



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Trabajo Estructurado de Manera Independiente previo a la  
obtención del título de Ingeniero Mecánico

Tema:

---

**“ESTUDIO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS QUE  
SE REALIZAN EN LAS PARTES DE LAS TURBINAS DE  
LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN PARA  
MINIMIZAR LOS COSTOS DE REPARACIÓN”**

---

**AUTOR:** Carlos Fernando Sánchez Robalino

**TUTOR:** Ing. Alex Mayorga

Ambato-Ecuador

2011

## **APROBACIÓN POR EL TUTOR**

*En mi calidad de Tutor del trabajo de investigación; bajo el tema “**ESTUDIO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS QUE SE REALIZAN EN LAS PARTES DE LAS TURBINAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE REPARACIÓN**”, desarrollado por el estudiante Carlos Fernando Sánchez Robalino, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato; considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos suficientes para ser sometido a la evaluación del tribunal examinador designado por el Concejo Directivo de esta Facultad.*

*Ambato, Junio del 2011*

**EL TUTOR**

.....  
*Ing. Alex Mayorga*

## **AUTORÍA DE LA TESIS**

*Yo, Carlos Fernando Sánchez Robalino, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, declaro que los criterios emitidos en la investigación denominada **“ESTUDIO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS QUE SE REALIZAN EN LAS PARTES DE LAS TURBINAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE REPARACIÓN”**, así como también las ideas, contenidos, análisis, conclusiones y demás opiniones incluidas en la misma, son auténticas y de exclusiva responsabilidad de mi persona como autor del presente proyecto de grado.*

*Ambato, Junio del 2011*

## **EL AUTOR**

.....  
*Egdo. Carlos Fernando Sánchez Robalino*  
*C.I. 180415266-6*

## **DEDICATORIA**

*Con amor dedico este proyecto:*

*A DIOS por darme la vida, la fortaleza para saber sobrellevar los problemas que se han presentado en el trajinar de la vida y por guiar mi camino.*

*A MIS PADRES, Gloria Robalino y Gonzalo Sánchez, y a mis Hermanos Paúl y Javier Sánchez, por el apoyo total e incondicional que me han brindado a pesar de las dificultades que se han presentado.*

*A un ser muy especial para mí, la Ingeniera Tatiana Cabezas, que me supo brindar todo su apoyo y estuvo a mi lado en los momentos difíciles de mi vida.*

*A toda MI FAMILIA por el apoyo moral que me han brindado en mi carrera estudiantil.*

*A mis PROFESORES y AMIGOS, que me brindaron la oportunidad de aprender de ellos y compartir mi carrera estudiantil.*



## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más emotivo y sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, sus autoridades, al personal docente y empleados. A los profesores de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de manera especial a mi Tutor, el Ingeniero Alex Mayorga, por su ayuda y sapiencia brindada para el desarrollo del presente trabajo.*

*También manifiesto mi agradecimiento a la Central Hidroeléctrica Agoyán, a sus autoridades y trabajadores, de manera especial al Tecnólogo Eduardo Rúales, por brindarme la apertura y la colaboración necesaria para desarrollar esta investigación.*

*Además agradezco a mis padres por todo su apoyo y la confianza brindada, a la persona más especial de mi vida, la ingeniera Tatiana Cabezas, por su apoyo brindado en los momentos difíciles y compartir parte de mi vida y a todos mis amigos y demás personas que estuvieron a mi lado y me apoyaron durante mi carrera estudiantil.*

*El Autor*

*Carlos Fernando Sánchez Robalino*

## ÍNDICE GENERAL

CÓD.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
<b>A. PÁGINAS PRELIMINARES</b>		
	<i>Portada</i>	I
	<i>Aprobación Por El Tutor</i>	II
	<i>Autoría De La Tesis</i>	III
	<i>Dedicatoria</i>	IV
	<i>Agradecimiento</i>	V
	<i>Índice General De Contenidos</i>	VI
	<i>Índice de Tablas</i>	XII
	<i>Índice de Gráficos</i>	XIV
	<i>Símbolos</i>	XIX
	<i>Resumen Ejecutivo</i>	XXII

## B. CONTENIDO DEL INFORME

### CAPITULO I

#### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	Tema de Investigación	1
1.2	Planteamiento del Problema	1
1.2.1	Contextualización	1
1.2.2	Análisis Crítico	3
1.2.3	Prognosis	4
1.2.4	Formulación del Problema	4
1.2.5	Preguntas Directrices	5
1.2.6	Delimitación	5

1.2.6.1	Delimitación de Contenidos	5
1.2.6.2	Delimitación Espacial	6
1.2.6.3	Delimitación Temporal	6
1.3	Justificación	7
1.4	Objetivos	8
1.4.1	General	8
1.4.2	Específicos	8

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1	Antecedentes Investigativos	10
2.2	Fundamentación Filosófica	11
2.3	Fundamentación Legal	11
2.4	Categorías Fundamentales	12
2.4.1	Central Hidroeléctrica Agoyán	12
2.4.1.1	La Presa	12
2.4.1.2	Captaciones y Conducción	13
2.4.1.3	Casa de Máquinas	13
2.4.2	Turbina Francis	13
2.4.2.1	Partes Principales de las Turbinas Francis	14
2.4.3	Sistemas de Mantenimiento	16
2.4.4	Principales Fallas que se Producen en las Partes de las Turbinas	18
2.4.4.1	La Cavitación	18
2.4.4.2	La Abrasión	19
2.4.4.3	La Corrosión	20
2.4.5	Métodos para Detectar la Magnitud de las Fallas	23
2.4.6	Tipos de Reparación	25
2.4.6.1	Rectificado	25
2.4.6.2	Relleno	25

2.4.7	Fases Actuales de Corrección de Fallas en las Partes de Turbina de la Central Agoyán	27
2.4.7.1	Tareas de Mantenimiento	27
2.4.7.2	Tareas de Reconstrucción	28
2.4.7.3	Materiales Utilizados en el Mantenimiento de las Turbinas	32
2.4.7.4	Costos de Reparación de las Turbinas	34
2.4.8	Tratamientos Térmicos	34
2.4.8.1	Desarrollo de los Tratamientos Térmicos	35
2.4.8.2	Calentamiento Hasta la Temperatura Fijada	35
2.4.8.3	Permanencia a la Temperatura Fijada	35
2.4.8.4	Enfriamiento desde la Temperatura Fijada hasta la Temperatura Ambiente	36
2.4.8.5	Propiedades Mecánicas de los Materiales	36
2.4.8.6	Mejora de las Propiedades a través del Tratamiento Térmico	36
2.4.6.7	Propiedades Mecánicas del Acero	37
2.4.9	Tipos de Tratamientos Térmicos	37
2.4.9.1	Tratamientos en la Masa	37
2.4.9.2	Tratamientos Superficiales	38
2.4.7.3	Tratamientos Termoquímicos	38
2.4.10	Formas de Calentamiento de los Hornos de Tratamientos Térmicos	39
2.4.11	Hornos Industriales	40
2.4.13	Gráfico de Inclusión Interrelacionados	45
2.5	Hipótesis	45
2.6	Señalamiento de Variables de la Hipótesis	46
2.6.1	Variable Independiente	46
2.6.2	Variable Dependiente	46
2.6.3	Indicadores	46

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

3	Enfoque	47
3.1	Modalidad Básica de la Investigación	47
3.1.1	Bibliográfica o Documental	47
3.1.2	De Campo	48
3.1.3	Experimental	48
3.2	Nivel o Tipo de Investigación	48
3.2.1	Exploratoria	48
3.2.2	Descriptiva	48
3.2.3	Asociación de Variables	49
3.2.4	Explicativa	49
3.3	Población y Muestra	49
3.3.1	Población	49
3.3.2	Muestra	49
3.4	Operacionalización de Variables	50
3.4.1	Variable Independiente	50
3.4.2	Variable Dependiente	51
3.5	Recolección de la Información	52
3.5.1	Plan de Recolección de la Información	52
3.5.2	Tipos de Observación	53
3.5.3	Tipos de Entrevista	53
3.6	Plan de Procesamiento de la Información	54

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	Análisis de los Resultados	55
4.1.1	Resultado de las Encuestas	55

4.2	Interpretación de los Resultados	67
4.2.1	Resultados de la Entrevista	67
4.3	Verificación de la Hipótesis	71
4.3.1	Planteamiento de la Hipótesis	71
4.3.1.1	Análisis de Costos	72
4.3.1.2	Deducción de los Costos de Reparación en la Central Hidroeléctrica Agoyán	74
4.3.2	Programación del Proyecto	80
4.3.2.1	Distribución de Trabajo para la Reconstrucción de las Partes de Turbina	80
4.3.2.2	Horas Necesarias para Realizar el Trabajo en cada Área	81
4.3.3	Actividades de Reparación	83
4.3.3.1	Redes del Proyecto	83
4.3.3.2	Determinación de la Ruta Crítica del Proyecto	88
4.3.4	Personal asignado para cada área de trabajo	94
4.3.5	Costos de los Materiales y Actividades de Reparación	95
4.3.6	Comparación de los Costos de Reparación	97

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones	99
5.2	Recomendaciones	101

## **CAPITULO VI**

### **PROPUESTA**

6.1	Datos Informativos	103
6.2	Antecedentes de la Propuesta	103

6.3	Justificación	106
6.4	Objetivos	107
6.4.1	Objetivo General	107
6.4.2	Objetivos Específicos	108
6.5	Análisis de Factibilidad	108
6.6	Fundamentación	109
6.6.1	Parámetros de Diseño	110
6.6.2	Fundamentos de Transferencia de Calor	119
6.7	Metodología	126
6.7.1	Cálculo de los Coeficientes de Convección	126
6.7.2	Calor Requerido para la Carga del Horno	136
6.7.3	Cálculo de las Pérdidas de Calor	138
6.7.4	Cálculo de la Potencia del Horno	147
6.7.5	Diseño de la Estructura del Horno	149
6.7.6	Diseño de la Placa Base.	162
6.7.7	Diseño de la Estructura para el Rodete.	164
6.7.8	Diseño de la Junta Empernada para Elevar la Tapa	176
6.8	Administración	186
6.8.1	Antecedentes	186
6.8.2	Parámetros Administrativos	188
6.8.2.1	Planificación	188
6.8.2.2	Organización, Dirección Y Control	195
6.9	Previsión de la Evaluación	196

### **C. MATERIALES DE REFERENCIA**

1. Bibliografía
2. Anexos

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>CÓD.</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PÁG.</b>
Tabla 2.1	Costos de Reparación de las Turbinas	34
Tabla 3.1	Plan de Recolección de la Información	52
Tabla 4.1	Presencia del desgaste en las partes de Turbina	56
Tabla 4.2	Reconstrucción de fallas o desgastes	56
Tabla 4.3	Lugar de Reconstrucción de fallas con soldadura	57
Tabla 4.4	Tiempo de entrega de las partes reparadas	58
Tabla 4.5	Conocimiento de los Procedimientos de reparación	59
Tabla 4.6	Aplicación de Tratamientos Térmicos en la Reconstrucción	60
Tabla 4.7	Conocimiento Teórico de los Tratamientos Térmicos	61
Tabla 4.8	Costo de los Tratamientos Térmicos	62
Tabla 4.9	Posibilidad de Reconstruir las Partes Afectadas en la Central	63
Tabla 4.10	Necesidad de un Horno de Tratamientos Térmicos	64
Tabla 4.11	Utilidad del Horno de Tratamientos Térmicos en la Central	65
Tabla 4.12	Reducción de Costos	66
Tabla 4.13	Costos y Volúmenes de Reparación de las Turbinas	74
Tabla 4.14	Velocidad de deposición	76
Tabla 4.15	Distribución de Trabajo para la Reconstrucción de las Partes de Turbina	80
Tabla 4.16	Horas Necesarias para la Limpieza y E.N.D	81
Tabla 4.17	Horas Necesarias para el Esmerilado y Pulido	81
Tabla 4.18	Horas Necesarias para los Tratamientos Térmicos	81
Tabla 4.19	Horas Necesarias para la Soldadura	82
Tabla 4.20	Horas Necesarias para el Maquinado	82
Tabla 4.21	Horas Necesarias para la Inspección y el Balanceo	82



Tabla 4.22	Actividades de Reparación	83
Tabla 4.23	Actividades, Secuencia y Tiempos de Reparación para Cada Parte	84
Tabla 4.24	Listado de las Actividades y Tiempos de Reparación	89
Tabla 4.25	Listado de las Actividades y Tiempos de Reparación	92
Tabla 4.26	Designación Trabajadores y Sueldos	95
Tabla 4.27	Costos de los Materiales Empleados para los E.N.D	96
Tabla 4.28	Costos de los Tratamientos Térmicos	96
Tabla 4.29	Costos de los Materiales Empleados para la Preparación de las Superficies	97
Tabla 4.30	Costos de Maquinado	97
Tabla 4.31	Costos Estimados de Reparación de las Turbinas en la Central Hidroeléctrica Agoyán	98
Tabla 4.32	Comparación de los Costos de Reparación de las Turbinas	99
Tabla 6.1	Composición Química del Acero Inoxidable ASTM CA-6NM	111
Tabla 6.2	Propiedades Físicas del Acero Inoxidable ASTM CA-6NM	111
Tabla 6.3	Propiedades Físicas del Acero Inoxidable ASTM CA-6NM	112
Tabla 6.4	Propiedades Físicas del Acero Inoxidable ASTM CA-6NM	112
Tabla 6.5	Propiedades de los Paneles Refractarios de Fibra Cerámica	113
Tabla 6.6	Propiedades del Ladrillo Refractario	115
Tabla 6.7	Datos del tiempo de calentamiento, permanencia y enfriamiento	116
Tabla 6.8	Valores del Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección	121

Tabla 6.9	Presupuesto para la Construcción del Horno de Tratamientos Térmicos	189
Tabla 6.10	Tiempo Requerido para los Tratamientos Térmicos	190
Tabla 6.11	Costos de la Mano de Obra para los Tratamientos Térmicos	190
Tabla 6.12	Costos Variables de los Tratamientos Térmicos	191
Tabla 6.13	Costos Fijos de los Tratamientos Térmicos	191
Tabla 6.14	Costos de los Tratamientos Térmicos en ANDRITZ CHILE Ltda.	192
Tabla 6.15	Costos de los Tratamientos Térmicos en HIDROAGOYÁN	193
Tabla 6.16	Ahorro estimado en los costos de los Tratamientos Térmicos	193
Tabla 6.17	Costo Total de la Investigación	195

## ÍNDICE GRÁFICOS

CÓD.	DESCRIPCIÓN	PÁG.
Figura 1.1	Mapa Político de la Provincia de Tungurahua	6
Figura 2.1	Rodete de una Turbina de la Central Hidroeléctrica Agoyán	12
Figura 2.2	Presa de la Central Hidroeléctrica Agoyán	12
Figura 2.3	Esquemas de una Turbina Francis	14
Figura 2.4	Rodete que necesita Reparación	20
Figura 2.5	Tapa Superior de la Turbina que Necesita Reparación	21
Figura 2.6	Cono de la Turbina que Necesita Reparación	22
Figura 2.7	Álabes Directrices que Necesitan Reparación	22
Figura 2.8	Procedimiento del Ensayo no Destructivo por Tintas Penetrantes	24

Figura 2.9	Detección de Fallas por Partículas Magnéticas	24
Figura 2.10	Material de aporte utilizado en los procesos de soldadura de las	33
Figura 2.11	Horno de Cámara por lotes Tipo Carro	40
Figura 2.12	Horno de Cámara por lotes Tipo Cámara	41
Figura 2.13	Horno de Pote por Lotes	42
Figura 2.14	Horno de Vacío por lotes	42
Figura 2.15	Horno de Cámara por Lotes Tipo Transfer	43
Figura 2.16	Horno de Cámara por Lotes con Recirculación	43
Figura 2.17	Horno de Paneles con Tapa Móvil en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda.	44
Figura 2.18	Horno a Convección Forzada	44
Figura 4.1	Presencia de desgaste en la partes de Turbina.	56
Figura 4.2	Reconstrucción de fallas o desgastes	57
Figura 4.3	Lugar de Reconstrucción de fallas con soldadura	58
Figura 4.4	Tiempo de entrega de las partes reparadas	59
Figura 4.5	Conocimiento de los Procedimientos de reparación	60
Figura 4.6	Aplicación de Tratamientos Térmicos en la Reconstrucción	61
Figura 4.7	Conocimiento Teórico de los Tratamientos Térmicos	62
Figura 4.8	Costo de los Tratamientos Térmicos	63
Figura 4.9	Posibilidad de Reconstruir las Partes Afectadas en la Central	64
Figura 4.10	Necesidad de un Horno de Tratamientos Térmicos	65
Figura 4.11	Utilidad del Horno de Tratamientos Térmicos en la Central	66
Figura 4.12	Reducción de Costos	67
Figura 4.13	Esquema de las Áreas de Trabajo del Centro de Mecanizado	79
Figura 6.1	Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán	103
Figura 6.2	Diagrama de Calentamiento, Permanencia y Enfriamiento	105

Figura 6.3	Panel Refractario de Fibra Cerámica	113
Figura 6.4	Anclajes para los Módulos de Fibra Cerámica	114
Figura 6.5	Resistencias Eléctricas Tubulares	115
Figura 6.6	Diagrama de Calentamiento, Permanencia y Enfriamiento para el diseño del Horno de Tratamientos Térmicos	117
Figura 6.7	Transferencia Unidimensional de Calor por Conducción	119
Figura 6.8	Dimensiones del Horno	126
Figura 6.9	Dimensiones del Piso	130
Figura 6.10	Circuito de Resistencias Térmicas para evaluar la Temperatura Superficial	134
Figura 6.11	Dimensiones de las Paredes Laterales del Horno	138
Figura 6.12	Circuito de Resistencias Térmicas para las Pérdidas en las Paredes	139
Figura 6.13	Dimensiones del Techo del Horno	142
Figura 6.14	Circuito de Resistencias Térmicas para las Pérdidas en el Techo	143
Figura 6.15	Dimensiones del Piso del Horno	145
Figura 6.16	Circuito de Resistencias Térmicas para las Perdidas en el Piso	146
Figura 6.17	Estructura de las Paredes del Horno	149
Figura 6.18	Estructura de las Paredes del Horno	150
Figura 6.19	Pórtico principal de la Estructura del Horno	150
Figura 6.20	Pórtico más cargado de la Estructura	151
Figura 6.21	Distribución de cargas en el Pórtico más cargado de la Estructura	152
Figura 6.22	Diagramas de Momentos Independientes	154
Figura 6.23	Diagramas de Momentos Independientes con el valor de real de las reacciones	160
Figura 6.24	Suma de Momentos en los puntos de las Cargas	160
Figura 6.25	Placa Base de la Estructura	162
Figura 6.26	Dimensiones de la Placa Base	162

Figura 6.27	Estructura de Soporte para el Rodete	164
Figura 6.28	Esquema de Fuerzas del Perfil de los extremos	165
Figura 6.29	Diagrama de fuerza cortante para el Perfil de los extremos	166
Figura 6.30	Diagrama de Momento Flexionante para el Perfil de los extremos	166
Figura 6.31	Esquema de Fuerzas del Perfil del Centro	166
Figura 6.32	Diagrama de fuerza cortante para el del Perfil del Centro	167
Figura 6.33	Diagrama de Momento Flexionante para el del Perfil del Centro	167
Figura 6.34	Anclaje para el Levantamiento de la Tapa	176
Figura 6.35	Distribución de Cargas en el Anclaje	177
Figura 6.36	Dimensiones de la Placa	179
Figura 6.37	Dimensiones de la Unión Estructural	179
Figura 6.38	Dimensiones de la Unión Estructural para la Acción Separadora	181
Figura 6.39	Esquema de las Funciones Administrativas de HIDROAGOYÁN	188
Figura 6.40	Esquema del Flujo de efectivo	194

## SÍMBOLOS

$a$  = Costo del gas de protección

$A_P$  = Área de las Paredes del Horno

$A_{PH}$  = Área del Piso del Horno

$A_S$  = Área de la Superficie

$b$  = Costo de la Energía Eléctrica (\$/Kg)

$c$  = Centro de Gravedad

$c$  = Costo del Material de Aporte (\$/kg)

$C_A$  = Costo del Material de Aporte (\$/kg)

$C_E$  = Costo de la Energía Eléctrica (\$/Kw-h)

$C_I$  = Costos Indirectos (\$/h)

$C_M$  = Costo de la Mano de Obra (\$/h)

$d$  = Costo de la Mano de Obra (\$/Kg)

$\frac{dT}{dx}$  = Gradiente de temperatura

$e$  = Costos Indirectos (\$/Kg)

$E$  = Potencia Emisiva Superficial

$e_1$  = Espesor 1

$e_2$  = Espesor 2

E.N.D = Ensayos no Destructivos

$f$  = Costo Total por Kilogramo de Metal Depositado

$F_G$  = Flujo de Gas ( $m^3/h$ )

$F_T$  = Factor de Trabajo del Proceso (%)

$g$  = Aceleración Gravitacional

$G$  = Irradiación

$g$  = Costo Total por Metro de Junta (\$/m)

$Gr_L$  = Número de Grashof

$\bar{h}$  = Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección Promedio ( $W/m^2.K$ )

$h$  = Coeficiente de Transferencia de Calor ( $W/m^2.K$ )

$h$  = Costo Total de Trabajo (\$),

$hr$  = Coeficiente de Transferencia de Calor por Radiación

I = Inercia

I = Intensidad de Corriente (A)

J = Número de Uniones, Incluyendo los Apoyos

k, Conductividad térmica (W/m.°k)

L = Longitud Característica de la Transferencia de Calor (m)

L = Longitud Total a Soldar (m)

m = Masa (Kg.)

m = Número de Miembros del Pórtico

m<sub>E</sub> = Masa para el Diseño de la Estructura de Soporte del Rodete (Kg.)

M<sub>máx.</sub> = Momento Máximo

m<sub>R</sub> = Masa para el Diseño del Rodete (Kg.)

n = Factor de Seguridad

n = Grado de hiperstaticidad

$\bar{N}_{UL}$  = Número de Nusselt Promedio

°k = Grado Kelvin

P = Potencia Requerida

P = Perímetro de la Placa

P = Peso del Material Aportado por Metro de Junta (Kg/m)

P<sub>C</sub> = Peso del Consumible Necesario para Aportar (Kg)

P<sub>G</sub> = Precio del Gas de Protección (\$/m<sup>3</sup>)

Pr = Número de Prandtl,

P<sub>T</sub> = Peso Total del Material a Depositar

P<sub>T</sub> = Peso Total del Material a Depositar

q = Calor requerido

q = Calor requerido

q = Calor requerido

q'' = Flujo de Calor por Convección (W/m<sup>2</sup>)

q<sub>CT</sub> = Calor Requerido para el Calentamiento de la Carga Total del Horno

q<sub>E</sub> = Calor Requerido para la Estructura de Soporte del Rodete

q<sub>R</sub> = Calor Requerido para el Rodete

q''<sub>rad</sub> = Calor por Radiación

q<sub>Tp</sub> = Total de Pérdidas de calor

$q_x''$  = Velocidad de Transferencia de Calor ( $W/m^2$ ),  
 $Ra_L$  = Número de Rayleigh  
 $R$  = Número de Componentes de Reacción  
 $R$  = Rendimiento/Factor Operativo (%)  
 $S$  = Sección de la Junta a Soldar ( $m^2$ )  
 $T$  = Tiempo (h)  
 $T$  = Tiempo Requerido para Efectuar el Trabajo (horas)  
 $T_1$  = Temperatura Exterior ( $^{\circ}C.$ )  
 $T_2$  = Temperatura Interior ( $^{\circ}C.$ )  
 $T_A$  = Temperatura Ambiente ( $^{\circ}C.$ )  
 $T_{AT}$  = Temperatura de Alivio de Tensiones ( $^{\circ}C.$ )  
 $T_f$  = Temperatura de Diseño ( $^{\circ}C.$ )  
 $T_f$  = Temperatura de Película ( $^{\circ}K$ )  
 $T_i$  = Temperatura Ambiente Promedio ( $^{\circ}C.$ )  
 $T_s$  = Temperatura Superficial ( $^{\circ}k$ )  
 $T_{\omega}$  = Temperatura Exterior ( $^{\circ}k$ )  
 $V$  = Tensión de Trabajo (v)  
 $V_D$  = Velocidad de Deposición (Kg/h)  
 $\alpha$  = Difusividad Térmica del Fluido  
 $\alpha$  = Absortividad  
 $\alpha$  = Dimensión de la Armadura  
 $\beta$  = Coeficiente de Expansión Térmica Volumétrica ( $^{\circ}K^{-1}$ )  
 $\nu$  = Viscosidad Cinemática del Fluido.  
 $\sigma$  = Constante de Stefan Boltzmann ( $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2.K^4$ ).  
 $\eta$  = Rendimiento del Horno  
 $\sigma$  = Esfuerzo Máximo



## **RESUMEN EJECUTIVO**

*Como es de conocimiento general, la mayor parte de la generación de energía eléctrica en nuestro país se desarrolla a través de las diferentes Centrales Hidroeléctricas, las mismas que utilizan la fuerza del agua, para a través de las turbinas hidráulicas, cumplir con este objetivo.*

*A pesar que las partes de las turbinas están construidas con materiales altamente resistentes al desgaste; debido a factores como los sedimentos, desechos, presiones elevadas, características químicas del agua y fenómenos como la abrasión y cavitación; sufren daños considerables que afectan el funcionamiento y vida útil de cada elemento durante el trabajo que desarrollan.*

*En el caso particular de la Central Hidroeléctrica Agoyán, estos daños son corregidos por medio de la aplicación de cerámicos especiales durante el mantenimiento preventivo, o a su vez con el relleno con soldadura en el mantenimiento correctivo, luego de un tiempo determinado de trabajo.*

*El mantenimiento preventivo se lo realiza sin ningún contrat tiempo en la Central como actividades programadas, pero en lo que se refiere al mantenimiento correctivo o reconstrucción mediante el relleno con soldadura, por el momento se lo debe realizar en el exterior.*

*Actualmente esta actividad se realiza en Chile, en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., lo que ocasiona gastos de transporte y movilización además de los elevados costos de reparación ya que en nuestro país no se cuenta con un taller en el que se puedan realizar estas actividades.*

*Como una solución a estos inconvenientes, la Central Hidroeléctrica Agoyán, se encuentra elaborando un proyecto para la creación de un Centro de Mecanizado para la Recuperación y Reparación de las partes de las turbinas, con la finalidad de disminuir los costos de reparación.*

*Con este Centro de Mecanizado, se eliminarán los gastos de exportación e importación de los elementos a reparar, impulsando al mejoramiento y desarrollo de la Empresa y de sus trabajadores generando con este proyecto fuentes fijas de empleo.*

*También se podría utilizar este Centro de Mecanizado para la reconstrucción de las partes de turbina de las demás Centrales Hidroeléctricas de nuestro país convirtiéndose las utilidades y demás beneficios económicos de las reparaciones, tanto de Hidroagoyán como de las demás Centrales, en un nuevo ingreso económico para el estado por tratarse de una Empresa Estratégica Pública.*

*Debido a la importancia que tiene esta empresa y el servicio que lleva cumpliendo durante varios años y en base a las necesidades de la misma de cumplir con este proyecto, el Gobierno Nacional ha asignado el presupuesto necesario para la primera etapa de este proyecto de vital importancia y trascendencia.*

*La mayoría de los elementos y equipamientos del Centro de Mecanizado serán comprados, pero previo a un análisis detallado de los Ejecutivos de la Central y los trabajadores del área de Mantenimiento Mecánico, esta empresa ha decidido que el Horno de Tratamientos Térmicos sea diseñado como parte de este proyecto de investigación, para que posteriormente sea construido por el personal calificado que esta institución tiene a su cargo.*

*La Empresa proporcionó toda la información pertinente y necesaria para este objetivo, y como referencia para el diseño del horno se tomó en cuenta las características y funcionamiento del Horno de Tratamientos Térmicos de la empresa ANDRITZ CHILE Ltda.*

*El costo de la construcción de este Horno, como se demostró en este trabajo investigativo, se verá recompensado con el ahorro y costo beneficio que tendrá la Central en las reparaciones futuras y el uso que se tenga del mismo.*

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Tema de Investigación**

#### **ESTUDIO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS QUE SE REALIZAN EN LAS PARTES DE LAS TURBINAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN PARA MINIMIZAR LOS COSTOS DE REPARACIÓN**

#### **1.2 Planteamiento del Problema**

##### **1.2.1 Contextualización**

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayor resistencia tanto al desgaste como a la tensión.

El tiempo y la temperatura son los factores principales y hay que fijarlos de antemano de acuerdo con la forma y el tamaño de las piezas, la composición del acero, y las características que se desean obtener.

Alrededor del mundo, grandes empresas como es el caso de ANDRITZ Hydro; se dedican, como una de sus actividades principales, a la recuperación de grandes partes de máquinas mejorando sus propiedades a través de los tratamientos térmicos.

ANDRITZ Hydro es una empresa internacional, la cual realiza trabajos de reparación y recuperación de partes de las turbinas de varias Centrales Hidroeléctricas, entre ellas la Central Hidroeléctrica Agoyán.

Estas actividades, para la Central Hidroeléctrica Agoyán, están a cargo del Departamento de ANDRITZ HYDRO de una de sus sucursales, como es el caso de ANDRITZ CHILE Ltda., la misma que se localiza en la Avenida Isidora Goyenechea 3600, Oficina 202, sector Las Condes en Santiago de Chile.

El GRUPO ANDRITZ es un líder del mercado mundial para las plantas, tecnologías de procesos, servicios para centrales hidroeléctricas, para la industria del papel, la industria de los metales, y algunas otras industrias <sup>[1]</sup>.

Cada una de las cinco áreas de negocio del GRUPO ANDRITZ son líderes globales en tecnología, que ofrece una capacidad completa en línea en todos los procesos principales. La oferta de servicios incluye el suministro de piezas de repuesto, fabricación de productos de desgaste de ingeniería y apoyo técnico para ayudar a los clientes a optimizar los procesos de producción y reducir los costos generales <sup>[1]</sup>.

La Industria Acero de los Andes S.A. (I.A.A.); es una compañía ecuatoriana, cuya Planta Industrial está ubicada en la Panamericana Sur Km 14 y 1/2 sector Turubamba en Quito, tiene una amplia experiencia en diseño, suministro y fabricación de bienes de capital y proyectos de contenido metalmecánico para los sectores energético, industrial e infraestructura <sup>[2]</sup>.

Para la ejecución de sus trabajos se encuentra equipada con un horno para alivio de tensiones y tratamiento térmico cuya temperatura máxima de tratamiento es de 1.200°C. También forma parte del equipamiento una cabina de pintura climatizada y presurizada con un sistema de calentamiento a gas, que permite proteger adecuadamente las superficies de los equipos fabricados <sup>[2]</sup>.

El Departamento de Ingeniería, para los cálculos y diseños generales y de detalle, utiliza, entre otras, las normas y estándares internacionales *API*, *ASME*, *AWWA*, *ASTM*, *ANSI*, *UL*, y las normas ecuatorianas determinadas por el *INEN*. Además cuenta con las más avanzadas tecnologías para garantizar el diseño de nuevos productos <sup>[2]</sup>.

---

<sup>[1]</sup> <http://www.andritz-hydro.com>

<sup>[2]</sup> <http://www.aceroandes.com/empresa.php>

En nuestra localidad en lo que se refiere a los tratamientos térmicos, se los realiza en pequeños hornos y únicamente se pueden tratar elementos o partes de máquinas que puedan ingresar en dichos hornos. Lamentablemente no se pueden tratar partes de máquinas de gran tamaño y peso como las partes de las turbinas.

En la Universidad Técnica de Ambato, específicamente en los laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, se cuenta con un horno de tratamientos térmicos pequeño, el cual es de uso exclusivo de los estudiantes para las prácticas experimentales que se realizan en las diferentes asignaturas relacionadas con la Ciencia de los Materiales.

En este caso se realizan tratamientos como el temple, el recocido de alivio de tensiones, el normalizado y el revenido por ser los más comunes; para lo cual se emplean probetas del material a estudiar y se observa las características de la microestructura a través del microscopio para determinar los cambios que se producen en la misma con cada tratamiento.

### **1.2.2 Análisis Crítico**

La deficiencia de tecnología de punta en nuestro país, así como también la falta de inversión por parte de los gobiernos para la ejecución de proyectos de gran magnitud ha ocasionado que muchos procesos de manufactura y reparación de partes de máquinas de gran tamaño aún no se los pueda realizar en nuestro país y necesariamente tienen que ser realizados en el exterior, lo cual implica un costo adicional a la reparación.

Los tratamientos térmicos son indispensables para la recuperación de elementos que sufrieran cualquier deformación o desgaste; en vista que luego que se les da el respectivo proceso de recuperación, las propiedades de dichos elementos cambian, por lo que requieren que se alivien las tensiones internas que se producen en el material, caso contrario la reparación no tendría la duración y la calidad deseada y podría deformarse e incluso romperse fácilmente.

Para la recuperación y reparación de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán, por el momento, se tienen que enviar las partes al extranjero para que a través de los debidos procesos de reconstrucción y los tratamientos térmicos adecuados las partes deterioradas por el trabajo y funcionamiento vuelvan a estar aptas para el trabajo para el cual fueron diseñadas.

Estos inconvenientes se verían solucionados si existiera en el sector un centro de mecanizado capaz de recuperar partes de máquina del tamaño y volumen que poseen las turbinas, en el cual se cuente con un horno que pueda utilizarse para dar los respectivos tratamientos térmicos luego de que los elementos hayan sido reparados para el alivio de las tensiones internas que se producen y recuperen las propiedades mecánicas perdidas.

### **1.2.3 Prognosis**

En las Centrales Hidroeléctricas, el agua ejerce una elevada presión y erosión a las partes de la turbina por lo cual a más de ser construidas con un material especial y resistente para soportar estas cargas, requieren de los tratamientos térmicos para evitar que se desgasten rápidamente, ya que los gastos de reparación son muy elevados.

Sin los tratamientos térmicos adecuados, luego del relleno con soldadura, las partes de las turbinas sufrirían un desgaste a muy corto plazo debido a que el agua circula a gran velocidad y presión sobre ellas, incluso podrían romperse como consecuencia de ello y por las tensiones internas que se producen en los elementos cuando son sometidos a un proceso de reparación o reconstrucción.

En caso de no reparar o reconstruir los elementos que ya han cumplido su ciclo de trabajo empiezan a fallar disminuyendo la potencia y la eficiencia a la que fueron diseñadas por lo que tendrían que ser reemplazados por elementos nuevos. Esto implica una elevada cantidad de dinero innecesario, ya que los elementos reparados pueden funcionar de igual manera que los elementos nuevos con un proceso de reconstrucción y rehabilitación adecuado.

### **1.2.4 Formulación del Problema**

¿Cuál sería una de las alternativas que la Central Hidroeléctrica Agoyán puede adoptar para realizar los tratamientos térmicos adecuados en las partes de las turbinas y minimizar los costos de reparación?

### **1.2.5 Preguntas Directrices**

1. ¿Cuáles son los métodos utilizados para la recuperación de las partes de las turbinas en la Central Hidroeléctrica Agoyán?
2. ¿Existe en la localidad un horno que se emplee para el tratamiento térmico de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán?
3. ¿Cuál es la frecuencia de reparación de las partes de turbina en la Central Hidroeléctrica Agoyán?
4. ¿Cuál es el costo de recuperación y reparación de las partes de las turbinas en la Central Hidroeléctrica Agoyán?
5. ¿Cuáles serán los parámetros adecuados para el diseño de un horno de tratamientos térmicos para la recuperación de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán?

### **1.2.6 Delimitación**

#### **1.2.6.1 Delimitación de Contenidos**

Esta investigación tiene como función principal el análisis de las principales fallas que se presentan y los tratamientos térmicos que se realizan en las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán para minimizar los costos de reparación y rehabilitación de estos elementos en lo que se refiere al mantenimiento preventivo y correctivo.

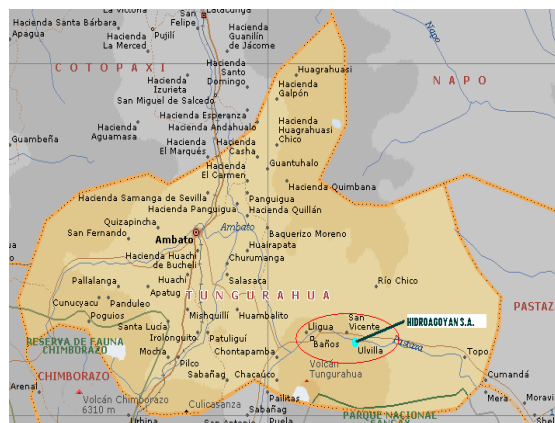
Para acreditar los resultados de esta investigación y la correcta ejecución de la misma, se cuenta con el apoyo de las materias de: Termodinámica, Transferencia de Calor, Procesos de Manufactura, Ciencia de los Materiales, Gestión de Calidad, Gestión de Mantenimiento, Seguridad Industrial, Proyectos Industriales, Gestión Empresarial, Proyectos de Tesis, Elementos Finitos II y los profesores de dichas áreas que trabajan en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato.

También se cuenta con el apoyo del Área de Mantenimiento Mecánico de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

### 1.2.6.2 Delimitación Espacial

La investigación de este proyecto se lo realizará en la Central Hidroeléctrica Agoyán, específicamente en la Casa de Máquinas de la misma, ubicada en el cantón Baños de Agua Santa, sector de Agoyán, pasando el primer túnel en la vía Baños-Puyo.

La aprobación y validación de este proyecto se llevará a cabo en la Universidad Técnica de Ambato campus Huachi Chico, en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica



**Figura 1.1 Mapa Político de la Provincia de Tungurahua (Microsoft® Encarta® 2009)**



### **1.2.6.3 Delimitación Temporal**

Este tema de investigación se llevará a cabo durante los meses de Mayo del 2010, hasta Junio del 2011.

### **1.3 Justificación**

En la actualidad los tratamientos térmicos son utilizados con mayor frecuencia en las industrias para mejorar las características de los materiales y ofrecer una mayor resistencia al desgaste y a la tensión de acuerdo al trabajo para el cual van a ser diseñadas.

Para alcanzar las características deseadas en el material se debe tener en cuenta el tiempo y la temperatura a la cual deben estar expuestos y esto varía en función del tratamiento térmico que se va a realizar, la composición del acero, la forma y el tamaño del elemento que va a ser tratado.

Otro de los factores predominantes para el tratamiento térmico adecuado es el horno y tipo de atmósfera que se utilice en vista que eso garantiza las propiedades que se quiere obtener en el material.

En vista que la Central Hidroeléctrica Agoyán no cuenta con equipos y maquinaria especializada en la reparación y recuperación de las partes de las turbinas, debido a su gran volumen y peso, cuando las partes ya se ven afectadas por el trabajo, por el momento, no pueden ser reparadas en el sector y tienen que ser enviadas al extranjero para que se les dé los respectivos procesos de recuperación y los tratamientos térmicos necesarios.

Este proceso ocasiona grandes inversiones de capital, tanto para el traslado como para la reparación de las partes. Además debido a que tienen que ser llevadas al exterior, requieren mucho tiempo para que puedan llegar a la empresa donde son tratadas y nuevamente retornen a la Central para que vuelvan a entrar en funcionamiento.

Estos inconvenientes podrían verse superados realizando las actividades de reparación en el sector, contando con los elementos necesarios para ello y con un horno en el cual se puedan dar los tratamientos térmicos necesarios para obtener el adecuado funcionamiento de las turbinas, sin tener que llevarlas al extranjero.

Por este motivo la Central Hidroeléctrica Agoyán, tiene como un proyecto de vital importancia para las reparaciones futuras, la creación de un Centro de Mecanizado y Recuperación de las Partes de las Turbinas en las instalaciones de la empresa. Este proyecto estará a cargo del personal de la Central y será financiado por parte Estado.

El costo de la inversión se verá recompensado con el costo beneficio en las reparaciones futuras con la comodidad para realizarlas en menor tiempo en la empresa, y ahorrando el costo de compra de elementos nuevos que es bastante elevado, beneficiando en forma directa a la economía del estado, puesto que la Central Hidroeléctrica Agoyán es una empresa Estratégica Pública.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General**

- ❖ Determinar cuál sería la alternativa que la Central Hidroeléctrica Agoyán puede adoptar para realizar los tratamientos térmicos aplicando los procesos adecuados en las partes de las turbinas y minimizar los costos de reparación.

### **1.4.2 Específicos**

- Investigar cuáles son los medios utilizados para la reparación y tratamientos térmicos adecuados que se deben realizar en las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán para minimizar los costos de reparación

- Determinar las formas de solución que existen para corregir las fallas y averías que se producen en las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán, aplicando los procesos adecuados, para minimizar los costos de reparación.
  
- Establecer los procedimientos de reconstrucción que se pueden mejorar, para minimizar los costos de reparación en las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán.
  
- Especificar si en la localidad se realiza algún proceso de reparación o tratamiento térmico de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán para minimizar los costos de reparación
  
- Estipular los costos de reparación y tratamientos térmicos adecuados que se deben realizar en las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán para minimizar los costos de reparación.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes Investigativos**

En el presente trabajo investigativo a desarrollarse en la Central Hidroeléctrica Agoyán localizada en el cantón Baños de Agua Santa, se lo va a realizar en vista que esta empresa tiene como proyecto la creación de un Centro de Mecanizado destinado a la reparación de las turbinas.

El estudio de los tratamientos térmicos es de esencial importancia ya que nos permitirá determinar la factibilidad de que este Centro de Mecanizado cuente con un Horno de Tratamientos Térmicos para las partes que se ven afectadas por la erosión y cavitación, debido al trabajo que desarrollan.

Con esta investigación se busca determinar la importancia de los tratamientos térmicos en la reparación y mantenimiento de las partes de las turbinas y buscar con ello una solución satisfactoria a los altos costos de reparación optimizando el tiempo y los recursos en la empresa. Este proyecto estará enfocado a contribuir al desarrollo y mejoramiento de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

En la actualidad para contrarrestar los daños que se producen en las partes de las turbinas, en lo que se refiere a los daños menores, la empresa efectúa una reparación a través de la aplicación de cerámicos especiales en las zonas afectadas para la reconstitución del material perdido por el desgaste o fallas.

Para los daños mayores los elementos son trasladados a Chile para una reconstrucción y rehabilitación total, mediante el relleno con soldadura. Además el rodete y los álabes directrices son sometidos al tratamiento térmico de alivio de tensiones posterior a la soldadura y previo al maquinado final.

## **2.2 Fundamentación Filosófica**

La investigación que se presenta, se desarrollará en base a la normativa del paradigma crítico propositivo, porque tiene como finalidad comprender e interpretar la realidad, tendrá una visión dinámica construida en base a las necesidades y requerimientos que tiene la empresa.

Se aplicará una metodología cuantitativa que permitirá determinar la relación teórico-práctico, concibiéndola como un proceso de retroalimentación. Se buscará obtener una solución satisfactoria para la empresa aplicando criterios de calidad con fines de credibilidad, confirmación y transferibilidad, que permitan aplicar técnicas e instrumentos de investigación cuantitativas que facilitarán el análisis e interpretación de datos.

## **2.3 Fundamentación Legal**

Esta investigación estará basada en las reparaciones realizadas en Chile y de acuerdo a lo investigado, se aplican las normas DIN-ASME para el acero inoxidable tipo 13/4(X5CrNi13 4) o a su vez la ASTM A 743 (CA 6 NM) que se deben aplicar para este tipo de material, el cual es el material base del rodete. En base a este material de referencia se determinarán las características que proporcionan los tratamientos térmicos en las partes de las turbinas <sup>[3]</sup>.

En lo que se refiere a la verificación de los desgastes y el control de calidad de los elementos reparados aplican la Norma CCH 70-3 para los controles no destructivos con partículas magnéticas y tintas penetrantes según la con Clase de Aceptación 2 y 3 <sup>[3]</sup>.

También utilizan la Norma ISO 1940/1 Grado 6,3 para el balanceo estático del rodete, según la información proporcionada por la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., que es la encargada de realizar las operaciones de reconstrucción y rehabilitación de las partes de las turbinas afectadas por los desgastes, para garantizar su correcto funcionamiento <sup>[3]</sup>.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

## 2.4 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

### 2.4.1 CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN



**Figura 2.1 Rodete de una Turbina de la Central Hidroeléctrica Agoyán**  
([www.hidroagoyan.com](http://www.hidroagoyan.com))

La Central Agoyán fue concebida para aprovechar el caudal del Río Pastaza, localizada en la provincia de Tungurahua a 180 Km al Sureste de Quito y a 5 Km al este de la ciudad de Baños en el sector denominado Agoyán de la parroquia Ulba, en la vía principal de entrada al sector amazónico ecuatoriano <sup>[4]</sup>.

La extensión global de la zona de influencia de la Central es de 500 Km<sup>2</sup> con una producción media anual de 1.080 GWH. El nivel máximo del embalse se encuentra a una altitud de 1651 m.s.n.m <sup>[4]</sup>.

#### 2.4.1.1 La Presa



**Figura 2.2 Presa de la Central Hidroeléctrica Agoyán**  
([www.hidroagoyan.com](http://www.hidroagoyan.com))

<sup>[4]</sup> <http://www.hidroagoyan.com>

Está formada por:

- Dos desagües de fondo de 9m de ancho por 9m de altura, para la limpieza de sedimentos y vaciado del embalse.
- Tres vertederos de excesos de 15m de altura por 12m de ancho.
- Un estanque desarenador seminatural de 150m de largo por 90m de ancho.
- Un desagüe de fondo del desarenador y estructura de la toma.
- Túnel de carga cuya toma está ubicada en el cuerpo de la presa; tiene una longitud de 2378m y 6m de diámetro interno. Conduce un caudal de  $120\text{m}^3$  por segundo.
- Tubería de presión subterránea vertical de 5m de diámetro promedio <sup>[4]</sup>.

**2.4.1.2 Captaciones y Conducción.-** Al Pastaza aportan los Ríos: Chambo y Patate <sup>[4]</sup>.

**2.4.1.3 Casa de Máquinas.-** Aquí se encuentran alojadas las dos unidades de generación de la Central <sup>[4]</sup>.

Las dos Turbinas Francis que funcionan en la Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán aprovechan la energía potencial de las aguas del río Pastaza que pasan a través de ellas para producir un movimiento de rotación que, transferido mediante los ejes, mueven directamente a los generadores que transforman la energía mecánica en energía eléctrica <sup>[4]</sup>.

## **2.4.2 TURBINA FRANCIS**

Es una turbomáquina motora hidráulica, que aprovecha la energía de un fluido que pasa a través de ella para producir un movimiento de rotación. Las turbinas Francis son de flujo mixto y de reacción. Existen algunos diseños complejos que son capaces de variar el ángulo de sus álabes durante su funcionamiento <sup>[5]</sup>.

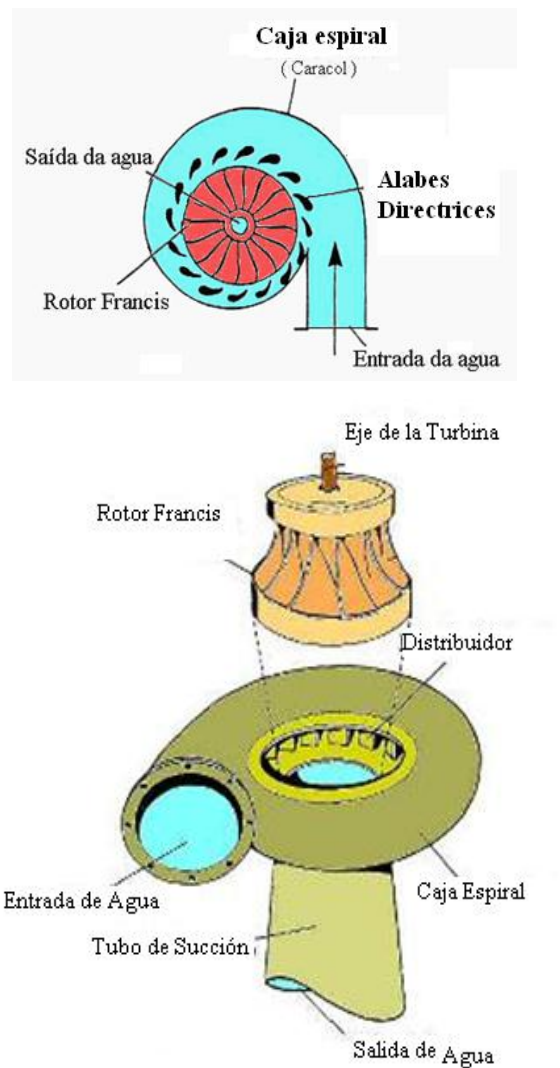
---

<sup>[4]</sup> <http://www.hidroagoyan.com>

<sup>[5]</sup> [http://www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_hidr%C3%A1ulica](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina_hidr%C3%A1ulica)

Están diseñadas para trabajar con un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los diez metros hasta varios cientos de metros. Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea el más ampliamente usada en el mundo, principalmente para la producción de energía eléctrica mediante centrales hidroeléctricas <sup>[6]</sup>.

