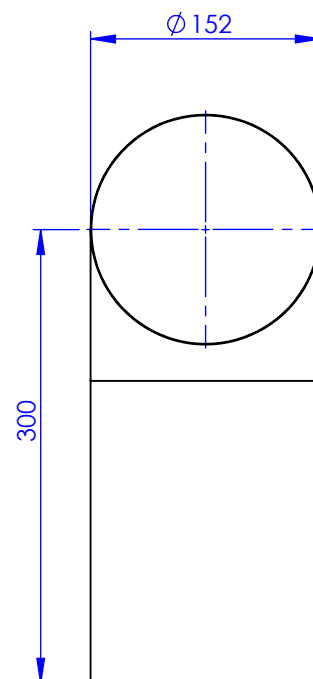
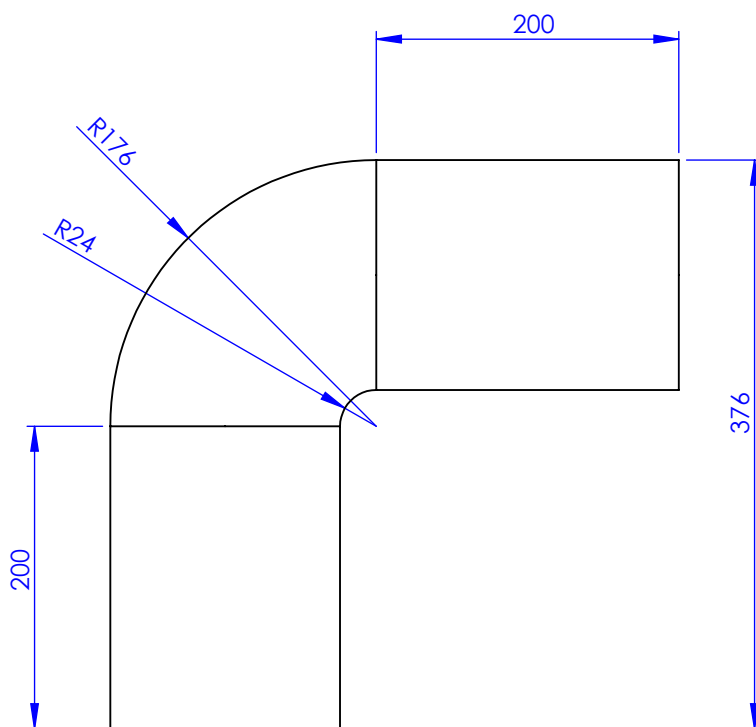
B