#### 2.4.2.1 Partes Principales de las Turbinas Francis:



**Figura 2.3 Esquemas de una Turbina Francis**  
([www.slide.com/s](http://www.slide.com/s))

- a. Caja espiral o Caracol
- b. Predistribuidor

<sup>[6]</sup> [http://www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_Francis](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Francis)



- c. Distribuidor o Conjunto de Álabes Directrices
- d. Rotor o Rodete
- e. Tubo de Aspiración
- f. Tapa Superior del Distribuidor
- g. Cono de salida del Rodete
- h. Tapa Inferior del Distribuidor

**a. Caja Espiral o Caracol.-** Tiene como función distribuir uniformemente el fluido en la entrada del rodete de una turbina <sup>[6]</sup>.

**b. Predistribuidor.-** Tienen una función netamente estructural, para mantener la estructura de la caja espiral, tienen una forma hidrodinámica para minimizar las pérdidas hidráulicas <sup>[6]</sup>.

**c. Distribuidor o Conjunto de Álabes Directrices.-** Es el nombre con que se conocen los álabes directores de la turbomáquina, su función es regular el caudal que entra en la turbina, a la vez de direccionar al fluido para mejorar el rendimiento de la máquina <sup>[6]</sup>.

**d. Rotor o Rodete.-** Es el corazón de la turbina, ya que aquí tiene lugar el intercambio de energía entre la máquina y el fluido, pueden tener diversas formas dependiendo del número de giros específico para el cual está diseñada la máquina <sup>[6]</sup>.

**e. Tubo de aspiración.-** Es la salida de la turbina. Su función es darle continuidad al flujo y recuperar el salto perdido en las instalaciones que están por encima del nivel de agua a la salida. En general se construye en forma de difusor, para generar un efecto de aspiración, el cual recupera parte de la energía que no fuera entregada al rotor en su ausencia <sup>[6]</sup>.

**f. Tapa Superior del Distribuidor.-** Cierra herméticamente la parte superior del distribuidor. Aloja los mecanismos de control y movimiento de los alabes móviles y las cañerías de lubricación <sup>[3]</sup>.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

<sup>[6]</sup> [http://www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_Francis](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Francis)

**g. Cono de salida del Rodete.-** Facilita la expulsión del agua turbinada una vez que sale del rodete <sup>[3]</sup>.

**h. Tapa Inferior del Distribuidor.-** Cubre la parte inferior de todo el conjunto distribuidor <sup>[3]</sup>.

### **2.4.3 SISTEMAS DE MANTENIMIENTO**

La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones en el trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la maquinaria, herramientas y equipos de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral <sup>[7]</sup>.

El mantenimiento, su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- ★ Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- ★ Disminución de los costos de mantenimiento.
- ★ Optimización de los recursos humanos.
- ★ Maximización de la vida de la máquina <sup>[7]</sup>.

La Central Hidroeléctrica Agoyán cuenta con un mantenimiento constante, el cual está programado y distribuido de manera que las tareas se cumplan en un determinado tiempo y aplicando los procesos adecuados. Se divide en:

**a.** Mantenimiento Predictivo.

**b.** Mantenimiento Preventivo.

**c.** Mantenimiento Productivo Total ( T.P.M ).

**d.** Mantenimiento Correctivo <sup>[7]</sup>.

---

<sup>[3]</sup>HIDROAGOYÁN

<sup>[7]</sup><http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial>

**a. Mantenimiento Predictivo.-** Este tipo de mantenimiento se basa en predecir la falla antes de que esta se produzca. Se trata de conseguir adelantarse a la falla o al momento en que el equipo o elemento deja de trabajar en sus condiciones óptimas. Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitoreo de parámetros físicos <sup>[7]</sup>.

**b. Mantenimiento Preventivo.-** Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados <sup>[7]</sup>.

Básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina, donde se realizaran las acciones necesarias, engrase, cambio de correas, desmontaje, limpieza, etc. <sup>[7]</sup>.

**c. Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.).-** Es un sistema de organización donde la responsabilidad no recae sólo en el departamento de mantenimiento sino en toda la estructura de la empresa "El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones depende y es responsabilidad de todos" <sup>[7]</sup>.

**d.- Mantenimiento Correctivo.-** Es aquel que se ocupa de la reparación una vez se ha producido el fallo y se debe parar la máquina o instalación. Dentro de este tipo de mantenimiento podríamos contemplar dos tipos de enfoques:

★ **Mantenimiento Curativo (de Reparación).**- Este se encarga de la reparación propiamente pero eliminando las causas que han producido la falla.

★ **Mantenimiento Paliativo o de Campo (de Arreglo).**- Este se encarga de la reposición del funcionamiento, aunque no quede eliminada la fuente que provoco la falla <sup>[7]</sup>.

---

<sup>[7]</sup><http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial>

## 2.4.4 PRINCIPALES FALLAS QUE SE PRODUCEN EN LAS PARTES DE LAS TURBINAS

Debido a las altas presiones que se presentan en el interior de las turbinas y a los sedimentos que viajan con el agua, los mayores daños que se pueden presenciar con el paso del tiempo, es el desgaste en los álabes directrices, el rodete, las tapas, y el cono.

Las causas principales del desgaste de las partes de las turbinas son la cavitación y el fenómeno de la abrasión; las cuales producen múltiples erosiones en las partes de las turbinas. También se produce el fenómeno de la oxidación o corrosión en ciertas partes debido a su contacto con el agua y el oxígeno. El problema de la corrosión controlada a tiempo con pinturas especiales o cerámicas no causa mayores daños <sup>[3]</sup>.

**2.4.4.1 La cavitación.-** También se conoce como aspiración en vacío, y es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido. Puede ocurrir que se alcance la presión de vapor del líquido de tal forma que las moléculas que lo componen cambian inmediatamente a estado de vapor, formándose burbujas o cavidades <sup>[8]</sup>.

Las burbujas formadas viajan a zonas de mayor presión e implotan; es decir el vapor regresa al estado líquido de manera súbita, aplastándose bruscamente las burbujas, produciendo una estela de gas y un arranque de metal de la superficie en la que origina este fenómeno. La implosión causa ondas de presión que viajan en el líquido. Estas pueden disiparse en la corriente del líquido o pueden chocar con una superficie <sup>[8]</sup>.

Si la zona donde chocan las ondas de presión es la misma, el material tiende a debilitarse metalúrgicamente y se inicia una erosión que, además de dañar la superficie, provoca que ésta se convierta en una zona de mayor pérdida de presión y por ende de mayor foco de formación de burbujas de vapor <sup>[8]</sup>.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

<sup>[8]</sup> <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Cavitaci%C3%B3n>

**2.4.4.2 La Abrasión.-** Es la acción de una partícula dura, bajo la influencia de una fuerza sobre una superficie. Existen al mismo tiempo, dos factores que ocasionan este fenómeno que son la presión y el movimiento. Podemos comparar el efecto de la abrasión, con el desgaste que se produce entre una herramienta de corte y la pieza a cortar <sup>[9]</sup>.

Los elementos abrasivos originan: Levantamiento de viruta a lo largo de la zona de desgaste, que se acumula en el extremo de la misma y Formación de surcos, dependiendo de la intensidad de la fuerza que ejerce la partícula abrasiva sobre el material base <sup>[9]</sup>.

Podemos dividir la abrasión en tres grupos:

1. Erosión
2. Abrasión Media
3. Fuerte Abrasión

**1. Erosión.-** El desgaste se produce bajo la acción de fuerzas abrasivas débiles, originadas por partículas, normalmente en suspensión en un líquido o gas. El grado de erosión, dependerá del número de partículas, la velocidad de las mismas y el ángulo de incidencia. Los materiales resistentes a este tipo de desgaste, deben ser tenaces, duros, con estructura de grano fino y mecanizables <sup>[9]</sup>.

**2. Abrasión Media.-** La intensidad de las fuerzas abrasivas es mayor, así como el desgaste producido por las partículas. Los materiales adecuados para resistir a la abrasión media, deben tener un alto límite elástico, buena tenacidad, capacidad para absorber esfuerzos mecánicos importantes (compresión-deformación) <sup>[9]</sup>.

**3.- Fuerte Abrasión.-** La presión ejercida por el material abrasivo, es lo suficientemente elevada como para sobrepasar la resistencia a la compresión del material base. Se producirá una huella en la superficie, debido a un hundimiento del material base <sup>[9]</sup>.

---

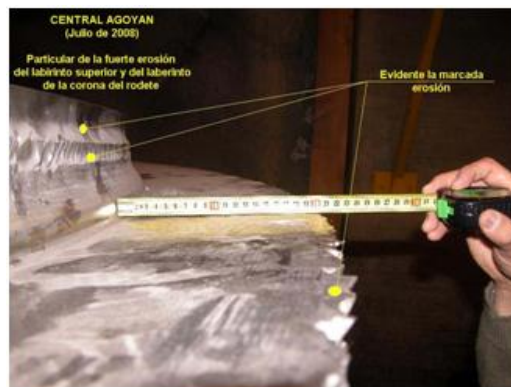
<sup>[9]</sup> [http://www.soldadurascromaweld.com/teoria/teoria\\_del\\_recargue.htm](http://www.soldadurascromaweld.com/teoria/teoria_del_recargue.htm)

La pieza presenta un aspecto brillante que varía según el tipo de abrasivo (arena, óxidos, carbón, arcilla, etc.). Los materiales resistentes a este tipo de abrasión tendrán una dureza elevada, estructura de grano fino y mecanizables <sup>[9]</sup>.

**2.4.4.3 La Corrosión.-** Es el desgaste total o parcial que disuelve o ablanda cualquier sustancia por reacción química o electroquímica con el medio ambiente. El término corrosión se aplica a la acción gradual de agentes naturales, como el aire o el agua salada sobre los metales. El ejemplo más familiar de corrosión es la oxidación del hierro, que consiste en una compleja reacción química en la que el hierro se combina con oxígeno y agua para formar óxido de hierro hidratado <sup>[10]</sup>.

Este óxido, conocido como orín o herrumbre, es un sólido que mantiene la misma forma general que el metal del que se ha formado, pero con un aspecto poroso, algo más voluminoso, y relativamente débil y quebradizo <sup>[10]</sup>.

➤ **Fallas en el Rodete:**



**Figura 2.4 Rodete que necesita Reparación (HIDROAGOYÁN)**

<sup>[9]</sup> [http://www.soldadurascromaweld.com/teoria/teoria\\_del\\_recargue.htm](http://www.soldadurascromaweld.com/teoria/teoria_del_recargue.htm)

<sup>[10]</sup> Corrosión, Microsoft ® Encarta ® 2009

Según datos de las reparaciones anteriores y las fotos que se exponen anteriormente, en el rodete pueden presentarse erosión y cavitación en las siguientes zonas:

- ❖ En el perfil de presión en la salida de los álabes
- ❖ En la cinta circunferencial a la salida de los álabes en el lado de descarga.
- ❖ En los laberintos intermedios que corresponden a la salida del distribuidor
- ❖ En los empalmes a la entrada de los álabes
- ❖ En las troneras de compensación del rodete
- ❖ En todos los anillos laberínticos móviles superiores e inferiores <sup>[3]</sup>.

➤ **Fallas en la Tapa Superior:**



**Figura 2.5 Tapa Superior de la Turbina que Necesita Reparación (HIDROAGOYÁN)**

Se puede presentar el fenómeno de la oxidación, lo cual tiende a producir la corrosión de la pintura y parte del metal de la parte externa de la tapa; así como también erosión y cavitación en las partes internas de la misma <sup>[3]</sup>.

La erosión y cavitación puede presentarse en las siguientes zonas:

- En la placa de desgaste que acopla con los álabes directrices
- En el anillo laberíntico fijo superior

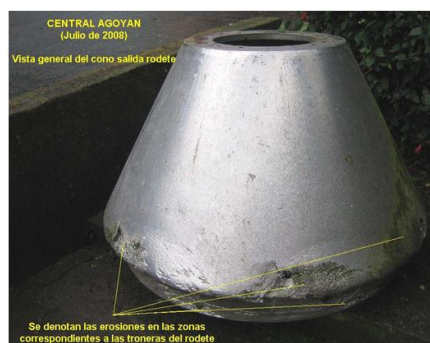
---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

- En los alojamientos de los bujes de guía de los alabes directrices móviles del distribuidor
- En todas las placas y perfiles de protección intermedias <sup>[3]</sup>.

➤ **Fallas en el Cono de salida del Rodete**

Puede presentarse erosión y cavitación en la cámara de la parte superior del rodete <sup>[3]</sup>.



**Figura 2.6 Cono de la Turbina que Necesita Reparación (HIDROAGOYÁN)**

➤ **Fallas en los Álabes Directrices:**



**Figura 2.7 Álabes Directrices que Necesitan Reparación (HIDROAGOYÁN)**

Puede presentarse erosión y cavitación en las siguientes zonas:

- ★ En todas las superficies activas de las hojas
- ★ En los discos de los muñones inferiores y superiores <sup>[3]</sup>.

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN



Las zonas que generalmente pueden presentar mayor abrasión por erosión son las caras de presión que van junto a placa de desgaste <sup>[3]</sup>.

#### 2.4.5 MÉTODOS PARA DETECTAR LA MAGNITUD DE LAS FALLAS

Para determinar la magnitud de las fallas y desgastes presentes en las partes de las turbinas, se aplican los siguientes métodos:

- Examen visual
- Ensayos no destructivos <sup>[3]</sup>

**Examen visual.-** Consiste en un análisis minucioso y profundo de las fallas y desgastes presentes a través del sentido de la vista. Se utilizan instrumentos de medición para comparar las dimensiones de los elementos desgastados con las dimensiones originales para determinar la cantidad de material perdido. Con el examen visual se detectan todas las fallas superficiales <sup>[3]</sup>.

**Ensayos no destructivos.-** Determinan la magnitud de los daños causados en las partes que no son apreciables a simple vista y aumenta la visibilidad de los que si se pueden observar. Los más utilizados son: el ensayo no destructivo por tintas penetrantes y el de partículas magnéticas <sup>[3]</sup>.

- **Ensayo no Destructivo por Tintas Penetrantes.-** Es un tipo de ensayo no destructivo que se utiliza para detectar e identificar discontinuidades, tales como grietas, costuras, traslapes, laminaciones, o falta de adhesión; presentes en la superficie de los materiales examinados <sup>[11]</sup>.

Pasos a seguir para realizar el ensayo:

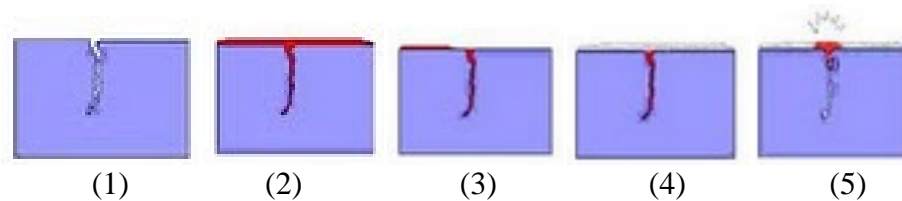
1. Las piezas a examinar deben ser limpias y de superficie seca.
2. Se pintan o impregnan con un líquido fuertemente coloreado de alta capilaridad o fluorescente.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

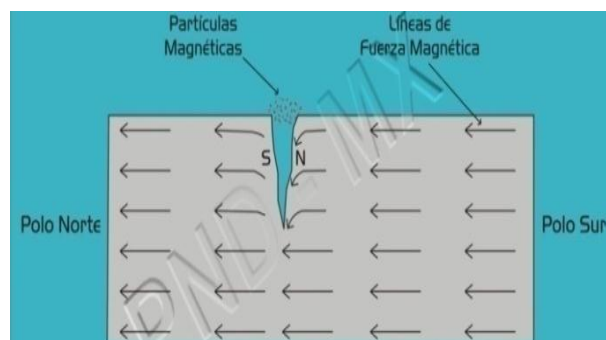
<sup>[11]</sup> <http://www.related:cuyo.spe.org/Ensayos%20No%20Destructivos.ppt>

3. Pasados unos minutos de la operación anterior, se limpia el excedente del líquido colorante o fluorescente, con lo cual éste habrá quedado retenido tan sólo en la grieta o falla.
4. Se cubre la superficie examinada con revelador, generalmente talco blanco.
5. El revelador absorbe el colorante de la grieta, señalándola nítidamente <sup>[11]</sup>.



**Figura 2.8 Procedimiento del Ensayo no Destructivo por Tintas Penetrantes**  
(<http://www.cristianorlando-technician.blogspot.com>)

- **Ensayo no Destructivo por Partículas Magnéticas.-** El método de partículas magnéticas se basa en que toda partícula ferrosa susceptible de ser magnetizada al entrar en contacto con un imán se orienta de acuerdo con su respectiva polaridad y sigue las líneas de fuerza del campo magnético <sup>[11]</sup>.



**Figura 2.9 Detección de Fallas por Partículas Magnéticas**  
(<http://www.related:cuyo.spe.org/Ensayos%20No%20Destructivos.ppt>)

Dichas líneas se interrumpen tan pronto como en el cuerpo principal se presenta alguna discontinuidad en forma de grieta. Tanto sea superficial o sub-superficial, en sus inmediaciones, se producirá una acumulación de partículas <sup>[11]</sup>.

<sup>[11]</sup> <http://www.related:cuyo.spe.org/Ensayos%20No%20Destructivos.ppt>

## 2.4.6 TIPOS DE REPARACIÓN

Según la magnitud de las fallas se pueden reparar las partes de las siguientes maneras:

- Rectificado (hasta la raíz de la falla)
- Relleno

**2.4.6.1 Rectificado.-** Consiste en operación de terminado que mejora la precisión y el acabado de las partes de las turbinas pero también se puede emplear para corregir fallas pequeñas en las superficies de las partes, siempre y cuando sea permisible o a su vez cuando exista sobredimensión <sup>[12]</sup>.

Debido al tamaño de las partes, generalmente se lo puede realizar en un torno de eje vertical CNC para cumplir con este objetivo obteniendo los resultados esperados <sup>[3]</sup>.

**2.4.6.2 Relleno.-** Para reparar los desgastes que produce la cavitación en las partes de las turbinas, generalmente se aplican los siguientes métodos:

- a. Aplicación de cerámicos (reparación temporal)
- b. Soldadura
- c. Metalizado

**a. Aplicación de cerámicos.-** Consiste en aplicar un cerámico resistente, generalmente belzona (Marca comercial), en las zonas dañadas por la erosión y la cavitación, rellenando con este componente los agujeros y fallas dejando la superficie completamente liza <sup>[3]</sup>.

Este método es preventivo, no es necesario que se esmerile las aristas afiladas que se producen por la erosión y la cavitación debido a que el cerámico es aplicado en forma de masilla lo cual facilita su empleo pero su duración no es permanente y su costo es elevado <sup>[3]</sup>.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

<sup>[12]</sup> <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Rectificadora>

Los cerámicos se aplican cada tres meses, y de acuerdo al desgaste, se utiliza alrededor de 20kg por cada unidad <sup>[3]</sup>.

**b. Soldadura.-** Para aplicar este método, primero se debe esmerilar y pulir las zonas afectadas de manera que no quede señal de las fallas, para conseguir esto se realizan agujeros más grandes, los mismos que posteriormente son rellenados con el material de aporte de la soldadura <sup>[3]</sup>.

Para verificar que los defectos queden eliminados a través del esmerilado se realizan ensayos no destructivos por partículas magnéticas y tintas penetrantes aplicando las normas Norma CCH 70-3 con Clase de Aceptación 2 y 3 <sup>[3]</sup>.

La reparación se efectúa por medio de la aportación de material por el proceso de soldadura, una vez que las zonas afectadas están libres de las fallas, se realizan cordones de soldadura uniformes hasta lograr rellenar los agujeros producidos y a su vez recuperar las dimensiones exactas que debe tener las partes involucradas <sup>[3]</sup>.

Para que las partes reparadas queden con las superficies lisas y las dimensiones adecuadas, posteriormente al proceso de relleno con soldadura deben ser rectificadas y recibir un proceso de acabado. También deben ser tratadas térmicamente para el alivio de las tensiones internas que se producen con los procesos de reparación <sup>[3]</sup>.

**c. Metalizado.-** Es un método el cual consiste en aplicar, en forma de rocío, una capa de metal puro. Opuesto a otros métodos donde se aplica capas metálicas por zambullida caliente como galvanizados y cromados, la metalización se realiza con un equipo portátil y adecuado para formas complejas, no está limitado por el tamaño <sup>[13]</sup>.

Este método se usa solo o en combinación con otros métodos o sistemas de capas, y aumenta drásticamente la adherencia y la resistencia al desgaste cuando es aplicado encima de las capas de metal aportado <sup>[13]</sup>.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

<sup>[13]</sup> <http://www.intmetl.com/metalizacion.htm>

## 2.4.7 FASES ACTUALES DE CORRECCIÓN DE FALLAS EN LAS PARTES DE TURBINA DE LA CENTRAL AGOYÁN

Para contrarrestar los efectos de las averías y fallas que se producen en las partes de las turbinas, la Central Hidroeléctrica Agoyán tiene programadas las actividades de mantenimiento y reconstrucción de la siguiente manera:

- ❖ Tareas de Mantenimiento
- ❖ Tareas de Reconstrucción

**2.4.7.1 Tareas de Mantenimiento.-** Son aquellas tareas que buscan minimizar los efectos de las fallas a través del mantenimiento preventivo y consiste en la aplicación de cerámicos especiales.

Estos son productos en pasta de dos componentes, basado en la mezcla de una aleación de acero de silicio cerámico suspendida en una matriz polimérica y reactivos de peso molecular alto. No es maquinable y está diseñado para reconstruir metales <sup>[3]</sup>.

Este procedimiento se realiza como actividades programadas de mantenimiento y se las ejecuta cada tres meses. Debe cumplir las siguientes tareas:

- Parada de las turbinas
- Secado
- Limpieza
- Aplicación de cerámicos
- Moldeado
- Acabado Final

**a. Parada de las turbinas.-** Esta actividad se la realiza para poder trabajar en el lugar, sin el desmontaje de los elementos.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

**b. Secado.-** Se elimina la humedad existente por el paso del agua a través de los elementos. Se utilizan lámparas incandescentes.

**c. Limpieza.-** Se retira los residuos de sedimentos e impurezas que viajan en el agua.

**d. Aplicación de cerámicos.-** Consiste en colocar los cerámicos especiales en las zonas que presentan los defectos por la erosión y cavitación para reconstituir el material perdido.

**e. Moldeado.-** Una vez aplicados los cerámicos se procede a darle la forma original del elemento desgastado, aprovechando que los cerámicos recién aplicados son fáciles de moldear, se puede dar la forma requerida para que funcionen adecuadamente las partes afectadas.

**f. Acabado Final.-** Consiste en pulir los cerámicos, una vez secos, para obtener una superficie uniforme y homogénea, donde amerite.

**2.4.7.2 Tareas de Reconstrucción.-** Se las realiza una vez efectuado el Overhaul, y debe cumplir un proceso determinado.

**a. Overhaul.-** Es el mantenimiento mayor que la Central realiza, aproximadamente cada siete años y consiste en el desmontaje total de las partes de las turbinas para su reparación y reposición. Una vez determinados los daños que cada elemento ha sufrido se determina si se puede reconstruir mediante el relleno con soldadura o si deben ser desechados <sup>[3]</sup>.

Para la reconstrucción, según datos proporcionados por la empresa y en base a las reconstrucciones anteriores, se debe cumplir el siguiente procedimiento:

1. Verificación de los daños en los elementos en la Casa de Máquinas de la Central a través de un examen visual detallado, ensayo no destructivo por tintas penetrantes y ensayo no destructivo por partículas magnéticas <sup>[3]</sup>.

---

<sup>[3]</sup>HIDROAGOYÁN

Esta evaluación está a cargo del personal de HIDROAGOYÁN y un supervisor de la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., la cual por el momento se encarga de la reconstrucción de los elementos <sup>[3]</sup>.

2. Una vez examinados los daños en las partes de las turbinas, se determina si es posible la reconstrucción o no de los elementos afectados. Actualmente esta actividad se la realiza en el exterior, por lo que se debe cumplir con los trámites pertinentes de traslado y movilización de los elementos desde la Central hasta Santiago de Chile <sup>[3]</sup>.
3. Cuando los elementos llegan a Chile, primeramente se realiza una limpieza exhaustiva de cada una de las partes <sup>[3]</sup>.
4. Cuando los elementos están limpios, se procede a la preparación de las superficies para el aporte de soldadura. Para lo cual se debe cumplir los siguientes pasos:
  - Limpieza de las superficies, tanto del recubrimiento existente con masillas de los mantenimientos anteriores como de las impurezas presentes.
  - Esmerilado y pulido preliminar de todas las zonas erosionadas.
  - Desmontaje de los anillos laberínticos móviles, para lo cual se debe calentarlos para poder sacarlos de sus asientos.
  - Control no destructivo con partículas magnéticas según la norma CCH 70-3 con Clase de Aceptación 2 y 3, el cual debe ser efectuado en todas las zonas de acople.
  - Control con tintas penetrantes según la norma CCH 70-3 con Clase de Aceptación 2 y 3 el cual debe ser efectuado en todas las superficies de los elementos.
  - Tomas de prueba de dureza.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

➤ Control con plantillas originales <sup>[3]</sup>.

5. Posteriormente, se procede a dar un precalentamiento al rodete y a los álabes directrices a una temperatura de 120 °C en el horno <sup>[3]</sup>.
6. Luego de la preparación de las superficies se procede al aporte de soldadura de reconstrucción en los perfiles erosionados y reparación de los defectos. Se utiliza el proceso de soldadura manual por arco eléctrico (SMAW) y TIG (GTAW) <sup>[3]</sup>.

Los materiales de aporte que se requieren utilizar para el proceso de soldadura son los electrodos básicos para el acero inoxidable 13/4 **E410NiMo** de diferentes diámetros (3/32", 1/8" y 5/32") y las varillas para soldadura TIG son de 1mm de diámetro <sup>[3]</sup>.

7. Concluido el proceso de reconstrucción por soldadura, se debe dar el Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones al rodete y los álabes directrices; cada uno de ellos tiene un tiempo de permanencia diferente debido a su masa. Las tapas y el cono no son sometidas a ningún tratamiento térmico pero si a las demás actividades de reconstrucción <sup>[3]</sup>.

El Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones se realiza conforme a las normas DIN-ASME para el acero inoxidable tipo 13/4 (X5CrNi13 4 o ASTM A 743 CA 6 NM). Para el Rodete, el procedimiento debe ser el siguiente:

Velocidad de calentamiento	40 – 50 °C / h
Temperatura de alivio	580 ± 10 °C
Permanencia a la temperatura de alivio	min. 11 horas
Velocidad de enfriamiento hasta los	150 °C 40 – 50 °C / h

A la temperatura de 150 °C, se abrirán las escotillas del horno y se dejará enfriar en aire calmado hasta la temperatura ambiente. Luego se abrirán las puertas del horno para la extracción <sup>[3]</sup>.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN



Para los Alabes Directrices, el procedimiento de ser:

Velocidad de calentamiento	40 – 50 °C / h
Temperatura de alivio	580 ± 10 °C
Permanencia a la temperatura de alivio	min. 8 horas
Velocidad de enfriamiento hasta los	150 °C 40 – 50 °C / h

A la temperatura de 150 °C, se abrirán las escotillas del horno y se dejará enfriar en aire calmado hasta la temperatura ambiente. Luego se abrirán las puertas del horno para la extracción <sup>[3]</sup>.

8. Al salir del horno, los elementos deben ser pulidos para efectuar los Controles no Destructivos Finales de partículas magnéticas, tintas penetrantes y de dureza.

Luego de esta actividad, se deben instalar los nuevos anillos laberínticos móviles, superiores e inferiores, los cuales deben ser instalados en caliente. Finalmente es necesario asegurar el acoplamiento de los anillos laberínticos <sup>[3]</sup>.

9. Finalizadas las actividades de reconstrucción de los perfiles dañados por el efecto de la abrasión por erosión y de los consiguientes controles para la verificación de la ausencia de defectos, se realiza el proceso de maquinado en un torno de eje vertical de Control Numérico <sup>[3]</sup>.

10. Terminadas las actividades de torneado se da el acabado final a los elementos, para lo cual se realiza un esmerilado de conformación de todos los perfiles y pulido de terminación de todas las superficies. También se debe realizar el balanceo estático al rodete, según la norma ISO 1940/1 Grado 6,3 <sup>[3]</sup>.

11. La Central Hidroeléctrica Agoyán debe cumplir con las actividades de inspección y verificación de las partes reparadas para constatar las actividades realizadas y aprobar el trabajo realizado <sup>[3]</sup>.

---

<sup>[3]</sup>HIDROAGOYÁN

Finalmente, si no existe ninguna contrariedad, las partes deben retornar a la Central cumpliendo los trámites pertinentes de movilización y traslado de los elementos <sup>[3]</sup>.

12. Cuando los elementos llegan a la Central Hidroeléctrica Agoyán un inspector de la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., debe estar presente en el montaje de los elementos reparados para constatar la correcta ejecución del proceso y verificar la entrada a funcionamiento de cada uno de ellos <sup>[3]</sup>.
13. **Garantías.-** La empresa ANDRITZ CHILE Ltda., garantiza la ejecución de las obras según el estándar y normas de calidad de ANDRITZ HYDRO y garantiza el material base de constitución de los rodets por 2 años u 8.000 horas de operación. Además garantiza el funcionamiento adecuado de los elementos.

En caso que se presente cualquier defecto por vicios efectivos debidos a las reparaciones por soldadura, será reconocido y reparado sin costos para HIDROAGOYÁN <sup>[3]</sup>.

#### **2.4.7.3 Materiales Utilizados en el Mantenimiento de las Turbinas**

**a.-** Cerámicos aplicados en el mantenimiento trimestral y anual.

##### **❖ (Belzona1311, Marca Comercial)**

Es un producto en pasta de dos componentes basado en la mezcla de una aleación de acero de silicio cerámico suspendida en una matriz polimérica y reactivos de peso molecular alto. No es maquinable y está diseñado para reconstruir metales.

Ofrece protección contra los efectos de la corrosión y erosión en equipos de manejo de fluidos <sup>[3]</sup>.

---

<sup>[3]</sup>HIDROAGOYÁN

❖ **(Belzona 1811 y 1812, Marca Comercial)**

Es un producto en pasta de dos componentes basado polímeros y oligómeros de peso molecular alto junto con agregados cerámicos resistentes a la abrasión. Este material está diseñado para proteger superficies contra el ataque abrasivo <sup>[3]</sup>.

❖ **(Belzona 1321, Marca Comercial)**

Es un producto en pasta de dos componentes basado en la mezcla de una aleación de acero de silicio con polímeros y oligómeros reactivos de peso molecular alto.

Una vez fraguado, el material es resistente y duradero. Es maquinable y posee propiedades auto lubricantes <sup>[3]</sup>.

**b.- Material de aporte para la soldadura:**

Los procesos de soldadura que se utilizan en la reconstrucción y rehabilitación de las partes de las turbinas son la soldadura manual por arco eléctrico (SMAW) y TIG (GTAW).

Los materiales de aporte que se utilizan son electrodos básicos para el acero inoxidable 13/4 **E410NiMo** de diferentes diámetros (3/32", 1/8" y 5/32") y las varillas para soldadura TIG son de 1mm de diámetro <sup>[3]</sup>.



**Figura 2.10 Material de aporte utilizado en los procesos de soldadura de las partes de las turbinas (HIDROAGOYÁN)**

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

#### 2.4.7.4 Costos de Reparación de las Turbinas

Según datos de las reparaciones anteriores facilitados por la empresa, los costos de reparación se encuentran definidos de siguiente manera:

**Tabla 2.1 Costos de Reparación de las Turbinas**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	Rehabilitación mecánica del rodete ( incluye la rehabilitación del cono de salida del rodete sin variar el costo final)	\$ 524.200,00
2	Rehabilitación mecánica de la tapa superior del distribuidor de la turbina.	\$ 327.600,00
3	Rehabilitación mecánica del juego de 20 alabes directrices móviles del distribuidor de la turbina.	\$ 216.200,00
4	Transporte marítimo de todos los componentes desde Ecuador a Chile y viceversa, incluyendo todos los transportes terrestres especiales y los trámites aduaneros para la importación temporal a Chile y reexportación a Ecuador.	\$ 160.200,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 1.228.200,00</b>

(HIDROAGOYÁN)

#### 2.4.8 TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Una vez concluido con las reparaciones con soldadura y previo al mecanizado final, se procede a dar los tratamientos térmicos necesarios para la recuperación de las características del material, así como también para aliviar las tensiones internas que se producen en el mismo debido a los procesos de reparación.

**Concepto.-** El tratamiento térmico es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido a temperaturas y condiciones determinadas para cambiar sus propiedades mecánicas. Nunca alteran las propiedades químicas <sup>[14]</sup>.

<sup>[14]</sup> <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento-térmico>

**Características.-** Con el tratamiento térmico adecuado se pueden reducir los esfuerzos internos, el tamaño del grano, incrementar la tenacidad o producir una superficie dura con un interior dúctil <sup>[14]</sup>.

Para conocer a que temperatura debe elevarse el metal para que se reciba un tratamiento térmico es recomendable contar con los diagramas de cambio de fases como el de hierro-carbono. En este tipo de diagrama se especifican las temperaturas en las que suceden los cambios de fase (cambios de estructura cristalina), dependiendo de los materiales diluidos <sup>[14]</sup>.

**2.4.8.1 Desarrollo de los Tratamientos Térmicos.-** Los tratamientos térmicos, básicamente constan de tres fases:

- ★ Calentamiento hasta la temperatura fijada
- ★ Permanencia a la temperatura fijada, y
- ★ Enfriamiento desde la temperatura fijada hasta la temperatura ambiente.

**2.4.8.2 Calentamiento hasta la temperatura fijada.-** La elevación de temperatura debe ser uniforme, por lo que cuando se calienta una pieza se hace aumentando la temperatura muy lentamente o se va manteniendo un tiempo a temperaturas intermedias, antes del paso por los puntos críticos, este último es el calentamiento escalonado <sup>[14]</sup>.

**2.4.8.3 Permanencia a la temperatura fijada.-** Su fin es la completa transformación del constituyente estructural de partida. Puede considerarse como suficiente una permanencia de unos dos minutos por milímetro de espesor en el caso de querer obtener una austenización completa en el centro y superficie <sup>[14]</sup>.

Largos mantenimientos y sobre todo a altas temperaturas son "muy peligrosos" ya que el grano austenítico crece rápidamente dejando el acero con estructuras finales frágiles <sup>[14]</sup>.

---

<sup>[14]</sup> <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento-térmico>

**2.4.8.4 Enfriamiento desde la temperatura fijada hasta la temperatura ambiente.-** Este tiene que ser rigurosamente controlado en función del tipo de tratamiento que se realice <sup>[14]</sup>.

**2.4.8.5 Propiedades Mecánicas de los Materiales.-** Las características mecánicas de un material dependen tanto de su composición química como de la estructura cristalina que tenga <sup>[14]</sup>.

Los tratamientos térmicos modifican esa estructura cristalina sin alterar la composición química, dando a los materiales unas características mecánicas concretas, mediante un proceso de calentamientos y enfriamientos sucesivos hasta conseguir la estructura cristalina deseada <sup>[14]</sup>.

Entre estas características están: Resistencia al desgaste, Tenacidad, Maquinabilidad y Dureza

★ **Resistencia al Desgaste.-** Es la resistencia que ofrece un material a dejarse erosionar cuando está en contacto de fricción con otro material.

★ **Tenacidad.-** Es la capacidad que tiene un material de absorber energía sin producir fisuras (resistencia al impacto).

★ **Maquinabilidad.-** Es la facilidad que posee un material de permitir el proceso de mecanizado por arranque de viruta.

★ **Dureza.-** Es la resistencia que ofrece un acero para dejarse penetrar. Se mide en unidades BRINELL (HB) o unidades ROCKWEL C (HRC) <sup>[14]</sup>.

#### **2.4.8.6 Mejora de las Propiedades a Través del Tratamiento Térmico**

Las propiedades mecánicas de las aleaciones de un mismo metal, y en particular de los aceros, residen en la composición química de la aleación que la forma y el tipo de tratamiento térmico a los que se les somete. Los tratamientos térmicos modifican la estructura cristalina que forman los aceros sin variar la composición química de los mismos <sup>[14]</sup>.

<sup>[14]</sup> <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento-térmico>

Esta propiedad de tener diferentes estructuras de grano con la misma composición química se llama polimorfismo y es la que justifica los tratamientos térmicos. Técnicamente el polimorfismo es la capacidad de algunos materiales de presentar distintas estructuras cristalinas, con una única composición química, el diamante y el grafito son polimorfismos del carbono. La  $\alpha$ -ferrita, la austenita y la  $\delta$ -ferrita son polimorfismos del hierro. Esta propiedad en un elemento químico puro se denomina alotropía <sup>[14]</sup>.

#### 2.4.6.7 Propiedades Mecánicas del Acero

El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su utilización en la industria metalmeccánica <sup>[14]</sup>.

Los otros principales elementos de composición son el cromo, tungsteno, manganeso, níquel, vanadio, cobalto, molibdeno, cobre, azufre y fósforo. A estos elementos químicos que forman del acero se les llama componentes, y a las distintas estructuras cristalinas o combinación de ellas constituyentes <sup>[14]</sup>.

Los elementos constituyentes, según su porcentaje, ofrecen características específicas para determinadas aplicaciones, como herramientas, cuchillas, soportes, etc. La diferencia entre los diversos aceros, depende tanto de la composición química de la aleación de los mismos, como del tipo de tratamiento térmico a los que se les somete <sup>[14]</sup>.

#### 2.4.9 TIPOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS

**2.4.9.1 Tratamientos en la masa:** recocidos, normalizados y revenidos.

**a. Recocido.-** Los aceros inoxidables y al carbono, y los materiales no ferrosos se recuecen para activar la relajación de los esfuerzos internos y dar paso a un producto más suave. Este proceso se puede llevar a cabo en muchos tipos de hornos por lotes o continuos a temperaturas por debajo de su temperatura de transformación de fase <sup>[14]</sup>.

<sup>[14]</sup> <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento-térmico>

**b. Revenido.-** Después del temple, los aceros suelen quedar demasiado duros y frágiles para los usos a los que están destinados.

Esto se corrige con el proceso del revenido, este proceso consiste en calentar el acero a una temperatura más baja que su temperatura crítica inferior, enfriándolo luego al aire, en aceite o en agua, con esto no se eliminan los efectos del temple, solo se modifican, se consigue disminuir la dureza, resistencia, y las tensiones internas, y se aumenta la tenacidad <sup>[14]</sup>.

#### **2.4.9.2 Tratamientos superficiales: temple superficial**

**a. Temple.-** El temple es un tratamiento térmico que consiste en enfriar muy rápidamente, la mezcla austenítica homogénea, que tenemos después de calentar el acero, con este enfriamiento rápido se consigue un aumento de dureza, ya que el resultado microscópico final es una mezcla martensítica <sup>[14]</sup>.

Existen varios métodos para la etapa de enfriamiento en el temple y en la actualidad el más adecuado es el temple con gases ya que es una solución respetuosa con el medioambiente alternativa a las aplicaciones de temple en baño de aceite o sal <sup>[14]</sup>.

**2.4.7.3 Tratamientos Termoquímicos.-** Entre los principales tratamientos termoquímicos tenemos: Carbonitruración o Cementación, Carburización, Cianurización y Nitrurización <sup>[14]</sup>.

**a. Carbonitruración o Cementación.-** Las superficies de las piezas de acero terminadas se endurecen al calentarlas con compuestos de carbono o nitrógeno debido a que se incorporan a la superficie de los componentes de acero y se propaga para producir una capa martensítica dura después del temple <sup>[14]</sup>.

**b. Carburización.-** La pieza se calienta manteniéndola rodeada de carbón vegetal, coque o gases de carbono <sup>[14]</sup>.

<sup>[14]</sup> <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento-térmico>



**c. Cianurización.-** Se introduce el metal en un baño de sales de cianuro, logrando así que endurezca <sup>[14]</sup>.

**d. Nitrurización:** Se usa para endurecer aceros de composición especial mediante su calentamiento en amoníaco gaseoso <sup>[14]</sup>.

#### **2.4.10 FORMAS DE CALENTAMIENTO DE LOS HORNOS DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS**

Las principales formas de proporcionar el calentamiento a los hornos de tratamientos térmicos para que alcancen la temperatura esperada son: El Calentamiento por Gas y Calentamiento por Resistencia Eléctrica.

**1.- El Calentamiento por Gas.-** Los hornos de gas pueden ser del tipo de fuego directo, en el cual los productos de la combustión entran a la cámara de calentamiento. Alternativamente, pueden ser de combustión indirecta, de manera que la cámara del horno quede aislada de los productos de la combustión <sup>[15]</sup>.

Un tercer tipo de horno calentado por gas, es el de tubos radiantes, en el cual un gas en combustión dentro de tubos metálicos, que se proyecta dentro de la cámara de calentamiento, y que constituyen la fuente de calor radiante <sup>[15]</sup>.

El calentamiento por gas tiene como ventaja la economía y como inconveniente la dificultad del control de la temperatura. La temperatura alcanzada por el horno suele llegar a 1100 °C y el control de la atmósfera es muy difícil por ello se emplea poco este proceso de calentamiento para tratamientos térmicos <sup>[15]</sup>.

#### **2.- Calentamiento por Resistencia Eléctrica**

Es el más usado para los hornos de tratamiento térmicos que aprovecha el calor generado según la ley de joule. La disposición de la resistencia da nombre a los hornos, que son de tipo mufla o caja, la resistencia está instalada a lo largo de las paredes interiores y por lo tanto en contacto con las paredes del horno <sup>[15]</sup>.

<sup>[14]</sup> <http://www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento-térmico>

<sup>[15]</sup> [www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r72152.DOCX](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r72152.DOCX)

El material de la resistencia suele ser nicrom (Níquel 70%, Cromo 30%), que alcanza temperaturas de 1100 °C y de aleación de carburo de silicio que alcanza temperaturas de 1300 °C <sup>[15]</sup>.

Para lograr temperaturas superiores se utilizan resistencias de molibdeno (1800 °C), de tungsteno (2500 °C), y de grafito (2700 °C). Para temperaturas aun mayores se utilizan los hornos de inducción (3000 °C) <sup>[15]</sup>.

#### **2.4.11 HORNOS INDUSTRIALES**

Los principales Hornos Industriales para el tratamiento térmico de materiales férricos y no férricos son:

##### **a.- Horno TSCG/E o Carro**

Horno de Cámara por lotes, provisto de solera móvil a modo de carro de carga, para tratamientos térmicos, tales como: normalizado, austenizado, temple, recocido, revenido y calentamiento de piezas fundidas de acero, trabajando en un amplio rango de temperaturas (300°-1250°C) <sup>[16]</sup>.



**Figura 2.11 Horno de Cámara por lotes Tipo Carro**  
([www.insertec.biz](http://www.insertec.biz))

Sistema de calentamiento mediante quemadores a gas (TSCG) o resistencias eléctricas (TSCE). La instalación se puede completar con otros componentes auxiliares: carro portacarros, estación de enfriamiento natural o forzado, etc. <sup>[16]</sup>.

<sup>[15]</sup> [www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r72152.DOCX](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r72152.DOCX)

<sup>[16]</sup> <http://www.insertec.biz/Tratamiento%20T%E9rmico=Hornos>

### **b.- Horno TMCG/E o Cámara**

Horno de Cámara por lotes, provisto de una máquina de carga automática que transfiere y apoya la carga sobre los machones interiores de la solera fija del mismo, para tratamientos térmicos, tales como: normalizado, austenizado, temple, recocido, revenido y calentamiento de piezas fundidas de acero, trabajando en un amplio rango de temperaturas (300-1250°C) <sup>[16]</sup>.

Sistema de calentamiento mediante quemadores a gas (TMCG) o resistencias eléctricas (TMCE). La instalación se puede completar con otros componentes auxiliares: tanques de temple diseñados para usar agua, aceite o cualquier tipo de polímero como medio de enfriamiento, mesa de espera, estación de enfriamiento natural o forzado, etc. <sup>[16]</sup>.



**Figura 2.12 Horno de Cámara por lotes Tipo Cámara**  
([www.insertec.biz](http://www.insertec.biz))

### **c.- Horno TPRG/E o Pote**

Horno de Pote por lotes, de diseño tecnológicamente avanzado, para tratamientos térmicos altamente exigentes bajo atmósfera inerte o controlada, tales como: cementación, carbonitruración, nitruración, recocido, austenizado, normalizado, temple y revenido de piezas de acero. Sistema de calentamiento mediante quemadores a gas (TPRG) o resistencias eléctricas (TPRE) <sup>[16]</sup>.

Opcionalmente la instalación puede ser provista con retorta giratoria vertical o ventilador centrífugo de recirculación de atmósfera interna <sup>[16]</sup>.

<sup>[16]</sup> <http://www.insertec.biz/Tratamiento%20T%E9rmico=Hornos>



**Figura 2.13 Horno de Pote por Lotes**  
([www.insertec.biz](http://www.insertec.biz))

#### **d.- Horno TVCT/R o Vacío**

Horno de Vacío por lotes, de diseño innovador y tecnológicamente probado, para tratamientos térmicos altamente exigentes compuestos por una etapa de calentamiento convectivo al vacío bajo atmósfera inerte ( $N_2$  o Ar) y otra de enfriamiento a una sobrepresión máxima de 10 bares, tales como: desgasificación, recristalización, nitruración rápida, brazing, recocido brillante, sinterizado, temple y revenido a baja y alta temperatura de piezas de acero. Sistema de calentamiento mediante resistencias eléctricas <sup>[16]</sup>.



**Figura 2.14 Horno de Vacío por lotes**  
([www.insertec.biz](http://www.insertec.biz))

#### **e.- Horno TTIG/E o Tipo Transfer**

Horno de Cámara por lotes, con tanque de temple incorporado diseñado para usar aceite como medio de enfriamiento, que incorpora todos los equipos auxiliares necesarios formando una instalación compacta, para tratamientos térmicos altamente exigentes bajo atmósfera inerte o controlada, tales como: cementación, carbonitruración, nitruración, recocido, austenizado, normalizado, temple y revenido de piezas de acero <sup>[16]</sup>.

<sup>[16]</sup> <http://www.insertec.biz/Tratamiento%20T%E9rmico=Hornos>

Sistema de calentamiento mediante quemadores autorecuperantes a gas (TTIG) o resistencias eléctricas (TTIE), introducidos en tubos radiantes <sup>[16]</sup>.



**Figura 2.15 Horno de Cámara por Lotes Tipo Transfer**  
([www.insertec.biz](http://www.insertec.biz))

#### **f.- Horno TCRG/E o de Recirculación**

Horno de Cámara por lotes, provisto de un sistema de recirculación forzada del aire interior diseñado para cumplir con los más rigurosos requerimientos de uniformidad de temperatura de trabajo, para tratamientos térmicos, tales como: calentamiento y distensionado térmico de piezas de aleación inoxidable, deshidrogenado, solubilizado y envejecimiento artificial de piezas de aleación no férrea (aluminio, titanio, etc.) y curado (materiales compuestos, pinturas, etc.). Sistema de calentamiento mediante quemadores a gas (TCRG) o resistencias eléctricas (TCRE). Este tipo de instalaciones está certificado y homologado por los sectores industriales más exigentes, como son el Aeronáutico y Automoción <sup>[16]</sup>.



**Figura 2.16 Horno de Cámara por Lotes con Recirculación**  
([www.insertec.biz](http://www.insertec.biz))

<sup>[16]</sup> <http://www.insertec.biz/Tratamiento%20T%C9rmico=Hornos>

### g.- Horno de Paneles con Tapa Móvil

Horno de paneles provisto de tapa superior móvil para el ingreso de la carga. Diseñado para cumplir con los más rigurosos requerimientos de uniformidad de temperatura para tratamientos térmicos <sup>[3]</sup>.

Sistema de calentamiento mediante resistencias eléctricas.



**Figura 2.17 Horno de Paneles con Tapa Móvil en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda.**

**(HIDROAGOYÁN)**

### h.- Horno a Convección Forzada

Se utilizan para horneado de pintura, secado y precalentamiento de todo tipo de producto y para cualquier tipo de tratamiento térmico hasta 650 °C que requiera uniformidad de temperatura con circulación de aire <sup>[17]</sup>.



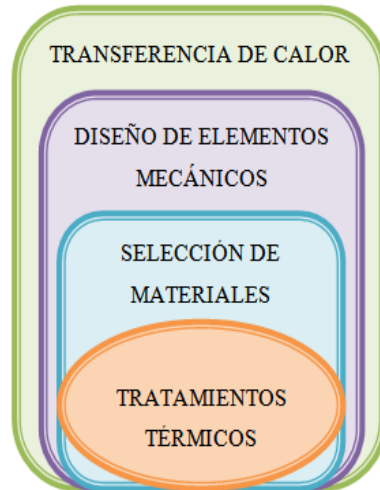
**Figura 2.18 Horno a Convección Forzada  
(www.caltec.com.ar)**

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN

<sup>[17]</sup> <http://www.caltec.com.ar>

## 2.4.13 GRÁFICO DE INCLUSIÓN INTERRELACIONADOS

### a. Variable Independiente



### b. Variable Dependiente



## 2.5 Hipótesis

Con un estudio que permita mejorar y facilitar los procedimientos, especialmente de los tratamientos térmicos que se dan en las partes de las turbinas, se pretende optimizar los recursos y minimizar los costos en los procesos de mantenimiento y reparación en la Central Hidroeléctrica Agoyán.

## **2.6 Señalamiento de Variables de la Hipótesis**

**2.6.1 Variable Independiente:** Estudio que permita mejorar y facilitar los procedimientos, especialmente de los tratamientos térmicos que se dan en las partes de las turbinas

**2.6.2 Variable Dependiente:** Optimizar los recursos y minimizar los costos en los procesos de mantenimiento y reparación en la Central Hidroeléctrica Agoyán.

**2.6.3 Indicadores:** Se pretende



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3 ENFOQUE**

La presente investigación se desarrollará en base al enfoque cuantitativo que orienta la investigación en base a técnicas cuantitativas o numéricas hacia la comprensión del problema que va a ser objeto de nuestro estudio.

Este enfoque orienta hacia el descubrimiento de la hipótesis, pone énfasis en el proceso de investigación, formula una hipótesis lógica que será resuelta en base a interrogantes, datos numéricos, métodos estadísticos, etc. Se orienta en los aspectos observables y susceptibles de cuantificar.

Se trabajará con una población pequeña que facilitará el desarrollo del trabajo de campo con la intervención de todas las personas que están relacionadas con el tema de investigación.

#### **3.1.- MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

El desarrollo del problema de investigación se desarrollará en base a la combinación de las siguientes modalidades de investigación: bibliográfica o documental, de campo, y experimental.

**3.1.1 Bibliográfica o Documental.-** Esta investigación se enfoca en esta modalidad debido a que se requiere detectar, ampliar y profundizar la información ya existente en los libros y demás fuentes bibliográficas, que serán un apoyo sustentable para el desarrollo de la misma, para aplicar los parámetros necesarios ya establecidos.

**3.1.2 De Campo.-** Es una investigación de campo porque implica la realización de estudios en situaciones naturales y que permitan con mayor libertad generalizar los resultados de las pruebas realizadas en la empresa tanto para la detección como para la corrección de las fallas.

Se estará en contacto directo con la fuente del problema y se utilizarán diferentes técnicas de localización, fijación y análisis de datos y contenidos que la empresa posee de las reparaciones anteriores y del mantenimiento realizado como una base para la solución del problema.

Además se tendrá una visualización directa de las partes a estudiar y a su vez del daño que sufren como consecuencia del trabajo que realizan y las soluciones que se deben aplicar para corregir las fallas existentes y las mejoras que se pueden adoptar para evitar daños posteriores.

**3.1.3 Experimental.-** Se aplicará este tipo de investigación con la finalidad de observar los efectos en los costos de reparación de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán al optimizar los tiempos de reparación y mejorar los tratamientos térmicos.

## **3.2 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

**3.2.1 Exploratoria.-** En el presente estudio se utiliza la investigación exploratoria porque permite familiarizarse con la realidad a estudiarse, identificando el problema de investigación, formulando hipótesis. Además ayuda a obtener, con relativa rapidez, ideas y conocimientos, para encontrar una metodología más apropiada a la realidad a investigarse.

**3.2.2 Descriptiva.-** Se utiliza esta investigación porque ayuda a estudiar el comportamiento de las variables; en vista que su objetivo central es la descripción de fenómenos a través de estudios correlacionales y de desarrollo para su determinación.

**3.2.3 Asociación de Variables.-** Este tipo de investigación se aplicará en este proyecto con el objetivo de evaluar las variaciones en el comportamiento de las variables.

Es decir permitirá determinar la minimización de los costos de reparación de las partes de las turbinas de la Central al bajar los costos de los tratamientos térmicos.

**3.2.4 Explicativa.-** Con esta investigación se medirá el grado de relación que existen entre las variables a la vez que permitirá explicar las causas de ciertos comportamientos que sufren los materiales luego de ser sometidos a los tratamientos térmicos.

### **3.3.- POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.3.1.- POBLACIÓN**

La población de estudio está integrada por los Jefes y el personal de Mantenimiento Mecánico de la Central Hidroeléctrica Agoyán designados para la elaboración de este proyecto.

#### **3.3.2.- MUESTRA**

No se aplicará ningún tipo de muestreo para determinar el tamaño de la muestra, ya que la población a investigarse es medible y está compuesta por el Jefe de la Central, el Jefe de Mantenimiento Mecánico, el Supervisor del Taller Mecánico y demás trabajadores de Mantenimiento Mecánico de la Central Hidroeléctrica Agoyán, en consecuencia se trabajará con toda la población.

### 3.4.- OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**3.4.1.- Variable Independiente:** Estudio que permita mejorar y facilitar los procedimientos, especialmente de los tratamientos térmicos que se dan en las partes de las turbinas

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<b>Tratamiento Térmico</b>  Es la operación de calentamiento y enfriamiento de un metal en su estado sólido a temperaturas y condiciones determinadas para cambiar sus propiedades mecánicas. Nunca alteran las propiedades químicas.	Operación de calentamiento y enfriamiento	Sensor de temperatura	¿Cuál es la temperatura adecuada para realizar los tratamientos térmicos de acuerdo al material de los elementos?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas
	Condiciones determinadas	Tiempo { Calentamiento Permanencia Enfriamiento	¿En qué tiempo se alcanzan las condiciones necesarias para el tratamiento térmico?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas
		Estado de la atmósfera	¿Cuáles son las características necesarias de la atmósfera para obtener un tratamiento óptimo?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas
	Propiedades mecánicas	Resistencia al impacto Resistencia al desgaste Maquinabilidad Dureza	¿Qué características mecánicas se deben obtener a través del tratamiento térmico?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas

**3.4.2.- Variable Dependiente:** Optimizar los recursos y minimizar los costos en los procesos de reparación en la Central Hidroeléctrica Agoyán.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>Optimización de Recursos y Minimización de Costos</b></p> <p>Es la correcta utilización de los recursos económicos y los tiempos de trabajo en la reparación de las partes de turbina cada vez que se requiera el mantenimiento correctivo.</p>	Recursos Económicos	Cantidad de material empleado en las reparaciones	¿Qué materiales se utilizan en la reparación y tratamientos térmicos?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas
		Costos totales de reparación	¿Cuál es el costo total de la reparación de las partes de las turbinas?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas
	Reparación de las partes de turbina	Cantidad de desgaste presente	¿Qué fallas se presentan generalmente en las partes de las turbinas?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas
		Ensayos no destructivos	¿Qué tipo de pruebas se realizan para determinar que los elementos ya necesitan reparación?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas
	Mantenimiento Correctivo	Periodicidad con la que se da el mantenimiento correctivo	¿Con qué frecuencia se da el mantenimiento correctivo de las partes de las turbinas?	Entrevista-Cuestionario-Jefe de Mantenimiento Mecánico de la Casa de Máquinas

### 3.5.- RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la presente investigación se aplicarán los siguientes tipos de observación: Observación Directa, Observación Indirecta y Observación de Campo.

La Central Hidroeléctrica Agoyán facilitara el ingreso a las instalaciones de la empresa por lo cual se tendrá la oportunidad de ver y estudiar las partes de las turbinas directamente. La empresa también facilitará la información necesaria para el desarrollo de la investigación.

#### 3.5.1 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

**Tabla 3.1 Plan de Recolección de la Información**

<b>PREGUNTAS BÁSICAS</b>	<b>EXPLICACIÓN</b>
1. ¿Para qué?	Para alcanzar los objetivos de la investigación.
2. ¿De qué persona?	Del personal de la Central Hidroeléctrica Agoyán.
3. ¿Sobre qué aspecto?	Tratamientos térmicos que se realizan en las partes de las turbinas y costos de reparación.
4. ¿Quién?	Investigador: Carlos Fernando Sánchez Robalino.
5. ¿Cuándo?	Desde Mayo del 2010 hasta Junio del 2010.
6. ¿Dónde?	Central Hidroeléctrica Agoyán.
7. ¿Cuántas veces?	Durante toda la investigación.
8. ¿Qué técnica de recolección?	Encuestas, observación y entrevistas.
9. ¿Con qué?	Cuestionarios estructurados.
10. ¿En qué situación?	Situación actual de la empresa, costos de reparación y mantenimiento.

**(Carlos Fernando Sánchez Robalino)**

### 3.5.2 TIPOS DE OBSERVACIÓN

**a. Observación Directa.-** Se aplicará este tipo de observación para visualizar directamente las fallas que se producen en cada una de las partes de las turbinas y de este modo determinar las soluciones que se deben tomar en el momento de la reparación.

**b. Observación Indirecta.-** Esta se utilizará cuando sea necesario recurrir a los datos e información de las reparaciones anteriores para constatar los detalles que ayuden con la investigación y establecer las mejoras que se pueden dar para minimizar los costos de reparación.

**c. Observación de Campo.-** Esta observación está dentro de la investigación porque gracias al apoyo de la Central Hidroeléctrica Agoyán, gran parte de la investigación se realizará en la misma empresa, de manera que se estará en contacto directo con el problema a investigarse.

### 3.5.3 TIPOS DE ENTREVISTA

En vista que los jefes y empleados de la Central Hidroeléctrica Agoyán brindarán las facilidades necesarias para la observación y estudio de las partes de las turbinas y se estará en contacto directo con los mismos se aplicarán los siguientes tipos de entrevista:

**a. Entrevista estructurada.-** Será necesaria cuando se requiera información de los diferentes grupos de trabajo que la Central Hidroeléctrica Agoyán posee para realizar el análisis desde los diferentes puntos de vista de cada área de trabajo.

**b. Entrevista no estructurada.-** Esta será aplicada cuando se requiera información únicamente de un trabajador o jefe de la Central Hidroeléctrica Agoyán en base al cargo que desempeña en la empresa así como también a la experiencia y conocimiento que posea.

### **3.6 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

★ Para procesar la información recolectada en las encuestas y la entrevista, se procederá de la siguiente manera:

1. Análisis, revisión y clasificación de la información.
2. Analizar y tabular los datos obtenidos. La tabulación se realizará de forma manual, según variables de hipótesis y objetivos.
3. Elaboración de cuadros estadísticos que permitan interpretar los resultados tabulados de las encuestas.



## CAPITULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Este capítulo tiene como objetivo analizar e interpretar la información obtenida en las encuestas y las entrevistas realizadas al personal de la Central Hidroeléctrica Agoyán. Con los datos recolectados se realiza un análisis estadístico, incluida una representación gráfica, que permite visualizar con mayor facilidad los resultados conseguidos.

Los resultados de las encuestas nos permitirán conocer y evaluar la posibilidad de que la Central Hidroeléctrica Agoyán, cuente en un futuro no muy lejano, con un Horno de Tratamientos Térmicos para la recuperación de las partes de las turbinas y determinarán si con la construcción del mismo se minimizarán los costos de reparación, así como también los costos de mantenimiento.

##### 4.1.1 Resultado de las Encuestas

**GRUPO OBJETIVO:** Trabajadores del Área de Mantenimiento Mecánico de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

##### Pregunta N°1

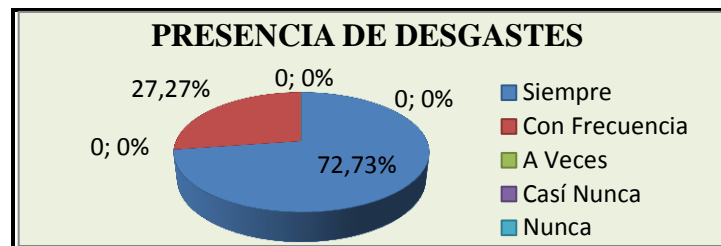
El desgaste o fallas en las partes móviles de las turbinas se presentan:

- a. Siempre ( )
- b. Con Frecuencia ( )
- c. A Veces ( )
- d. Casi Nunca ( )
- e. Nunca ( )

**Tabla 4.1 Presencia del desgaste en las partes de Turbina**

<b>X</b>	<b>F</b>	<b>F'</b>
Siempre	16	72,73%
Con Frecuencia	6	27,27%
A Veces	0	0,00%
Casi Nunca	0	0,00%
Nunca	0	0,00%
$\Sigma$	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

(Fernando Sánchez)



**Figura 4.1 Presencia de desgaste en la partes de Turbina.**  
(Fernando Sánchez)

El 72,73% del Personal de Mantenimiento de la Central indican que la presencia del desgaste en las partes móviles aparece siempre, mientras el 27,27% señala que aparece con frecuencia; lo cual nos indica que el deterioro se va dando constantemente debido al trabajo que realizan.

### Pregunta N°2

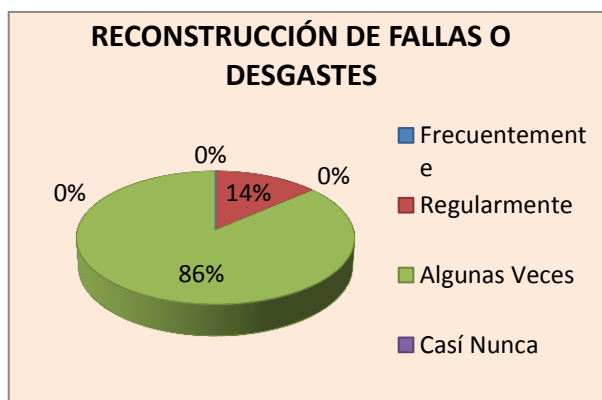
La reconstrucción de estas fallas o desgastes con soldadura se realizan:

- a. Frecuentemente ( )
- b. Regularmente ( )
- c. Algunas Veces ( )
- d. Casi Nunca ( )
- e. Nunca ( )

**Tabla 4.2 Reconstrucción de fallas o desgastes**

<b>X</b>	<b>F</b>	<b>F'</b>
Frecuentemente	0	0,00%
Regularmente	3	13,64%
Algunas Veces	19	86,36%
Casi Nunca	0	0,00%
Nunca	0	0,00%
$\Sigma$	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

(Fernando Sánchez)



**Figura 4.2 Reconstrucción de fallas o desgastes (Fernando Sánchez)**

El 86% del Personal de Mantenimiento de la Central indica que la reconstrucción de las fallas con soldadura se realiza únicamente algunas veces, mientras el 14% señala que se lo hace regularmente. Según la explicación de los encuestados esto se da debido a que se utilizan alternativas como la aplicación de cerámicos para recubrir estos desperfectos, una solución costosa y de poca duración por la falta de un centro de mecanizado y recuperación en el sector.

Esto justifica que a pesar que el desgaste es constante la reparación con soldadura no se la realiza con mayor frecuencia.

### Pregunta N°3

Actualmente el proceso mencionado se lo realiza:

- a. En la Central ( )
- b. Dentro de la provincia ( )
- c. En el país ( )
- d. Fuera del país ( )

**Tabla 4.3 Lugar de Reconstrucción de fallas con soldadura**

<b>X</b>	<b>F</b>	<b>F'</b>
En la Central	0	0,00%
Dentro de la Provincia	0	0,00%
En el País	0	0,00%
Fuera del País	22	100,00%
<b>Σ</b>	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**



**Figura 4.3 Lugar de Reconstrucción de fallas con soldadura (Fernando Sánchez)**

El 100% del Personal de Mantenimiento de la Central indican que la reconstrucción de las fallas, con el proceso de relleno con soldadura, se realiza exclusivamente fuera del país, en vista que aquí en el Ecuador no existe un establecimiento en el cual se puedan desarrollar estas actividades debido al volumen de los elementos de turbina.

**Pregunta N°4**

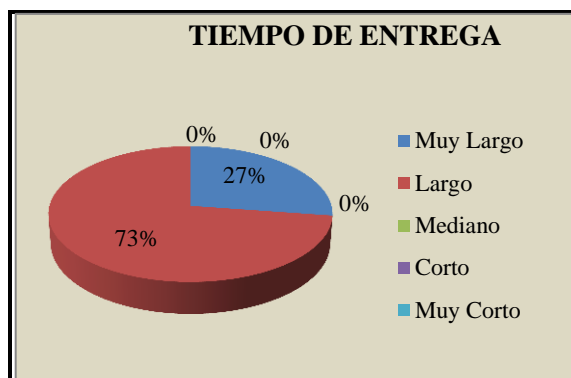
El tiempo de entrega de las partes enviadas a reconstruir es:

- a. Muy Largo ( )
- b. Largo ( )
- c. Mediano ( )
- d. Corto ( )
- e. Muy Corto ( )

**Tabla 4.4 Tiempo de entrega de las partes reparadas**

<b>X</b>	<b>F</b>	<b>F'</b>
Muy Largo	6	27,27%
Largo	16	72,73%
Mediano	0	0,00%
Corto	0	0,00%
Muy Corto	0	0,00%
<b>Σ</b>	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**



**Figura 4.4 Tiempo de entrega de las partes reparadas (Fernando Sánchez)**

Como se puede apreciar en el gráfico, el 73% del Personal de Mantenimiento revelan que el tiempo de entrega de las partes enviadas a reparar en el exterior es largo, mientras el 27% manifiesta que es un tiempo muy largo, lo cual nos permite determinar que existe un tiempo excesivo en la reconstrucción, causado por la dificultad de movilización de los elementos.

### Pregunta N°5

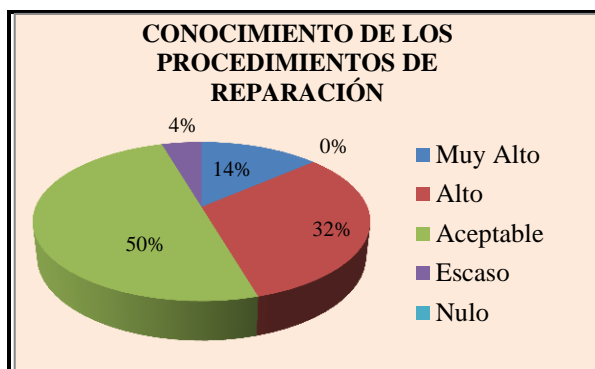
¿Tiene usted un conocimiento de los procedimientos que se aplican para la reconstrucción de los desgastes, a través de la soldadura?

- a. Muy Alto ( )
- b. Alto ( )
- c. Aceptable ( )
- d. Escaso ( )
- e. Nulo ( )

**Tabla 4.5 Conocimiento de los Procedimientos de reparación**

X	F	F'
Muy Alto	3	13,64%
Alto	7	31,82%
Aceptable	11	50,00%
Escaso	1	4,55%
Nulo	0	0,00%
$\Sigma$	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**



**Figura 4.5 Conocimiento de los Procedimientos de reparación (Fernando Sánchez)**

El 50% del Personal de Mantenimiento de la Central menciona que tienen un conocimiento aceptable de los procedimientos de reparación que se aplican a las partes afectadas, mientras el 50% restante varía en tener un conocimiento alto, muy alto y escaso; lo cual nos indica que a pesar de realizar estas actividades en otro país el personal tiene un conocimiento teórico considerable al respecto.

#### **Pregunta N°6**

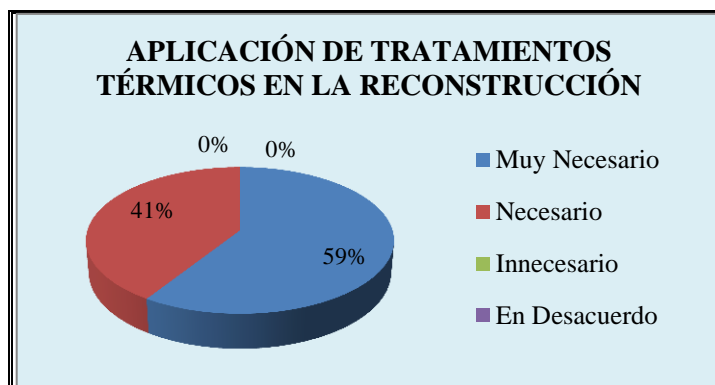
¿Está al tanto si en la reconstrucción por soldadura de los elementos afectados por los desgastes y fallas es necesario aplicar algún Tratamiento Térmico?

- a. Muy Necesario ( )
- b. Necesario ( )
- c. Innecesario ( )
- d. En Desacuerdo ( )

**Tabla 4.6 Aplicación de Tratamientos Térmicos en la Reconstrucción**

<b>X</b>	<b>F</b>	<b>F'</b>
Muy Necesario	13	59,09%
Necesario	9	40,91%
Innecesario	0	0,00%
En Desacuerdo	0	0,00%
<b>Σ</b>	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**



**Figura 4.6 Aplicación de Tratamientos Térmicos en la Reconstrucción (Fernando Sánchez)**

El 59% del Personal de Mantenimiento de la Central señala que en la reconstrucción por soldadura de los elementos afectados por los desgastes y fallas es muy necesario la aplicación de Tratamientos Térmicos, mientras el 41% indica que este proceso es necesario lo cual implica que los tratamientos térmicos a las partes reparadas son de mucha importancia y son esenciales para la que estos elementos queden en perfectas condiciones.

**Pregunta N°7**

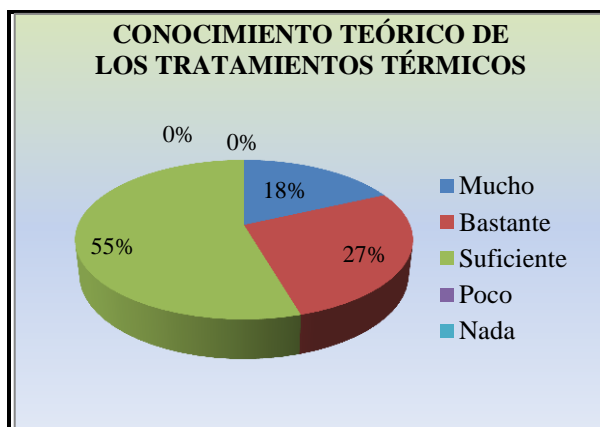
Su conocimiento teórico de los Tratamientos Térmicos que se deben aplicar es:

- a. Mucho ( )
- b. Bastante ( )
- c. Suficiente ( )
- d. Poco ( )
- e. Nada ( )

**Tabla 4.7 Conocimiento Teórico de los Tratamientos Térmicos**

X	F	F'
Mucho	4	18,18%
Bastante	6	27,27%
Suficiente	12	54,55%
Poco	0	0,00%
Nada	0	0,00%
$\Sigma$	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**



**Figura 4.7 Conocimiento Teórico de los Tratamientos Térmicos (Fernando Sánchez)**

El conocimiento teórico del personal de Mantenimiento de la Central en cuanto a los tratamientos térmicos que se aplican en la reconstrucción es muy bueno, puesto que el 55% dice que tiene un conocimiento suficiente, el 27% señala que tiene bastante conocimiento al respecto y el 18% indica que tiene mucho conocimiento en el tema.

### Pregunta N°8

Estima usted que el costo de los Tratamientos Térmicos que se dan en la reconstrucción de los elementos desgastados es:

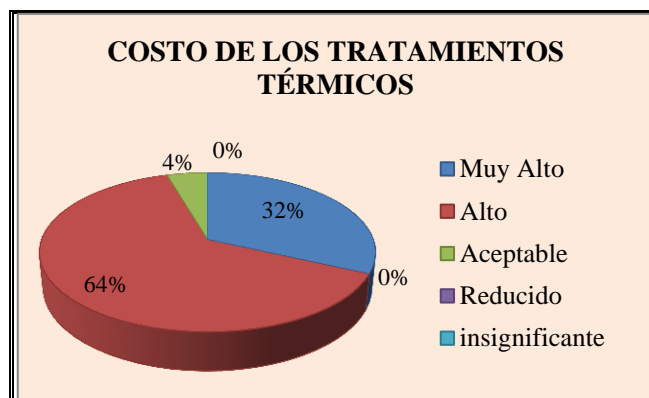
- a. Muy Alto ( )
- b. Alto ( )
- c. Aceptable ( )
- d. Reducido ( )
- e. Insignificante ( )

**Tabla 4.8 Costo de los Tratamientos Térmicos**

X	F	F'
Muy Alto	7	31,82%
Alto	14	63,64%
Aceptable	1	4,55%
Reducido	0	0,00%
insignificante	0	0,00%
$\Sigma$	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**





**Figura 4.8 Costo de los Tratamientos Térmicos (Fernando Sánchez)**

De acuerdo al gráfico se puede apreciar que el costo de los tratamientos térmicos, en el proceso de reconstrucción de los elementos de turbina, es bastante elevado, pues el 64% de los encuestados señala que tiene un costo alto, el 32% manifiesta que el costo es muy alto y únicamente el 4% afirma que el costo es aceptable.

#### Pregunta N°9

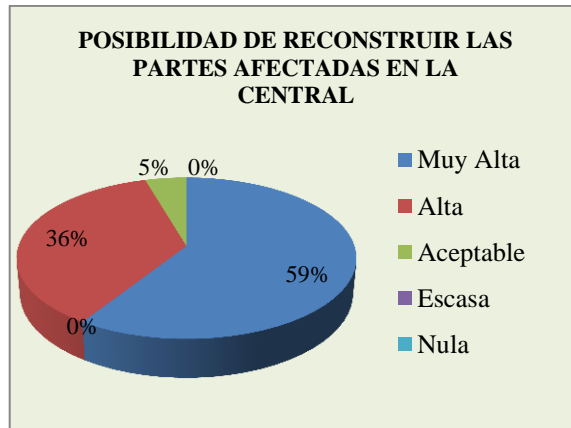
¿Cuál cree usted que sería la posibilidad que la Central pueda reconstruir las partes móviles de las turbinas en sus instalaciones con un Centro de Mecanizado?

- a. Muy Alta ( )
- b. Alta ( )
- c. Aceptable ( )
- d. Escasa ( )
- e. Nula ( )

**Tabla 4.9 Posibilidad de Reconstruir las Partes Afectadas en la Central**

X	F	F'
Muy Alta	13	59,09%
Alta	8	36,36%
Aceptable	1	4,55%
Escasa	0	0,00%
Nula	0	0,00%
$\Sigma$	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**



**Figura 4.9** Posibilidad de Reconstruir las Partes Afectadas en la Central (Fernando Sánchez)

El personal encuestado es muy optimista en poder reconstruir las partes afectadas en la Central en un futuro a través de la creación del Centro de Mecanizado y Recuperación de turbinas, ya que el 59% afirma que es muy alta, el 36% señala que es alta y solo el 5% dice que es aceptable esta posibilidad.

### Pregunta N°10

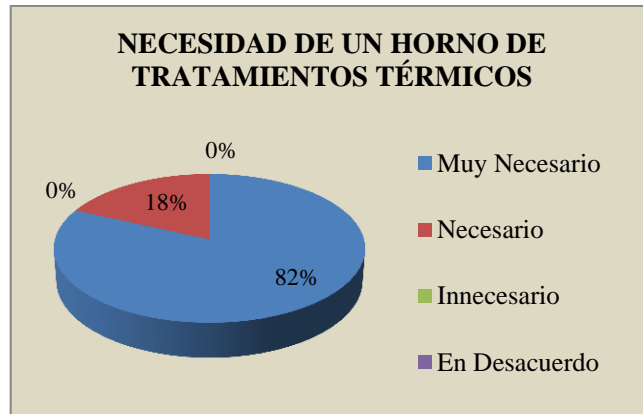
¿Piensa usted que el Centro de Mecanizado y Recuperación de las Turbinas que se pretende crear en la Central debe tener un horno de Tratamientos Térmicos?

- a. Muy Necesario ( )
- b. Necesario ( )
- c. Innecesario ( )
- d. En Desacuerdo ( )

**Tabla 4.10** Necesidad de un Horno de Tratamientos Térmicos

X	F	F'
Muy Necesario	18	81,82%
Necesario	4	18,18%
Innecesario	0	0,00%
En Desacuerdo	0	0,00%
$\Sigma$	22	100,00%

(Fernando Sánchez)



**Figura 4.10 Necesidad de un Horno de Tratamientos Térmicos (Fernando Sánchez)**

Según el gráfico se aprecia que el Horno de Tratamientos Térmicos es de vital importancia para la reconstrucción de las partes de turbina, en vista que el 82% del Personal de Mantenimiento de la Central señala que es muy necesario y el 18% indica que es necesario.

### Pregunta N°11

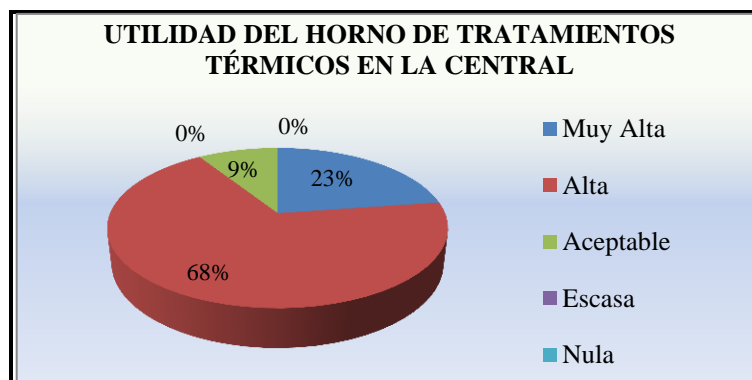
¿Cuál cree usted que fuese la utilidad de un Horno de Tratamientos Térmicos en la Central?

- a. Muy Alta ( )
- b. Alta ( )
- c. Aceptable ( )
- d. Escasa ( )
- e. Nula ( )

**Tabla 4.11 Utilidad del Horno de Tratamientos Térmicos en la Central**

<b>X</b>	<b>F</b>	<b>F'</b>
Muy Alta	5	22,73%
Alta	15	68,18%
Aceptable	2	9,09%
Escasa	0	0,00%
Nula	0	0,00%
<b>Σ</b>	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**



**Figura 4.11 Utilidad del Horno de Tratamientos Térmicos en la Central (Fernando Sánchez)**

El 68% del Personal de Mantenimiento de la Central señala que la utilidad de un Horno de Tratamientos Térmicos en la Central sería alta, mientras el 23% indica que sería muy alta y el 9% dice que sería aceptable. Con esto confirmamos que el Horno no se lo utilizaría únicamente en las reparaciones y que será de mucha utilidad en múltiples actividades para la empresa.

### Pregunta N°12

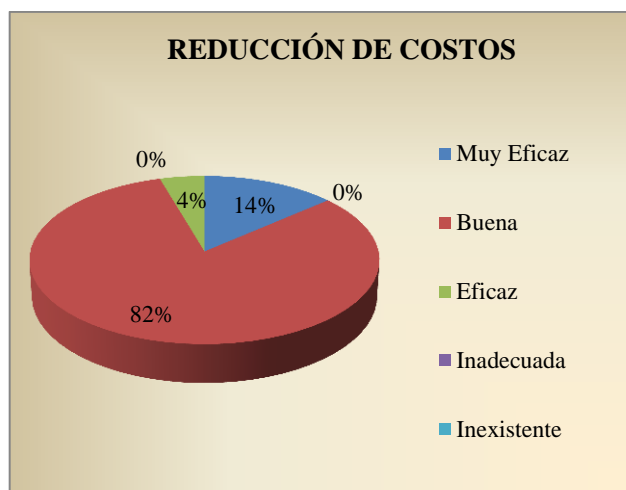
Considera usted que al reconstruir los elementos desgastados en las instalaciones de la Central la reducción de costos sería:

- a. Muy Eficaz ( )
- b. Buena ( )
- c. Eficaz ( )
- d. Inadecuada ( )
- e. Inexistente ( )

**Tabla 4.12 Reducción de Costos**

<b>X</b>	<b>F</b>	<b>F'</b>
Muy Eficaz	3	13,64%
Buena	18	81,82%
Eficaz	1	4,55%
Inadecuada	0	0,00%
Inexistente	0	0,00%
<b>Σ</b>	<b>22</b>	<b>100,00%</b>

**(Fernando Sánchez)**



**Figura 4.12 Reducción de Costos  
(Fernando Sánchez)**

El 82% del Personal de Mantenimiento de la Central señala que la reducción de costos sería buena, mientras el 14% indica que sería muy eficaz y el 4% dice que sería eficaz. Esto implica que a más de la facilidad que se podría obtener para realizar los procesos de reconstrucción también se reduciría considerablemente los costos de reparación al reconstruir y aplicar los tratamientos térmicos a las partes de las turbinas en las instalaciones de la Central.

## 4.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.2.1 Resultados de la Entrevista

#### Pregunta N°1

**¿Con qué frecuencia se hace el mantenimiento en las partes móviles de las turbinas?**

El mantenimiento en las partes móviles de las turbinas se lo realiza trimestral, semestral y anualmente como tareas programadas de mantenimiento preventivo y correctivo, y el Overhaul, que es un mantenimiento mayor en el que se cambian nuevos elementos y se envía a reconstruir los averiados.

## **Pregunta N°2**

**¿Qué tipo de desgaste ó fallas se presentan en los elementos de las turbinas?**

El las partes móviles de las turbinas por su contacto constante con el agua a elevadas presiones se presentan los desgastes por Abrasión, Erosión y Cavitación.

## **Pregunta N°3**

**¿Cuáles son las partes más afectadas en las turbinas?**

Los elementos más afectados son el Rodete, los Álabes, el Cono y las Tapas, siendo el Rodete el más afectado y las Tapas las menos deterioradas.

## **Pregunta N°4**

**¿Cuáles son los métodos utilizados para la recuperación de las partes de las turbinas?**

En lo que se refiere al mantenimiento preventivo se aplica el método de protección con cerámicos para recubrir las fallas por desgaste. Mientras que para el mantenimiento correctivo, o sea la reparación y reconstrucción de los elementos, se aplica el proceso de pulido y relleno con soldadura.

## **Pregunta N°5**

**¿Para las reparaciones y el mantenimiento se requiere dar tratamiento térmico a las partes afectadas?**

En la aplicación de cerámicos no se da ningún tratamiento térmico en vista que no hay cambios de estructura del material, ya que no se aplica soldadura, únicamente es relleno cerámico por protección, y el trabajo se lo realiza únicamente parando las turbinas. En cambio en la reparación y reconstrucción el tratamiento térmico de alivio de tensiones es muy esencial para eliminar las tensiones internas que se producen por el proceso de soldadura, previo al proceso de rectificación.

### **Pregunta N°6**

**¿Cuál es la temperatura adecuada para realizar los tratamientos térmicos de acuerdo al material de los elementos?**

En vista que el material base del Rodete, el elemento principal de la turbina, es el Acero Inoxidable 13/4, para el alivio de tensiones la temperatura adecuada es de 580°C, de acuerdo a las normas pertinentes.

### **Pregunta N°7**

**¿En qué tiempo se alcanzan las condiciones necesarias para el tratamiento térmico?**

El tratamiento térmico de alivio de tensiones se efectúa respetando las normas DIN-ASME para el acero inoxidable tipo 13/4 (X5CrNi13 4 o ASTM A 743 CA 6 NM) y se lo realiza de la siguiente manera:

- La Velocidad de Calentamiento será de 40 a 50 °C / h.
- La Temperatura de alivio debe ser de 580 ± 10 °C
- La Permanencia a la temperatura de alivio debe ser min. 11 horas para el rodete y min. 8 horas para los álabes directrices.
- La Velocidad de enfriamiento hasta los 150 °C será de 40 a 50 °C / h
- A la temperatura de 150 °C, se debe abrir las escotillas del horno y se deja enfriar en aire calmado hasta la temperatura ambiente.

### **Pregunta N°8**

**¿Cuáles son las características necesarias de la atmósfera para obtener un tratamiento óptimo?**

En este caso por ser un tratamiento de alivio de tensiones no se requiere ninguna atmosfera especial para obtener las características deseadas, únicamente la atmosfera local.

### **Pregunta N°9**

**¿Qué características mecánicas se deben obtener a través del tratamiento térmico?**

A través del tratamiento térmico únicamente se eliminan las tensiones internas producidas y se estabilizan los elementos luego del proceso de relleno con soldadura, las características mecánicas son propias del material base de los elementos; en vista que la soldadura le da las mismas propiedades del material original.

### **Pregunta N°10**

**¿Qué materiales se utilizan en la reparación y tratamientos térmicos?**

Para la reparación de los elementos se utilizan los materiales de pulido y rectificación, y en lo que se refiere a la soldadura el material de aporte que se utiliza es el electrodo básico para el acero inoxidable 13/4 **E410NiMo**.

Mientras que para el alivio de tensiones no se utiliza ningún material especial únicamente el horno de tratamientos térmicos y los mecanismos de movilización de las partes.

### **Pregunta N°11**

**¿Cuál es el costo total de la reparación de las partes de las turbinas?**

De acuerdo a la reparación que se envió este año a Chile el costo total de la rehabilitación mecánica del rodete, del cono de salida del rodete, de la tapa superior del distribuidor de la turbina y de un juego de 20 álabes directrices móviles más todos los costos de transporte de la Central hasta Chile y viceversa es de **\$ 1.228.200,00** dólares.



## **Pregunta N°12**

**¿Qué tipo de pruebas se realizan para determinar que los elementos ya necesitan reparación?**

Para determinar la magnitud de los daños en cada una de las partes de las turbinas se realizan exámenes visuales exhaustivos y ensayos no destructivos por tintas penetrantes y por partículas magnéticas.

## **Pregunta N°13**

**¿Con qué frecuencia se da la reconstrucción de las partes de las turbinas?**

La reconstrucción de las partes de las turbinas, con el proceso de relleno con soldadura, se las realiza como tareas programada luego de cada Overhaul, es decir cada 7 años.

### **4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Realizada la investigación de campo, y luego del respectivo análisis de las encuestas y la entrevista, se procede a plantear la hipótesis con sus correspondiente Operacionalización y para su verificación se tomara en cuenta sus dos variables.

#### **4.3.1 Planteamiento de la hipótesis**

##### **Hipótesis:**

Con un estudio que permita mejorar y facilitar los procedimientos, especialmente de los tratamientos térmicos que se dan en las partes de las turbinas, se pretende optimizar los recursos y minimizar los costos en los procesos de mantenimiento y reparación en la Central Hidroeléctrica Agoyán.

**Variable Independiente:** Estudio que permita mejorar y facilitar los procedimientos, especialmente de los tratamientos térmicos que se dan en las partes de las turbinas

**Variable Dependiente:** Optimizar los recursos y minimizar los costos en los procesos de mantenimiento y reparación en la Central Hidroeléctrica Agoyán.

Luego del análisis realizado de las encuestas y la entrevista, se determina que para la Central Hidroeléctrica Agoyán es de vital importancia la creación del Centro de Mecanizado para poder ejecutar las actividades de reparación de las partes de las turbinas en las instalaciones de la Empresa y que es necesario que dicho Centro cuente con un Horno de Tratamientos Térmicos.

Para la verificación de la hipótesis es necesario realizar una comparación entre los procesos que se realizan actualmente para el mantenimiento y reconstrucción de las partes de las turbinas con las posibles mejoras y soluciones que se pueden adoptar para poder realizar dichas actividades en el sector, con el fin de minimizar los gastos de reparación. Cabe destacar que es necesario realizar un estimativo de los costos de las actividades de reparación en la empresa, con la implementación de los equipos necesarios, de tal manera que cumplan con las normas de calidad pertinentes.

#### **4.3.1.1 Análisis de Costos**

**Costos de reparación en Chile.-** Como se mencionó en la Tabla 2.1, los costos totales de las reparaciones de las partes de las turbinas en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., es de \$1.228.200, incluidos los gastos de movilización de la Central a Chile y viceversa.

De acuerdo a los datos proporcionados por parte de la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., a la Central Hidroeléctrica Agoyán, se tiene que el valor de las reparaciones de cada una de las partes de las turbinas es de \$8,50 por cada cm<sup>3</sup> de reparación. Este valor incluye los siguientes costos:

- Costo de ensayos no destructivos y pruebas para verificación de existencia y eliminación de fallas.
- Costo de pulido, limpieza y esmerilado de los defectos presentes, hasta la raíz de la falla.
- Costo del material de aporte, proceso de soldadura y mano de obra calificada.
- Costo del maquinado de las partes a las dimensiones especificadas por el fabricante.

El costo de los tratamientos térmicos es de \$0,85 y \$0,84 por cada centímetro cúbico de reparación para el rodete y los alabes directrices respectivamente, en vista que son los únicos elementos que son sometidos a este proceso y varía entre los dos debido a que el tiempo de permanencia depende de la masa del elemento.

Estos costos incluyen:

- El costo del Pre calentamiento a 120 °C
- El costo del tratamiento térmico de alivio de tensiones, luego del proceso de soldadura.

Detallando el desgaste aproximado que se presenta en los elementos, en este caso en el rodete, se tiene el siguiente desgaste aproximado:

El rodete tiene un volumen total de:  $2.34\text{m}^3$ . El desgaste aproximado es alrededor de:  $56.064\text{ cm}^3$ , que equivalen a  $0,056064\text{m}^3$ , lo cual representa un 2,39% del volumen total del rodete. Es decir que por cada  $100\text{cm}^3$  del rodete existen aproximadamente  $2,4\text{ cm}^3$  desgastados que necesitan reconstrucción.

En la siguiente tabla se presentan los desgastes aproximados en cada elemento y los costos correspondientes de reparación y tratamientos térmicos realizados en ANDRITZ CHILE Ltda.

**Tabla 4.13 Costos y Volúmenes de Reparación de las Turbinas**

ANÁLISIS DE COSTOS								
Nº	Elemento	Costo por cada cm <sup>3</sup> de Reparación	Costo del Tratamiento Térmico por cada cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> de Reparación aprox.	Costo de Reparación	Costo del Tratamiento Térmico	Costo Unitario	Costo Total
1	Rodete	8,50	0,85	56.064	\$ 476.544,00	\$ 47.654,40	\$ 524.198,40	\$ 524.198,40
1	Cono	Cortesía de Andritz		1.950	Cortesía de Andritz			
1	Tapa Superior	8,50	0,00	38.541	\$ 327.598,50	\$ -	\$ 327.598,50	\$ 327.598,50
20	Alabes Directrices	8,50	0,84	1.157	\$ 9.834,50	\$ 971,88	\$ 10.806,38	\$ 216.127,60
		<b>Volumen Total de Reparación en cm<sup>3</sup></b>		119.695			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.067.924,50</b>

**(HIDROAGOYÁN)**

Como se puede apreciar en la tabla anterior, se obtiene el valor total de las reparaciones en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., de \$ 1.067.924,50. A esta cantidad sumando el valor del Transporte marítimo de todos los componentes desde Ecuador a Chile y viceversa, que es de \$ 160.200,00 dólares, redondeando se iguala al costo anterior de \$ 1.228.200,00 dólares.

En base a éste costo total y los parámetros mencionados se realizará el análisis de costos correspondiente para la verificación de la hipótesis, tomando como referencia el volumen total de reparación que es de **119695 cm<sup>3</sup>**.

**4.3.1.2 Deducción de los Costos de Reparación en la Central Hidroeléctrica Agoyán**

- ❖ **Costos de soldadura:** A continuación se presenta los parámetros para el cálculo de los costos estimados de soldadura que se tendrían si esta operación de rehabilitación y reconstrucción se realizara en la Central Hidroeléctrica Agoyán.

$P_G$  = Precio del Gas de Protección ( $\$/m^3$ )  
 $F_G$  = Flujo de Gas ( $m^3/h$ )  
 $V_D$  = Velocidad de Deposición (Kg/h)  
 $C_I$  = Costos Indirectos ( $\$/h$ )  
 $V$  = Tensión de Trabajo (v)  
 $I$  = Intensidad de Corriente (A)  
 $C_A$  = Costo del Material de Aporte ( $\$/kg$ )  
 $C_M$  = Costo de la Mano de Obra ( $\$/h$ )  
 $T$  = Tiempo (h)  
 $F_T$  = Factor de Trabajo del Proceso (%)  
 $R$  = Rendimiento/Factor Operativo (%)  
 $L$  = Longitud Total a Soldar (m)  
 $P$  = Peso del Material Aportado por Metro de Junta (Kg/m)  
 $P_T$  = Peso Total del Material a Depositar  
 $S$  = Sección de la Junta a Soldar ( $m^2$ )  
 $C_E$  = Costo de la Energía Eléctrica ( $\$/Kw-h$ )  
 $P_C$  = Peso del Consumible Necesario (Kg)

**Datos:**

En vista que en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., donde se hacen actualmente las reparaciones, un 98% del proceso de soldadura se realiza por medio arco Manual con Electrodo Revestido (SMAW), mientras el 2% restante se lo realiza con el procedimiento de Arco Metálico con Protección de Gas (GMAW), conjuntamente con el personal de la Central Agoyán se ha determinado que el cálculo de costos se debe realizar únicamente para el proceso SMAW.

El electrodo utilizado para la soldadura es el **E410NiMo**, porque es el adecuado para aceros inoxidable martensíticos y éste es el utilizado en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., para realizar la comparación de costos.

$\delta = 7800 \text{ kg/cm}^3$ , densidad de Deposición recomendada para cálculos.

$$P_G = 0$$

$$F_G = 0$$

$V_D = 1,0 \text{ Kg/h}$ , tomado de la tabla 4.14

$V = 220 \text{ V}$ , proporcionado por la Central Hidroeléctrica Agoyán

$I = 130 \text{ A}$ , proporcionado por la Central Hidroeléctrica Agoyán

$C_A = 38 \text{ \$/kg}$ , proporcionado por la Central Hidroeléctrica Agoyán

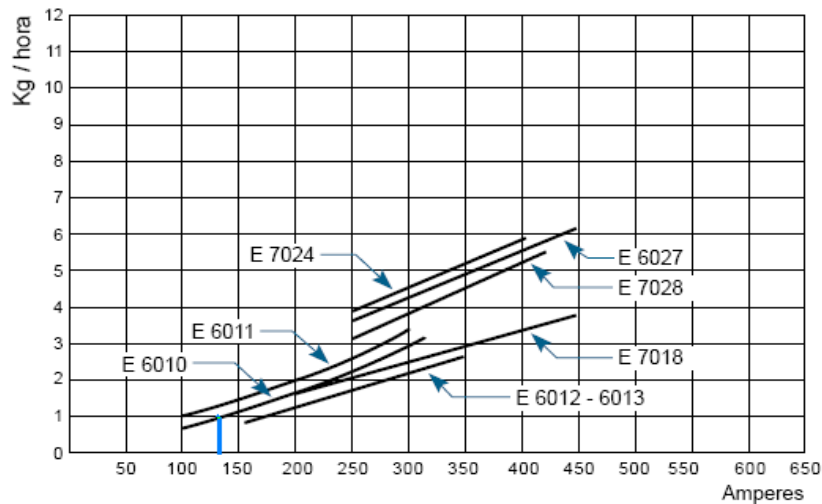
$C_M = 3,75 \text{ \$/h}$ , proporcionado por la Central Hidroeléctrica Agoyán

$F_T = 65\%$ , Anexo 7

$R = 25\%$ , Anexo 7

$C_E = 0,02 \text{ \$/Kw-h}$ , costo de producción para la Central Hidroeléctrica Agoyán.