C

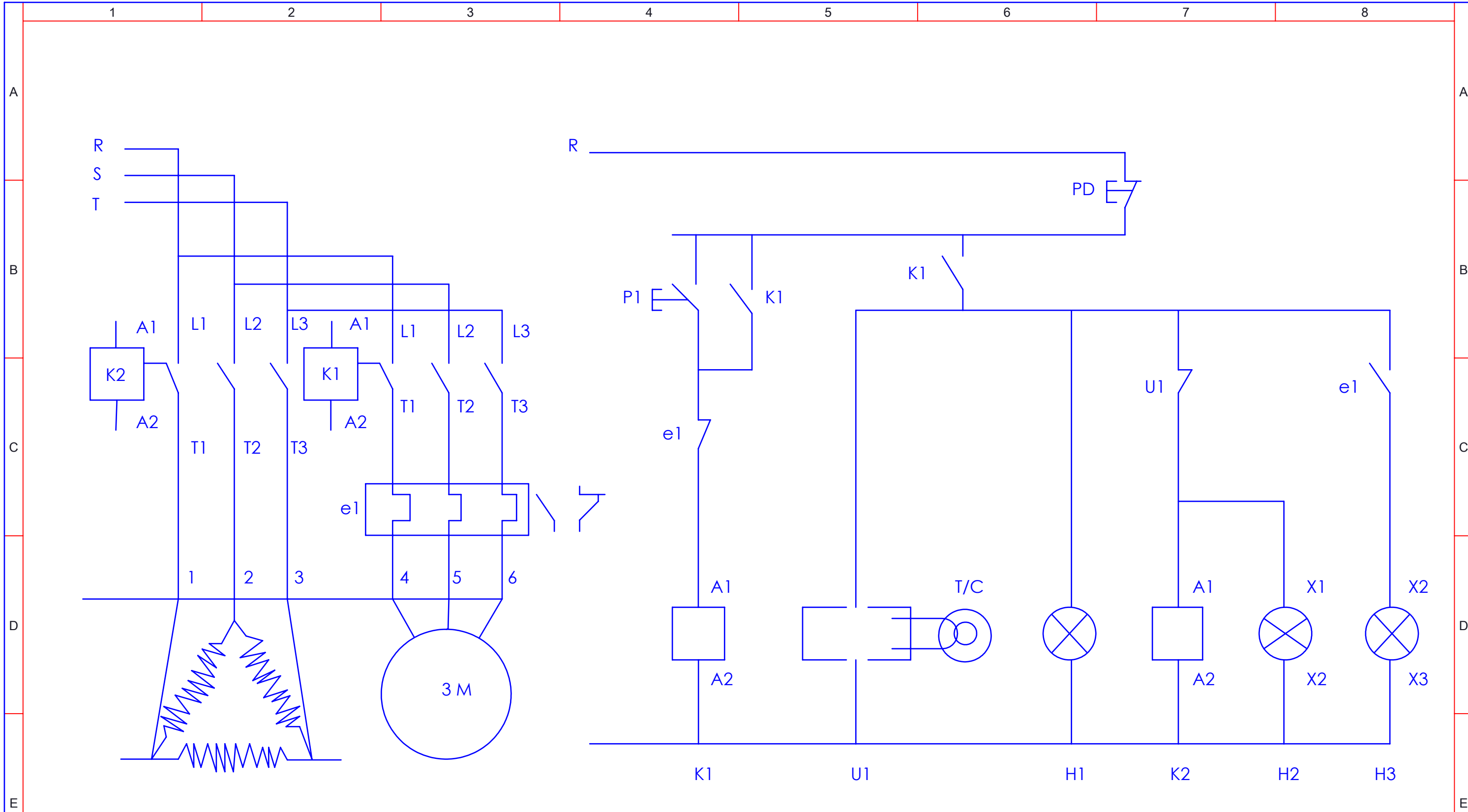
D

E

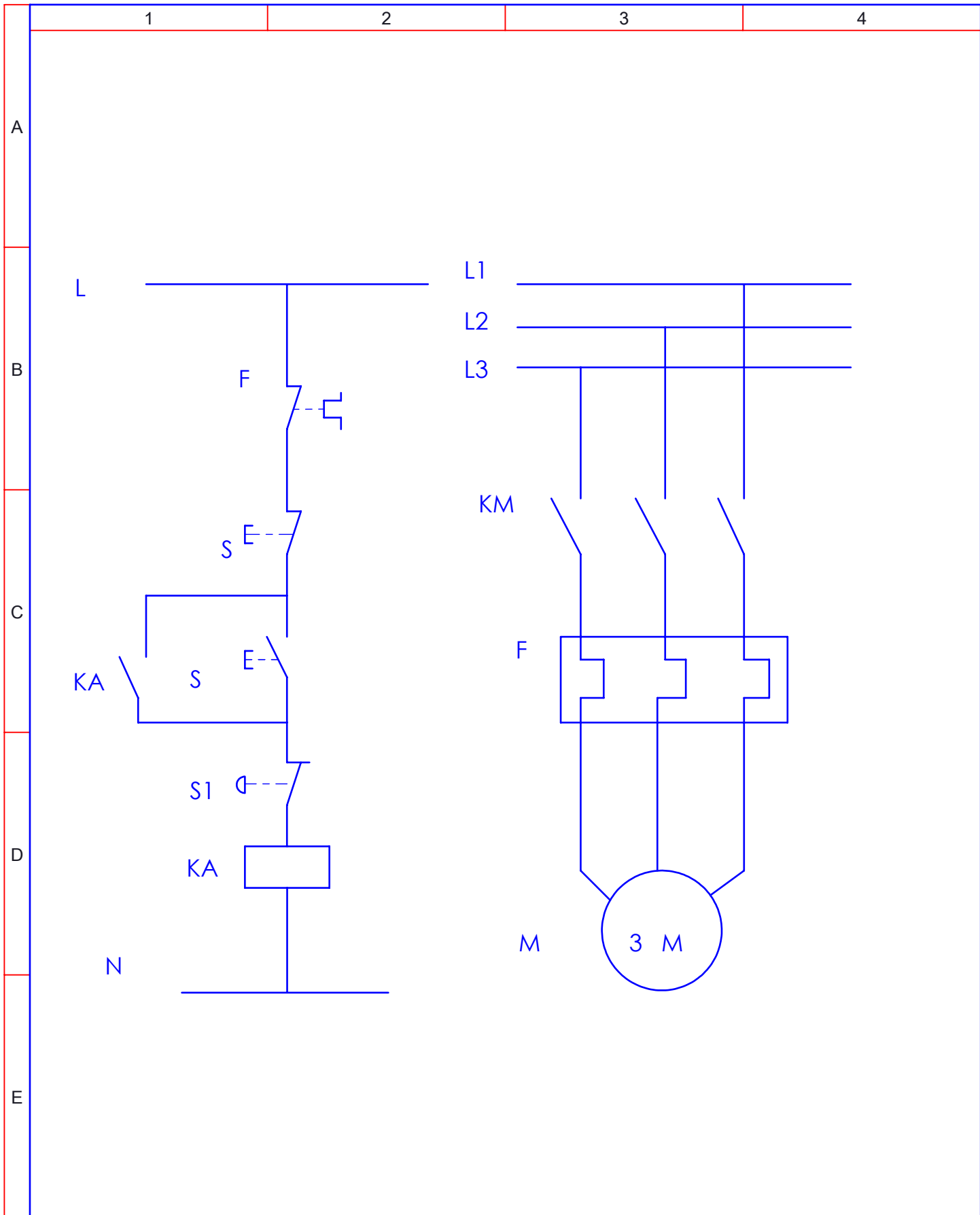
N8 MECANIZADO



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: <b>Acero Galvanizado</b>	Escala:
				$\pm 0,5$	1,0 Kg		
				Fecha	Nombre	Número del dibujo: <b>20</b> (Sustitución)	
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.		
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.		
				<b>UTA</b> <b>Ingeniería. Mecánica</b>			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:
				±0,1	- Kg	
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Diagrama de Fuerza y Control del Horno con Resistencias Electricas</b>
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.	
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.	
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.	Número del dibujo: 21 (Sustitución)
				UTA Ingeniería. Mecánica		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Escala: 



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,5	- Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>Diagrama de Control y Potencia del Motor</b>	
				Dibujó: 30/06/14	Valencia A.		
				Revisó: 30/06/14	Ing.López G.		
				Aprobó: 30/06/14	Ing.López G.	Escala:	
				UTA Ingeniería. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Número del dibujo: 22			
				(Sustitución)			