**Tabla 4.14 Velocidad de deposición**



(Anexo 7)

Para efectos de cálculo se toma la velocidad de deposición del electrodo E 7018, para el amperaje determinado del electrodo E 410, que es de de 130 amperios, dándonos una velocidad de deposición aproximada de 1 Kg/h.

**Desarrollo:**

**a) Costo del gas de protección:**

Debido a que el proceso SMAW no utiliza gas de protección este valor es cero.

**b) Costo de la Energía Eléctrica (\$/Kg)**

$$b = \frac{CE \cdot V \cdot I}{1000 \cdot VD} = \frac{0,02 \cdot 220 \cdot 130}{1000 \cdot 1,0} \Rightarrow b = 0,572 \frac{\$}{Kg}$$

**c) Costo del Material de Aporte (\$/kg)**

$$c = \frac{CA}{FT} = \frac{38}{0,65} \Rightarrow c = 58,46 \frac{\$}{Kg}$$

**d) Costo de la Mano de Obra (\$/Kg)**

$$d = \frac{CM}{VD \cdot R} = \frac{3,75}{1,0 \cdot 0,25} \Rightarrow d = 15 \frac{\$}{Kg}$$

**e) Costos Indirectos (\$/Kg)**

Se asume que  $e = d$ ,

**f) Costo Total por Kilogramo de Metal Depositado**

$$f = a + b + c + d + e = 0 + 0,572 + 58,46 + 15 + 15 \Rightarrow f = 89 \frac{\$}{Kg}$$

**g) Costo Total por Metro de Junta (\$/m)**

$$g = f \cdot P \quad (1)$$

y

$$P = S \cdot \delta \quad (2)$$

**h) Costo Total de Trabajo (\$)**

$$h = g \cdot L \quad (3) \quad \text{o} \quad h = f \cdot PT \quad (4)$$

y

$$PT = P \cdot L \quad (5)$$

Reemplazando P de la ecuación (2) en (5) tenemos:

$$PT = S * \delta * L$$

Como  $S * L$  sería el volumen total de reparación: Vol = **119695cm<sup>3</sup>**, que es igual a **0.119695m<sup>3</sup>**, según se indicó anteriormente.

$$PT = \delta * Vol = 7800 * 0.119695 \Rightarrow PT = 933,62 Kg$$

Por lo tanto:

$$h = f * PT = 89 * 933,62 \Rightarrow h = 83092,27 \$$$

- **Peso del Consumible Necesario para Aportar:**

$$Pc = \frac{PT}{FT} = \frac{933,62}{0,65} \Rightarrow Pc = 1436,34 Kg$$

- **Tiempo Requerido para Efectuar el Trabajo:**

$$T = \frac{PT}{VD * R} = \frac{933,62}{1,0 * 0,25} \Rightarrow T = 3734,48 hr$$

Los costos de soldadura se calcularon con los precios actuales de los materiales que la empresa utiliza para pequeñas reparaciones puntuales y considerando el sueldo del personal de mantenimiento mecánico calificado para desarrollar estas actividades.

El costo total de soldadura es de: \$ **83092,27** para el volumen total señalado de **119695 cm<sup>3</sup>**, con un tiempo requerido de **3734,48 Horas** de trabajo.

A continuación se presenta el esquema de las áreas de trabajo que tendría el Centro de Mecanizado para las reparaciones de las partes de las turbinas.





**Figura 4.13 Esquema de las Áreas de Trabajo del Centro de Mecanizado (HIDROAGOYÁN)**

### 4.3.2 Programación del Proyecto:

#### 4.3.2.1 Distribución de Trabajo para la Reconstrucción de las Partes de Turbina:

**Tabla 4.15 Distribución de Trabajo para la Reconstrucción de las Partes de Turbina**

DISTRIBUCIÓN DE TRABAJO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LAS PARTES DE TURBINA									
ÁREA	HORAS TOTALES NECESARIAS	JORNADAS DE TRABAJO	HORAS DE TRABAJO POR JORNADA	HORAS DE TRABAJO POR DÍA	TRABAJADORES NECESARIOS POR JORNADA	EJECUTORES	AUXILIARES	TRABAJADORES NECESARIOS POR DÍA	TOTAL DE HORAS DE DEMORA
LIMPIEZA Y E.N.D	98	2	12	24	4	2	2	6	49
ESMERILADO Y PULIDO	1232	2	12	24	3	2	1	6	616
TRATAMIENTOS TÉRMICOS	77	2	12	24	2	1	1	4	77
SOLDADURA	3736	2	12	24	3	2	1	6	1868
MAQUINADO	1380	2	12	24	4	1	3	6	1380
INSPECCIÓN Y BALANCEO	24	2	12	24	3	1	2	6	24
<b>TOTAL</b>	<b>6498</b>				<b>19</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>34</b>	<b>4014</b>

(HIDROAGOYÁN)

#### 4.3.2.2 Horas Necesarias para Realizar el Trabajo en cada Área:

**Tabla 4.16 Horas Necesarias para la Limpieza y E.N.D**

<b>ÁREA DE LIMPIEZA Y ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>HORAS NECESARIAS</b>	<b>HORAS DE DEMORA</b>
Limpieza y E.N.D. del Rodete	6	6
Limpieza y E.N.D. de los Álabes Directrices	20	20
Limpieza y E.N.D. de la Tapa Superior	5	5
Limpieza y E.N.D. del Cono	4	4
E.N.D. del Rodete	2	2
E.N.D. de los Álabes Directrices	10	10
E.N.D. de la Tapa Superior	1	1
E.N.D. del Cono	1	1
<b>HORAS TOTALES</b>	<b>49</b>	<b>49</b>

(HIDROAGOYÁN)

**Tabla 4.17 Horas Necesarias para el Esmerilado y Pulido**

<b>ÁREA DE ESMERILADO Y PULIDO</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>HORAS NECESARIAS</b>	<b>HORAS DE DEMORA</b>
Esmerilado y Pulido de la Tapa Superior	226	113
Esmerilado y Pulido del Cono	40	20
Esmerilado y Pulido del Rodete	408	204
Esmerilado y Pulido de los Álabes Directrices	148	74
Pulido de la Tapa Superior	112	56
Pulido del Cono	20	10
Pulido del Rodete	204	102
Pulido de los Álabes Directrices	74	37
<b>HORAS TOTALES</b>	<b>1232</b>	<b>616</b>

(HIDROAGOYÁN)

**Tabla 4.18 Horas Necesarias para los Tratamientos Térmicos**

<b>ÁREA DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>HORAS NECESARIAS</b>	<b>HORAS DE DEMORA</b>
Pre calentamiento del Rodete a 120 °C	4	4
Pre calentamiento de los Álabes Directrices a 120 °C	4	4
Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones del Rodete	36	36
Tratamiento Térmico Alivio de Tensiones de los Álabes Directrices	33	33
<b>HORAS TOTALES</b>	<b>77</b>	<b>77</b>

(HIDROAGOYÁN)

**Tabla 4.19 Horas Necesarias para la Soldadura**

<b>ÁREA DE SOLDADURA</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>HORAS NECESARIAS</b>	<b>HORAS DE DEMORA</b>
Aporte de Soldadura al Rodete	1750	875
Aporte de Soldadura a los Álabes Directrices	722	361
Aporte de Soldadura a la Tapa Superior	1202	601
Aporte de Soldadura al Cono	62	31
<b>HORAS TOTALES</b>	<b>3736</b>	<b>1868</b>

(HIDROAGOYÁN)

**Tabla 4.20 Horas Necesarias para el Maquinado**

<b>ÁREA DE MAQUINADO</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>HORAS NECESARIAS</b>	<b>HORAS DE DEMORA</b>
Maquinado del Rodete	180	180
Maquinado de los Álabes Directrices	960	960
Maquinado de la Tapa Superior	192	192
Maquinado del Cono	48	48
<b>HORAS TOTALES</b>	<b>1380</b>	<b>1380</b>

(HIDROAGOYÁN)

**Tabla 4.21 Horas Necesarias para la Inspección y el Balanceo**

<b>ÁREA DE INSPECCIÓN Y BALANCEO</b>		
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>HORAS NECESARIAS</b>	<b>HORAS DE DEMORA</b>
Toma de Pruebas de Dureza del Rodete	1	1
Toma de Pruebas de Dureza de los Álabes Directrices	1	1
Toma de Pruebas de Dureza de la Tapa Superior	1	1
Toma de Pruebas de Dureza del Cono	1	1
Balanceo Estático del Rodete	20	20
<b>HORAS TOTALES</b>	<b>24</b>	<b>24</b>

(HIDROAGOYÁN)

### 4.3.3 Actividades de Reparación

**Tabla 4.22 Actividades de Reparación**

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
A	Limpieza y E.N.D. del Rodete
B	Limpieza y E.N.D. de los Álabes Directrices
C	Limpieza y E.N.D. de la Tapa Superior
D	Limpieza y E.N.D. del Cono
E	Esmerilado y Pulido de la Tapa Superior
F	Esmerilado y Pulido del Cono
G	Esmerilado y Pulido del Rodete
H	Esmerilado y Pulido de los Álabes Directrices
I	Toma de Pruebas de Dureza del Rodete
J	Toma de Pruebas de Dureza de los Álabes Directrices
K	Toma de Pruebas de Dureza de la Tapa Superior
L	Toma de Pruebas de Dureza del Cono
M	Pre calentamiento del Rodete a 120 °C
N	Pre calentamiento de los Álabes Directrices a 120 °C
O	Aporte de Soldadura al Rodete
P	Aporte de Soldadura a los Álabes Directrices
Q	Aporte de Soldadura a la Tapa Superior
R	Aporte de Soldadura al Cono
S	Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones del Rodete
T	Tratamiento Térmico Alivio de Tensiones de los Álabes Directrices
U	Pulido de la Tapa Superior
V	Pulido del Cono
W	Pulido del Rodete
X	Pulido de los Álabes Directrices
Y	E.N.D. del Rodete
Z	E.N.D. de los Álabes Directrices
A1	E.N.D. de la Tapa Superior
B1	E.N.D. del Cono
C1	Maquinado del Rodete
D1	Maquinado de los Álabes Directrices
E1	Maquinado de la Tapa Superior
F1	Maquinado del Cono
G1	Balaceo Estático del Rodete
<b>TOTAL DE HORAS</b>	

**(HIDROAGOYÁN)**

### 4.3.3.1 Redes del Proyecto

En las siguientes tablas se presentan las actividades necesarias para la reconstrucción de cada una de las partes de las turbinas:

**Tabla 4.23 Actividades, Secuencia y Tiempos de Reparación para Cada Parte**

RODETE		
ACTIVIDAD	PREDECESOR	TIEMPO (h)
A	–	6
G	A	204
I	G	1
M	I	4
O	M	875
S	O	36
W	S	102
Y	W	2
C1	Y	180
G1	C1	20
TOTAL DE HORAS		1430

ÁLABES DIRECTRICES		
ACTIVIDAD	PREDECESOR	TIEMPO (h)
B	–	20
H	B	74
J	H	1
N	J	4
P	N	361
T	P	33
X	T	37
Z	X	10
D1	Z	960
TOTAL DE HORAS		1500

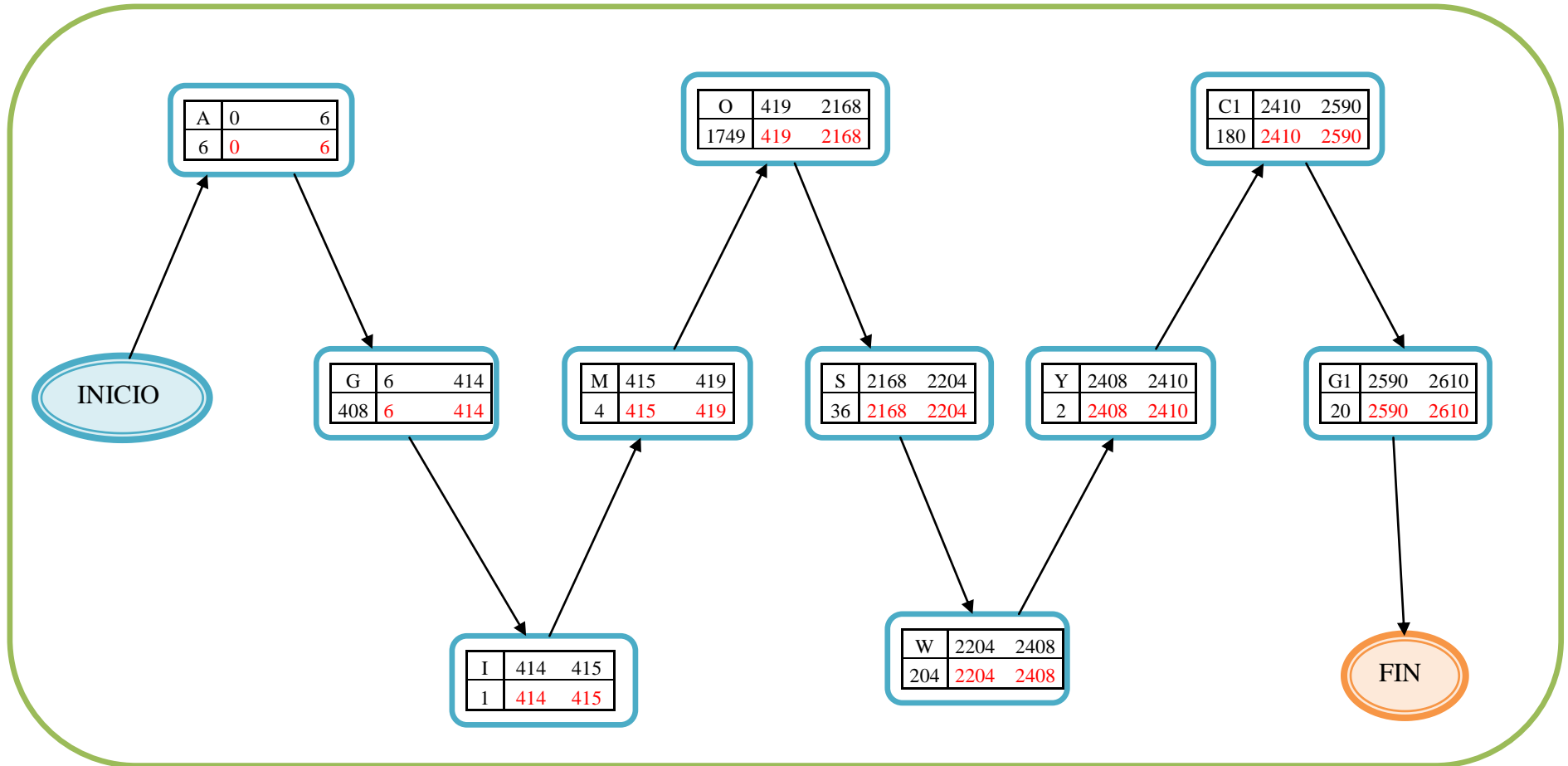
TAPA SUPERIOR		
ACTIVIDAD	PREDECESOR	TIEMPO (h)
C	–	5
E	C	113
K	E	1
Q	K	601
U	Q	56
A1	U	1
E1	A1	192
TOTAL DE HORAS		969

CONO		
ACTIVIDAD	PREDECESOR	TIEMPO (h)
D	–	4
F	D	20
L	F	1
R	L	31
V	R	10
B1	V	1
F1	B1	48
TOTAL DE HORAS		115

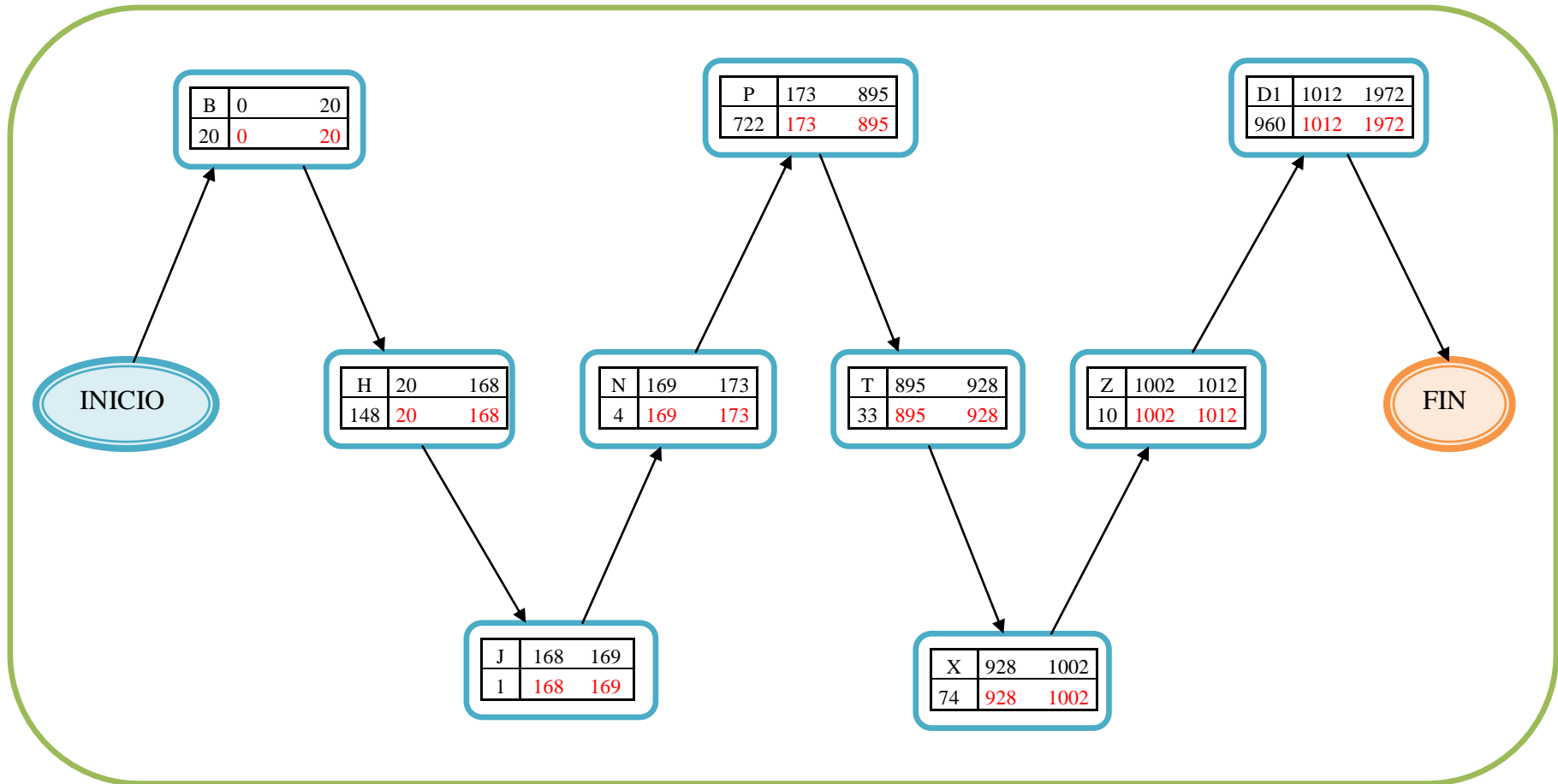
(HIDROAGOYÁN)

a.- Red de actividades del Rodete:

85



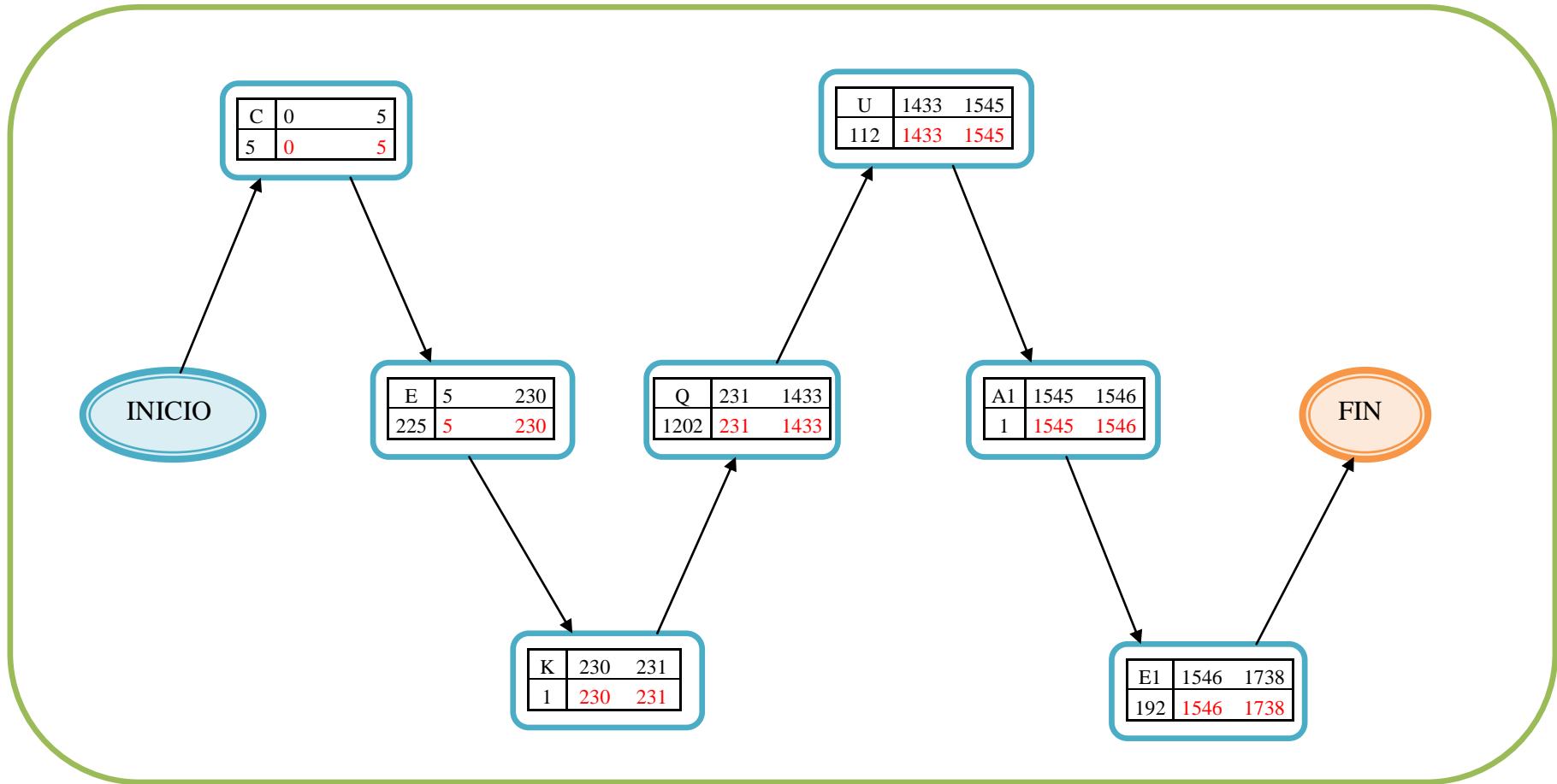
**b.- Red de actividades de los Álabes Directrices:**





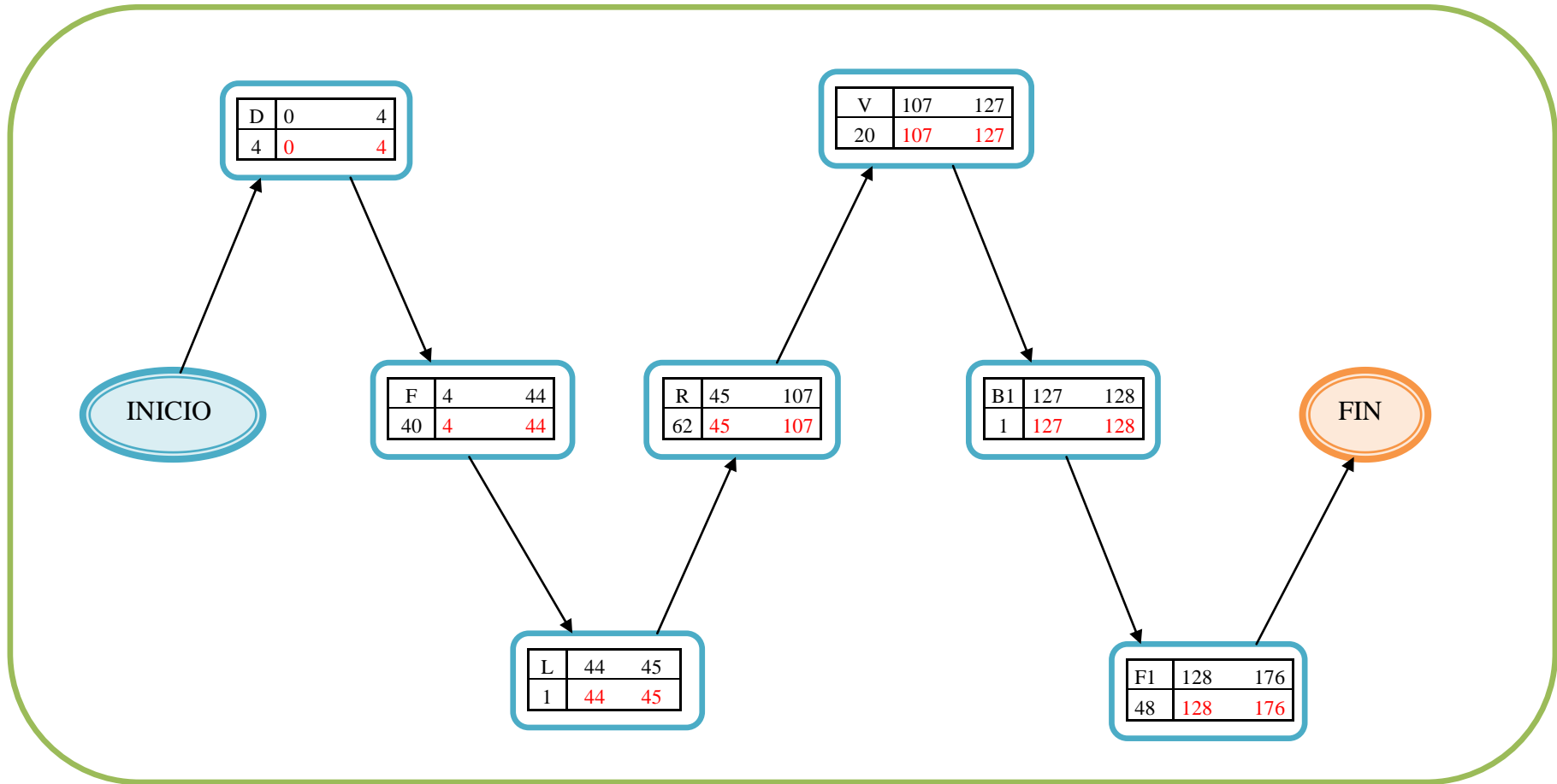
c.- Red de actividades de la Tapa Superior:

87



d.- Red de actividades del Cono:

88



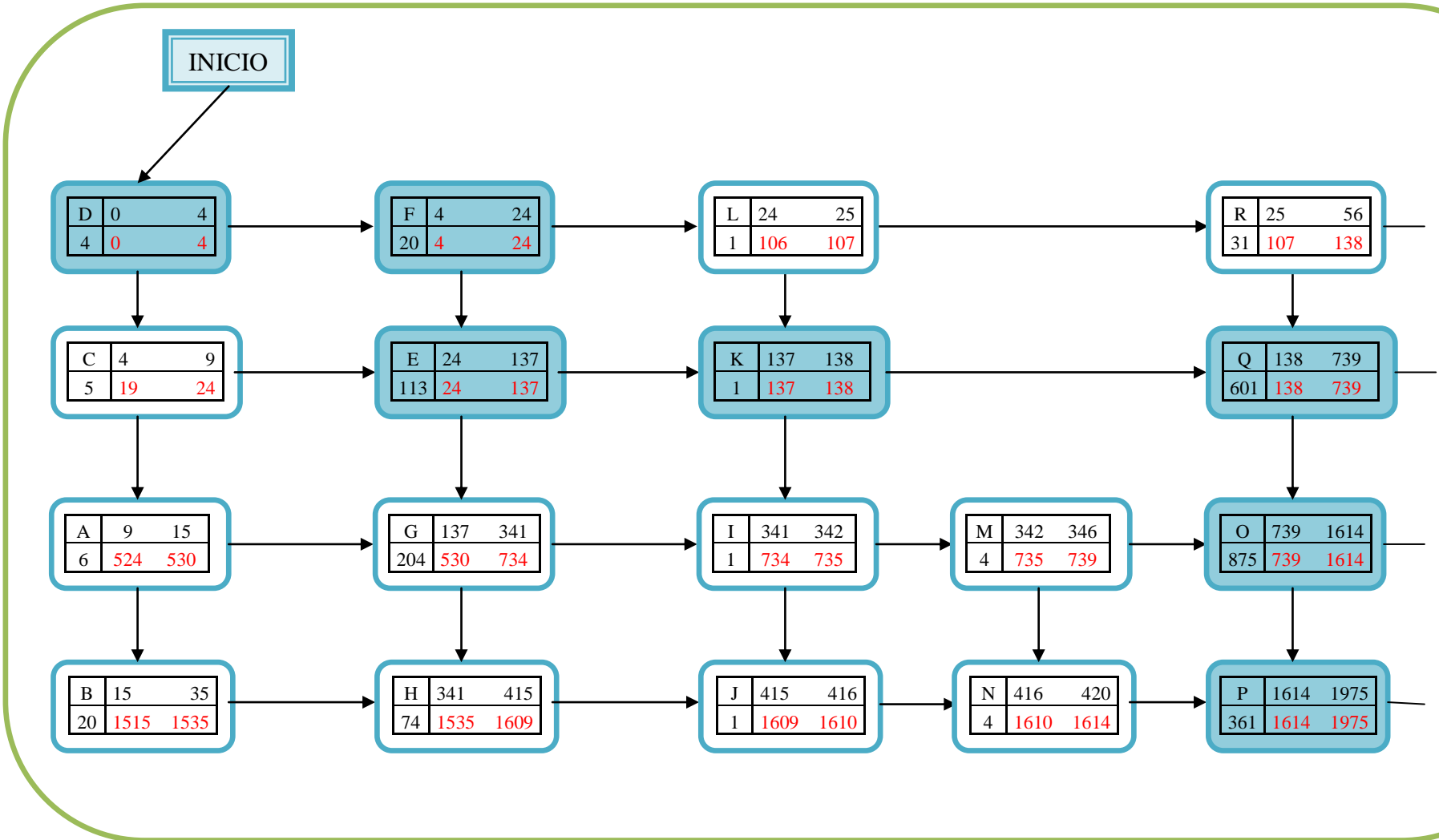
### 4.3.3.2 Determinación de la Ruta Crítica del Proyecto

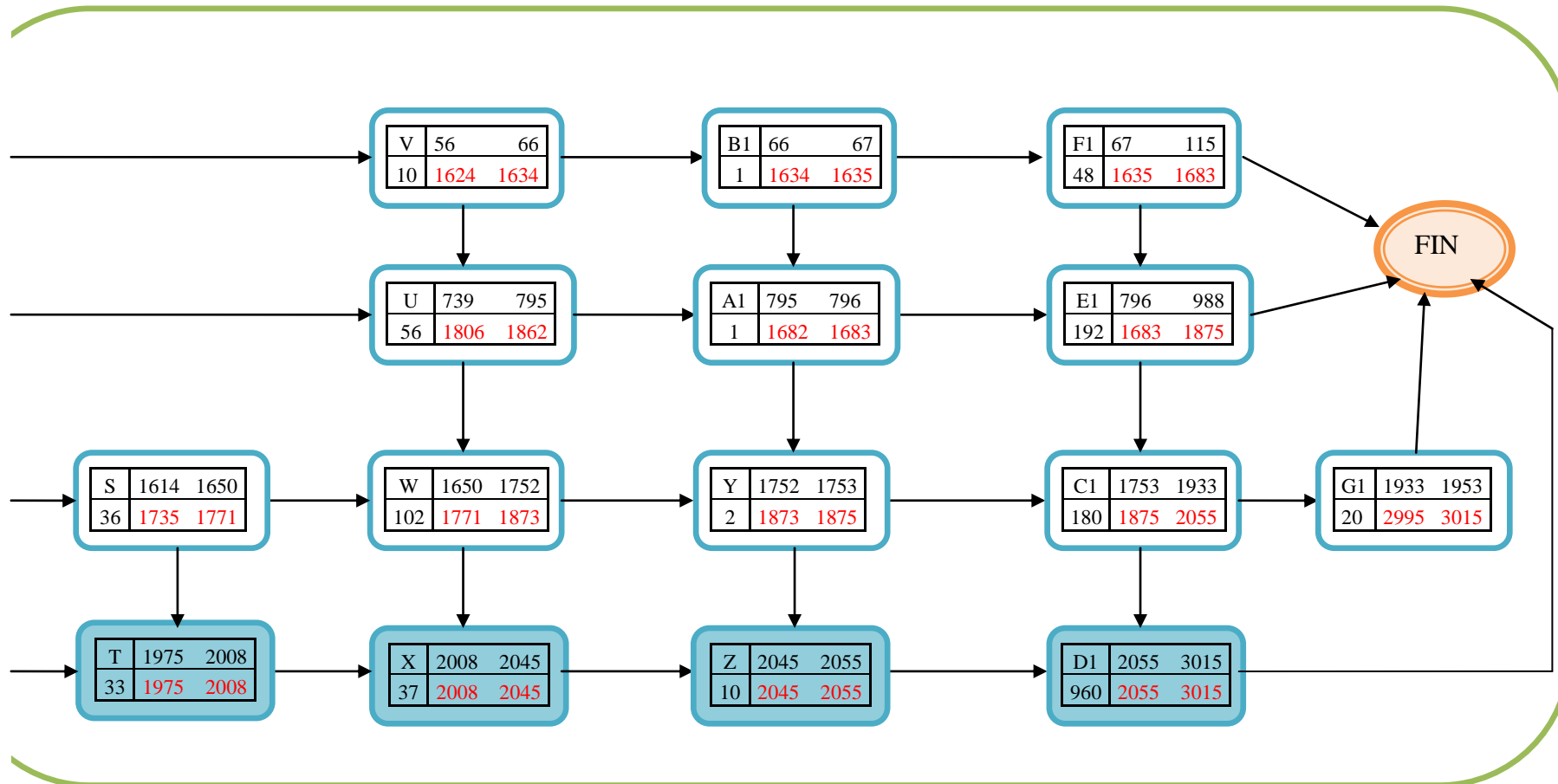
**Red General del Proyecto, iniciando con el elemento que necesita menor tiempo de reconstrucción.**

**Tabla 4.24 Listado de las Actividades y Tiempos de Reparación**

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PREDECESOR	TIEMPO DE DEMORA (h)
A	Limpieza y E.N.D. del Rodete	C	6
B	Limpieza y E.N.D. de los Álabes Directrices	A	20
C	Limpieza y E.N.D. de la Tapa Superior	D	5
D	Limpieza y E.N.D. del Cono	-	4
E	Esmerilado y Pulido de la Tapa Superior	C, F	113
F	Esmerilado y Pulido del Cono	C	20
G	Esmerilado y Pulido del Rodete	A, E	204
H	Esmerilado y Pulido de los Álabes Directrices	B, G	74
I	Toma de Pruebas de Dureza del Rodete	G, K	1
J	Toma de Pruebas de Dureza de los Álabes Directrices	H, I	1
K	Toma de Pruebas de Dureza de la Tapa Superior	E, L	1
L	Toma de Pruebas de Dureza del Cono	F	1
M	Pre calentamiento del Rodete a 120 °C	I	4
N	Pre calentamiento de los Álabes Directrices a 120 °C	J, M	4
O	Aporte de Soldadura al Rodete	M, Q	875
P	Aporte de Soldadura a los Álabes Directrices	N, O	361
Q	Aporte de Soldadura a la Tapa Superior	K, R	601
R	Aporte de Soldadura al Cono	L	31
S	Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones del Rodete	O	36
T	Tratamiento Térmico Alivio de Tensiones de los Álabes Directrices	P, S	33
U	Pulido de la Tapa Superior	Q, V	56
V	Pulido del Cono	R	10
W	Pulido del Rodete	S, U	102
X	Pulido de los Álabes Directrices	T, W	37
Y	E.N.D. del Rodete	W, A1	2
Z	E.N.D. de los Álabes Directrices	X, Y	10
A1	E.N.D. de la Tapa Superior	U, B1	1
B1	E.N.D. del Cono	V	1
C1	Maquinado del Rodete	Y, A1	180
D1	Maquinado de los Álabes Directrices	Z, C1	960
E1	Maquinado de la Tapa Superior	A1, F1	192
F1	Maquinado del Cono	B1	48
G1	Balaceo Estático del Rodete	C1	20
<b>TOTAL DE HORAS</b>			<b>4014</b>

**(HIDROAGOYÁN)**





RUTA CRÍTICA: **D - F - E - K - Q - O - P - T - X - Z - D1**

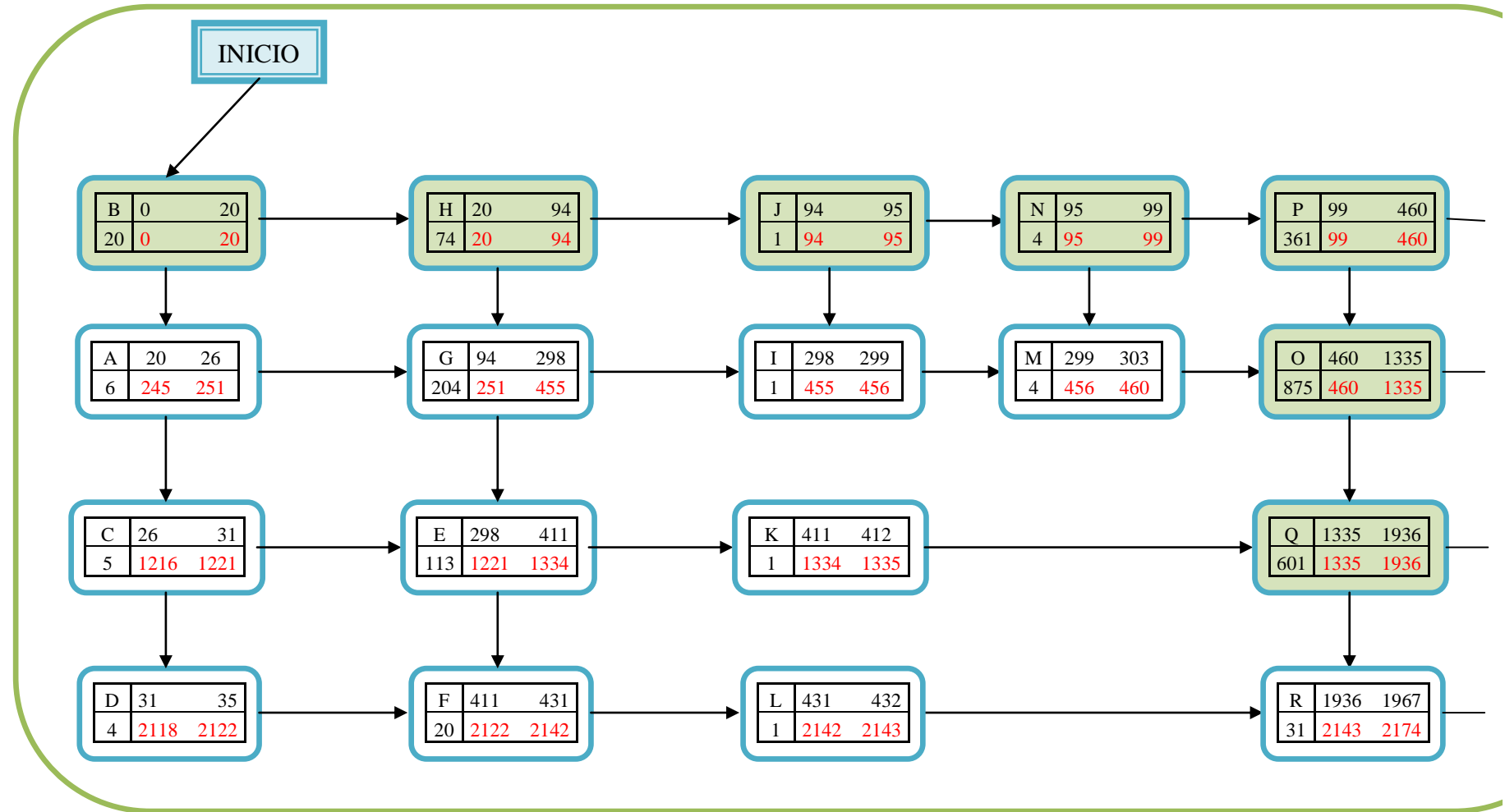
TIEMPO REQUERIDO: **3015 Horas**

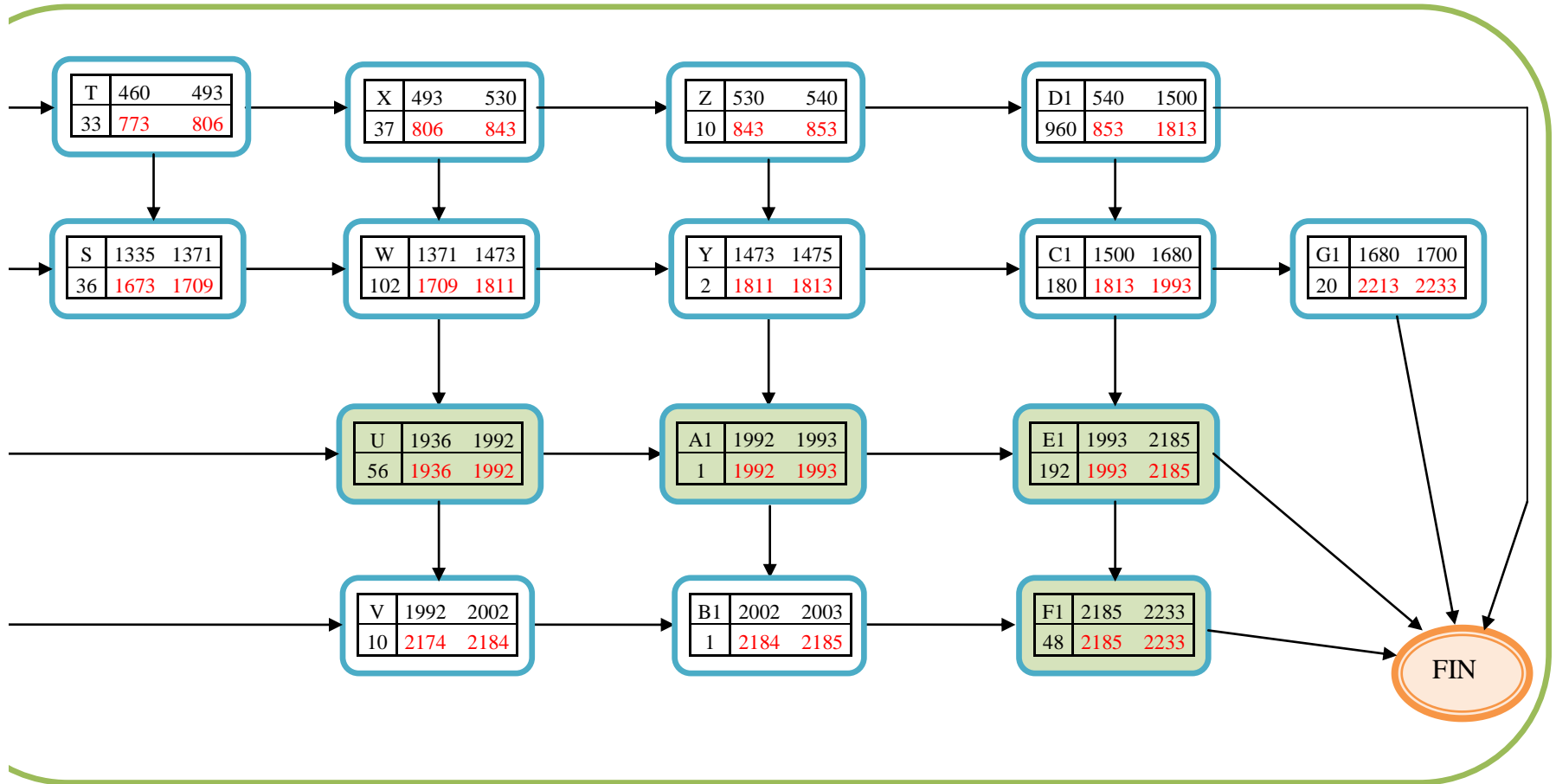
**Red General del Proyecto, iniciando con el elemento que necesita mayor tiempo de reconstrucción:**

**Tabla 4.25 Listado de las Actividades y Tiempos de Reparación**

ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PREDECESOR	TIEMPO DE DEMORA (h)
A	Limpieza y E.N.D. del Rodete	B	6
B	Limpieza y E.N.D. de los Álabes Directrices	–	20
C	Limpieza y E.N.D. de la Tapa Superior	D	5
D	Limpieza y E.N.D. del Cono	A	4
E	Esmerilado y Pulido de la Tapa Superior	C, G	113
F	Esmerilado y Pulido del Cono	E, D	20
G	Esmerilado y Pulido del Rodete	A, H	204
H	Esmerilado y Pulido de los Álabes Directrices	B	74
I	Toma de Pruebas de Dureza del Rodete	J, G	1
J	Toma de Pruebas de Dureza de los Álabes Directrices	H	1
K	Toma de Pruebas de Dureza de la Tapa Superior	E, I	1
L	Toma de Pruebas de Dureza del Cono	F, K	1
M	Pre calentamiento del Rodete a 120 °C	I, N	4
N	Pre calentamiento de los Álabes Directrices a 120 °C	J	4
O	Aporte de Soldadura al Rodete	M, P	875
P	Aporte de Soldadura a los Álabes Directrices	N	361
Q	Aporte de Soldadura a la Tapa Superior	K, O	601
R	Aporte de Soldadura al Cono	L, Q	31
S	Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones del Rodete	O, P	36
T	Tratamiento Térmico Alivio de Tensiones de los Álabes Directrices	P	33
U	Pulido de la Tapa Superior	Q, W	56
V	Pulido del Cono	R, U	10
W	Pulido del Rodete	S, X	102
X	Pulido de los Álabes Directrices	T	37
Y	E.N.D. del Rodete	W, Z	2
Z	E.N.D. de los Álabes Directrices	X	10
A1	E.N.D. de la Tapa Superior	U, Y	1
B1	E.N.D. del Cono	A1, V	1
C1	Maquinado del Rodete	D1, Y	180
D1	Maquinado de los Álabes Directrices	Z	960
E1	Maquinado de la Tapa Superior	A1, C1	192
F1	Maquinado del Cono	B1, E1	48
G1	Balaceo Estático del Rodete	C1	20
<b>TOTAL DE HORAS</b>			<b>4014</b>

**(HIDROAGOYÁN)**





RUTA CRÍTICA:  **B - H - J - N - P - O - Q - U - A1 - E1 - F1**

TIEMPO REQUERIDO:  **2233 Horas**



Como se puede apreciar la ruta en la que se optimiza más el tiempo de trabajo es empezando por los elementos que requieren el mayor tiempo de reparación, que en este caso son los álabes directrices. El tiempo de trabajo necesario es de 2233 Horas y como se va a trabajar en dos jornadas de 12 horas cada una, es decir un total de 24 horas diarias, se tendría listo el trabajo en 93,4 días normalmente.

Pero cabe tomar en cuenta que existen tiempos perdidos en el cambio de personal, cambio de posición, cambios de área de los elementos y demás imprevistos, que pueden surgir en el momento de trabajo, por lo que se estima un trabajo neto de 20 horas diarias. Por este motivo, el tiempo de trabajo sería de 112 días, con estas aclaraciones, esto equivale a un tiempo de trabajo de 3, 73 meses. Entonces el tiempo de terminación de la recuperación y reconstrucción de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán estarían listas en 4 meses de trabajo. Con esto se demuestra que mejorando los procesos, se optimiza el tiempo y se reducen los costos de reparación.

#### 4.3.4 Personal asignado para cada área de trabajo:

**Tabla 4.26 Designación Trabajadores y Sueldos**

ÁREA	PERSONAL NECESARIO POR CADA JORNADA			TIEMPO DE TRABAJO		SUELDO TOTAL
	Nº	DESCRIPCIÓN	SUELDO	JORNADAS	MESES	
LIMPIEZA Y E.N.D	2	Mecánico de Mantenimiento	\$ 1.100,00	2	4	\$ 17.600,00
	2	Ayudante	\$ 650,00	2	4	\$ 10.400,00
ESMERILADO Y PULIDO	2	Mecánico de Mantenimiento	\$ 1.100,00	2	4	\$ 17.600,00
	1	Ayudante	\$ 650,00	2	4	\$ 5.200,00
TRATAMIENTOS TÉRMICOS	1	Mecánico de Mantenimiento	\$ 1.100,00	2	4	\$ 8.800,00
	1	Ayudante	\$ 650,00	2	4	\$ 5.200,00
SOLDADURA	2	Soldadores Calificados	\$ 1.100,00	2	4	\$ 17.600,00
	1	Ayudante	\$ 650,00	2	4	\$ 5.200,00
MAQUINADO	1	Tornero CNC	\$ 1.600,00	2	4	\$ 12.800,00
	1	Tornero	\$ 1.100,00	2	4	\$ 8.800,00
	2	Mecánico de Mantenimiento	\$ 1.100,00	2	4	\$ 17.600,00
INSPECCIÓN Y BALANCEO	1	Supervisor	\$ 1.600,00	2	4	\$ 12.800,00
	2	Mecánico de Mantenimiento	\$ 1.100,00	2	4	\$ 17.600,00
Jefe de Mantenimiento			\$ 1.600,00	2	4	\$ 12.800,00
Jefe de Planta del Taller			\$ 1.600,00	2	4	\$ 12.800,00
<b>TOTAL DE MANO DE OBRA PARA EL PROYECTO</b>						<b>\$ 182.800,00</b>

(HIDROAGOYÁN)

Cada una de las actividades de reparación y reconstrucción de las partes de las turbinas estarán supervisada y verificada por el Jefe de Mantenimiento Mecánico y el Jefe de Planta del Taller. En consecuencia el costo de la mano de obra para el proyecto durante los cuatro meses de reparación y reconstrucción de las turbinas es de \$ **182.800,00**.

#### 4.3.5 Costos de los Materiales y Actividades de Reparación:

**Tabla 4.27 Costos de los Materiales Empleados para los E.N.D**

1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
a.- Tintas Penetrantes			
Elemento	Kit de Tintas	Costo Unitario	Costo Total
Rodete	20	\$ 90,00	\$ 1.800,00
Álabes Directrices	10	\$ 90,00	\$ 900,00
Tapa Superior	26	\$ 90,00	\$ 2.340,00
Cono	2	\$ 90,00	\$ 180,00
Total			\$ 5.220,00
b.- Partículas Magnéticas			
Rodete			\$ 2.000,00
Álabes Directrices			\$ 1.000,00
Tapa Superior			\$ 2.600,00
Cono			\$ 200,00
Total			\$ 5.800,00
<b>Costo Total Ensayos No Destructivos</b>			<b>\$ 11.020,00</b>

(HIDROAGOYÁN)

**Tabla 4.28 Costos de los Tratamientos Térmicos**

2. TRATAMIENTO TÉRMICO			
Elemento	Vol. de reparación en cm <sup>3</sup>	Costo Unitario	Costo Total
Rodete	56064	\$ 0,65	\$ 36.441,6
Álabes Directrices	23140	\$ 0,65	\$ 15.041
<b>Costo Total del Tratamiento Térmico</b>			<b>\$ 51.482,6</b>

(HIDROAGOYÁN)

**Tabla 4.29 Costos de los Materiales Empleados para la Preparación de las Superficies**

<b>3. PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES</b>			
Limpieza de las superficies, Esmerilado y pulido			
<b>Elemento</b>	<b>Discos</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Rodete	220	\$ 9,00	\$ 1.980,00
Álabes Directrices	80	\$ 9,00	\$ 720,00
Tapa Superior	122	\$ 9,00	\$ 1.098,00
Cono	10	\$ 9,00	\$ 90,00
Energía Eléctrica			\$ 1.000,00
<b>Costo Total Preparación de las superficies</b>			<b>\$ 4.888,00</b>

**(HIDROAGOYÁN)**

**Tabla 4.30 Costos de Maquinado**

<b>3. MAQUINADO</b>			
<b>Elemento</b>	<b>Horas de Trabajo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Rodete	180	\$ 40,00	\$ 7.200,00
Álabes Directrices	960	\$ 40,00	\$ 38.400,00
Tapa Superior	192	\$ 40,00	\$ 7.680,00
Cono	48	\$ 40,00	\$ 1.920,00
Energía Eléctrica			\$ 1.500,00
<b>Costo Total Preparación de las superficies</b>			<b>\$ 56.700,00</b>

**(HIDROAGOYÁN)**

Las tablas de los costos anteriores, fueron proporcionadas por la Central Hidroeléctrica Aگویán, en base a datos de los trabajos que realizan en las tareas de mantenimiento y el taller de la empresa para trabajos de reparación puntuales en los elementos afectados.

Luego de realizar la estimación de los costos de reparación y reconstrucción de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Aگویán, en las instalaciones de la empresa y comparándolos con los costos actuales en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., se tiene las siguientes referencias del ahorro estimado en tiempo y dinero para la empresa.

### 4.3.6 Comparación de los Costos de Reparación

Costos de Reparación en Chile en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., de acuerdo a la tabla 2.1.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	Rehabilitación mecánica del rodete ( incluye la rehabilitación del cono de salida del rodete sin variar el costo)	\$ 524.200,00
2	Rehabilitación mecánica de la tapa superior del distribuidor de la turbina.	\$ 327.600,00
3	Rehabilitación mecánica del juego de 20 alabes directrices móviles del distribuidor turbina.	\$ 216.200,00
4	Transporte marítimo de todos los componentes desde Ecuador a Chile y viceversa, incluyendo todos los transportes terrestres especiales y los trámites aduaneros para la importación temporal a Chile y reexportación a Ecuador.	\$ 160.200,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 1.228.200,00</b>

(Tabla 2.1.)

Costos Estimados de Reparación en la Central Hidroeléctrica Agoyán

**Tabla 4.31 Costos Estimados de Reparación de las Turbinas en la Central Hidroeléctrica Agoyán**

COSTOS DE LOS PROCESOS DE RECONSTRUCCIÓN DE LAS PARTES DE TURBINA DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN			
PROCESO	VOLUMEN DE REPARACIÓN cm3	COSTO TOTAL	COSTO/cm <sup>3</sup>
1. Ensayo no destructivo preliminar	119695	\$ 11.020,00	\$ 0,09
2. Pre calentamiento a 120 °C	79204	\$ 5.350,00	\$ 0,07
3. Preparación de las superficies	119695	\$ 4.888,00	\$ 0,04
Limpieza de las superficies, Esmerilado y pulido	119695		
Controles no destructivos	119695	\$ 11.020,00	\$ 0,09
Tomas de prueba de dureza.	119695	\$ 3.000,00	\$ 0,03
4. Aporte de soldadura de reconstrucción	79204	\$ 84.000,00	\$ 1,06
5. Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones	79204	\$ 51.482,60	\$ 0,65
6. Pulido para el control no destructivo final	119695	\$ 2.444,00	\$ 0,02
7. Controles no Destructivos Finales	119695	\$ 11.020,00	\$ 0,09
8. Maquinado	119695	\$ 56.700,00	\$ 0,47
9. Acabado final y balanceo estático	119695	\$ 50.000,00	\$ 0,42
Mano de Obra		\$ 182.800,00	\$ 1,53
<b>Imprevistos</b>		\$ 20.000,00	\$ 0,17
<b>COSTO TOTAL DE LA REPARACIÓN</b>		<b>\$ 493.724,60</b>	<b>\$ 4,73</b>

(HIDROAGOYÁN)

Realizando una comparación de los costos, reparando los elementos en la Central, tendríamos:

**Tabla 4.32 Comparación de los Costos de Reparación de las Turbinas**

<b>COMPARACIÓN DE COSTOS</b>	
COSTO DE REPARACIÓN EN CHILE	<b>\$ 1.228.200,00</b>
COSTO DE REPARACIÓN EN AGOYÁN	<b>\$ 493.724,60</b>
<b>AHORRO ESTIMADO</b>	<b>\$ 734.475,40</b>

**(Fernando Sánchez)**

Redondeando tendríamos un ahorro mínimo aproximado de **\$ 734000** (dólares americanos) por cada reparación.

Con esto se demuestra que mejorando los procesos de reconstrucción y de los Tratamientos Térmicos de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán, se disminuyen considerablemente los costos de reparación, con lo que se verifica la hipótesis planteada.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Como consecuencia de la erosión, la cavitación y los sedimentos que viajan junto al agua que ingresa a las turbinas, cada una de las partes que están en contacto directo con la misma se ven sumamente afectadas con el paso del tiempo; de manera especial el rodete, ya que es en este elemento en el cual se convierte la energía del agua en energía mecánica. Estos fenómenos ocasionan desgastes importantes, lo cual contribuye a una pérdida de eficiencia debido a que se utilizará mayor cantidad de agua para obtener la misma potencia.
- El elemento más afectado y a la vez el más costoso de reparar es el rodete, y conjuntamente con los alabes móviles, son los únicos elementos a los que se debe dar el precalentamiento a 120 °C antes de la soldadura y el tratamiento térmico de alivio de tensiones posterior a ésta, para su reconstrucción.
- Si el Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones; se lo realiza luego de las reparaciones con soldadura y previo al mecanizado final, para recuperar las características del material y eliminar las tensiones internas; también se podría dar Tratamientos Térmicos Superficiales a las partes afectadas para aumentar su resistencia al desgaste.
- Los costos de reparación de las partes de las turbinas disminuirían notablemente si existiera un Centro de Mecanizado en la Central en el que se puedan cumplir todas las actividades de reconstrucción, ya que se eliminarían los costos de movilización al exterior, y a la vez los costos de reparación serían inferiores a los que se tiene actualmente.

- También se reduciría el costo de la mano de obra, ya que en la Central se cuenta con el Personal Calificado para cumplir con estas tareas. Así como también el costo de la energía empleada para los tratamientos térmicos quedaría como parte del consumo de la institución, y el costo es mínimo por tratarse de una empresa de Generación Eléctrica.
- Con un Horno de Tratamientos Térmicos en la Central se podría mejorar las características y las propiedades mecánicas de los elementos reparados de acuerdo a las necesidades de la empresa y obteniendo resultados óptimos en la reconstrucción y a menor costo.
- El Horno, además de ser necesario para los Tratamientos Térmicos, también sería útil para facilitar la remoción de los cerámicos y masillas existentes de los mantenimientos anteriores, y a la vez para secar por completo la humedad que pueden contener las partes a ser reparadas, con lo cual también se eliminarían las tensiones residuales que pudieren existir antes del proceso de reparación.
- De acuerdo a la información proporcionada por la Central, la utilidad del Horno no sería únicamente para los procesos de reconstrucción y recuperación de las partes de las turbinas de la misma, sino también para las reparaciones de las demás Empresas de Generación Eléctrica cuando lo necesiten.
- Luego de haber determinado que los costos de reparación y reconstrucción de las partes de las turbinas se reducirían de manera considerable si los procesos se realizaran en las instalaciones de la Central, con el Centro de Mecanizado, y en vista que el estado proporcionara un presupuesto inicial de \$3500000 para la obra civil, la adquisición del torno de eje vertical, el centro de mecanizado y el puente grúa para este proyecto, propongo el Diseño del Horno de Tratamientos Térmicos, para que la Empresa al contar con el personal calificado, lo construya posteriormente con los parámetros técnicos necesarios.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se debe dar motivación a los trabajadores para que se vayan actualizando en los temas de reconstrucción y recuperación de las partes de las turbinas para que cuando se cree el Centro de Mecanizado y Recuperación de las Turbinas estén en óptimas condiciones para realizar las tareas pertinentes de una manera segura y adecuada.
- ✓ Es necesario poner en conocimiento de los trabajadores de la Central las normas técnicas de soldadura, tratamientos térmicos, y demás normas pertinentes que se deben cumplir para los procesos de recuperación de las Turbinas.
- ✓ Se sugiere a los Jefes de la Central que continúen con la gestión necesaria para que la creación del Centro de Mecanizado y Recuperación se dé lo más pronto posible ya que es una obra de muchísima importancia, no solo para la empresa sino para todo el sector energético del país.
- ✓ Se recomienda impartir cursos de soldadura especializada en aceros inoxidable para todos los trabajadores de Mantenimiento Mecánico para mejorar sus conocimientos, previo a la creación del Centro de Mecanizado y Recuperación de las turbinas.
- ✓ También se debería publicar en la página web de la Central los proyectos que se tienen planificado a futuro para que la colectividad tenga conocimiento de los mismos y pueda aportar con su conocimiento u opiniones; o a su vez pueda consultar cualquier inquietud que tenga.
- ✓ Para la aplicación de los cerámicos, en la actividad de mantenimiento trimestral, se recomienda utilizar Equipo de Protección Personal completo y en lo posible disminuir al máximo el tiempo de permanencia en el ambiente contaminado.



- ✓ Lo más recomendable para el proceso de reconstrucción de las partes las turbinas es que cada área este con su personal necesario y que cada actividad se la realice en forma ordenada, iniciando con los álabes directrices, para obtener un menor tiempo de trabajo.
- ✓ En vista que la mayoría de los implementos para el Centro de Mecanizado serán comprados, al tener la referencia del Horno de tratamientos Térmicos de la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., sería más conveniente la construcción del mismo con el personal de la Central.
- ✓ Se recomienda la utilización de materiales, de buena calidad y disponibles en el mercado nacional para disminuir los costos de importación de los mismos.
- ✓ Para tener una utilidad máxima del Horno de Tratamientos Térmicos, y los demás procesos de reconstrucción de las partes de las turbinas, es necesario que se ponga en conocimiento el proyecto del Centro de Mecanizado que se pretende ejecutar en la Central Hidroeléctrica Agoyán a las demás empresas que emplean Turbinas Hidráulicas en la Generación Eléctrica, para que se programe las reparaciones futuras en esta empresa, en lugar de llevarlas al exterior.

## CAPITULO VI

### PROPUESTA

#### 6.1 DATOS INFORMATIVOS

**Institución Ejecutora:** Central Hidroeléctrica Agoyán



**Figura 6.1 Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán (HIDROAGOYÁN)**

**Ubicación:** Sector Agoyán pasando el primer túnel en la vía Baños-Puyo.

**Parroquia:** Ulba

**Cantón:** Baños de Agua Santa

**Provincia:** Tungurahua

#### 6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

La Central Hidroeléctrica Agoyán tiene como proyecto de vital trascendencia e importancia, la creación de un Centro de Mecanizado destinado a la Recuperación y Reparación de las partes de las turbinas; de manera especial estará enfocado a la reparación de los rodets; por lo que fue necesario determinar los procesos que se deben ejecutar para este fin.

Esta investigación está enfocada a la parte de los tratamientos térmicos que se deben dar a las partes afectadas para su reconstrucción y rehabilitación. Por esta razón para que en el Centro de Mecanizado se puedan desarrollar estas actividades es necesario que el mismo cuente con un Horno de Tratamientos Térmicos como uno de sus elementos principales.

En la actualidad la Central Hidroeléctrica Agoyán cuenta con un Horno, empleado para la eliminación del exceso de agua de los Álabes Directrices de las Turbinas, para reparaciones puntuales de estos elementos pero no se puede realizar el precalentamiento, ni el tratamiento térmico de de estos elementos, ya que estos procesos requieren de temperaturas de 120 y 580 °C, respectivamente, y el Horno existente únicamente alcanza una temperatura máxima de 90 °C.

Es necesario tomar en cuenta que los Tratamientos Térmicos deben realizarse aplicando las normas y procedimientos técnicos necesarios para el material de las partes de las turbinas. Siendo el rodete el elemento principal, se tomará como referencia su material base que es el Acero Inoxidable 13/4. Debido a esta circunstancia los parámetros de diseño del horno estarán orientados a cumplir estas características.

Cabe destacar que debido a que la Central Hidroeléctrica Agoyán es una Empresa de Generación Eléctrica será conveniente utilizar resistencias eléctricas para el calentamiento del Horno, de tal forma, que se aprovechará esta energía generada, tanto para el horno como para los demás accesorios que se implementarán para ejecutar los Tratamientos Térmicos.

La Central Hidroeléctrica Agoyán tiene como referencia las características del horno de tratamientos térmicos en el cual, la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., realiza el precalentamiento y el tratamiento térmico de alivio de tensiones para la reconstrucción del rodete y los alabes móviles, por lo que se requiere que el horno de la Central tenga las mismas características técnicas y físicas para desarrollar estas actividades. Estos datos serán de vital importancia para la selección de los materiales.

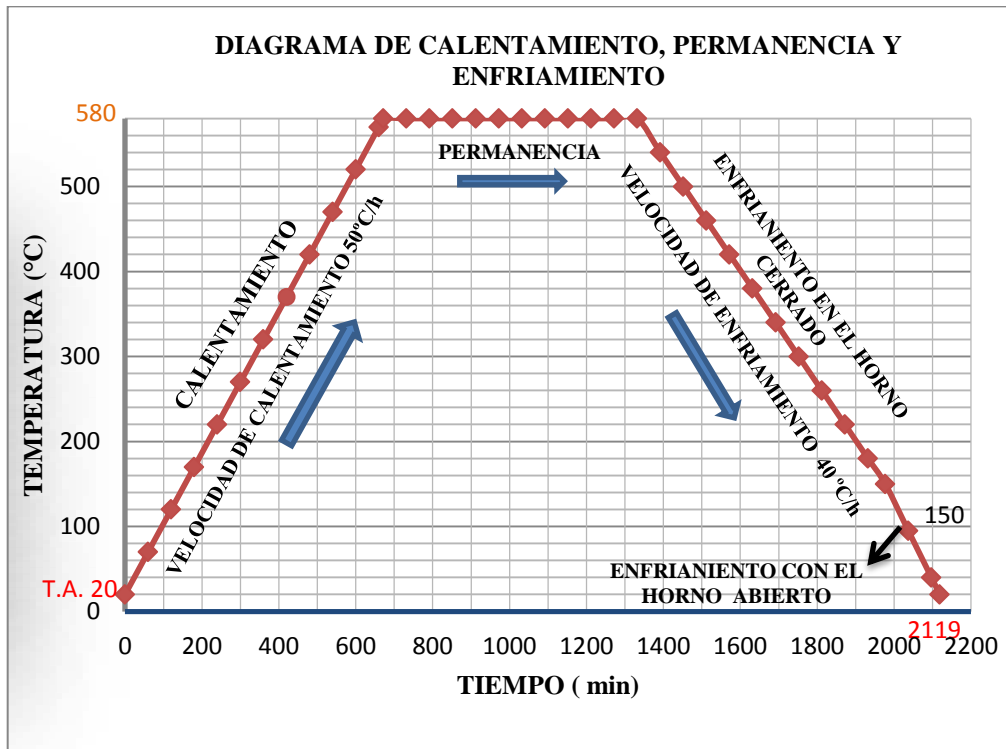
De acuerdo a los datos proporcionados por la Central Hidroeléctrica Agoyán los datos técnicos para el tratamiento térmico de alivio de tensiones son:

- El tratamiento debe efectuarse respetando las normas DIN-ASME para el acero inoxidable tipo 13/4 (X5CrNi13 4 o ASTM A 743 CA 6 NM).
- El procedimiento del tratamiento térmico del rodete debe ser el siguiente:

Velocidad de Calentamiento..... 40 – 50 °C / h  
 Temperatura de alivio ..... 580 ± 10 °C  
 Permanencia a la temperatura de alivio..... min. 11 horas  
 Velocidad de enfriamiento hasta los 150 °C..... 40 – 50 °C / h

A la temperatura de 150 °C, se debe abrir las escotillas del horno y se deja enfriar en aire calmado hasta la temperatura ambiente.

**Curva de calentamiento para el alivio de tensiones del rodete en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda. [3].**



**Figura 6.2 Diagrama de Calentamiento, Permanencia y Enfriamiento (HIDROAGOYÁN)**

[3] HIDROAGOYÁN

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Las industrias alrededor del mundo entero crecen a medida que pasa el tiempo e implementan nuevos equipos y maquinarias para facilitar los procesos y a la vez mejorar la calidad de sus productos. En el caso de la Central Hidroeléctrica Agoyán, que es una Empresa de Generación de Energía Eléctrica, las cosas no son diferentes puesto que cada vez busca mejorar los procesos de generación y a la vez va implementando nuevos equipos para cumplir con este objetivo.

A medida que la tecnología avanza, la Central se ha ido actualizando y muchos procesos se han mejorado notablemente con la automatización y la implementación de equipos modernos. De esta manera se busca suplir las necesidades que tiene la empresa y se obtienen resultados óptimos, beneficiando tanto a los trabajadores, al facilitar sus tareas y a la empresa por los resultados obtenidos.

Una de las prioridades de la empresa en la actualidad es el mejoramiento en los procesos de reconstrucción de las partes de las turbinas. Por este motivo se pretende crear un Centro de Mecanizado y Recuperación para realizar estas operaciones en las instalaciones de la Central.

Con este proyecto de gran importancia y necesidad para la empresa, es evidentemente importante que este Centro de Mecanizado y Recuperación cuente con un Horno de Tratamientos Térmicos para poder cumplir con todas las actividades de reparación necesarias y se puedan aplicar todas las normas de calidad pertinentes.

El diseño del Horno para dar los Tratamientos Térmicos en las partes de las turbinas tiene como finalidad aportar en el desarrollo y crecimiento de la Central, ya que es importante el impulso de la tecnología propia y a la vez se apoya a la investigación. Además con este proyecto se facilitará los procesos de reparación y se creará más fuentes de trabajo.

Este Horno a más de ser muy necesario para las actividades de reparación, porque es indispensable para los tratamientos térmicos, será de mucha utilidad para la empresa para múltiples actividades ya sea de reparación como de reconstrucción de elementos.

El costo de los Tratamientos Térmicos de las Partes de las Turbinas es relativamente alto y el costo de la inversión se verá recompensado con el costo beneficio en las reparaciones futuras y el servicio que puede ofrecer este elemento en la Central.

De acuerdo a los requerimientos de la empresa para minimizar los costos de la implementación del Centro de Mecanizado y Recuperación de las partes de las turbinas, se requiere que el Horno sea construido por el personal técnico calificado que la empresa posee, para lo cual requieren un diseño sencillo pero a la vez capaz de cumplir con las especificaciones técnicas necesarias para el precalentamiento y el tratamiento térmico de alivio de tensiones para el rodete y los alabes móviles.

Para la ejecución de este proyecto se contará con la inversión del Gobierno Central y la ejecución del mismo estará a cargo del personal de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

Este Horno sería el único en nuestro país, lo cual contribuiría al desarrollo y adelanto tecnológico a más de ser de gran utilidad para todo el sector energético nacional.

## **6.4 OBJETIVOS**

### **6.4.1 Objetivo General**

- ★ Diseñar un Horno de Tratamientos Térmicos por lotes para la recuperación y reparación de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán.

#### **6.4.2 Objetivos Específicos**

- ❖ Determinar los parámetros adecuados para el diseño del Horno de Tratamientos Térmicos para las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán.
- ❖ Diseñar el Horno de Tratamientos Térmicos, seleccionando los materiales pertinentes y cumpliendo con las normas y estándares necesarios.
- ❖ Establecer las características adecuadas que debe tener el Horno de Tratamientos Térmicos para la recuperación y reparación de las partes de las turbinas de la Central Hidroeléctrica Agoyán.
- ❖ Estipular la minimización de costos que se puede obtener en los tratamientos térmicos con la creación del Horno en la Central para las reparaciones futuras.

#### **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El análisis de factibilidad busca determinar las características necesarias para la ejecución de la propuesta y la facilidad para desarrollarla. Dentro de la evaluación de la factibilidad es necesario analizar ciertos aspectos tecnológicos, económicos, legales, entre otros con el fin de asegurar que la propuesta se encuentre debidamente fundamentada y documentada.

Se ha determinado con esta investigación, que el Horno de Tratamientos Térmicos es uno de los elementos de mayor importancia para la rehabilitación del rodete y los álabes directrices, para el precalentamiento antes del proceso de soldadura y el tratamiento térmico de alivio de tensiones luego de este proceso.

En vista que en la Central no se cuenta con este elemento, es necesario que se implemente este elemento para realizar las reparaciones en la empresa, con el Centro de Mecanizado.

Para el Centro de Mecanizado, la empresa tiene el presupuesto requerido para la obra civil y la compra e instalación de los equipos necesarios para realizar todos los procesos de reparación y reconstrucción de las partes de las turbinas. Pero es importante señalar que la Central Hidroeléctrica Agoyán, busca minimizar al máximo los costos de la implementación de este Centro.

Por este motivo y porque al realizar un diseño propio del horno de tratamientos térmicos se pueden adicionar características que faciliten la ejecución de los procesos, pero garantizando el cumplimiento de las características técnicas que requieren los elementos para su correcto funcionamiento, la Central Hidroeléctrica Agoyán ha decidido que el horno sea construido por el personal de la empresa.

Para el cumplimiento de este objetivo, se diseñará un Horno de Tratamientos Térmicos, de acuerdo a las características recomendadas por la empresa.

Otro aspecto que garantiza la factibilidad de este proyecto es la disminución del costo del horno diseñado y construido por la empresa con respecto a la adquisición de uno nuevo que cumpla con las características deseadas.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

Con la investigación realizada y a través de los datos proporcionados por la Central Hidroeléctrica Agoyán y la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., se determina que el tratamiento térmico de Alivio de Tensiones para el Rodete y los Álabes Directrices deben alcanzar una temperatura de 580 °C. Para una mayor confiabilidad la temperatura de diseño será de 700 °C.

De acuerdo con la norma ASTM A743, la recomendación para la velocidad de calentamiento hasta alcanzar la temperatura de diseño es de 50 °C por cada hora. Esto implica que el tiempo de calentamiento hasta la temperatura de diseño será de 14 horas <sup>[3]</sup>.

---

<sup>[3]</sup> HIDROAGOYÁN



## 6.6.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

### Características del Horno de Tratamientos Térmicos:

Conforme a la información proporcionada por la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., y los requerimientos de la Central Hidroeléctrica Agoyán, el Horno de Tratamientos Térmicos debe tener las siguientes características:

- El Horno de Tratamientos Térmicos debe tener todas sus resistencias calefactoras en el piso, de manera que se tendrá un piso radiante, y las paredes deben ser refractarias reflectivas, para una distribución uniforme del calor.
- El material refractario debe ser paneles cerámicos, ya que este material resiste temperaturas de hasta 1000 °C sin que exista ningún cambio en su estructura, con lo que se garantiza la correcta operación del horno para la temperatura del tratamiento térmico de alivio de tensiones.
- La tapa del horno tiene que ser desprendible, ya que es por la parte superior por donde ingresará la carga al horno, con ayuda del puente grúa del taller.
- Como la temperatura de alivio de tensiones para el rodete y los alabes móviles es de 580 °C, de acuerdo a las normas y la recomendación del fabricante, para una mayor confiabilidad del horno la temperatura de diseño debe ser de 700 °C.
- La capacidad de carga máxima que el Horno va a soportar es la del rodete, el cual pesa 18000 Kgf, también se debe tomar en cuenta la estructura de soporte del rodete. Esta estructura tendrá una masa aproximada de 875Kgf.
- La temperatura ambiente del taller es de 20 °C, por lo que se utilizará este valor para el análisis de transferencia de calor.

- La alimentación de energía eléctrica para el Horno será de 220 voltios trifásica a 60 Hz.

El calentamiento del horno debe ser mediante resistencias eléctricas para aprovechar la energía eléctrica generada por la empresa.

**Material base:**

Los álabes directrices y el rodete están fabricados con Acero Inoxidable Martensítico 13/4 o también conocido como ASTM CA-6NM, cuyas características son las siguientes:

**Tabla 6.1 Composición Química del Acero Inoxidable ASTM CA-6NM**

COMPOSITION									
	<u>C</u>	<u>Mn</u>	<u>Si</u>	<u>Cr</u>	<u>Ni</u>	<u>Mo</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cu+W+V</u>
Min %				11.5	3.5	0.4			
Max %	0.06	1.0	1.0	14.0	4.5	1.0	0.04	0.03	0.50

(Anexo 1a)

**Tabla 6.2 Propiedades Físicas del Acero Inoxidable ASTM CA-6NM**

PHYSICAL PROPERTIES	
Density (lbs/in <sup>3</sup> )	0.278
Liquidus(°F)	2715
Solidus(°F)	2670
Thermal Conductivity (Btu/h/ft <sup>2</sup> /ft/°F)	14.5 @ 212°F 16.7 @ 1000°F
Thermal Expansion (10 <sup>-6</sup> in/in °F)	6.0 @ 70-212°F 7.0 @ 70-1000°F
Magnetic Permeability	Ferromagnetic

(Anexo 1 a)

**Tabla 6.3 Propiedades Físicas del Acero Inoxidable ASTM CA-6NM**

Chemical composition - %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
min.						11.5	3.5	0.4	
max.	0.060	1.00	1.00	0.040	0.030	14.0	4.5	1.0	bal
Physical properties									
Modulus of elasticity, psi x 10 <sup>6</sup>								29.0	
Density, lb/in <sup>3</sup>								0.278	
Sp. Heat, Btu/lb.°F, at 70 °F								0.11	
Electrical resistivity, μΩ.m, at 70 °F								0.78	
Melting point, approximate °F							2750		
Magnetic permeability							Ferromagnetic		
Thermal conductivity Btu/(ft.h. °F)						Mean coefficient of Linear thermal expansion μ in./(in. °F)			

**(Anexo 1 a)**

**Tabla 6.4 Propiedades Físicas del Acero Inoxidable ASTM CA-6NM**

**Table 7 Physical properties of corrosion resistant stainless steel castings** Ref. 3,4

ACI	Melting Point		Specific Heat		Coefficient of Thermal Expansion		Thermal Conductivity 32-212°F (0-100°C)	
	°C	°F	J/Kg-°K	32-212°F Btu/lb°F	m/m-°K	in 106 in/in/°F	Btu/(ft-hr-°F)	W/m-°K
CA6NM	1510	2750	460 <sup>1</sup>	.011 <sup>1</sup>	3.3 <sup>2</sup> , 3.9 <sup>3</sup>	6.0 <sup>2</sup> , 7.0 <sup>2</sup>	14.5 <sup>4</sup> , 16.7 <sup>4</sup>	25.10 <sup>4</sup> , 28.90 <sup>4</sup>
CA15	1510	2750	460	0.11 <sup>1</sup>	3.0 <sup>2</sup> , 3.6 <sup>3</sup>	5.5 <sup>2</sup> , 6.4 <sup>3</sup>	14.5 <sup>4</sup> , 16.7 <sup>4</sup>	25.10 <sup>4</sup> , 28.89 <sup>4</sup>
CA40	1508	2725	460 <sup>1</sup>	0.111	3.0 <sup>2</sup> , 3.6 <sup>3</sup>	5.5 <sup>2</sup> , 6.4 <sup>3</sup>	14.5 <sup>4</sup> , 16.7 <sup>4</sup>	25.10 <sup>4</sup> , 28.89 <sup>4</sup>
CB7Cu	1510	2750	460 <sup>1</sup>	0.11 <sup>1</sup>	3.3 <sup>2</sup> , 3.7 <sup>3</sup>	6.0 <sup>2</sup> , 6.6 <sup>3</sup>	9.9 <sup>4</sup>	17.13 <sup>4</sup>
CD4MCu	1482	2700	460 <sup>1</sup>	0.11 <sup>1</sup>	3.5 <sup>2</sup> , 3.9 <sup>3</sup>	6.3 <sup>2</sup> , 6.9 <sup>3</sup>	8.8 <sup>4</sup>	15.23 <sup>4</sup>
CF3	1454	2650	502 <sup>1</sup>	.012 <sup>1</sup>	5.0 <sup>2</sup> , 5.6 <sup>3</sup>	9.0 <sup>2</sup> , 10.0 <sup>3</sup>	9.2 <sup>4</sup> , 12.1 <sup>4</sup>	15.92 <sup>4</sup> , 20.94 <sup>4</sup>
CF3M	1427	2600	502 <sup>1</sup>	0.12 <sup>1</sup>	5.0 <sup>2</sup> , 5.4 <sup>3</sup>	8.9 <sup>2</sup> , 9.7 <sup>3</sup>	9.4 <sup>4</sup> , 12.3 <sup>4</sup>	16.27 <sup>4</sup> , 21.29 <sup>4</sup>
CF8	1427	2600	502	0.12	5.0 <sup>2</sup> , 5.6 <sup>3</sup>	9.0 <sup>2</sup> , 10.0 <sup>3</sup>	9.2 <sup>4</sup> , 12.1 <sup>4</sup>	15.92 <sup>4</sup> , 20.94 <sup>4</sup>
CF8C	1427	2600	502	0.12	5.2 <sup>2</sup> , 5.8 <sup>3</sup>	9.3 <sup>2</sup> , 10.3 <sup>3</sup>	9.3 <sup>4</sup> , 12.8 <sup>4</sup>	16.10 <sup>4</sup> , 22.15 <sup>4</sup>
CF8M	1399	2550	502	0.12	5.0 <sup>2</sup> , 5.4 <sup>3</sup>	8.9 <sup>2</sup> , 9.7 <sup>3</sup>	9.4 <sup>4</sup> , 12.3 <sup>4</sup>	16.27 <sup>4</sup> , 21.29 <sup>4</sup>
CF16F	1399	2550	502	0.12	5.0 <sup>2</sup> , 5.5 <sup>3</sup>	9.0 <sup>2</sup> , 12.3 <sup>3</sup>	9.4 <sup>4</sup> , 12.3 <sup>4</sup>	16.27 <sup>4</sup> , 21.29 <sup>4</sup>
CG8M	1399	2550	502	0.12	5.0 <sup>2</sup> , 5.4 <sup>3</sup>	8.9 <sup>2</sup> , 9.7 <sup>3</sup>	9.4 <sup>4</sup> , 12.3 <sup>4</sup>	16.27 <sup>4</sup> , 21.29 <sup>4</sup>
CH20	1427	2600	502	0.12	4.8 <sup>2</sup> , 5.3 <sup>3</sup>	8.6 <sup>2</sup> , 9.5 <sup>3</sup>	8.2 <sup>4</sup> , 12.0 <sup>4</sup>	14.19 <sup>4</sup> , 20.77 <sup>4</sup>
CK20	1427	2600	502	0.12	4.7 <sup>2</sup> , 5.3 <sup>3</sup>	8.3 <sup>2</sup> , 9.4 <sup>3</sup>	7.9 <sup>4</sup> , 11.8 <sup>4</sup>	13.67 <sup>4</sup> , 20.42 <sup>4</sup>

1) at 70°F (21°C)      2) 68-212°F (20-100°C)      3) 70-1000°F (21-93°C)      4) at 212°F (100°C)  
5) at 1000°F (538°C)      6) 70-200°F (21-93°C) aged at 900°F (482°C)      7) 70-200°F (21-93°C) aged at 1100°F (593°C)

**(Anexo 1 b)**

### Características del material refractario:

**Panel de Fibra cerámica.-** Fibras cerámicas refractarias en forma de bloques y acordeón. Son fáciles de instalar. Están compuestos de óxido de silicio-alúmina [18].

**Usos:** Aislamiento térmico para hornos de forja, de tratamiento térmico, de homogenización, de precalentamiento, hornos de túnel y de etileno, incineradores, bloques y sellos para carros de hornos, calentadores para procesos, reformadores y revestimiento de chimeneas [18].



**Figura 6.3 Panel Refractario de Fibra Cerámica**  
(<http://www.calorcol.com/Productos/Cat%25C3%25A1logodeProductos>)

**Tabla 6.5 Propiedades de los Paneles Refractarios de Fibra Cerámica**

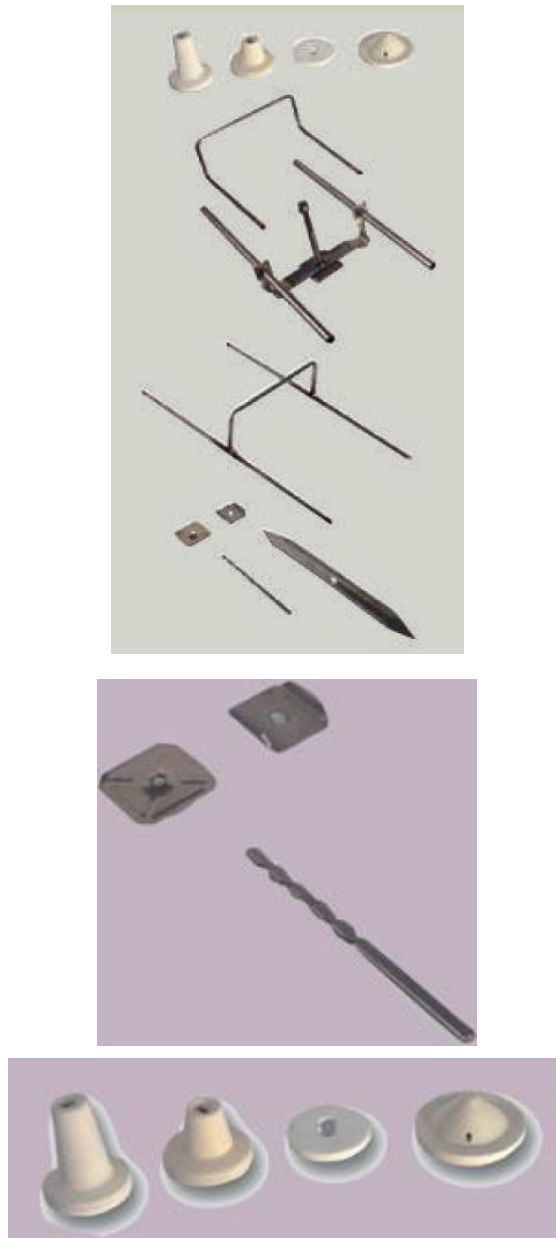
MANTA DE FIBRA DE ÓXIDO DE SILICIO-ALÚMINA (MANTA DE FIBRA CERÁMICA)			
Propiedades Típicas	Símbolo	Valor	Unidad
Calor Específico	Cp	1,225	KJ/Kg.°K
Densidad	$\rho$	128	Kg/m <sup>3</sup>
Temperatura Máxima de Servicio	T máx.	1530	°K
Conductividad Térmica a Diferentes Temperaturas			
Temperatura Media		Valor	Unidad
530 °K		0,049	W/m.°K
645 °K		0,068	
750 °K		0,091	

**(Fundamentos de Transferencia de Calor de INCROPERA)**

[18] <http://www.calorcol.com/Productos/Cat%25C3%25A1logodeProductos>

**Anclajes para los Paneles de Fibra Cerámica.-** Para anclar los módulos de fibra cerámica, se requieren elementos que resistan a las altas temperaturas a las que van estar expuestas y a su vez permitir el acoplamiento entre estos y la pared metálica <sup>[19]</sup>.

Los anclajes más utilizados son:



**Figura 6.4 Anclajes para los Módulos de Fibra Cerámica**  
(<http://nutecfibratec.com/index.com>)

<sup>[19]</sup> <http://nutecfibratec.com/index.php?option=com>

**Ladrillo refractario.-** En las bodegas de la Central Hidroeléctrica Agoyán, se tiene un pequeño stock de ladrillos refractarios, que se sujetan a las siguientes características:

**Tabla 6.6 Propiedades del Ladrillo Refractario**

Descripción/composición	Temperatura (°C)	Densidad $\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Conductividad Térmica K, (Kcal/m.hr.K)	Conductividad Térmica K, (W/m.K)
Ladrillo Refractario Aislante UA- 26	819	0,74 – 0,86	0,274	0,3187
	1060		0,413	0,4804
	360		0,0093	0,0108

(Anexo 2)

$$\frac{0,274 \frac{\text{Kcal}}{\text{m.hr.K}}}{2,3883 \times 10^{-4} \frac{\text{Kcal}}{\text{J}}} \times \frac{1 \text{ J}}{3600 \text{ seg}} \times \frac{1 \text{ hr}}{3600 \text{ seg}} = 0,3187 \text{ W/m.K}$$

**Características de la Resistencias:**

En nuestro país, empresas Vega “Omega”, se dedican a la fabricación de resistencias eléctricas para el calentamiento de Hornos Industriales bajo pedido y de acuerdo a las especificaciones y potencia requerida por cada cliente.

Por este motivo las resistencias eléctricas a utilizar, han de construirse de acuerdo a las necesidades y potencia calculada, para obtener un correcto funcionamiento del Horno de Tratamientos Térmicos. De manera que las especificaciones y características de las mismas se indicaran más adelante.



**Figura 6.5 Resistencias Eléctricas Tubulares**  
(Anexo 3)

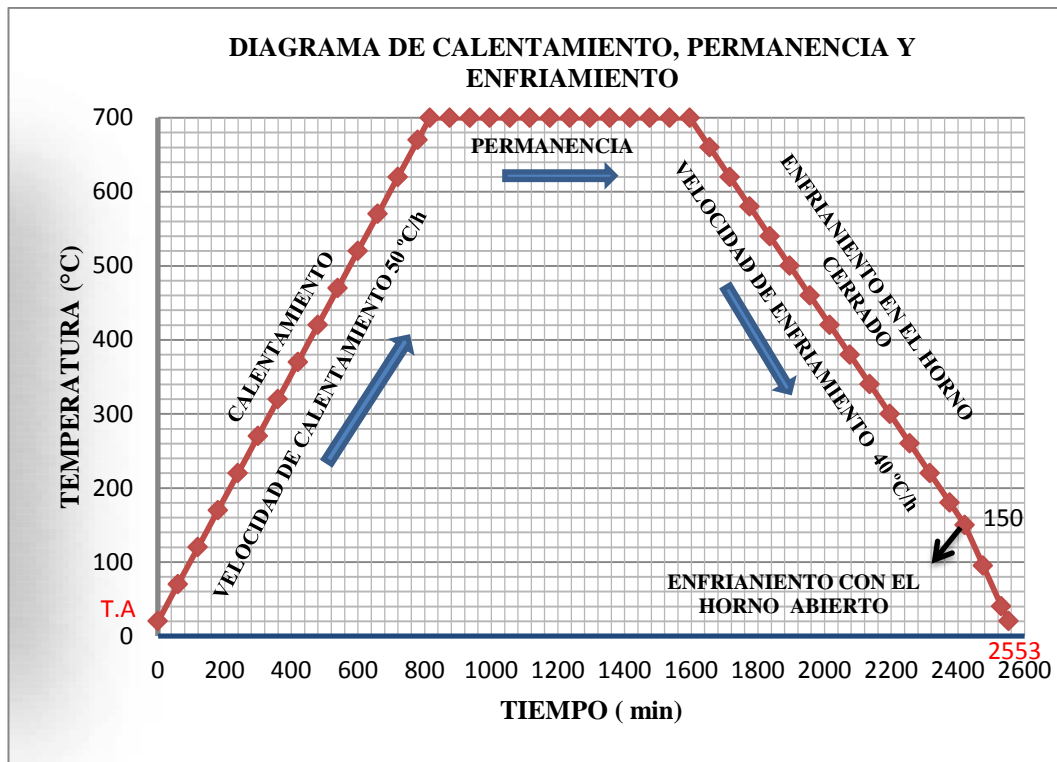
**Parámetros para el calentamiento del horno:**

Datos para la curva de calentamiento para el diseño del horno:

**Tabla 6.7 Datos del tiempo de calentamiento, permanencia y enfriamiento**

TIEMPO ( min)	TEMPERATURA (°C)
X	Y
0	20
60	70
120	120
180	170
240	220
300	270
360	320
420	370
480	420
540	470
600	520
660	570
720	620
780	670
816	700
876	700
936	700
996	700
1056	700
1116	700
1176	700
1236	700
1296	700
1356	700
1416	700
1476	700
1536	700
1596	700
1656	660
1716	620
1776	580
1836	540
1896	500
1956	460
2016	420
2076	380
2136	340
2196	300
2256	260
2316	220
2376	180
2421	150
2476	95
2531	40
2553	20

**(HIDROAGOYÁN)**



**Figura 6.6 Diagrama de Calentamiento, Permanencia y Enfriamiento para el diseño del Horno de Tratamientos Térmicos (HIDROAGOYÁN)**

Como se puede apreciar en los datos, el tiempo en que el horno debe llegar a la temperatura de diseño de 700 °C a una velocidad de calentamiento de 50 °C/hora, es de 816 minutos, lo que equivale a 13,6 horas, por lo que se empleará para el diseño un tiempo de 14 horas.

#### **Tipo de Horno seleccionado.**

De acuerdo a los requerimientos de la empresa se ha escogido, como guía para el diseño el Horno de paneles provisto de tapa superior móvil para el ingreso de la carga. Diseñado para cumplir con los más rigurosos requerimientos de uniformidad de temperatura para tratamientos térmicos. Sistema de calentamiento mediante resistencias eléctricas.

En este horno la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., realiza los tratamientos térmicos, con los parámetros técnicos necesarios, para la reconstrucción de los elementos afectados.





**Figura 2.17  
(HIDROAGOYÁN)**

### **Carga del Horno**

Para la carga y tamaño del horno se tomara el cuenta el peso y las dimensiones del rodete, ya que este es el elemento de mayor volumen y masa de las partes móviles de las turbinas, debido que la tapa y el cono no son sometidos a ningún tratamiento térmico.

### **Características del rodete:**

- Masa = 18000 Kg
- Altura = 1370 mm
- Diámetro mayor = 3380 mm
- Diámetro menor = 2800 mm

### **Dimensiones del horno:**

De acuerdo a las características del rodete, las dimensiones del horno deben ser: 4m de ancho por 4m de largo y 2,50m de alto.

### **Forma de Calentamiento**

Al tratarse de una empresa de Generación Eléctrica, y por los beneficios que ofrece este tipo de calentamiento para el control de la temperatura, se requiere que el calentamiento de horno se lo realice por medio de Resistencias Eléctricas.

## 6.6.2 FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Según INCROPERA, la transferencia de calor es la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas <sup>[20]</sup>.

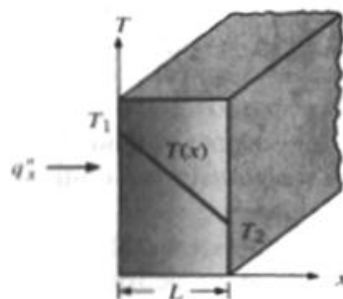
Cuando se produce una transferencia de Calor, se intercambia energía en forma de calor entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distintas temperaturas <sup>[20]</sup>.

Cuando dos objetos que están a temperaturas diferentes se ponen en contacto térmico, el calor fluye desde el objeto de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. El flujo neto se produce siempre en el sentido de la temperatura decreciente. Los mecanismos por los que fluye calor son:

- ★ Conducción
- ★ Convección
- ★ Radiación <sup>[20]</sup>

**Conducción.-** La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energéticas a las menos energéticas de una sustancia debido a las interacciones entre las mismas. En los sólidos, la única forma de transferencia de calor es la conducción <sup>[20]</sup>.

Para la conducción de calor, la ecuación o modelo se conoce como la Ley de Fourier y se expresa de la siguiente manera:



**Figura 6.7 Transferencia Unidimensional de Calor por Conducción  
(Fundamentos de Transferencia de Calor de INCROPERA)**

<sup>[20]</sup> INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor

$$qx'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (6.1)$$

Donde:  $qx''$  ( $W/m^2$ ), es la velocidad con que se transfiere calor en la dirección  $x$  por área unitaria y es proporcional al gradiente de temperatura  $\frac{dT}{dx}$ .

La constante de proporcionalidad,  $k$ , es una propiedad de transporte conocida como conductividad térmica ( $W/m \cdot k$ ) y es una característica propia de cada material <sup>[20]</sup>.

El gradiente de temperatura, de acuerdo a la figura, se puede expresar como:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$T_2$  es la temperatura interior y  $T_1$  es la temperatura exterior, según el gráfico anterior. Entonces el flujo de calor sería:

$$qx'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad ; \text{ O a su vez: } qx'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (6.2)$$

**Convección.-** La convección es la forma de transferencia de calor que se caracteriza porque ocurre entre un fluido en movimiento y una superficie limitante cuando éstos tienen diferentes temperaturas <sup>[20]</sup>.

La transferencia de calor por convección se clasifica de acuerdo con la naturaleza del flujo y se divide en:

**a) Convección Libre:** Ocurre si el flujo es consecuencia de las fuerzas de flotación generadas por la diferencia de densidad, que o su vez se generan por gradientes de temperatura en la masa de fluido <sup>[20]</sup>.

**b) Convección forzada:** Ocurre cuando el flujo se pone en movimiento por acción de algún dispositivo externo, tal como una bomba o un agitador <sup>[20]</sup>.

<sup>[20]</sup> INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor

Sin importar la naturaleza particular del proceso de transferencia de calor por convección, la ecuación apropiada es la ley de enfriamiento de Newton:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (6.3)$$

Donde  $q''$ , es el flujo de calor por convección ( $W/m^2$ ), que es proporcional a la diferencia entre las temperaturas de la superficie y del fluido,  $h$  ( $W/m^2.K$ ) es el coeficiente de transferencia de calor por convección y  $T_s$  es la temperatura superficial y  $T_\infty$  es la temperatura exterior <sup>[20]</sup>.

**Tabla 6.8 Valores del Coeficiente de Transferencia de Calor por Convección**

PROCESO	h (W/m <sup>2</sup> .K)
<b>Convección Libre</b>	
Gases	2 - 25
Líquidos	50 - 1000
<b>Convección Forzada</b>	
Gases	25 - 250
Líquidos	50 - 20000
<b>Convección con cambio de fase</b>	
Ebullición o condensación	2500 - 100000

(Fundamentos de Transferencia de Calor de INCROPERA)

#### Flujo externo de convección libre:

Para la convección libre existen correlaciones empíricas desarrolladas para geometrías comunes inmersas, de acuerdo a INCROPERA, estas son <sup>[20]</sup>:

#### Número de Nusselt:

$$\bar{N}_{UL} = \frac{\bar{h} * L}{K} \quad (6.4)$$

Donde:

$\bar{N}_{UL}$ , es el número de Nusselt promedio. Este parámetro proporciona una medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie <sup>[20]</sup>.

<sup>[20]</sup> INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor

$\bar{h}$ , es el coeficiente de transferencia de calor por convección promedio.

$L$ , es la longitud característica de la transferencia de calor.

$K$ , es la conductividad térmica del fluido.

**Número de Rayleigh:**

$$Ra_L = Gr_L Pr \quad (6.5)$$

Donde:

$Ra_L$ , es el número de Rayleigh, que es el producto de los números de Grashof y Prandtl <sup>[20]</sup>.

**Número de Grashof:**

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad (6.6)$$

$Gr_L$ , es el número de Grashof, indica la razón de las fuerzas de empuje a las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido <sup>[20]</sup>.

$g$ , es la aceleración gravitacional, que es igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$  <sup>[20]</sup>.

$\beta$ , es el coeficiente de expansión térmica volumétrica ( $K^{-1}$ ), que es igual <sup>[20]</sup>:

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (6.7)$$

Donde  $T_f$ , es la temperatura de película, temperatura a la cual se evalúan las propiedades del fluido, y es igual a <sup>[20]</sup>:

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} \quad (6.8)$$

$T_s$ , es la temperatura de la superficie limitante.

<sup>[20]</sup> INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor

$T_{\infty}$ , es la temperatura del fluido en movimiento.

$L$ , es la longitud característica de la superficie limitante.

$\nu$ , es la viscosidad cinemática del fluido.

$Pr$ , es el número de Prandtl, que es igual a:

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (6.9)$$

Siendo  $\alpha$ , la difusividad térmica del fluido <sup>[20]</sup>.

Reemplazando las ecuaciones (6.6) y (6.9) en la ecuación (6.5) tenemos:

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\nu^2} * \frac{\nu}{\alpha}$$
$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\alpha\nu} \quad (6.10)$$

La ecuación (6.10), se aplica tanto para placas verticales como para placas horizontales <sup>[20]</sup>.

### **Número de Nusselt para Placas Verticales:**

Churchill y Chu recomiendan las siguientes correlaciones para el Número de Nusselt en Placas Verticales <sup>[20]</sup>:

Para flujo Laminar, cuando  $Ra_L \lesssim 10^9$  <sup>[20]</sup>:

$$\bar{N}_{UL} = 0,68 + \frac{0,670 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad (6.11)$$

Para flujo turbulento la correlación es la siguiente <sup>[20]</sup>:

<sup>[20]</sup> INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor

$$\bar{N}_{UL} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0,492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (6.12)$$

### Número de Nusselt para Placas Horizontales:

Para placas horizontales, INCROPERA recomienda que se utilice la longitud característica mejorada, que se define como <sup>[20]</sup>:

$$L = \frac{A_s}{P} \quad (6.13)$$

Donde  $A_s$ , es el área de la superficie y  $P$ , es el perímetro de la placa.

De este modo, las correlaciones para el Número de Nusselt promedio son:

Para una superficie superior de placa caliente o superficie inferior de placa fría <sup>[20]</sup>:

$$\bar{N}_{UL} = 0,54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \lesssim Ra_L \lesssim 10^7) \quad (6.14)$$

$$\bar{N}_{UL} = 0,15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{11}) \quad (6.15)$$

Para una superficie inferior de placa caliente o superficie superior de placa fría <sup>[20]</sup>:

$$\bar{N}_{UL} = 0,27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{10}) \quad (6.16)$$

Para el cálculo del coeficiente de convección promedio, despejando de la ecuación 6.4 tenemos <sup>[20]</sup>:

$$\bar{h} = \frac{\bar{N}_{UL} * k}{L} \quad (6.17)$$

**Radiación.-** La radiación térmica es la energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura finita y presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío <sup>[20]</sup>.

<sup>[20]</sup> INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor

La radiación que una superficie emite se origina a partir de la energía térmica de la materia limitada por la superficie, y la velocidad a la que libera energía por unidad de área ( $\text{W}/\text{m}^2$ ), se denomina potencia emisiva superficial **E**. Hay un límite superior para la potencia emisiva, que es establecida por la ley de Stefan-Boltzmann <sup>[20]</sup>.

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad (6.18)$$

Donde  $T_s$  es la temperatura absoluta (K) de la superficie y  $\sigma$  es la constante de Stefan Boltzmann ( $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ ). Dicha superficie se llama radiador ideal o cuerpo negro <sup>[20]</sup>.

El flujo de calor emitido por una superficie real es menor que el de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dado por:

$$E = \epsilon \sigma T_s^4 \quad (6.19)$$

Donde  $\epsilon$  es una propiedad radiativa de la superficie denominada emisividad. Con valores en el rango  $0 \leq \epsilon \leq 1$  <sup>[20]</sup>.

La radiación también puede incidir sobre una superficie desde sus alrededores. Sin tener en cuenta la fuente, la velocidad a la que toda esa radiación incide sobre un área unitaria de la superficie se designa como irradiación  $G$  <sup>[20]</sup>.

La velocidad a la que la energía radiante es absorbida por área superficial unitaria se evalúa a partir de una propiedad radiativa de la superficie denominada absorptividad  $\alpha$  <sup>[20]</sup>.

$$G_{abs} = \alpha G \quad (6.20)$$

La velocidad neta de transferencia de calor por radiación desde la superficie, expresada por la unidad de área de la superficie, es <sup>[20]</sup>:

$$q''_{rad} = \frac{q}{A} = \epsilon \sigma (T_s^4 - T_{alr}^4) \quad (6.21)$$

---

<sup>[20]</sup> INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor



Algunas veces es conveniente expresar el intercambio neto de calor por radiación de la forma <sup>[20]</sup>:

$$q''_{rad} = h_r A (T_s - T_{alr}) \quad (6.22)$$

Donde el coeficiente de transferencia de calor por radiación  $h_r$ , es:

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s - T_{alr}) (T_s^2 + T_{alr}^2) \quad (6.23)$$

Donde  $h_r$  depende marcadamente de la temperatura.

Reemplazando la ecuación (6.23) en la ecuación (6.22), se obtiene el valor de la ecuación (6.21), mostrada anteriormente <sup>[20]</sup>:

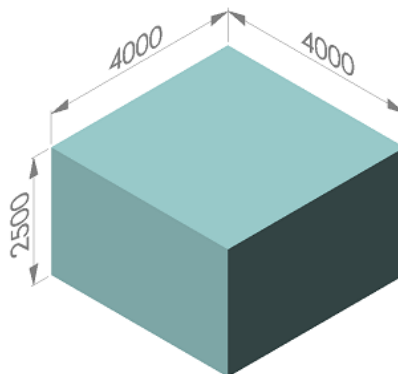
$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{alr}^4)$$

## 6.7 METODOLOGÍA

### DISEÑO DE UN HORNO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA EL ALIVIO DE TENSIONES DEL RODETE Y LOS ÁLABES DIRECTRICES DE LAS TURBINAS DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN

#### 6.7.1 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CONVECCIÓN:

**Dimensiones:**



**Figura 6.8 Dimensiones del Horno  
(Carlos Fernando Sánchez R.)**

<sup>[20]</sup> INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor

### **Coefficiente de Convección Externo:**

#### **Parámetros:**

Existe convección libre en el exterior del horno.

El aire ambiente en la Central, tiene una temperatura promedio de 20°C.

Se estima la temperatura interior del horno de 700°C.

La temperatura superficial en el exterior del horno debe estar en el rango de 50°C a 60°C.

#### **Datos:**

$$T_s = 60^\circ\text{C} = 333^\circ\text{K}$$

$$T_\infty = 20^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$$

$$L = 2,5 \text{ m}$$

Utilizando la ecuación (6.8), se determina la temperatura de película:

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2}$$

$$T_f = \frac{(333 + 293)}{2}$$

$$T_f = 313^\circ\text{K}$$

Reemplazando el valor de  $T_f$  en la ecuación (6.7), se obtiene el valor del coeficiente de expansión térmica volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{313^\circ\text{K}}$$

$$\beta = 0,0032 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Como la temperatura de película  $T_f = 313^\circ\text{K}$ , se obtienen las propiedades del aire a esta temperatura, interpolando del anexo 4:

$$k = 26,3 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{K}}$$

$$\nu = 15,89 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\alpha = 22,5 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\text{Pr} = 0,707$$

Aplicando la ecuación (6.10) tenemos:

$$\text{Ra}_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu}$$

$$\text{Ra}_L = \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} (0,0032^\circ\text{K}^{-1})(333 - 293)^\circ\text{K} (2,5)^3\text{m}^3}{\left(22,5 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right) \left(15,89 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)}$$

$$\text{Ra}_L = 5,5 \times 10^{10} \rightarrow \text{Flujo Turbulento.}$$

Por lo tanto se aplica la ecuación (6,12):

$$\bar{N}_{UL} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \text{ Ra}_L^{1/6}}{[1 + (0,492/\text{Pr})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$\bar{N}_{UL} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 (5,5 \times 10^{10})^{1/6}}{[1 + (0,492/0,707)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$$

$$\bar{N}_{UL} = 425,3$$

Por lo tanto, aplicando la ecuación (6.17) se tiene:

$$\bar{h} = \frac{\bar{N}_{UL} * K}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{425,3 * 26,3 \times 10^{-3} \frac{W}{m^2K}}{2,5 m}$$

$$\bar{h} = 4,5 \frac{W}{m^2K}$$

El coeficiente de convección externo promedio es de aproximadamente  $5 \frac{W}{m^2K}$ , pero como el taller estará ubicado en una zona donde existe corrientes de viento, para el diseño, se utilizará entonces un coeficiente de convección externo de:

$$\bar{h}_a = 10 \frac{W}{m^2K}$$

### **Coefficiente de Convección Interno:**

#### **Parámetros:**

Para el coeficiente de convección interno, se estiman las temperaturas al inicio del proceso de calentamiento del horno, en la parte inferior.

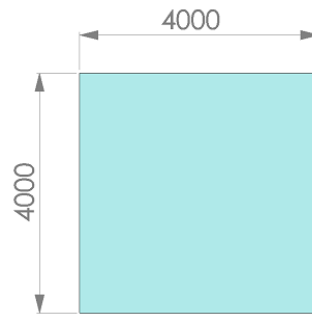
El proceso de convección en el interior del horno se producirá desde el piso hacia las paredes laterales y el techo, en vista que en la parte inferior es donde irán colocadas las resistencias eléctricas.

De acuerdo a la información proporcionada por la Central Hidroeléctrica Agoyán, y la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., la carga del horno estará colocada a una distancia aproximada de 20 cm del piso donde van ir colocadas las resistencias eléctricas para facilitar el proceso de convección.

Con estas consideraciones, se evaluará el coeficiente de convección considerando al piso como una superficie superior de placa caliente o superficie inferior de placa fría.

**Datos:**

Dimensiones del piso.



**Figura 6.9 Dimensiones del Piso**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

Se estima la temperatura del piso de 700°C.

La temperatura en la parte superior del horno se estima igual a la ambiente al inicio del proceso de calentamiento del horno.

$$T_s = 700^\circ\text{C} = 973^\circ\text{K}$$

$$T_\infty = 20^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$$

Para el cálculo de la longitud característica, se aplica la ecuación (6.13):

$$L = \frac{A_s}{P}$$

$$L = \frac{(4 * 4)}{(4 + 4 + 4 + 4)}$$

$$L = 1m$$

Utilizando la ecuación (6.8), se determina la temperatura de película:

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2}$$

$$T_f = \frac{(973 + 293)}{2}$$

$$T_f = 633^\circ\text{K}$$

Reemplazando el valor de  $T_f$  en la ecuación (6.7), se obtiene el valor del coeficiente de expansión térmica volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{633 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$\beta = 0,00158 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Con la temperatura de película, se obtienen las propiedades del aire a esta temperatura:

$T_f = 633^\circ\text{K}$ , interpolando del Anexo 4 se obtienen los siguientes valores:

$$k = 48,748 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{K}}$$

$$\nu = 57,6532 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\alpha = 83,764 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{Pr} = 0,6883$$

Aplicando la ecuación (6.10):

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu}$$

$$Ra_L = \frac{9,8 \frac{m}{s^2} (0,00158^\circ K^{-1})(973 - 293)^\circ K (1)^3 m^3}{\left(83,764 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right) \left(57,6532 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}\right)}$$

$Ra_L = 2,18 \times 10^9 \rightarrow$  Por lo tanto se debe aplicar la ecuación (6.15).

$$\bar{N}_{UL} = 0,15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{11})$$

$$\bar{N}_{UL} = 0,15 (2,18 \times 10^9)^{1/3}$$

$$\bar{N}_{UL} = 194,5$$

Con la ecuación (6.17) se tiene:

$$\bar{h} = \frac{\bar{N}_{UL} * K}{L}$$

$$\bar{h} = \frac{194,5 * 48,748 \times 10^{-3} \frac{W}{m^2 \circ K}}{1 m}$$

$$\bar{h} = 9,48 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

El coeficiente de convección interno promedio es de aproximadamente  $10 \frac{W}{m^2 \circ K}$ , y para mayor confiabilidad del diseño, se utilizará entonces un coeficiente de convección interno de:

$$\bar{h}_\infty = 15 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

### **Coefficiente de Radiación:**

Para el cálculo del coeficiente de radiación, se tomara en cuenta los mismos parámetros de diseño utilizados para el coeficiente de convección interno, debido a que la radiación se producirá desde el piso hacia las paredes laterales y el techo del horno.

Debido a que las resistencias van estar al descubierto sobre el piso ladrillo refractario, se estima que la emisividad es igual a 0.9, aunque para el diseño se usará una emisividad de 0,8.

### **Datos:**

$$T_s = 700^\circ\text{C} = 973 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_{\text{alr}} = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$\varepsilon = 0,8$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$

Para el cálculo del coeficiente de radiación se aplica la ecuación (6.23)

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s - T_{\text{alr}}) (T_s^2 - T_{\text{alr}}^2)$$

$$h_r = (0,8) \left( 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right) (973 - 293) ((973)^2 - (293)^2)$$

$$h_r = (0,8) \left( 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4} \right) (973 - 293) \text{ K} \{ (973)^2 - (293)^2 \} \text{K}^2$$

$$h_r = 26,55 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}}, \text{ aproximando } h_r = 27 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{K}}$$

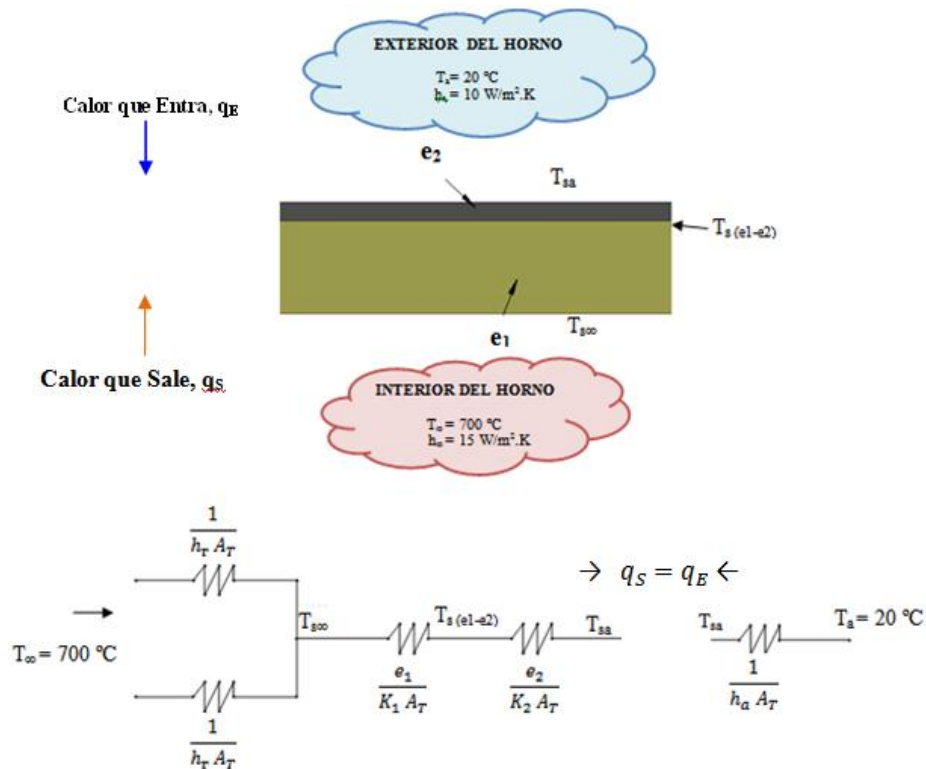


Como la radiación disminuirá, conforme en las paredes y el techo del horno se vaya elevando la temperatura, el coeficiente de radiación para el diseño será de:

$$h_r = 15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### Comprobación de la Temperatura Externa del Horno:

Para comprobar que la temperatura externa del horno  $T_{Sa}$  este en el rango permitido, realizamos un balance de energía en el techo, de la siguiente manera:



**Figura 6.10 Circuito de Resistencias Térmicas para evaluar la Temperatura Superficial (Carlos Fernando Sánchez R.)**

$$\dot{E}_E = \dot{E}_S$$

$$q_S = q_E$$

$$q_E = \frac{T_{Sa} - T_a}{\frac{1}{h_a A_T}}$$

$$q_S = \frac{T_\infty - T_{Sa}}{\left(\frac{1}{A_T h_\infty} + \frac{1}{A_T h_r}\right)^{-1} + \frac{e_1}{K_{e1} A_T} + \frac{e_2}{K_{e2} A_T}}$$

$$\frac{T_\infty - T_{Sa}}{\left(\frac{1}{A_T h_\infty} + \frac{1}{A_T h_r}\right)^{-1} + \frac{e_1}{K_{e1} A_T} + \frac{e_2}{K_{e2} A_T}} = \frac{T_{Sa} - T_a}{\frac{1}{h_a A_T}}$$

$$\frac{973 - T_{Sa}}{\left(\frac{1}{(16)(15)} + \frac{1}{(16)(15)}\right)^{-1} + \frac{0,1016}{0,049*16} + \frac{0,003175}{63,9*16}} = \frac{T_{Sa} - 293}{\frac{1}{10*16}}$$

$$\frac{973 - T_{Sa}}{2,08x10^{-3} + 0,1296 + 3,1x10^{-6}} = \frac{T_{Sa} - 293}{0,00625}$$

$$(0,00625)(973 - T_{Sa}) = (0,1316)(T_{Sa} - 293)$$

$$6,08 - 0,00625 T_{Sa} = 0,1316 T_{Sa} - 38,58$$

$$T_{Sa} = \frac{44,66}{0,13785}$$

$$T_{Sa} = 323,97 \text{ } ^\circ\text{K} = 50,97 \text{ } ^\circ\text{C}$$

La temperatura exterior se encuentra en el rango  $50^\circ\text{C} \leq T_{Sa} \leq 60^\circ\text{C}$ .

### **Carga del Horno:**

Debido a que el Horno será utilizado para el precalentamiento y el tratamiento térmico de alivio de tensiones del Rodete y los Álabes Directrices, se tomará en cuenta las características de estos elementos para determinar la carga.

Se pretende realizar las actividades de precalentamiento y tratamiento térmico de 20 álabes directrices de 500Kg cada uno, lo que nos da un total de 10000Kg y por otra parte el rodete de 18000Kg. Por tal motivo se toma como referencia para la carga del Horno la masa del rodete.

Además del rodete, también se debe tomar en cuenta la estructura de soporte del rodete. Esta estructura está conformada por 5 perfiles laminados HEB, de acero A36, de una masa aproximada de 170,4 Kg cada una, por lo que la masa de la estructura completa es de 852 Kg.

El tiempo de calentamiento del horno hasta alcanzar la temperatura de 700°C es de 14 horas a una velocidad de 50°C por hora, es decir 50400 segundos.

Parámetros de diseño:

- Masa del rodete:  $m = 18000 \text{ Kg}$ .
- Masa para el diseño:  $m_R = 18200 \text{ Kg}$ .
- Masa de la estructura de soporte del rodete:  $m = 852 \text{ Kg}$ .
- Masa para el diseño:  $m_E = 875 \text{ Kg}$ .
- Temperatura de Alivio de Tensiones:  $T_{AT} = 580 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Temperatura de Diseño:  $T_f = 700 \text{ }^\circ\text{C}$ .
- Temperatura Ambiente Promedio:  $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 6.7.2 CALOR REQUERIDO PARA LA CARGA DEL HORNO

**Calor requerido para el Rodete  $q_R$ :**

Datos:

$$m = 18200 \text{ Kg.}$$

$$C_{PR} = 460 \text{ J/Kg } ^\circ\text{K}$$

$$T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293^\circ\text{K}$$

$$T_f = 700 \text{ }^\circ\text{C} = 973^\circ\text{K}$$

$$t = 50400 \text{ seg.}$$

$$q_R = \frac{m * C_{PR} * \Delta T}{t}$$

$$q_R = \frac{m * C_{PR} * (T_f - T_i)}{t}$$

$$q_R = \frac{18200 \text{ Kg} * 460 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (973 - 293)^\circ\text{K}}{50400 \text{ seg}}$$

$$q_R = 112955,55 \frac{\text{J}}{\text{seg}}$$

$$q_R = 113 \text{ KW}$$

**Calor requerido para la estructura de soporte del Rodete  $q_E$ :**

Datos:

$$m = 875 \text{ Kg.}$$

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

$$q_E = \frac{m * C_{PE} * (T_f - T_i)}{t}$$

$$q_E = \frac{875 \text{ Kg} * 434 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} (973 - 293)^\circ\text{K}}{50400 \text{ seg}}$$

$$q_E = 5123,61 \frac{\text{J}}{\text{seg}}$$

$$q_E = 5,13 \text{ KW}$$

En consecuencia, el calor requerido para el calentamiento para la carga total del horno  $q_{CT}$  es de:

$$q_{CT} = q_R + q_{CT}$$

$$q_{CT} = 113 \text{ KW} + 5,13 \text{ KW}$$

$$q_{CT} = 118,13 \text{ KW}$$

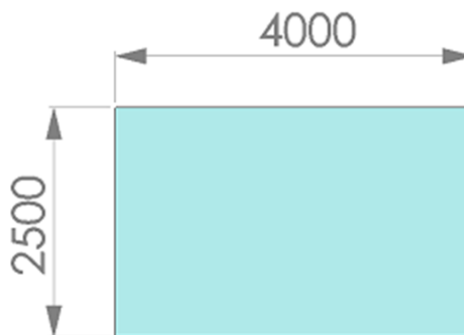
Redondeando,

$$q_{CT} = 119 \text{ KW}$$

### 6.7.3 CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR

#### Pérdidas de Calor en las Paredes Laterales:

Área de las paredes laterales del Horno:



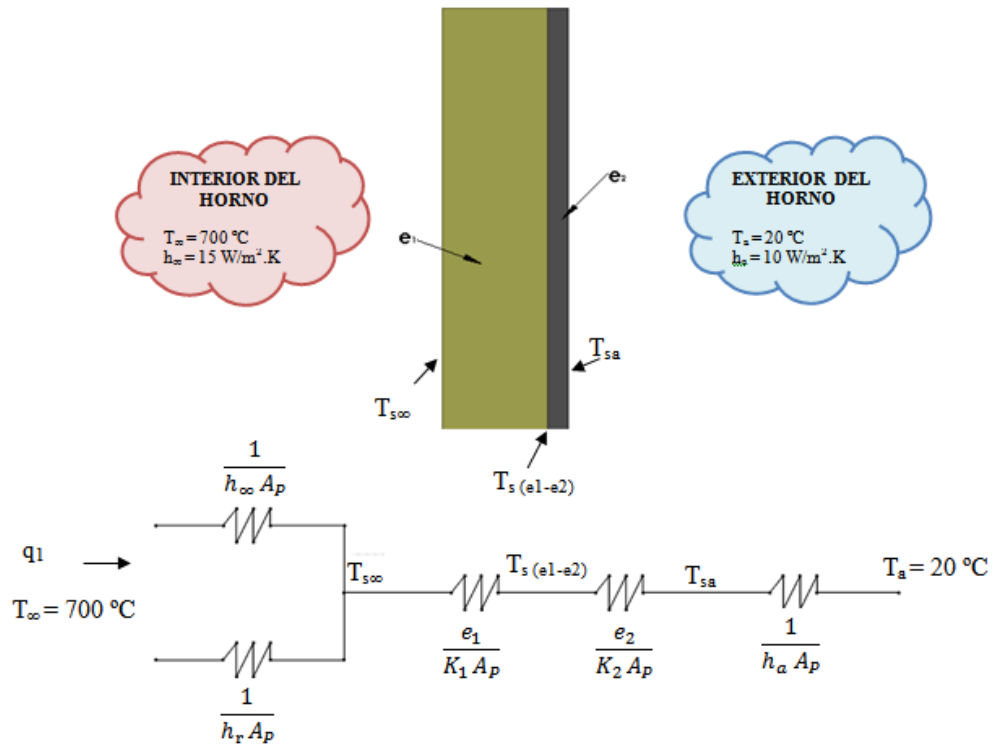
**Figura 6.11 Dimensiones de las Paredes Laterales del Horno  
(Carlos Fernando Sánchez R.)**

$$A_p = 4\text{m} * 2.5\text{m}$$

$$A_p = 10 \text{ m}^2$$

En vista que los valores recomendados del coeficiente de transferencia de calor por convección, para convección libre van de 2 a 25W/m<sup>2</sup>°K, con fines de cálculo se asumirá un coeficiente de convección interna y externa de 15 W/m<sup>2</sup>°K para el diseño del Horno.

**Circuito de Resistencias Térmicas:**



**Figura 6.12** Circuito de Resistencias Térmicas para las Pérdidas en las Paredes (Carlos Fernando Sánchez R.)

**Datos:**

$$T_{\infty} = 700^{\circ}\text{C} = 973 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$T_a = 20^{\circ}\text{C} = 293 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\bar{h}_a = 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\bar{h}_{\infty} = 15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$h_r = 15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

### Propiedades de la pared:

$e_1$  = Módulo de Fibra Cerámica de 4 pulgadas o 101,6 mm de espesor. Conductividad Térmica,  $K_{e1} = 0,049 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$  → Conductividad térmica promedio de la Fibra Cerámica a 530 °K. (Tabla 6.5)

$e_2$  = Chapa metálica de acero AISI 1010 de 1/8 de pulgada o 3,175mm de espesor. Conductividad Térmica,  $K_{e2} = 63,9 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{K}$

$$q_1 = \frac{T_a - T_\infty}{\sum R}$$

$$\sum R = \left( \frac{1}{A_p h_\infty} + \frac{1}{A_p h_r} \right)^{-1} + \frac{e_1}{K_1 A_p} + \frac{e_2}{K_2 A_p} + \frac{1}{A_p h_a}$$

$$R_1 = \left( \frac{1}{\frac{1}{(10\text{m}^2) \left(15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}\right)} + \frac{1}{\frac{1}{(10\text{m}^2) \left(15 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}}\right)}}} \right)^{-1}$$

$$R_1 = (150 + 150)^{-1} \frac{\text{W}}{^\circ\text{K}}$$

$$R_1 = 3,33 \times 10^{-3} \frac{^\circ\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_2 = \frac{e_1}{K_{e1} A_p}$$

$$R_2 = \frac{0,1016 \text{ m}}{0,049 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{K}} * 10 \text{ m}^2}$$

$$R_2 = 0,207 \frac{^\circ\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_3 = \frac{e_2}{K_{e2} A_p}$$

$$R_3 = \frac{0,003175 \text{ m}}{63,9 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 10 \text{ m}^2}$$

$$R_3 = 5 \times 10^{-6} \frac{K}{W}$$

$$R_4 = \frac{1}{h_a A_p}$$

$$R_4 = \frac{1}{10 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 10 \text{ m}^2}$$

$$R_4 = 0,01 \frac{K}{W}$$

$$q_1 = \frac{T_a - T_\infty}{\sum R} = \frac{(973 - 293)^\circ K}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$q_1 = \frac{(973 - 293)^\circ K}{3,33 \times 10^{-3} \frac{K}{W} + 0,207 \frac{K}{W} + 5 \times 10^{-6} \frac{K}{W} + 0,01 \frac{K}{W}}$$

$$q_1 = \frac{(973 - 293)^\circ K}{0,22 \frac{K}{W}} = 3086 \text{ W}$$

$$q_1 = 3,1 \text{ KW}$$

Como todas las paredes laterales tienen las mismas características, el calor total perdido por las paredes  $q_{pp}$  es:

$$q_{pp} = q_1 * 4$$

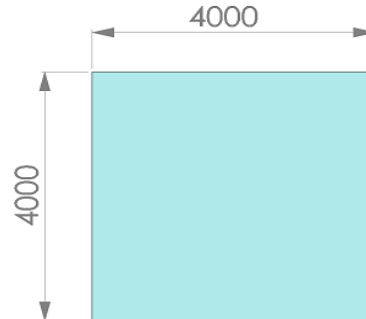
$$q_{pp} = 3,1 \text{ KW} * 4$$

$$q_{pp} = 12,4 \text{ KW}$$



### Pérdidas de Calor en el Techo:

#### Dimensiones:



**Figura 6.13 Dimensiones del Techo del Horno  
(Carlos Fernando Sánchez R.)**

#### Datos:

$$T_{\infty} = 700^{\circ}\text{C} = 973 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$T_a = 20^{\circ}\text{C} = 293 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

$$\bar{h}_a = 10 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\bar{h}_{\infty} = 15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$h_r = 15 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

#### Propiedades del Techo:

$e_1$  = Módulo de Fibra Cerámica de 4 pulgadas o 101,6 mm de espesor.  
Conductividad Térmica,  $K_{e1} = 0,049 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{K} \rightarrow$  Conductividad térmica promedio de la Fibra Cerámica a 530 °K. (Tabla 6.5).

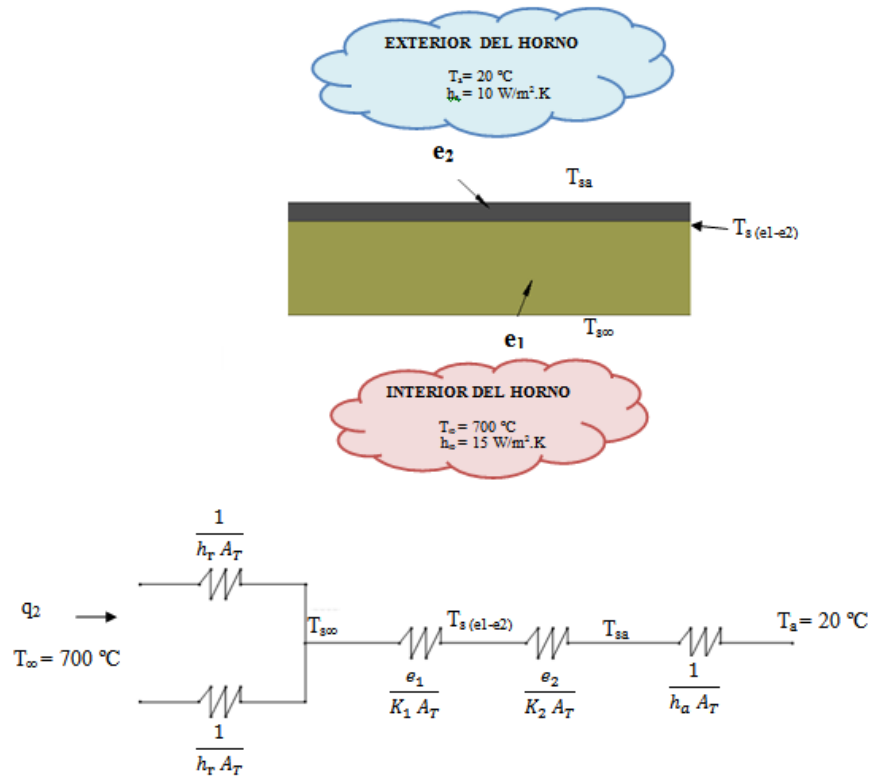
$e_2$  = Chapa metálica de acero AISI 1010 de 1/8 pulgadas o 3,175 mm de espesor.  
Conductividad Térmica,  $K_{e2} = 63,9 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{K}$ .

Área del Techo del Horno,  $A_T$ :

$$A_T = 4 \text{ m} * 4 \text{ m}$$

$$A_T = 16 \text{ m}^2$$

**Circuito de Resistencias Térmicas:**



**Figura 6.14 Circuito de Resistencias Térmicas para las Pérdidas en el Techo (Carlos Fernando Sánchez R.)**

$$q_2 = \frac{T_a - T_{\infty}}{\sum R} = \frac{(973 - 293)^{\circ}K}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$R_1 = \left( \frac{1}{\frac{1}{A_T h_{\infty}} + \frac{1}{A_T h_r}} \right)^{-1}$$

$$R_1 = \left( \frac{1}{\frac{1}{(16\text{m}^2)(15\frac{W}{\text{m}^2\text{K}})} + \frac{1}{(16\text{m}^2)(15\frac{W}{\text{m}^2\text{K}})}} \right)^{-1}$$

$$R_1 = (240 + 320)^{-1} \frac{W}{^{\circ}K}$$

$$R_1 = 2,08 \times 10^{-3} \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$R_2 = \frac{e_1}{K_{e1} A_T}$$

$$R_2 = \frac{0,1016 \text{ m}}{0,049 \frac{W}{\text{m}^{\circ}K} * 16 \text{ m}^2}$$

$$R_2 = 0,1296 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$R_3 = \frac{e_2}{K_{e2} A_T}$$

$$R_3 = \frac{0,003175 \text{ m}}{63,9 \frac{W}{\text{m}^{\circ}K} * 16 \text{ m}^2}$$

$$R_3 = 3,1 \times 10^{-6} \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$R_4 = \frac{1}{h_a A_T}$$

$$R_4 = \frac{1}{10 \frac{W}{\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}K} * 16 \text{ m}^2}$$

$$R_4 = 0,00625 \frac{^{\circ}K}{W}$$

$$q_2 = \frac{T_a - T_{\infty}}{\sum R} = \frac{(973 - 293)^{\circ}K}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

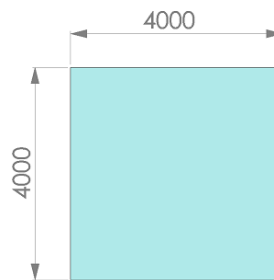
$$q_2 = \frac{(973 - 293)^{\circ}K}{2,08 \times 10^{-3} \frac{^{\circ}K}{W} + 0,1296 \frac{^{\circ}K}{W} + 3,1 \times 10^{-6} \frac{^{\circ}K}{W} + 0,00625 \frac{^{\circ}K}{W}}$$

$$q_2 = \frac{(973 - 293)^{\circ K}}{0,138 \frac{\circ K}{W}} = 4929,9 W$$

$$q_2 = 5 KW$$

**Pérdidas de Calor en el Piso:**

**Dimensiones:**



**Figura 6.15 Dimensiones del Piso del Horno  
(Carlos Fernando Sánchez R.)**

Área del Piso del Horno,  $A_{PH}$ :

$$A_{PH} = 4 m * 4 m$$

$$A_{PH} = 16 m^2$$

**Propiedades del Piso:**

$e$  = Ladrillo refractario es de 105 mm y se utilizará 2 pisos de ladrillo que dan un espesor total  $e_1 = 210$  mm. Conductividad térmica del Ladrillo Refractario  $Ke_1 = 0,0108 W/m.^{\circ K} \rightarrow$  a 633 °K.

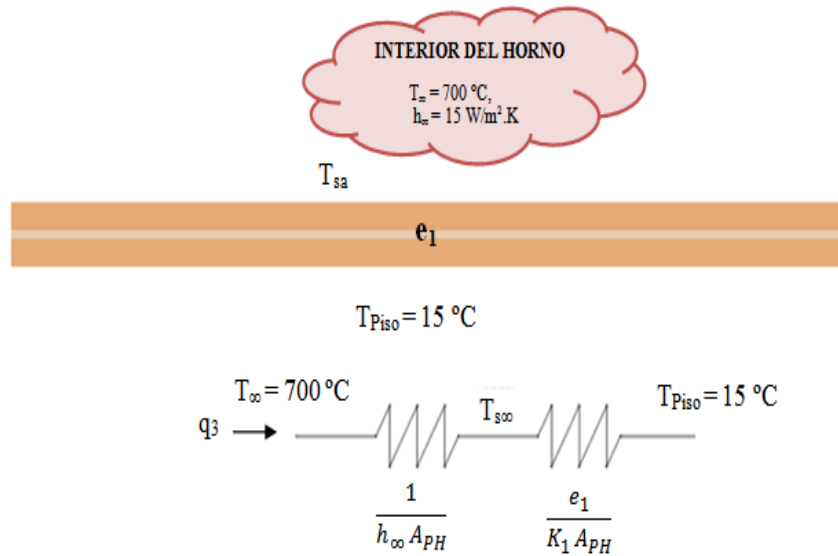
**Datos:**

$$T_{\infty} = 700^{\circ C} = 973^{\circ K}$$

$$T_{Piso} = 18^{\circ C} = 291^{\circ K}$$

$$\bar{h}_{\infty} = 15 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

**Circuito de Resistencias Térmicas:**



**Figura 6.16 Circuito de Resistencias Térmicas para las Perdidas en el Piso (Carlos Fernando Sánchez R.)**

$$q_3 = \frac{T_a - T_{Piso}}{\sum R} = \frac{T_a - T_{Piso}}{R_1 + R_2}$$

$$q_3 = \frac{(973 - 291)^\circ K}{\left(\frac{1}{A_{PH}}\right) \left(\frac{1}{h_a} + \frac{e_1}{K_{e1}}\right)}$$

$$q_3 = \frac{(973 - 291)^\circ K}{\left(\frac{1}{16m^2}\right) \left(\frac{1}{15 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{0,21m}{0,0108 \frac{W}{m \cdot K}}\right)}$$

$$q_3 = \frac{(973 - 291)^\circ K}{\left(\frac{1}{16m^2}\right) \left(19,51 \frac{m^2 \cdot K}{W}\right)}$$

$$q_3 = 559,27 W$$

$$q_3 = 0,56 KW$$

#### 6.7.4 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL HORNO:

##### Consumo Calorífico del Horno:

El calor que deberá liberar el horno será igual a la suma de las pérdidas de calor a través del piso, techo y paredes laterales, más el calor requerido para alcanzar la temperatura del tratamiento térmico. Añadiendo un Factor de Seguridad del 30%, se puede estimar el consumo calorífico del horno de la siguiente manera:

$$q = (q_{Tp} + q_{CT}) * 1,3$$

Donde:

$q$  = Calor requerido

$q_{Tp}$  = Total de Pérdidas de calor

$q_{CT}$  = Calor requerido para el Calentamiento de la carga

$$q_{Tp} = q_{pp} + q_2 + q_3$$

$$q_{Tp} = 12,4 \text{ KW} + 5 \text{ KW} + 0,56 \text{ KW}$$

$$q_{Tp} = 17,96 \text{ KW}$$

$$q = (q_{Tp} + q_c) * 1,25$$

$$q = (17,96 \text{ KW} + 107 \text{ KW}) * 1,3$$

$$q = 162,5 \text{ KW}$$

Por lo tanto el calor requerido es:

$$q = 163 \text{ KW}$$

### **Rendimiento del Horno:**

Para calcular el rendimiento del horno, se evalúa de la siguiente manera:

$$\eta = \left( \frac{q}{q + q_{Tp}} \right) * 100\%$$

Donde:

$\eta$  = Rendimiento del Horno

$q$  = Calor requerido

$q_{Tp}$  = Total de Pérdidas de calor

$$\eta = \left( \frac{163}{163 + 17,96} \right) * 100\%$$

$$\eta = 90 \%$$

### **Potencia del Horno:**

La potencia que requiere el Horno, es una función de la eficiencia del consumo calorífico y del tiempo. Estas variables se combinan en la siguiente ecuación:

$$P = \frac{q}{\eta}$$

Donde:

$P$  = Potencia Requerida

$\eta$  = Rendimiento del Horno

$q$  = Calor requerido

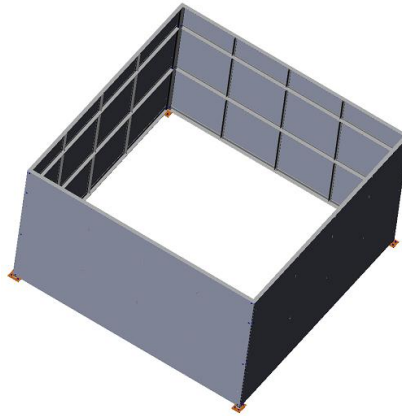
$$P = \frac{163 \text{ KW}}{90 \%}$$

$$P = 181,11 \text{ KW.}$$

La Potencia necesaria para el óptimo funcionamiento del Horno es: **P = 200 KW**  
En nuestro medio existen empresas que se dedican a la fabricación de resistencias eléctricas de acuerdo a las exigencias y necesidades de cada cliente. Por esta razón para alcanzar la potencia necesaria para dar los tratamientos térmicos del rodete y los álabes directrices se requerirán un total de 20 resistencias eléctricas de 10 KW de potencia con una longitud de 4m, ya que con esto se conseguirá una potencia de 200 KW para satisfacer los requerimientos del Horno.

### 6.7.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DEL HORNO

**Estructura de las paredes laterales:**



**Figura 6.17 Estructura de las Paredes del Horno  
(Carlos Fernando Sánchez R.)**

**Datos:**

**Material:** Ángulo estructural DIPAC de acero ASTM A36 (60x60x6) mm.

**Propiedades:**

Módulo elástico = 207 GPa

Coefficiente de Poisson = 0.28

Límite de tracción = 400 MPa

Límite elástico = 250 MPa



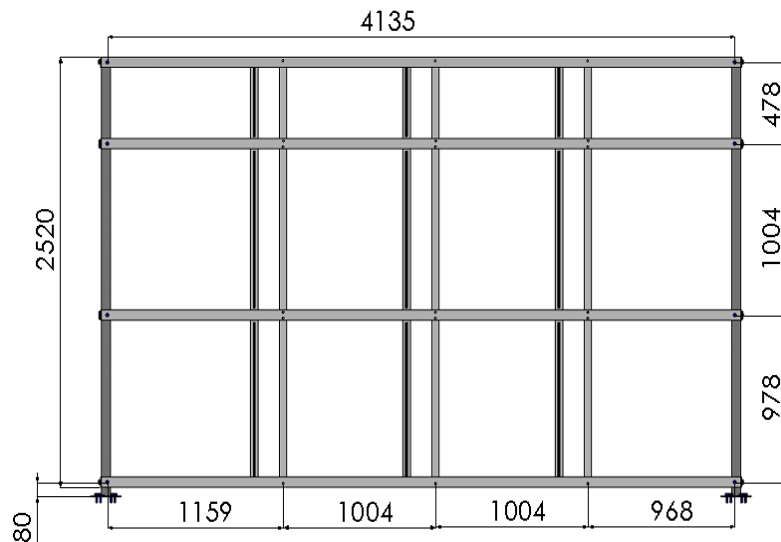
## Cargas.

Para el cálculo de las cargas que debe soportar la estructura de las paredes del horno se deben tomar en cuenta lo siguiente:

Peso de la Tapa del Horno

Peso de los Componentes de las Paredes del Horno

## Diseño del pórtico más cargado de la estructura.



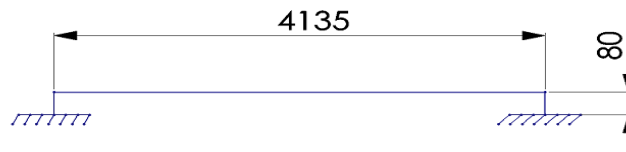
**Figura 6.18 Estructura de las Paredes del Horno**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

Como se puede apreciar el pórtico principal de la estructura es:



**Figura 6.19 Pórtico principal de la Estructura del Horno**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

De acuerdo a la figura 6.12 el pórtico más cargado de la estructura será:



**Figura 6.20 Pórtico más cargado de la Estructura  
(Carlos Fernando Sánchez R.)**

**Carga del pórtico:**

El pórtico mostrado, estará sometido a las siguientes cargas:

La tapa del horno, tendrá un peso total aproximado de 1220 Kg, cuyo peso se distribuirá en la estructura en los puntos donde están los ángulos esquineros y donde van colocadas las uniones de los paneles. También se adicionará un peso de 85Kg, considerando que en ocasiones se requerirá un operario suba a la parte superior del horno para retirar la tapa y para asegurarla.

De acuerdo a la figura 6.11, son en total 16 puntos, por tal motivo la carga para el pórtico del peso de la tapa será de 81,56 Kg para cada uno de estos puntos.

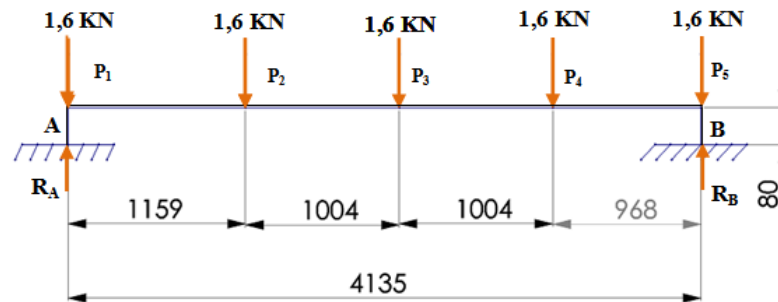
Además el pórtico anterior, deberá soportar parte del peso de cada pared que es de aproximadamente 890 kg distribuidos en 11 puntos de la estructura, de modo que la carga de la pared para cada punto será de 80,91 Kg. Esto amplía que al sumarse las cargas, cada punto estará sometido a una carga de 162,47 Kg.

Transformando a KN tenemos:

$$\frac{162,47 \text{ Kg} \quad | \quad 9,807 \text{ N}}{1 \text{ Kg} \quad | \quad 9,807 \text{ N}} = 1593,34 \text{ N}$$

Redondeando, cada carga será de 1,6 KN.

Por lo tanto la carga para el pórtico es la siguiente:



**Figura 6.21 Distribución de cargas en el Pórtico más cargado de la Estructura (Carlos Fernando Sánchez R.)**

**Grado de hiperstaticidad de la estructura:**

Para calcular la hiperstaticidad de un pórtico, se aplica la siguiente fórmula:

$$n = 3(\alpha - 1)(m - J) + R$$

Donde:

n = Grado de hiperstaticidad

$\alpha$  = Dimensión de la Armadura

m = Número de Miembros del Pórtico

J = Número de Uniones, Incluyendo los Apoyos

R = Número de Componentes de Reacción

Datos:

$$\alpha = 2$$

$$m = 3$$

$$J = 4$$

$$R = 6$$

$$n = 3(\alpha - 1)(m - J) + R$$

$$n = 3(2 - 1)(3 - 4) + 6$$

$$n = 3$$

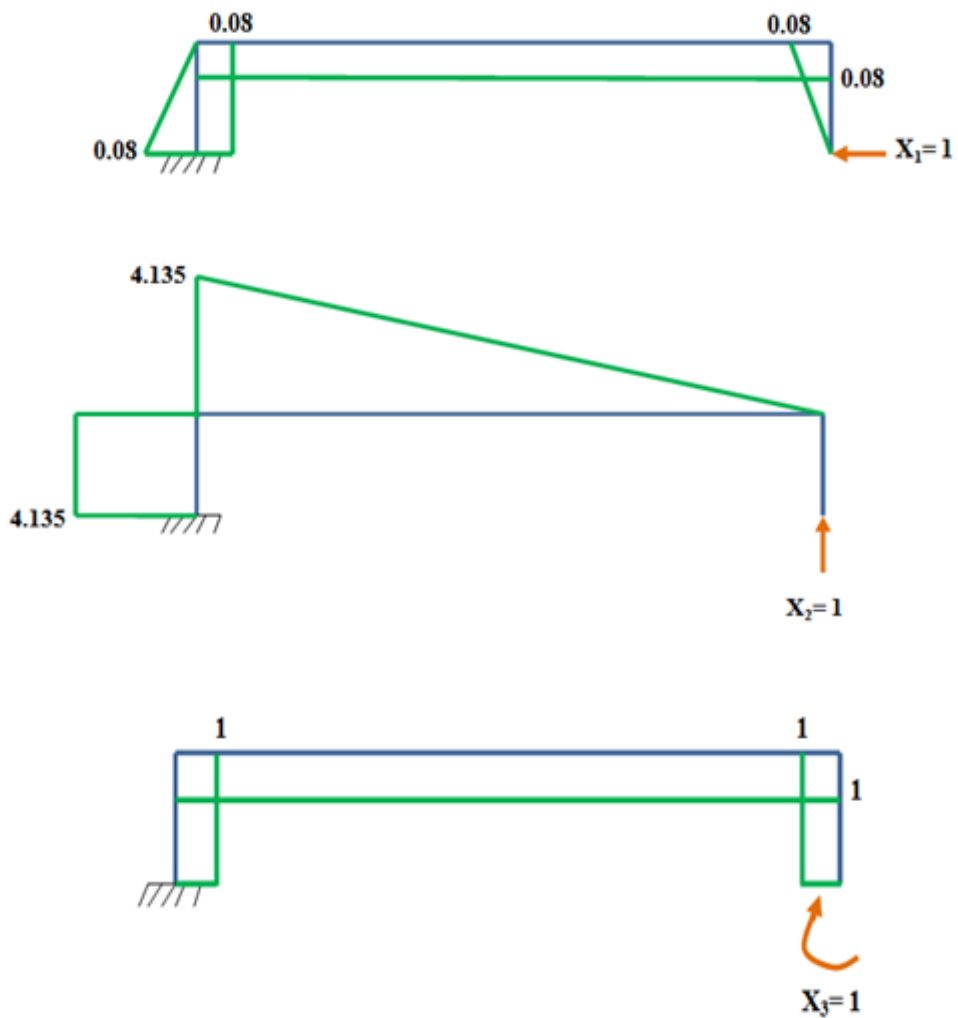
**Ecuaciones Canónicas:**

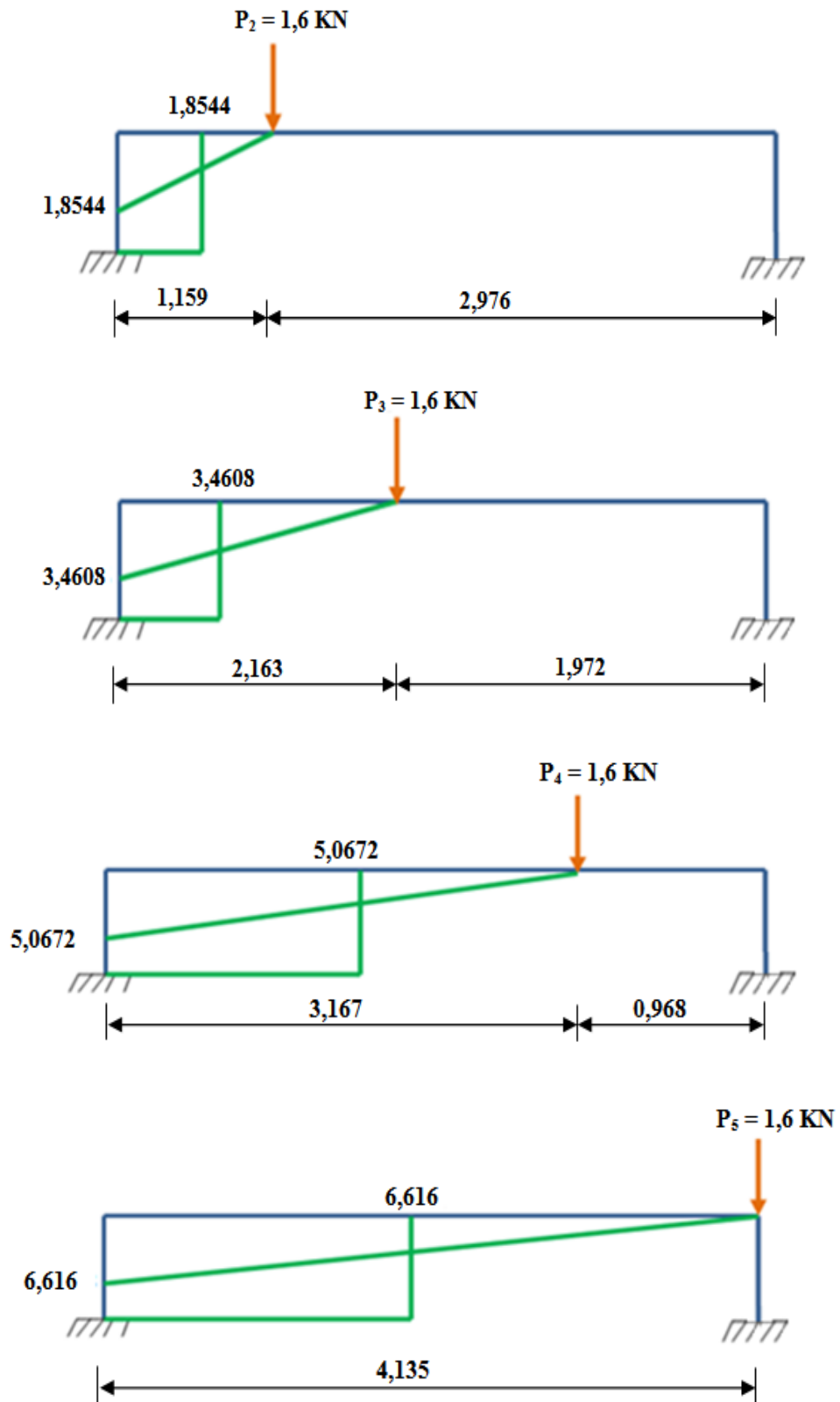
$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1q} = 0$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2q} = 0$$

$$\delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3q} = 0$$

**Diagramas de Momentos Independientes:**





**Figura 6.22 Diagramas de Momentos Independientes**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

**Cálculo de deformaciones por multiplicación de áreas de momentos:**

$$\delta_{11} = \left( \frac{0,08 * 0,08}{2} * \frac{2}{3} * 0,08 \right) + (4,135 * 0,08 * 0,08) - \left( \frac{0,08 * 0,08}{2} * \frac{2}{3} * 0,08 \right) + (0,08 * 0,08 * 0,08)$$

$$\delta_{11} = 0,0269$$

$$\delta_{12} = - \left( \frac{4,135 * 4,135}{2} * 0,08 \right) + \left( 4,135 * 0,08 * \left( \frac{0,08}{2} \right) \right) - (4,135 * 0,08 * (0,08))$$

$$\delta_{12} = -0,6971 = \delta_{21}$$

$$\delta_{13} = \left( \frac{0,08 * 0,08}{2} * 1 \right) + (4,135 * 0,08 * 1) - \left( \frac{0,08 * 0,08}{2} * 1 \right) + (0,08 * 0,08 * 1)$$

$$\delta_{13} = 0,3372 = \delta_{31}$$

$$\delta_{21} = -0,6971$$

$$\delta_{22} = \left( \frac{4,135 * 4,135}{2} * \frac{2}{3} * 4,135 \right) + (4,135 * 4,135 * 0,08)$$

$$\delta_{22} = 24,9349$$

$$\delta_{23} = - \left( \frac{4,135 * 4,135}{2} * 1 \right) - (4,135 * 0,08 * 1)$$

$$\delta_{23} = -8,8799 = \delta_{32}$$

$$\delta_{31} = 0,3372$$

$$\delta_{32} = -8,8799$$

$$\delta_{33} = (0,08 * 1 * 1) + (4,135 * 1 * 1) + (0,08 * 1 * 1)$$

$$\delta_{33} = 4,295$$

$$\Delta_{1p} = \Delta_{1p2} + \Delta_{1p3} + \Delta_{1p4} + \Delta_{1p5}$$

$$\Delta_{2p} = \Delta_{2p2} + \Delta_{2p3} + \Delta_{2p4} + \Delta_{2p5}$$

$$\Delta_{3p} = \Delta_{3p2} + \Delta_{3p3} + \Delta_{3p4} + \Delta_{3p5}$$

$$\Delta_{1p2} = \left( \frac{1,8544 * 1,159}{2} * 0,08 \right) + (1,8544 * 0,08 * 0,08) - (1,8544 * 0,08) \left( \frac{0,08}{2} \right)$$

$$\Delta_{1p2} = 0,0919$$

$$\Delta_{2p2} = - \left( \frac{1,8544 * 1,159}{2} * \left( 2,976 + \frac{2}{3} * 1,159 \right) \right) - (1,8544 * 0,08 * 4,135)$$

$$\Delta_{2p2} = -4,6418$$

$$\Delta_{3p2} = \left( \frac{1,8544 * 1,159}{2} * 1 \right) + (1,8544 * 0,08 * 1) = 1,2229$$

$$\Delta_{3p2} = 1,2229$$

$$\Delta_{1p3} = \left( \frac{3,4608 * 2,163}{2} * 0,08 \right) + (3,4608 * 0,08 * 0,08) - (3,4608 * 0,08) \left( \frac{0,08}{2} \right)$$

$$\Delta_{1p3} = 0,3105$$

$$\Delta_{2p3} = - \left( \frac{3,4608 * 2,163}{2} * \left( 1,972 + \frac{2}{3} * 2,163 \right) \right) - (3,4608 * 0,08 * 4,135)$$

$$\Delta_{2p3} = -13,9229$$

$$\Delta_{3p3} = \left( \frac{3,4608 * 2,163}{2} * 1 \right) + (3,4608 * 0,08 * 1)$$

$$\Delta_{3p3} = 4,0197$$

$$\Delta_{1p4} = \left( \frac{5,0672 * 3,167}{2} * 0,08 \right) + (5,0672 * 0,08 * 0,08) - (5,0672 * 0,08) \left( \frac{0,08}{2} \right)$$

$$\Delta_{1p4} = 0,6581$$

$$\Delta_{2p4} = - \left( \frac{5,0672 * 3,167}{2} * \left( 0,968 + \frac{2}{3} * 3,167 \right) \right) - (5,0672 * 0,08 * 4,135)$$

$$\Delta_{2p4} = -26,384$$

$$\Delta_{3p4} = \left( \frac{5,0672 * 3,167}{2} * 1 \right) + (5,0672 * 0,08 * 1)$$

$$\Delta_{3p4} = 8,4292$$

$$\Delta_{1p5} = \left( \frac{6,616 * 4,135}{2} * 0,08 \right) + (6,616 * 0,08 * 0,08) - (6,616 * 0,08) \left( \frac{0,08}{2} \right)$$

$$\Delta_{1p5} = 1,1154$$

$$\Delta_{2p5} = - \left( \frac{6,616 * 4,135}{2} * \left( \frac{2}{3} * 4,135 \right) \right) - (6,616 * 0,08 * 4,135)$$

$$\Delta_{2p5} = -39,8958$$

$$\Delta_{3p5} = \left( \frac{6,616 * 4,135}{2} * 1 \right) + (6,616 * 0,08 * 1) = 14,2078$$

$$\Delta_{3p5} = 14,2078$$

$$\Delta_{1p} = 0,0919 + 0,3105 + 0,6581 + 1,1154 = 2,1759$$

$$\Delta_{2p} = -4,6418 - 13,9229 - 26,3445 - 39,8958 = -84,805$$

$$\Delta_{3p} = 1,2229 + 4,0197 + 8,4292 + 14,2078 = 27,8796$$



**Reemplazando los valores en las Ecuaciones Canónicas Tenemos:**

$$0,0269X_1 - 0,6971X_2 + 0,3372X_3 = -2,1759$$

$$-0,6971X_1 + 24,9349X_2 - 8,8799X_3 = 84,805$$

$$0,3372X_1 - 8,8799X_2 + 4,295X_3 = -27,8796$$

**Ordenando y Resolviendo el sistema de ecuaciones, las reacciones son:**

$$\begin{pmatrix} 0,3372 & -8,8799 & 4,295 \\ 0,0269 & -0,6971 & 0,3372 \\ -0,6971 & 24,9349 & -8,8799 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -27,8796 \\ -2,1759 \\ 84,805 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,3372 & -8,8799 & 4,295 \\ 0,0269 & -0,6971 & 0,3372 \\ -0,6971 & 24,9349 & -8,8799 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -27,8796 \\ -2,1759 \\ 84,805 \end{pmatrix} *$$

$$\begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -184,1398 & 2344,8705 & -0,0214 \\ 0,3161 & -0,0214 & 0,1521 \\ 15,3431 & -184,1398 & 0,3161 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -27,8796 \\ -2,1759 \\ 84,805 \end{pmatrix} *$$

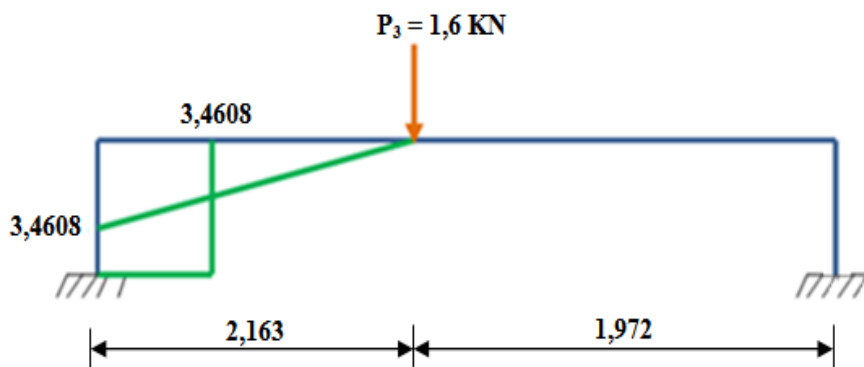
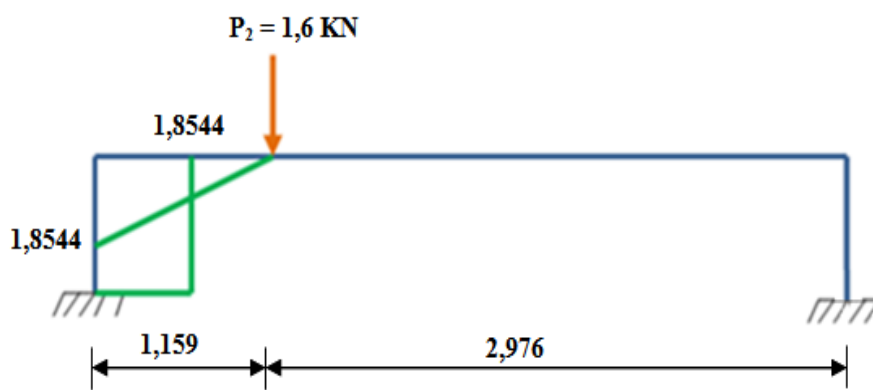
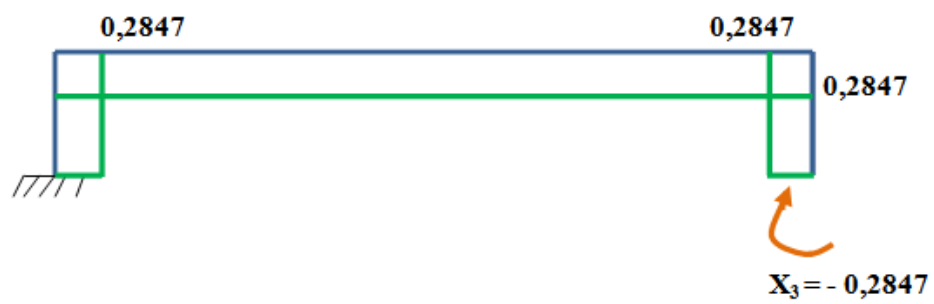
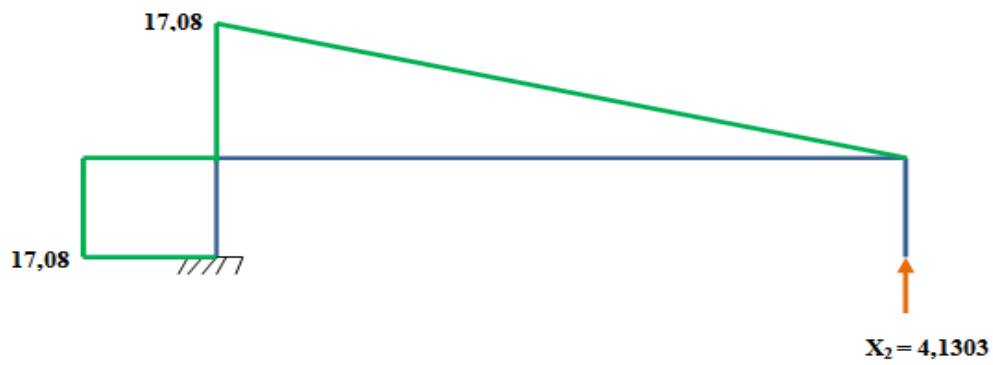
$$X_1 = 29,7248$$

$$X_2 = 4,1307$$

$$X_3 = -0,2847$$

**Reemplazando el valor de las reacciones en el diagrama, las áreas de momentos son:**





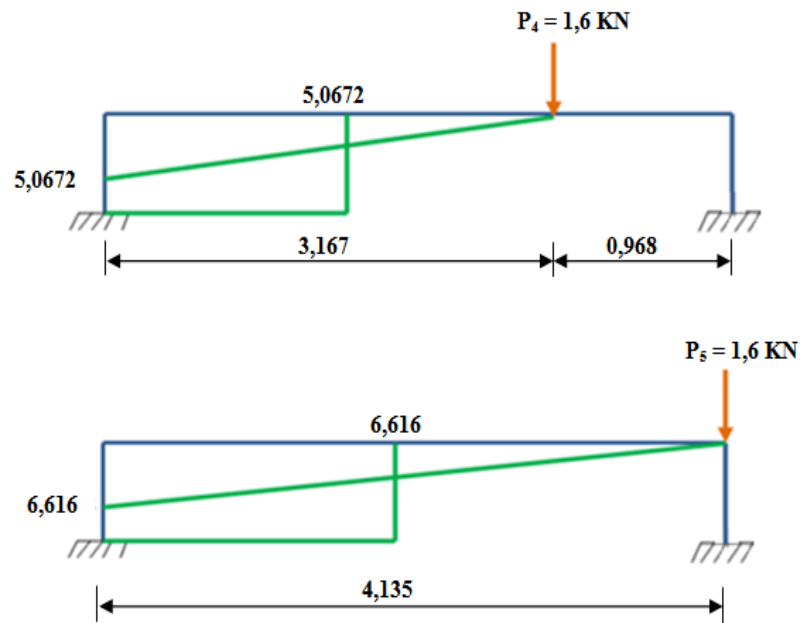


Figura 6.23 Diagramas de Momentos Independientes con el valor de real de las reacciones (Carlos Fernando Sánchez R.)

Suma algebraica de momentos en los puntos característicos de los diagramas.

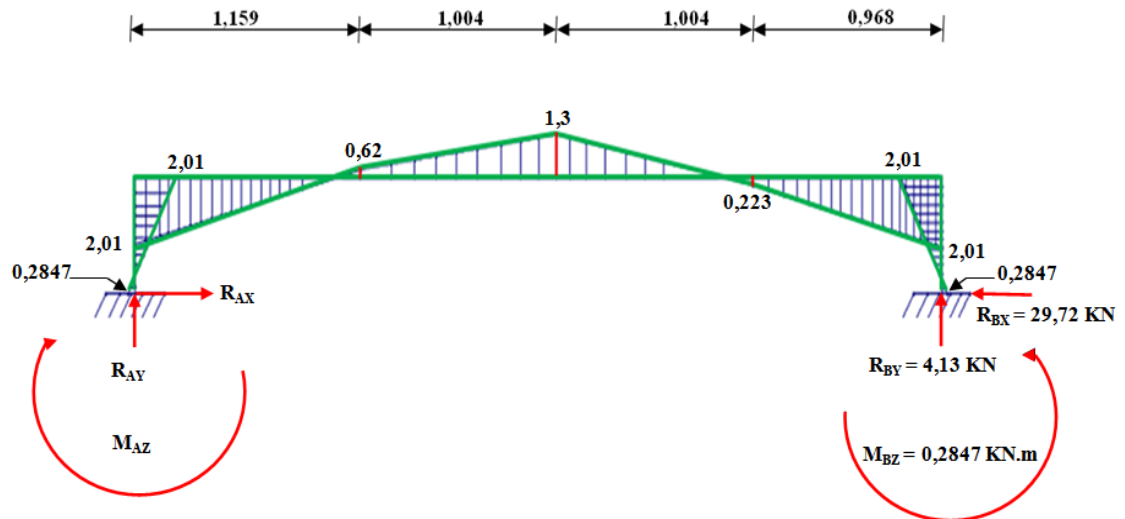


Figura 6.24 Suma de Momentos en los puntos de las Cargas (Carlos Fernando Sánchez R.)

$$\sum F_X = 0$$

$$\sum F_X = R_{AX} = R_{BX} = 29,72 \text{ KN}$$

$$\Sigma F_Y = 0$$

$$R_{AY} - 1,6 - 1,6 - 1,6 - 1,6 - 1,6 + R_{BY} = 0$$

$$R_{AY} = 8 - 4,13$$

$$R_{AY} = 3,87 \text{ KN}$$

$$M_{AZ} = 0,2847 \text{ N.m}$$

### **Determinación del factor de seguridad:**

$$\text{Momento Máximo} = \text{Máx.} = 1,3 \text{ KN.m} = 1300 \text{ N.m}$$

$$c = 1,85 \text{ cm} = 0,0185 \text{ m} \rightarrow \text{Anexo 4}$$

$$I = 22,56 \text{ cm}^4 = 2,256 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \rightarrow \text{Anexo 4}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{máx.}} * c}{I}$$

$$\sigma = \frac{1300 \text{ N.m} * 0,0185 \text{ m}}{2,256 \times 10^{-7} \text{ m}^4}$$

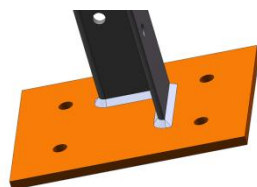
$$\sigma = 106,6 \text{ MPa}$$

$$n = \frac{S_Y}{\sigma}$$

$$n = \frac{250 \text{ MPa}}{106,6 \text{ MPa}}$$

$$n = 2,34$$

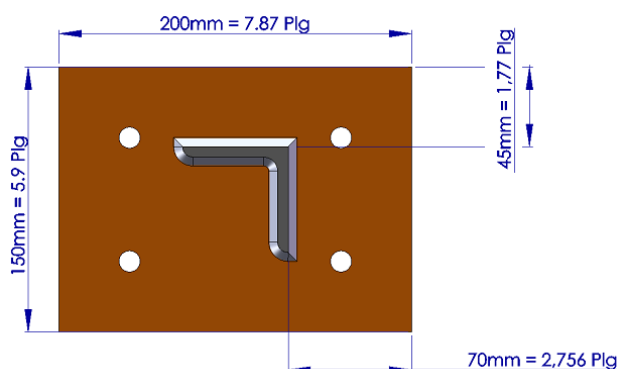
### 6.7.6 DISEÑO DE LA PLACA BASE.



**Figura 6.25 Placa Base de la Estructura**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

El Horno debe tener una placa base en cada uno de los ángulos esquineros, para que las cargas que estos soporten, se distribuyan uniformemente y a la vez para asegurar la estructura al piso.

Para el diseño de la placa base, se debe tener en cuenta los siguientes datos:



**Figura 6.26 Dimensiones de la Placa Base**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

Los ángulos esquineros son de acero A36 de 60x60x6mm ( $b_f = 60\text{mm} = 2,36 \text{ Plg}$ ,  $t = 6\text{mm} = 0,236 \text{ Plg}$ ).

La carga que debe soportar es igual a la reacción  $R_{BY} = 4,13 \text{ KN} = 4130 \text{ N}$

Debido a que los ángulos no son utilizados muy a menudo como columnas de estructuras, la información para el diseño de placas base no es completa, por este motivo únicamente se comprobará si la placa mostrada en las figuras 6.18 y 6.19 resistirá la carga que deberá soportar.

Datos:

$$B = 7,87 \text{ Plg}$$

$$N = 5,9 \text{ Plg}$$

$$b_f = 2,36 \text{ Plg}$$

$$F_Y = 36 \text{ KPsi.}$$

$$f_b = \frac{P}{B * N}$$

$$P = B * N * f_b$$

$$n = \frac{B - 0,8 b_f}{2}$$

$$n = \frac{7,87 - 0,8 (2,36)}{2}$$

$$n = 2,991$$

$$t = 2n \sqrt{\frac{f_b}{F_Y}}$$

$$0,236 = 2 * (2,991) \sqrt{\frac{f_b}{36}}$$

$$6 * 0,236 = 2 * (2,991) \sqrt{f_b}$$

$$\sqrt{f_b} = \frac{6 * 0,236}{2 * (2,991)}$$

$$(\sqrt{f_b})^2 = \left( \frac{6 * 0,236}{2 * (2,991)} \right)^2$$

$$f_b = 0,056 \text{ KPsi}$$

$$P = B * N * f_b$$

$$P = 7,87 * 5,9 * 0,056$$

$$P = 2,6 \text{ Klb} = 2600 \text{ Lb}$$

Transformando a Newtons:

$$\frac{2600 \text{ Lb}}{2,204 \text{ Lb}} \left| \frac{1 \text{ Kg}}{2,204 \text{ Lb}} \right| \frac{9,807 \text{ N}}{1 \text{ Kg}} = 11570 \text{ N}$$

$$P = 11570 \text{ N} \rightarrow P \text{ Permissible}$$

Como la carga que resiste ( $P = 11570 \text{ N}$ ), es mucho mayor a la carga que va a soportar  $R_{BY} = 4130 \text{ N}$ , la placa base mostrada cumple con los requisitos de manipulación, control y resistencia.

### 6.7.7 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA PARA EL RODETE.



**Figura 6.27 Estructura de Soporte para el Rodete**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

La carga que debe soportar es el peso del rodete, es decir:  $P_{RODETE} = 18 \text{ Ton.}$

La longitud de los perfiles es de  $L_P = 3880 \text{ mm} = 12''$  con  $8,75'$

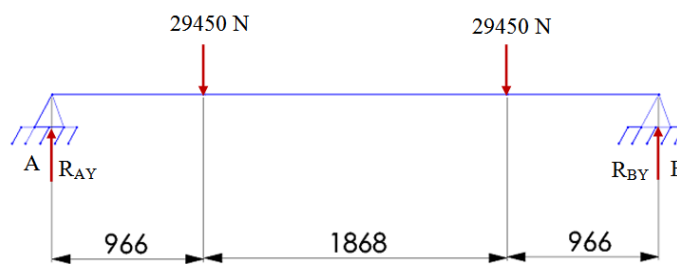
El material de los perfiles es Acero A36.

Par el análisis, se tomará en cuenta las siguientes características:

Se estimará el momento máximo que producirán las cargas que soportará la estructura y se comparará con el esfuerzo permisible del perfil utilizado. Se escogerá el momento mayor, entre la viga central y las vigas de los extremos.

La carga será el peso del rodete dividido para los puntos en los que se apoyara en la estructura.

**Perfil del Extremo:**



**Figura 6.28 Esquema de Fuerzas del Perfil de los extremos  
(Carlos Fernando Sánchez R.)**

**Calculo de las reacciones:**

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} - 29450 - 29450 = 0$$

$$R_{AY} = 58900 - R_{BY}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$(29450 * 0,966) + (29450 * 2,834) - R_{BY} * 3,8 = 0$$

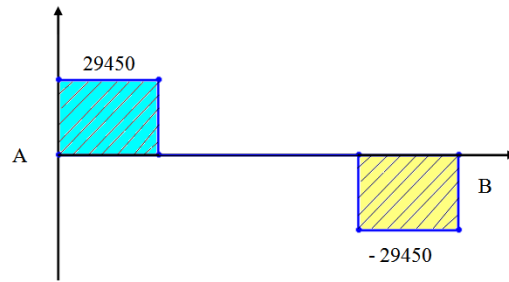
$$R_{BY} = 29450 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 58900 - 29450$$

$$R_{AY} = 29450 \text{ N}$$

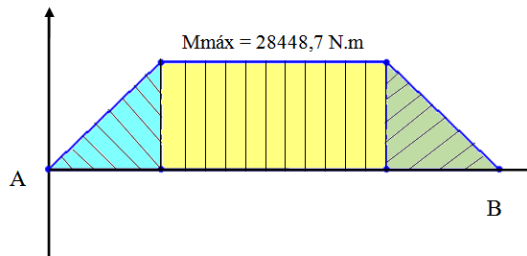


**Diagrama de fuerza cortante:**



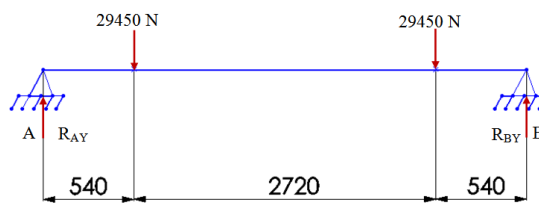
**Figura 6.29 Diagrama de fuerza cortante para el Perfil de los extremos (Carlos Fernando Sánchez R.)**

**Diagrama de Momento Flexionante:**



**Figura 6.30 Diagrama de Momento Flexionante para el Perfil de los extremos (Carlos Fernando Sánchez R.)**

**Perfil del Centro:**



**Figura 6.31 Esquema de Fuerzas del Perfil del Centro (Carlos Fernando Sánchez R.)**

**Calculo de las reacciones:**

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_{AY} + R_{BY} - 29450 - 29450 = 0$$

$$R_{AY} = 58900 - R_{BY}$$

$$\sum M_A = 0$$

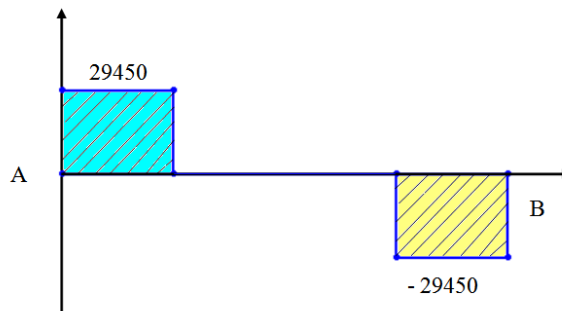
$$29450 * 0,540 + 29450 * 2,834 - R_{BY} * 3,8 = 0$$

$$R_{BY} = 29450 \text{ N}$$

$$R_{AY} = 58900 - 29450$$

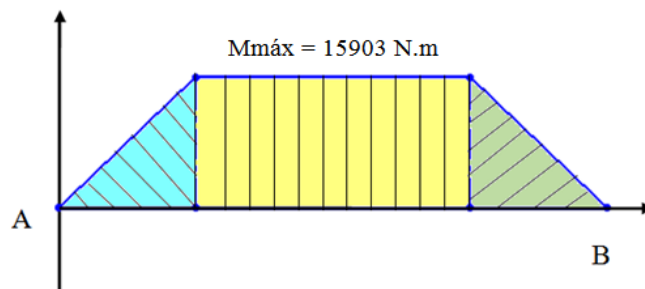
$$R_{AY} = 29450 \text{ N}$$

**Diagrama de fuerza cortante:**



**Figura 6.32 Diagrama de fuerza cortante para el del Perfil del Centro (Carlos Fernando Sánchez R.)**

**Diagrama de Momento Flexionante:**



**Figura 6.33 Diagrama de Momento Flexionante para el del Perfil del Centro (Carlos Fernando Sánchez R.)**

El momento mayor se da en los perfiles de los extremos. Por tanto el momento máximo a utilizarse es:  $M_{\text{máx}} = 28448,7\text{N.m}$

Asumiendo un perfil IPE 160 del catálogo DIPAC.

$$W_X = S_X = 109 \text{ cm}^3 = 1,09 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow \text{Anexo 6}$$

$$b_f = 82 \text{ mm} = 3,23 \text{ Plg}$$

$$t_f = 7,4 \text{ mm} = 0,291 \text{ Plg}$$

$$h = d = 160 \text{ mm} = 6,3 \text{ Plg}$$

$$L_{\text{ns}} = 3800 \text{ mm} = 12,47 \text{ Pies}$$

$$g = t_w = 5 \text{ mm} = 0,197 \text{ Plg}$$

$$I_Y = 68,3 \text{ cm}^4 = 1,64 \text{ Plg}^4$$

### **Propiedades del Acero A36:**

Módulo elástico = 207 GPa

Coefficiente de Poisson = 0.28

Límite de tracción = 400 MPa

Límite elástico = 250 MPa

$$f_b = \frac{M_{\text{máx.}}}{S_x}$$

$$f_b = \frac{28448,7\text{N.m}}{1,09 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$f_b = 260 \text{ MPa}$$

### **Comprobación:**

$$f_b = \frac{M_{\text{máx.}}}{S_x} \leq F_b$$

$$L_C = \frac{76b_f}{\sqrt{F_Y}}$$

$$L_C = \frac{76 * 3,23}{\sqrt{36} * 12}$$

$$L_C = 3,41 \text{ Pies}$$

$$A_f = b_f * t_f$$

$$A_f = 3,23 * 0,291$$

$$A_f = 0,94 \text{ Plg}^2$$

$$L_U = \frac{20000}{\left[ \left( \frac{d}{A_f} \right) * F_Y \right]}$$

$$L_U = \frac{20000}{\left[ \left( \frac{6,3}{0,94} \right) * 36 \right]}$$

$$L_U = 82,89 \text{ Plg} = 6,9 \text{ Pies}$$

$$L_{ns} > L_C \text{ y } L_{ns} > L_U$$

$$A = (b_f * t_f) + \frac{1}{3}(d - 2t_f)t_w$$

$$A = (3,23 * 0,291) + \frac{1}{3}(6,3 - 2 * 0,291) * 0,197$$

$$A = 1,32 \text{ Plg}^2$$

$$I = \frac{I_Y}{2}$$

$$I = \frac{1,64}{2}$$

$$I = 0,82$$

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

$$r_T = \sqrt{\frac{0,82}{1,32}}$$

$$r_T = 0,78 \text{ Plg}$$

$$\frac{L_{ns}}{r_T} = \frac{12,47 * 12}{0,78} = 191,85$$

$$\sqrt{\frac{102 \times 10^3 C_b}{F_Y}} \leq \frac{L_{ns}}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_Y}}$$

$$C_b = 1$$

$$\sqrt{\frac{102 \times 10^3 * 1}{36}} \leq 191,85 \leq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 * 1}{36}}$$

$$53,23 \leq 191,85 \leq 119,02 \rightarrow \text{No cumple}$$

$$\text{Como } \frac{L_{ns}}{r_T} \geq \sqrt{\frac{510 \times 10^3 C_b}{F_Y}}:$$

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 C_b}{\left(\frac{L_{ns}}{r_T}\right)^2}$$

$$F_b = \frac{170 \times 10^3 * 1}{\left(\frac{12,47 * 12}{0,78}\right)^2}$$

$$F_b = 4,62 \text{ KPsi}$$

$$F_b = \frac{12 \times 10^3 * 1}{\frac{L_{ns} * d}{A_f}}$$

$$F_b = \frac{12 \times 10^3 * 1}{\frac{12,47 * 12 * 6,3}{0,94}}$$

$$F_b = 11,97 \text{ KPsi} = 82,5 \text{ MPa}$$

$$f_b \leq F_b$$

$$260 \text{ MPa} \leq 82,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{No cumple}$$

Asumiendo un perfil IPE 200 del catálogo DIPAC.

$$W_X = S_X = 194 \text{ cm}^3 = 1,94 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow \text{Anexo 6}$$

$$s = b_f = 100 \text{ mm} = 3,94 \text{ Plg}$$

$$t = t_f = 8,5 \text{ mm} = 0,335 \text{ Plg}$$

$$h = d = 200 \text{ mm} = 7,874 \text{ Plg}$$

$$L_{ns} = 3800 \text{ mm} = 12,47 \text{ Pies}$$

$$g = t_w = 5,6 \text{ mm} = 0,22 \text{ Plg}$$

$$I_Y = 142 \text{ cm}^4 = 3,41 \text{ Plg}^4$$

$$L_C = \frac{76 b_f}{\sqrt{F_Y}}$$

$$L_C = \frac{76 * 3,94}{\sqrt{36} * 12}$$

$$L_C = 4,16 \text{ Pies}$$

$$A_f = b_f * t_f$$

$$A_f = 3,94 * 0,335$$

$$A_f = 1,32 \text{ Plg}^2$$

$$L_U = \frac{20000}{\left[ \left( \frac{d}{A_f} \right) * F_Y \right]}$$

$$L_U = \frac{20000}{\left[ \left( \frac{7,874}{1,32} \right) * 36 \right]}$$

$$L_U = 93,13 \text{ Plg} = 7,76 \text{ Pies}$$

$$L_{ns} > L_C \text{ y } L_{ns} > L_U$$

$$A = (b_f * t_f) + \frac{1}{3}(d - 2t_f)t_w$$

$$A = (3,94 * 0,335) + \frac{1}{3}(7,874 - 2 * 0,335) * 0,22$$

$$A = 1,85 \text{ Plg}^2$$

$$I = \frac{I_Y}{2}$$

$$I = \frac{3,41}{2}$$

$$I = 1,705$$

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

$$r_T = \sqrt{\frac{1,705}{1,85}}$$

$$r_T = 0,96 \text{ Plg}$$

$$\frac{L_{ns}}{r_T} = \frac{12,47 * 12}{0,96} = 155,875$$

$$\sqrt{\frac{102x10^3 C_b}{F_Y}} \leq \frac{L_{ns}}{r_T} \leq \sqrt{\frac{510x10^3 C_b}{F_Y}}$$

$$C_b = 1$$

$$\sqrt{\frac{102x10^3 * 1}{36}} \leq 155,875 \leq \sqrt{\frac{510x10^3 * 1}{36}}$$

$$53,23 \leq 155,875 \leq 119,02 \rightarrow \text{No cumple}$$

$$\text{Como } \frac{L_{ns}}{r_T} \geq \sqrt{\frac{510x10^3 C_b}{F_Y}} :$$

$$F_b = \frac{170x10^3 C_b}{\left(\frac{L_{ns}}{r_T}\right)^2}$$

$$F_b = \frac{170x10^3 * 1}{(155,875)^2}$$

$$F_b = 6,99 \text{ KPsi}$$

$$F_b = \frac{12x10^3 * 1}{\frac{L_{ns} * d}{A_f}}$$



$$F_b = \frac{12 \times 10^3 * 1}{\frac{12,47 * 12 * 7,874}{1,32}}$$

$$F_b = 13,45 \text{ KPsi} = 92,73 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{M_{\text{máx.}}}{S_x} \leq F_b$$

$$f_b = \frac{M_{\text{máx.}}}{S_x}$$

$$f_b = \frac{28448,7 \text{ N.m}}{1,94 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$f_b = 146 \text{ MPa}$$

$$f_b \leq F_b$$

**146 MPa ≤ 92,73 MPa → No cumple**

Asumiendo un perfil HEB 160 del catálogo DIPAC.

$$W_X = S_X = 311 \text{ cm}^3 = 3,11 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \rightarrow \text{Anexo 6}$$

$$b = b_f = 160 \text{ mm} = 6,3 \text{ Plg}$$

$$t = t_f = 13 \text{ mm} = 0,512 \text{ Plg}$$

$$h = d = 160 \text{ mm} = 6,3 \text{ Plg}$$

$$L_{ns} = 3800 \text{ mm} = 12,47 \text{ Pies}$$

$$s = t_w = 8 \text{ mm} = 0,315 \text{ Plg}$$

$$I_Y = 889 \text{ cm}^4 = 21,36 \text{ Plg}^4$$

$$L_C = \frac{76 b_f}{\sqrt{F_Y}}$$

$$L_C = \frac{76 * 6,3}{\sqrt{36} * 12}$$

$$L_C = 6,65 \text{ Pies}$$

$$A_f = b_f * t_f$$

$$A_f = 6,3 * 0,512$$

$$A_f = 3,2256 \text{ Plg}^2$$

$$L_U = \frac{20000}{\left[ \left( \frac{d}{A_f} \right) * F_Y \right]}$$

$$L_U = \frac{20000}{\left[ \left( \frac{6,3}{3,2256} \right) * 36 \right]}$$

$$L_U = 284,44 \text{ Plg} = 23,7 \text{ Pies}$$

$$L_{ns} > L_C \text{ y } L_{ns} < L_U$$

Por lo tanto  $F_b = 0,6 F_Y$  :

$$F_b = 0,6 (250) \text{ MPa}$$

$$F_b = 150 \text{ MPa}$$

$$f_b = \frac{M_{\text{máx.}}}{S_x} \leq F_b$$

$$f_b = \frac{M_{\text{máx.}}}{S_x}$$

$$f_b = \frac{28448,7 \text{ N.m}}{3,11 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$f_b = 91,5 \text{ MPa}$$

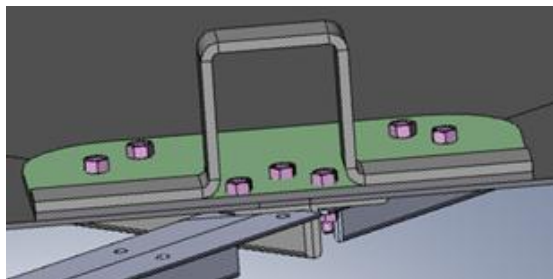
$$f_b \leq Fb$$

$$91,5 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa} \rightarrow \text{SI cumple}$$

La estructura debe ser construida con 5 perfiles HEB 160 del catálogo DIPAC para que resista a las cargas estipuladas.

### 6.7.8 DISEÑO DE LA JUNTA EMPERNADA PARA ELEVAR LA TAPA

Para levantar la tapa, se ha diseñado un anclaje para subirla a través del puente grúa cuando sea necesario.



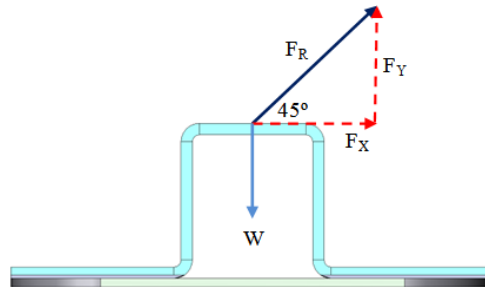
**Figura 6.34 Anclaje para el Levantamiento de la Tapa  
(Carlos Fernando Sánchez R.)**

Como ya se mencionó, la tapa del horno tendrá un peso total aproximado de 780Kg, más el peso de un operario que es de aproximadamente 85Kg, se tiene una carga aproximada de 865Kg. Esta carga se distribuirá en los cuatro anclajes. De este modo la carga para cada anclaje será de 216,25Kg.

Para una mayor confiabilidad del diseño, la carga que se usara para el diseño será de 250Kg para cada anclaje.

Como la tapa se levantará con el puente grúa, las cargas se distribuirán en el anclaje de la siguiente manera:

La fuerza que debe ejercer el puente grúa para el levantamiento de la tapa debe ser mucho mayor al peso de la tapa, debido a que al momento de levantarla, la fuerza debe formar un ángulo de  $45^\circ$  aproximadamente, con respecto a la dirección vertical.



**Figura 6.35 Distribución de Cargas en el Anclaje**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

La componente  $F_Y$ , debe ser mayor al peso  $W$  para poder levantar la tapa. Por este motivo el valor de  $F_R$  será el siguiente:

$$\text{Sen } 45^\circ = \frac{F_Y}{F_R}$$

La fuerza mínima  $F_R$  será:

$$F_R = \frac{F_Y}{\text{Sen } 45^\circ}$$

$$F_R = \frac{250}{\text{Sen } 45^\circ}$$

$$F_R = 353,55 \text{ Kg}$$

Por consiguiente para un levantamiento sin contratiempos se utilizara  $F_R = 400 \text{ Kg}$ .

$$\text{Sen } 45^\circ = \frac{F_Y}{F_R}$$

$$F_Y = F_R * \text{Sen } 45^\circ$$

$$F_Y = 400 * \text{Sen } 45^\circ$$

$$F_Y = 282,84 \text{ Kg}$$

$$\text{Cos } 45^\circ = \frac{F_X}{F_R}$$

$$F_X = F_R * \text{Cos } 45^\circ$$

$$F_X = 400 * \text{Cos } 45^\circ$$

$$F_X = 282,84 \text{ Kg}$$

#### **Análisis de la Junta Empernada:**

El anclaje está diseñado con una plancha de acero A36, unida a las Uniones de la Estructura, del mismo material y entre estos elementos se conecta una plancha de acero AISI-1010 que abarca toda la tapa.

Para la sujeción, se utilizan 12 pernos M6

Como ya se observó, el anclaje estará sometido a una fuerza  $F_X$  en dirección horizontal y el peso  $W$  y la componente  $F_Y$  en la dirección vertical. La fuerza  $F_X$  se utilizara para el análisis del Bloque Cortante, mientras las dos fuerzas restantes,  $F_Y$  y  $W$  se utilizarán para el análisis de la resistencia permisible a tensión.

#### **Análisis del Bloque de Cortante:**

Datos:

$$F = 282,84 \text{ Kg} = 2773,81 \text{ N} = 623,66 \text{ Lb}$$

10 pernos M6, Grado SAE 5 (Grado Métrico 8.8)

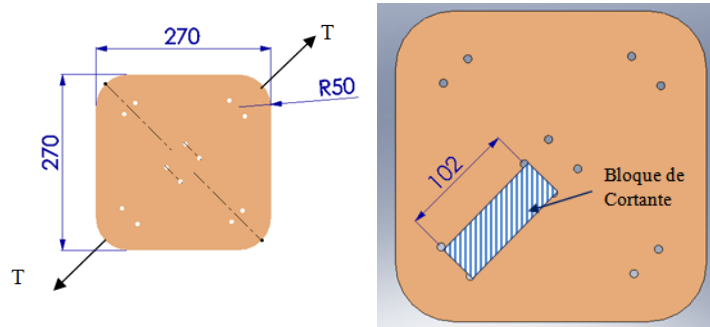
Torque: 7 Lb-pie

$S_y = 92 \text{ kPsi} = 634 \text{ MPa}$

$S_{ut} = 120 \text{ kPsi}$  (Datos tomados del Anexo 6)

Placa de acero A36

Dimensiones de la Placa

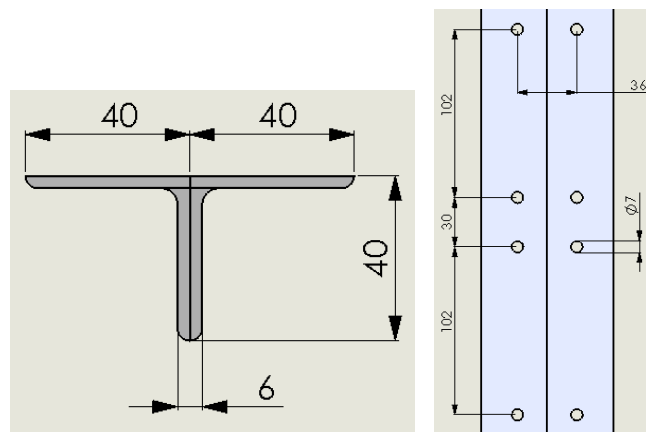


**Figura 6.36 Dimensiones de la Placa**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

Área Total de la placa:  $70369,136 \text{ mm}^2 = 109,07 \text{ Plg}^2$

Área Transversal de la Placa:  $2 \text{ Plg}^2$

El anclaje esta unido a 3 uniones de la estructura, una Principal formada por dos ángulos AL 40x3 y 2 secundarias formadas por 2 ángulos AL 30x3 cada una, con hileras de dos pernos, según se puede observar en la figura anterior. Las dimensiones son las siguientes:



**Figura 6.37 Dimensiones de la Unión Estructural**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

Área Transversal de la Unión Principal =  $462 \text{ mm}^2 = 0,7161 \text{ Plg}^2$

### Capacidad a Tensión:

$$T = 0,6 F_Y \cdot A_g$$

$$T = 0,5 F_u \cdot A_e$$

$$A_g = 0,7161 Plg^2$$

$$T = 0,6 * 36 * 0,7161$$

$$T = 15,46 Klb$$

$$A_e = U * A_n$$

Se asume  $U = 0,85$

$$A_e = U * A_n$$

$$A_n = [(462) - (2 * 7)]$$

$$A_n = 448 mm^2 = 0,6944 Plg^2$$

$$A_e = U * A_n$$

$$A_e = 0,85 * 0,6944$$

$$A_e = 0,5902 Plg^2$$

$$T = 0,5 F_u \cdot A_e$$

$$T = 0,5 * 58 * 0,5902$$

$$T = 17,17 \text{ KLb}$$

$$T > F_x$$

$$17,17 \text{ KLb} > 0,63 \text{ KLb}$$

**Bloque de Cortante:**

$$T_{bs} = 0,3 F_u \cdot A_v + 0,5 F_u \cdot A_t$$

$$A_v = [102 * (4,76) - 2,5 (7) * (4,76)]$$

$$A_v = 402,22 \text{ mm}^2 = 0,6234 \text{ Plg}^2$$

$$A_t = [22 * (4,76) - 0,5 (7) * (4,76)]$$

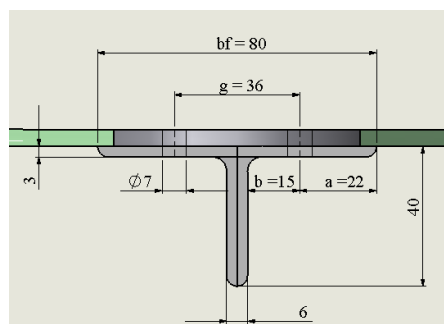
$$A_t = 88,06 \text{ mm}^2 = 0,1365 \text{ Plg}^2$$

$$T_{bs} = 0,3 F_u \cdot A_v + 0,5 F_u \cdot A_t$$

$$T_{bs} = 0,3 * (58) * 0,6234 + 0,5 * (58) * 0,1365$$

$$T_{bs} = 14,81 \text{ KLb}$$

**Análisis de la resistencia permisible a tensión:**



**Figura 6.38 Dimensiones de la Unión Estructural para la Acción Separadora (Carlos Fernando Sánchez R.)**



Para determinar la fuerza separadora en la conexión de un colgante, una parte del manual ASD (Anexo 8) recomienda las siguientes relaciones:

$$B = 0,6 F_y$$

$$T = \frac{P}{n}$$

$$\alpha' = \frac{1}{\delta(1 + \rho)} \left[ \left( \frac{t_c}{t} \right)^2 - 1 \right]$$

$$\text{Si } \alpha' > 1, \rightarrow T_{perm} = B \left( \frac{t_c}{t} \right)^2 (1 + \delta)$$

$$\text{Si } 0 \leq \alpha' \leq 1, \rightarrow T_{perm} = B \left( \frac{t_c}{t} \right)^2 (1 + \delta \alpha')$$

$$\text{Si } \alpha' = 0, \rightarrow T_{perm} = B$$

Calculando:

Datos:

$$P = 282,84 + 250Kg = 532,84 Kg = 1,18 KLb$$

### **Propiedades del Acero A36:**

Módulo elástico = 207 GPa

Coefficiente de Poisson = 0.28

Límite de tracción = 400 MPa

Límite elástico = 250 MPa

### **Propiedades de los Pernos:**

12 pernos M6, Grado SAE 5.1 (ASTM A325 Grado Métrico 8.6)

Torque: 7 Lb-pie

$$S_y = 58 \text{ kPsi} = 634 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 90 \text{ kPsi} \rightarrow (\text{Datos tomados del Anexo 6})$$

**Propiedades de la Unión Estructural Principal:**

$$t_f = 3 \text{ mm} = 0,1181 \text{ Plg}$$

$$t_w = 6 \text{ mm} = 0,2362 \text{ Plg}$$

$$b_f = 80 \text{ mm} = 3,15 \text{ Plg}$$

$$F_t = 0,33 S_y$$

$$F_t = 0,33 * 58$$

$$F_t = 19,14 \text{ KPsi}$$

$$B = 0,6 F_t$$

$$B = 0,6 * 19,14$$

$$B = 11,5 \text{ Klb}$$

$$T = \frac{P}{n}$$

$$T = \frac{1800}{12}$$

$$T = 0,15 \text{ Klb} \leq 11,5 \text{ Klb}$$

$$a = 22 \text{ mm} = 0,8661 \text{ Plg}$$

$$b = 15 \text{ mm} = 0,59 \text{ Plg}$$

$$d = 6 \text{ mm} = 0,24 \text{ Plg}$$

$$l = 270 \text{ mm} = 10,63 \text{ Plg}$$

$$b' = b - \frac{d}{2}$$

$$b' = 0,59 - \frac{0,24}{2}$$

$$b' = 0,47 \text{ Plg}$$

$$\rho = \frac{l}{2}$$

$$\rho = \frac{10,63}{2}$$

$$\rho = 5,315 \text{ Plg}$$

$$d' = 7\text{mm} = 0,27 \text{ Plg}$$

$$\delta = 1 - \frac{d'}{\rho}$$

$$\delta = 1 - \frac{0,27}{5,315}$$

$$\delta = 0,94 \text{ Plg}$$

$$a' = a + \frac{d}{2}$$

$$a' = 0,8661 + \frac{0,24}{2}$$

$$a' = 0,9861 \text{ Plg}$$

$$p = \frac{b'}{a'}$$

$$p = \frac{0,47}{0,9861}$$

$$p = 0,4766 \text{ Plg}$$

$$t_c = \sqrt{\frac{8Bb'}{\rho F_y}}$$

$$t_c = \sqrt{\frac{8 * 11,5 * 0,47}{5,315 * 36}}$$

$$t_c = 0,48 \text{ Plg}$$

$$\alpha' = \frac{1}{\delta(1 + \rho)} \left[ \left( \frac{t_c}{t} \right)^2 - 1 \right]$$

$$\alpha' = \frac{1}{0,94(1 + 5,315)} \left[ \left( \frac{0,48}{0,1181} \right)^2 - 1 \right]$$

$$\alpha' = 2,61$$

$$\alpha' > 1$$

$$T_{perm} = B \left( \frac{t}{t_c} \right)^2 (1 + \delta)$$

$$T_{perm} = 11,5 \left( \frac{0,1181}{0,48} \right)^2 (1 + 0,94)$$

$$T_{perm} = 1,35 \text{ Klb}$$

$$T_{perm} > T$$

$$1,35 \text{ Klb} > 0,18 \text{ Klb} \rightarrow \text{OK}$$

Los pernos son suficientes y resisten la carga a la que serán sometidos.

Cabe indicar que las fórmulas y el procedimiento utilizado para el diseño de las estructuras, placas base y juntas empernadas, fueron tomadas del manual ASD y los apuntes y conocimientos adquiridos en la materia de estructuras metálicas.

## **6.8 ADMINISTRACIÓN**

### **Central Hidroeléctrica Agoyán**

#### **6.8.1 ANTECEDENTES**

A finales de 1998 (luego de 37 años), la vida del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), llega a su fin en razón de las corrientes modernizadoras y privatizadoras de ese entonces, que inducían la segmentación de la cadena de actividades del servicio de energía eléctrica, así como la conformación de los denominados mercados eléctricos mayoristas como bolsas de negocio de este servicio, y la integración internacional de los mismos.

Como consecuencia de la extinción del INECEL, se crearon las nuevas empresas privadas de generación y transmisión, quedando con domicilio en la provincia de Tungurahua dos de ellas: La Compañía de Generación Hidroeléctrica, Agoyán (HIDROAGOYÁN S.A.) y la Compañía de Generación Hidroeléctrica Pisayambo (HIDROPUCARÁ S.A.), con el fondo de solidaridad como su único accionista.

En corto tiempo se produce la fusión por absorción entre estas dos empresas, y queda exclusivamente (HIDROAGOYÁN S.A) inscrita en el Registro Mercantil el 27 de enero de 1999, para encargarse de la producción de energía eléctrica en las Centrales Agoyán y Pucará, ubicadas en los cantones de Baños y Píllaro respectivamente.

Durante 10 años, HIDROAGOYÁN S.A. operó como empresa privada autónoma, hasta que en el gobierno actual del Eco. Rafael Correa, se decide nuevamente reformar el sector eléctrico ecuatoriano.

El Fondo de Solidaridad como único accionista de varias empresas, lidera la fusión de: Electroguayas S.A., Hidroagoyán S.A., Hidropaute S.A., Termoesmeraldas S.A., Termopichincha S.A., y Transelectric S.A., en una sola empresa de generación y transmisión de energía denominada: Corporación Eléctrica del Ecuador **CELEC S.A.**, inscrita en el Registro Mercantil el 26 febrero de 2009.

Finalmente, bajo el amparo de la ley de Empresas Públicas, se emite el Decreto Ejecutivo N° 220 del 14 de enero de 2010, que crea la Empresa Pública Estratégica **CORPORACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR - CELEC E.P.**, como resultado de la fusión de las empresas: Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC S.A. e Hidroeléctrica Nacional - Hidronación S.A.

En la actualidad, **HIDROAGOYÁN** es una de las siete Unidades de Negocio de CELEC E.P., se encarga de la administración de la producción de las centrales Agoyán y Pucará, y mantiene un contrato con la Empresa Pública Estratégica HIDROPASTAZA E.P. para la operación y mantenimiento de la Central San Francisco, también ubicada en el cantón Baños de la Provincia de Tungurahua.

#### Misión

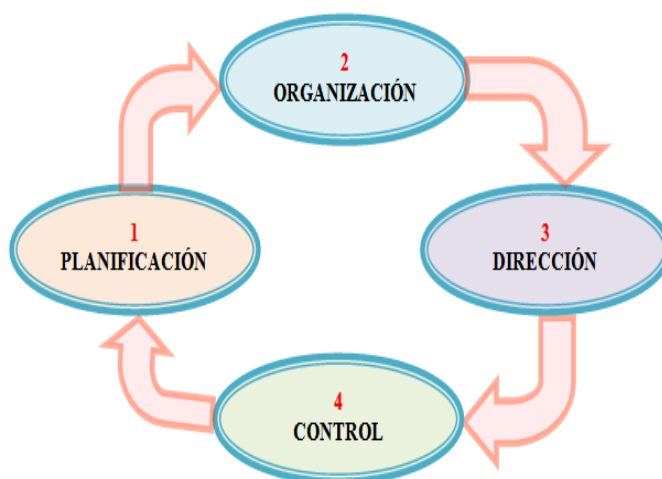
*“Contribuir al Desarrollo Integral del País, generando y suministrando energía eléctrica, mediante el aprovechamiento óptimo y responsable de los recursos naturales.”*

#### Visión

*“Ser la unidad de negocio de generación con los mayores índices de disponibilidad operativa y disponibilidad dentro de la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC E.P. y el sector eléctrico ecuatoriano.”*

## 6.8.2 PARÁMETROS ADMINISTRATIVOS:

Para el cumplimiento de la presente investigación, las Funciones Administrativas deben basarse en el siguiente esquema:



**Figura 6.39 Esquema de las Funciones Administrativas de HIDROAGOYÁN (Carlos Fernando Sánchez R.)**

### 6.8.2.1 Planificación:

La central Hidroeléctrica Agoyán, debe cumplir con las siguientes actividades de planificación:

- ★ Definir las fechas de inicio de la construcción del Centro de Mecanizado, asegurando que se cuente con el presupuesto necesario para llevar a cabo dicho proyecto.
- ★ Establecer si será necesario contratar nuevo personal de trabajo para realizar los procesos de reconstrucción de las partes de las turbinas, una vez construido el centro de Mecanizado.
- ★ Determinar la cantidad de reparaciones anuales que se podrían cumplir con el personal existente.

## Determinación de los costos del proyecto:

### Presupuesto para el Horno:

Para este presupuesto, se tomara en cuenta todos los materiales que serán necesarios para la construcción del horno, materiales, mano de obra y equipos necesarios para el funcionamiento del mismo para que posteriormente la Central Hidroeléctrica Agoyán proceda a construirlo una vez que se encuentre lista la planta física. También se incluirá los gastos de diseño.

**Tabla 6.9 Presupuesto para la Construcción del Horno de Tratamientos Térmicos**

PRESUPUESTO DEL HORNO DE TRATAMIENTOS TÉRMICOS			
N°	Materiales	Costo Unitario	Costo Total
28	Planchas de Tool Negro de 1/8" de (1220 x 2440) mm	\$ 96,00	\$ 2.688,00
900	Ladrillos refractarios aislantes (100x105x235 mm)	\$ 1,40	\$ 1.260,00
120	Paneles de Fibra Cerámica (500x1000x100)	\$ 40,00	\$ 4.800,00
2	Baldes de Pegamento para la Fibra Cerámica	\$ 50,00	\$ 100,00
30	Paneles de Fibra Cerámica (100x1000x100)	\$ 20,00	\$ 600,00
1	Platina de (2x 1/4)" de 2m de longitud	\$ 10,00	\$ 10,00
14	Ángulos (60x60x6) de 6m de longitud	\$ 30,00	\$ 420,00
10	Ángulos (40x40x3) de 6m de longitud	\$ 25,00	\$ 250,00
40	Ángulos (30x30x3) de 6m de longitud	\$ 22,00	\$ 880,00
1	Plancha de Tool Negro de 1/4" de (1220 x 2440) mm	\$ 100,00	\$ 100,00
5	Perfiles estructurales HEB (80x160x7) 4m de longitud	\$ 80,00	\$ 400,00
158	Pernos M6 de 1,5 " de largo	\$ 0,20	\$ 31,60
56	Pernos M10 de 1,5 " de largo	\$ 0,25	\$ 14,00
16	Pernos M12 de 2,5 " de largo	\$ 0,30	\$ 4,80
24	Pernos M12 de 6 " de largo	\$ 0,50	\$ 12,00
20	Resistencias Eléctricas de 10 KW de Potencia	\$ 250,00	\$ 5.000,00
Total de Materiales			\$ 16.570,40
Mano de Obra		\$ 1.000,00	\$ 6.000,00
Equipo Eléctrico		\$ 10.000,00	\$ 10.000,00
Imprevistos		\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
Total Materiales Adicionales y Mano de Obra			\$ 21.000,00
TOTAL			\$ 37.570,40

(Carlos Fernando Sánchez R.)



## Costos de los Tratamientos Térmicos en la Central Hidroeléctrica Agoyán:

**Tabla 6.10 Tiempo Requerido para los Tratamientos Térmicos**

TIEMPO REQUERIDO PARA LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS		
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	TIEMPO DE DEMORA (h)
1	Pre calentamiento del Rodete a 120 °C	4
2	Pre calentamiento de los Álabes Directrices a 120 °C	4
3	Tratamiento Térmico de Alivio de Tensiones del Rodete	36
4	Tratamiento Térmico Alivio de Tensiones de los Álabes Directrices	33
<b>TOTAL DE HORAS</b>		<b>77</b>

(Carlos Fernando Sánchez R.)

Para el calentamiento del Horno de Tratamientos Térmicos, se requiere una potencia de 200 KW, suponiendo que trabaja a toda su potencia durante las 77 horas que se requiere para dar los tratamientos térmicos para todo el volumen de reparación, se tiene un total de 15400 KW-h.

El costo de producción de la energía eléctrica para la Central Hidroeléctrica Agoyán es de \$0,04 por cada KW-h, por lo que al multiplicar por el consumo total del Horno, se tiene un costo de \$616 (dólares). A este costo se lo denominará Costo del Calentamiento del Horno.

## Costos de la Mano de Obra para los Tratamientos Térmicos:

**Tabla 6.11 Costos de la Mano de Obra para los Tratamientos Térmicos**

ÁREA	PERSONAL NECESARIO POR CADA JORNADA			TIEMPO DE TRABAJO		TOTAL
	Nº	DESCRIPCIÓN	SUELDO	JORNADAS	MESES	
<b>Mano de Obra</b>						
TRATAMIENTOS TÉRMICOS	2	Mecánico de Mantenimiento	\$ 1.100,00	2	4	\$ 8.800,00
	1	Ayudante	\$ 650,00	2	4	\$ 5.200,00
<b>Total Mano de Obra</b>						<b>\$ 14.000,00</b>
<b>Administración</b>						
Jefe de Mantenimiento			\$ 1.600,00	2	4	\$ 12.800,00
Jefe de Planta del Taller			\$ 1.600,00	2	4	\$ 12.800,00
<b>Total Administración</b>						<b>\$ 25.600,00</b>
<b>TOTAL DE COSTOS PARA LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS</b>						<b>\$ 39.600,00</b>

(Carlos Fernando Sánchez R.)

**Tabla 6.12 Costos Variables de los Tratamientos Térmicos**

Costos Variables	
Costos del Calentamiento del Horno	\$ 616,00
Sueldos Administrativos	\$ 25.600,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 26.216,00</b>

(Carlos Fernando Sánchez R.)

**Tabla 6.13 Costos Fijos de los Tratamientos Térmicos**

Costos Fijos	
Mano de Obra	\$ 14.000,00
Mantenimiento del Horno	\$ 400,00
Gastos Indirectos	\$ 400,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 14.800,00</b>

(Carlos Fernando Sánchez R.)

Para hacer una comparación con el valor de reparación en la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., cuyo costo y volumen se encuentra detallado en el Capítulo IV, el volumen total de reparación es:

Volumen de Reparación del Rodete: 56064 cm<sup>3</sup>

Volumen de Reparación de 20 Álabes Directrices: 23140 cm<sup>3</sup>

Volumen Total de Reparación:  $V_{TR} = 79204$  cm<sup>3</sup>

**Determinación del costo fijo por cada cm<sup>3</sup>:**

$$C_F = \frac{\text{Total de Costos Fijos}}{V_{TR}}$$

$$C_F = \frac{14800}{79204}$$

$$C_F = 0,187$$

$$C_V = \frac{\text{Total de Costos Variables}}{V_{TR}}$$

$$C_V = \frac{26216}{79204}$$

$$C_V = 0,331$$

Precio de reparación por cada  $\text{cm}^3$   $P_R$ :

$$P_R = (C_F + C_V)(1 + h)$$

$$h = \text{margen de ganancia} = 15 \%$$

$$P_R = (0,187 + 0,331)(1 + 0,15)$$

$$P_R = \$ 0,5957$$

Por lo tanto el costo total de los Tratamientos Térmicos por cada  $\text{cm}^3$  de reparación es de 60 centavos de dólar, por lo que para realizar la comparación de precios con la empresa ANDRITZ CHILE Ltda., por cualquier imprevisto, se utilizará un costo de 65 centavos de dólar.

De este modo se demuestra el ahorro en los tratamientos térmicos, mencionado en el Capítulo IV.

#### Ahorro en los Tratamientos Térmicos:

**Tabla 6.14 Costos de los Tratamientos Térmicos en ANDRITZ CHILE Ltda.**

COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN ANDRITZ CHILE Ltda.			
ELEMENTO	VOLUMEN DE REPARACIÓN $\text{cm}^3$	COSTO/ $\text{cm}^3$	COSTO TOTAL
RODETE	56064	\$ 0,85	\$ 47.654,40
20 ÁLABES DIRECTRICES	23140	\$ 0,84	\$ 19.437,60
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 67.092,00</b>

(Carlos Fernando Sánchez R.)

**Tabla 6.15 Costos de los Tratamientos Térmicos en HIDROAGOYÁN**

<b>COSTOS DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN HIDROAGOYÁN</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>VOLUMEN DE REPARACIÓN cm3</b>	<b>COSTO/cm3</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
RODETE	56064	\$ 0,65	\$ 36.441,60
20 ALABES DIRECTRICES	23140	\$ 0,64	\$ 14.809,60
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>\$ 51.251,20</b>

(Carlos Fernando Sánchez R.)

**Tabla 6.16 Ahorro estimado en los costos de los Tratamientos Térmicos**

<b>COMPARACIÓN DE COSTOS</b>	
Costo de Tratamientos Térmicos en ANDRITZ CHILE Ltda.	<b>\$ 67.092,00</b>
Costo de Tratamientos Térmicos en HIDROAGOYÁN	<b>\$ 51.251,20</b>
<b>AHORRO ESTIMADO</b>	<b>\$ 15.840,80</b>

(Carlos Fernando Sánchez R.)

Para evaluar el costo beneficio que se puede obtener al construir el horno de tratamientos térmicos, se procede a través del cálculo del Valor Presente Neto, (VPN). Con este valor se determinará si el proyecto es rentable o no para la empresa.

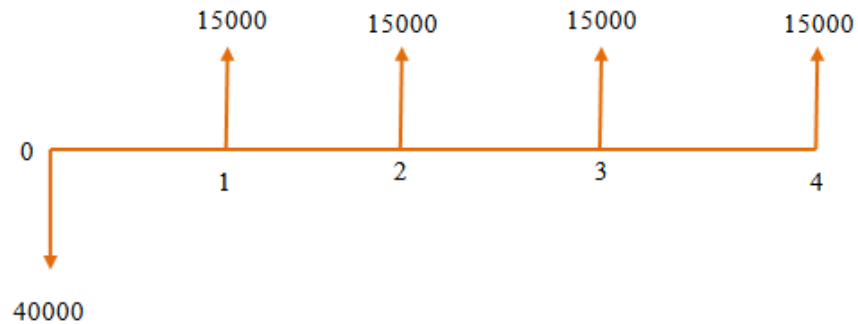
Debido a que en la actualidad en la Casa de Máquinas de la Central Hidroeléctrica Aگویán, se encuentran disponibles para la reparación, dos rodetes y 40 álabes directrices, estos se tomarán para realizar 2 reparaciones, una vez construido el Centro de Mecanizado.

Así mismo para este año, se tiene programado la realización del Overhaul de la Unidad 1, del cual quedara un nuevo stock de reparación. De igual manera, para el Año 2012 está programado el Overhaul de la Unidad 2, con lo que se completaría un total de cuatro reparaciones pendientes.

Para la evaluación del VPN, se estimará una reparación por año y como se tienen un total de 4 reparaciones pendientes, se tomará como referencia 4 años para determinar si se recupera o no la inversión.

La tasa de descuento como una referencia bancaria, es del 12%, pero como los precios de los materiales de construcción y los sueldos pueden subir, se asumirá una tasa de descuento del 15%.

El valor de la inversión será de \$40000 y el beneficio por cada reparación será de \$15000.



**Figura 6.40 Esquema del Flujo de efectivo**  
(Carlos Fernando Sánchez R.)

$$VPN = -I_o + \frac{BN_1}{(1+i)^1} + \frac{BN_2}{(1+i)^2} + \frac{BN_3}{(1+i)^3} + \frac{BN_4}{(1+i)^4}$$

Donde:

$I_o = \text{inversión Inicial} = \$40000$

$BN = \text{Beneficio Neto en cada Período} = \$15000$

$i = \text{Tasa de descuento} = 15\%$

$$VPN = -40000 + \frac{15000}{(1+0,15)^1} + \frac{15000}{(1+0,15)^2} + \frac{15000}{(1+0,15)^3} + \frac{15000}{(1+0,15)^4}$$

$$VPN = \$ 5368,62 \rightarrow \text{OK}$$

Por lo tanto el proyecto si es rentable para la empresa y la inversión se recupera en los cuatro años proyectados.

Cabe señalar que cada uno de los costos e información utilizados en la presente investigación están en pleno acuerdo y bajo la supervisión de la Central Hidroeléctrica Agoyán, a través del personal de Mantenimiento Mecánico y demás organismos pertinentes que colaboraron con el presente trabajo.

Los costos de construcción del proyecto estarán a cargo de la empresa, mientras los costos de la investigación, son responsabilidad del autor de este Trabajo investigativo (Carlos Fernando Sánchez Robalino)

**Costo Total de la Investigación:**

**Tabla 6.17 Costo Total de la Investigación**

<b>GASTOS DE DISEÑO</b>	
<b>Materiales para la Realización del Proyecto</b>	<b>VALOR</b>
1.) Equipos de Computación	\$ 30,00
2.) Material Bibliográfico: copias, libros, internet	\$ 60,00
3.) Impresiones y Material de Oficina	\$ 150,00
4.) Pasajes	\$ 150,00
4.) Imprevistos	\$ 30,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 420,00</b>

(Carlos Fernando Sánchez R.)

**6.8.2.2 Organización, Dirección y Control**

La Organización, Dirección y Control del proyecto de la creación del Centro de mecanizado para la rehabilitación y reconstrucción de las partes de las turbinas, estará a cargo del personal de la Central Hidroeléctrica Agoyán, incluido la construcción del Horno de Tratamientos Térmicos que se desarrollo en esta investigación.

Para que se cumplan las actividades de construcción del Horno de Tratamientos Térmicos, es necesario que el personal de HIDROAGOYÁN se ponga al tanto del contenido de esta investigación. La Central deberá designar al personal necesario y adecuado para desarrollar estas actividades, controlando que se cumplan con los requisitos estipulados y a la vez se apliquen las normas técnicas pertinentes.

## 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Una vez construido el Horno, es necesario la verificación de:

- Temperatura en el interior del Horno
- Temperatura en el exterior del Horno
- Velocidad de Calentamiento
- Velocidad de Enfriamiento
- Potencia de cada Resistencia
- Correcto Funcionamiento de los equipos eléctricos adicionales.

También se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

Antes de realizar cualquier tratamiento térmico, será conveniente realizar las pruebas de funcionamiento de cada equipo y componente del horno, y para iniciar es recomendable utilizar una carga pequeña.

Luego se debería diagnosticar las propiedades que se obtuvieron luego de realizar el tratamiento térmico, a través de un análisis metalográfico de una parte del material empleado.

Si es necesario, se podría manipular la velocidad de calentamiento o tiempo de permanencia para mejorar las características del material basándose en las normas técnicas pertinentes. Por tal motivo es recomendable que la empresa adquiriera las normas técnicas necesarias para la reparación, mencionadas en este proyecto de investigación.

A la empresa le corresponderá mantener un control de los costos y gastos que se emplearan en cada reparación para confirmar el beneficio que se puede tener con la ejecución de esta propuesta.

Se debe realizar una capacitación continua a todo el personal de la empresa, previo al funcionamiento del Centro de Mecanizado, para contar con un personal calificado y crear responsabilidad en el personal de la tarea de reconstrucción y rehabilitación de las partes de las turbinas.

Para un correcto funcionamiento del Horno de Tratamientos Térmicos, será necesario que se mantenga un mantenimiento, como limpieza y revisión de cada elemento que lo componen.



## **BIBLIOGRAFÍA:**

1. ASM HANDBOOK Volume 6, WELDING BRAZING AND SOLDERING, 1993
2. ASM HANDBOOK Volume 9, Metallography and Microstructures, 2004
3. Catálogo de Aceros DIPAC.
4. CENGEL Yunus A., Transferencia de Calor y Masa, Mc Graw Hill, México 2007, Tercera Edición.
5. Central Hidroeléctrica Agoyán
6. ERECOS, Manual de Ladrillos Refractarios
7. HERRERA E. Luis, Tutoría de la Investigación Científica, Copyrigh, Ambato Ecuador 2004
8. INCROPERA, Frank P., Fundamentos de Transferencia de Calor, PRENTICELL HALL, México 1999, Cuarta Edición.
9. INDURA, Manual de Soldadura
10. LÓPEZ Luis, Diseño y Construcción de un Horno Rotativo para Tostar Granos de Maní y su Incidencia en la Calidad del Producto Obtenido y el Tiempo de Procesamiento, Tesis, UTA, 2010
11. LÓPEZ Paolo, Diseño de un Horno para Secado de Bobinas de Transformadores para la empresa ECUATRAN S.A. de la Ciudad de Ambato, con la Finalidad de Incrementar la Producción, Tesis, UTA, 2010

12. McCORMAC Nelson, Análisis de Estructuras Metálicas, ALFAOMEGA, México 2006, Tercera Edición.
13. McCORMAC Nelson, Diseño de Estructuras Metálicas Método ASD, ALFAOMEGA, México 1999, Cuarta Edición
14. ORTIZ Marco, Optimización de Procesos de Soldadura en Estructuras Metálicas de Buses en las Carrocerías IBIMCO de Ambato Provincia del Tungurahua, Tesis, UTA, 2009
15. PÉREZ Cristian, Diseño de un Horno de Curado con Sistemas de Calentamiento Infrarrojo para Piezas Pintadas Electromecánicamente en la empresa Ecuamatrix Cía. Ltda., Tesis, UTA, 2008
16. ROSERO, Byron, Diseño de un horno de Crisol Basculante para el Laboratorio de Fundición del Departamento de Materiales de la Escuela Politécnica Nacional, Tesis, Politécnica Nacional, 2006
17. SHIGLEY, Josep, Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc Graw Hill. México 2002, Sexta Edición.
18. STEEL CASTINGS HANDBOOK Supplement 8 High Alloy Data Sheets Corrosion Series
19. TRINKS W., Hornos Industriales, URMO S.A., 1975
20. Vega “Omega”, Resistencias Eléctricas

## **SITIOS WEB**

1. Corrosión, Microsoft ® Encarta ® 2009
2. Microsoft ® Encarta ® 2009. © 1993-2006 Microsoft Corporation.  
Reservados todos los derechos

3. [www.aceroandes.com/empresa.php](http://www.aceroandes.com/empresa.php)
4. [www.andecsa.com](http://www.andecsa.com)
5. [www.andritz-hydro.com](http://www.andritz-hydro.com)
6. [www.calorcol.com/Productos/Cat%25C3%25A1logodeProductos](http://www.calorcol.com/Productos/Cat%25C3%25A1logodeProductos)
7. [www.calorcol.com/Productos/Cat%25C3%25A1logodeProductos/](http://www.calorcol.com/Productos/Cat%25C3%25A1logodeProductos/)
8. [www.caltec.com.ar](http://www.caltec.com.ar)
9. [www.cristianorlando-technician.blogspot.com](http://www.cristianorlando-technician.blogspot.com)
10. [www.deltadelfini.com/esp/inicio.html](http://www.deltadelfini.com/esp/inicio.html)
11. [www.es.airliquide.com/es/sus-necesidades-son-de.html](http://www.es.airliquide.com/es/sus-necesidades-son-de.html)
12. [www.es.wikipedia.org/wiki/Cavitaci%C3%B3n](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Cavitaci%C3%B3n)
13. [www.es.wikipedia.org/wiki/Rectificadora](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Rectificadora)
14. [www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento-térmico](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento-térmico)
15. [www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_Francis](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina_Francis)
16. [www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina\\_hidráulica](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Turbina_hidráulica)
17. [www.hidroagoyan.com](http://www.hidroagoyan.com)
18. [www.insertec.biz/Tratamiento%20Térmico=Hornos](http://www.insertec.biz/Tratamiento%20Térmico=Hornos)

19. [www.intmetl.com/metalizacion.htm](http://www.intmetl.com/metalizacion.htm)
20. [www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r72152.DOCX](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r72152.DOCX)
21. [www.laraudogoitia.com/hornos-ttt.htm](http://www.laraudogoitia.com/hornos-ttt.htm)
22. [www.laraudogoitia.com/hornos-ttt.htm](http://www.laraudogoitia.com/hornos-ttt.htm)
23. [www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial](http://www.monografias.com/trabajos15/mantenimiento-industrial)
24. [www.nutecfibratec.com/index.com](http://www.nutecfibratec.com/index.com)
25. [www.nutecfibratec.com/index.php?option=com](http://www.nutecfibratec.com/index.php?option=com)
26. [www.related:cuyo.spe.org/Ensayos%20No%20Destructivos.ppt](http://www.related:cuyo.spe.org/Ensayos%20No%20Destructivos.ppt)
27. [www.reports.andritz.com/2008/index/locations](http://www.reports.andritz.com/2008/index/locations)
28. [www.slide.com/s](http://www.slide.com/s)
29. [www.soldadurascromaweld.com/teoria/teoria\\_del\\_recargue.htm](http://www.soldadurascromaweld.com/teoria/teoria_del_recargue.htm)

**ANEXOS**

## ANEXO 1 a

Chemical composition - %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
min.						11.5	3.5	0.4	
max.	0.060	1.00	1.00	0.040	0.030	14.0	4.5	1.0	bal
Physical properties									
Modulus of elasticity, psi x 10 <sup>6</sup>								29.0	
Density, lb/in <sup>3</sup>								0.278	
Sp. Heat, Btu/lb.°F, at 70 °F								0.11	
Electrical resistivity, μΩ.m, at 70 °F								0.78	
Melting point, approximate °F							2750		
Magnetic permeability							Ferromagnetic		
Thermal conductivity Btu/(ft.h. °F)						Mean coefficient of Linear thermal expansion μ in./(in. °F)			
At 212 °F			14.5			70 - 212 °F		6.0	
At 1000 °F			16.7			70 - 1000 °F		7.0	
Mechanical properties at room temperature									
					Representative tensile properties air cooled from >1900 °F temper at 1100- 1150 °F		Minimum tensile & toughness requirements ASTM A743, A757		
Tensile strength, ksi					120.0		110.0		
Yield strength, 0.2% offset, ksi					100.0		80.0		
Elongation, in 2in., %					24		15		
Reduction of area, %					60		35		
Brinell hardness (HBW)					268		-		
Charpy V-notch, @ -100 °F, ft.lbs					-		20/12 (A757) <sup>A</sup>		
Toughness and impact properties									
Impact, Charpy V-notch - see Fig.1									
Fracture toughness, K <sub>IC</sub> - see Fig.2									
At elevated temperatures									
Short time elevated temperature properties - see Fig.3									
Creep rupture properties - see Table 1 and Figs. 4 - 6									
<sup>A</sup> 20 ft.lb average on three specimens, 15 ft.lb minimum allowed on one specimen only									

## ANEXO 1 b

**Table 7 Physical properties of corrosion resistant stainless steel castings** <sup>Ref. 3,4</sup>

ACI	Melting Point		Specific Heat		Coefficient of Thermal Expansion		Thermal Conductivity 32-212°F (0-100°C)	
	°C	°F	J/Kg·°K	32-212°F Btu/lb·°F	m/m·°K	in 106 ln/ln·°F	Btu/(ft-hr·°F)	W/m·°K
CA6NM	1510	2750	460 <sup>1</sup>	.011 <sup>1</sup>	3.3 <sup>2</sup> , 3.9 <sup>2</sup>	6.0 <sup>2</sup> , 7.0 <sup>2</sup>	14.5 <sup>4</sup> , 16.7 <sup>4</sup>	25.10 <sup>4</sup> , 28.90 <sup>4</sup>
CA15	1510	2750	460	0.11 <sup>1</sup>	3.0 <sup>2</sup> , 3.6 <sup>2</sup>	5.5 <sup>2</sup> , 6.4 <sup>2</sup>	14.5 <sup>4</sup> , 16.7 <sup>4</sup>	25.10 <sup>4</sup> , 28.89 <sup>4</sup>
CA40	1508	2725	460 <sup>1</sup>	0.111	3.0 <sup>2</sup> , 3.6 <sup>2</sup>	5.5 <sup>2</sup> , 6.4 <sup>2</sup>	14.5 <sup>4</sup> , 16.7 <sup>4</sup>	25.10 <sup>4</sup> , 28.89 <sup>4</sup>
CB7Cu	1510	2750	460 <sup>1</sup>	0.11 <sup>1</sup>	3.3 <sup>2</sup> , 3.7 <sup>2</sup>	6.0 <sup>2</sup> , 6.6 <sup>2</sup>	9.9 <sup>4</sup>	17.13 <sup>4</sup>
CD4MCu	1482	2700	460 <sup>1</sup>	0.11 <sup>1</sup>	3.5 <sup>2</sup> , 3.9 <sup>2</sup>	6.3 <sup>2</sup> , 6.9 <sup>2</sup>	8.8 <sup>4</sup>	15.23 <sup>4</sup>
CF3	1454	2650	502 <sup>1</sup>	.012 <sup>1</sup>	5.0 <sup>2</sup> , 5.6 <sup>2</sup>	9.0 <sup>2</sup> , 10.0 <sup>2</sup>	9.2 <sup>4</sup> , 12.1 <sup>4</sup>	15.92 <sup>4</sup> , 20.94 <sup>4</sup>
CF3M	1427	2600	502 <sup>1</sup>	0.12 <sup>1</sup>	5.0 <sup>2</sup> , 5.4 <sup>2</sup>	8.9 <sup>2</sup> , 9.7 <sup>2</sup>	9.4 <sup>4</sup> , 12.3 <sup>4</sup>	16.27 <sup>4</sup> , 21.29 <sup>4</sup>
CF8	1427	2600	502	0.12	5.0 <sup>2</sup> , 5.6 <sup>2</sup>	9.0 <sup>2</sup> , 10.0 <sup>2</sup>	9.2 <sup>4</sup> , 12.1 <sup>4</sup>	15.92 <sup>4</sup> , 20.94 <sup>4</sup>
CF8C	1427	2600	502	0.12	5.2 <sup>2</sup> , 5.8 <sup>2</sup>	9.3 <sup>2</sup> , 10.3 <sup>2</sup>	9.3 <sup>4</sup> , 12.8 <sup>4</sup>	16.10 <sup>4</sup> , 22.15 <sup>4</sup>
CF8M	1399	2550	502	0.12	5.0 <sup>2</sup> , 5.4 <sup>2</sup>	8.9 <sup>2</sup> , 9.7 <sup>2</sup>	9.4 <sup>4</sup> , 12.3 <sup>4</sup>	16.27 <sup>4</sup> , 21.29 <sup>4</sup>
CF16F	1399	2550	502	0.12	5.0 <sup>2</sup> , 5.5 <sup>2</sup>	9.0 <sup>2</sup> , 12.3 <sup>2</sup>	9.4 <sup>4</sup> , 12.3 <sup>4</sup>	16.27 <sup>4</sup> , 21.29 <sup>4</sup>
CG8M	1399	2550	502	0.12	5.0 <sup>2</sup> , 5.4 <sup>2</sup>	8.9 <sup>2</sup> , 9.7 <sup>2</sup>	9.4 <sup>4</sup> , 12.3 <sup>4</sup>	16.27 <sup>4</sup> , 21.29 <sup>4</sup>
CH20	1427	2600	502	0.12	4.8 <sup>2</sup> , 5.3 <sup>2</sup>	8.6 <sup>2</sup> , 9.5 <sup>2</sup>	8.2 <sup>4</sup> , 12.0 <sup>4</sup>	14.19 <sup>4</sup> , 20.77 <sup>4</sup>
CK20	1427	2600	502	0.12	4.7 <sup>2</sup> , 5.3 <sup>2</sup>	8.3 <sup>2</sup> , 9.4 <sup>2</sup>	7.9 <sup>4</sup> , 11.8 <sup>4</sup>	13.67 <sup>4</sup> , 20.42 <sup>4</sup>

1) at 70°F (21°C)                      2) 68-212°F (20-100°C)                      3) 70-1000°F (21-93°C)                      4) at 212°F (100°C)  
5) at 1000°F (538°C)                      6) 70-200°F (21-93°C) aged at 900°F (482°C)                      7) 70-200°F (21-93°C) aged at 1100°F (593°C)

**Table 8 Physical properties of corrosion resistant stainless steel castings** <sup>Ref. 4</sup>

ACI	Magnetic Permeability	Electrical Resistivity μΩm at 70°F	Modulus of Elasticity		Density	
			ksi x 10 <sup>3</sup>	MPa x 10 <sup>3</sup>	lb/in <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
CA6NM	ferromagnetic	0.78	29	200	0.278	7695
CACA15	500	0.56	29	200	0.275	7612
CA40	ferromagnetic	0.76	29	200	0.275	7612
CB7Cu	ferromagnetic	0.77	29	200	0.282	7808
CD4MCu	ferromagnetic	0.75	29	200	0.280	7750
CF3	1.2-3.0	0.76	28	193	0.280	7750
CF3M	1.5-3.0	0.82	28	193	0.280	7750
CF8	1.0-1.3	0.76	28	193	0.280	7750
CF8C	1.2-1.8	0.71	28	193	0.280	7750
CF8M	1.5-2.5	0.82	28	193	0.280	7750
CF16F	1.0-2.0	0.72	28	193	0.280	7750
CG8M	1.5-3.0	0.82	28	193	0.280	7750
CH20	1.7	0.64	28	193	0.279	7723
CK20	1.0	0.90	29	200	0.280	7750

Aceros Inoxidables Martensíticos

## ANEXO 2



**ERECOS**

empresa de refractarios colombianos s.a.

### LADRILLOS REFRACTARIOS AISLANTES

#### UA - 26

Clasificación NTC -815, ASTM C-155		Aislante Grupo 26
Análisis Químico %		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	34.0	
SiO <sub>2</sub>		61.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		1.0
TiO <sub>2</sub>		1.2
CaO		0.3
MgO		0.4
Álcalis		1.8
Cono Pirométrico Equivalente (PCE)		32
Temperatura Equivalente (°C) NTC -706, ASTM C-24		1717
Porosidad Aparente (%) ASTM C-20		66.0 - 71.0
Densidad volumétrica (g/cm <sup>3</sup> ) ASTM C-134		0.74 - 0.86
Resistencia a la compresión en frío. Mpa (kg/cm <sup>2</sup> )		1.5 - 3.5 ( 15 - 35 )
Módulo de ruptura en frío. Mpa (kg/cm <sup>2</sup> ) NTC -682, ASTM C-133		0.8 - 2.0 ( 8 - 20 )
Cambio lineal permanente (°C - %) NTC -859, ASTM C-210		1230 0.0 - 0.1C 1400 0.5C -1.3C
Conductividad térmica, a temperatura media, (°C- kcal/m hr K) ASTM C-201		819 0.274 1060 0.413

Los datos anteriores se basan en los resultados promedio de las pruebas de control sobre lotes de producción industrial de ladrillos normales prensados de 9" utilizando los procedimientos descritos en las Normas Técnicas Colombianas y ASTM donde ellas sean aplicables y no deben emplearse para efectos de especificaciones garantizadas. Pueden presentarse variaciones de los resultados dependiendo del tamaño o forma.

C = Contracción

2003-04-02



## ANEXO 3



Resistencias Eléctricas tipo Tubulares	
<b>Tipos:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Con tapón de 1,2,3,4,5,6 elementos</li><li>- Aletadas</li><li>- Inmersión para agua</li><li>- Inmersión para aceite</li></ul>
<b>Diametros:</b>	5/16, 3/8, 1/2, 5/8 pulgadas
<b>Usos:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Inmersión en líquidos</li><li>- Calentamiento de aire</li><li>- Túneles de secamiento</li><li>- Hornos para pintura</li><li>- Fundición de Plomo</li><li>- Etc</li></ul>
<b>Componentes:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tubo de acero inoxidable</li><li>- Niquelina</li><li>- Protección de óxido de magnesio</li></ul>

### Resistencias Eléctricas tipo Tubulares



#### Resistencias Eléctricas tipo Tubulares de inmersión en aceite



#### Resistencias Eléctricas tipo Tubulares de inmersión en agua



Resistencias eléctricas Vega "Omega", fabrican resistencias con Medidas y Potencia Bajo especificación y pedido.

## ANEXO 4

### PERFILES IMPORTADOS ANGULOS

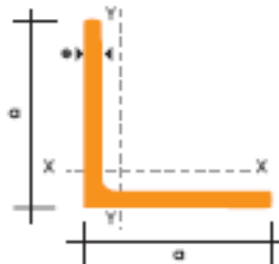
#### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A 36 SAE 1008
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6,00 m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES		PESO		AREA
	mm		kg/m	kg/6m	cm <sup>2</sup>
	a	e			
AL 20X2	20	2	0.60	3.62	0.76
AL 20X3	20	3	0.87	5.27	1.11
AL 25X2	25	2	0.75	4.56	0.96
AL 25X3	25	3	1.11	6.68	1.41
AL 25X4	25	4	1.45	8.75	1.84
AL 30X3	30	3	1.36	8.13	1.71
AL 30X4	30	4	1.77	10.63	2.24
AL 40X3	40	3	1.81	11.00	2.31
AL 40X4	40	4	2.39	14.34	3.04
AL 40X6	40	6	3.49	21.34	4.44
AL 50X3	50	3	2.29	13.85	2.91
AL 50X4	50	4	3.02	18.33	3.84
AL 50X6	50	6	4.43	26.58	5.64
AL 60X6	60	6	5.37	32.54	6.84
AL 60X8	60	8	7.09	42.54	9.03
AL 65X6	65	6	5.84	35.25	7.44
AL 70X6	70	6	6.32	38.28	8.05
AL 75X6	75	6	6.78	40.65	8.64
AL 75X8	75	8	8.92	54.18	11.36
AL 80X8	80	8	9.14	56.95	11.64
AL 100X6	100	6	9.14	56.95	11.64
AL 100X8	100	8	12.06	74.05	15.36
AL 100X10	100	10	15.04	90.21	19.15
AL 100X12	100	12	18.26	109.54	22.56

También en galvanizado e inoxidable



Catálogo de Aceros DIPAC.

## ANEXO 5

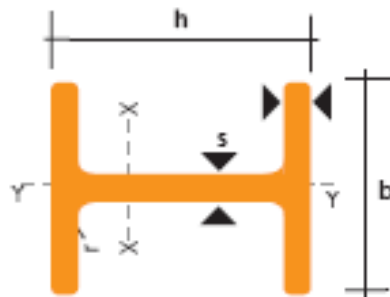
### PERFILES LAMINADOS HEB

#### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A 36
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6,00m y 12,00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES					SECCION PESOS		TIPOS			
	h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	cm <sup>2</sup>	Kg/mt	I <sub>x</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>x</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>
HEB 100	100	100	6.00	10.00	12	26.00	20.40	450	167	89	33.50
HEB 120	120	120	6.50	11.00	12	34.00	26.70	864	318	144	52.90
HEB 140	140	140	7.00	12.00	12	43.00	33.70	1510	550	216	78.50
HEB 160	160	160	8.00	13.00	15	54.30	42.60	2490	889	311	111.00
HEB 180	180	180	8.50	14.00	15	65.30	51.20	3830	1360	426	151.00
HEB 200	200	200	9.00	15.00	18	78.10	61.30	5700	2000	570	200.00
HEB 220	220	220	9.50	16.00	18	91.00	71.50	8090	2840	736	258.00
HEB 240	240	240	10.00	17.00	21	106.00	83.20	11260	3920	938	327.00
HEB 260	260	260	10.00	17.50	24	118.00	93.00	14920	5130	1150	395.00
HEB 280	280	280	10.50	18.00	24	131.00	103.00	19270	6590	1380	471.00
HEB 300	300	300	11.00	19.00	27	149.00	117.00	25170	8560	1680	571.00
HEB 320	320	300	11.50	20.50	27	161.00	127.00	30820	9240	1930	616.00



Catálogo de Aceros DIPAC.

## ANEXO 6

Grado SAE	Grado ASTM	Grado métrico	Diámetro nominal pulg	Resistencia a la prueba kpsi	Resistencia a la tensión kpsi	Resistencia de fluencia kpsi	Dureza Rockwell del núcleo mín/máx	Marca de grado
1	A307	4.6	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	B70/B100	Ninguna
2	...	5.8	$\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$	55	74	57	B80/B100	Ninguna
		4.6	de $\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	B70/B100	Ninguna
4	...	8.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	65	115	100	C22/C32	Ninguna
5	A449 o bien A325 Tipo 1	8.8	$\frac{1}{2}$ a 1	85	120	92	C25/C34	
		7.8	de 1 a $1\frac{1}{2}$	74	105	81	C19/C30	
		8.6	de $1\frac{1}{2}$ a 3	55	90	58	...	
5.1	...	8.8	No. 6 a $\frac{5}{8}$	85	120	...	C25/C40	
		8.8	No. 6 a $\frac{5}{8}$	85	120	...	C25/C40	
5.2	A325 Tipo 2	8.8	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	85	120	92	C25/C36	
7 <sup>5</sup>	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	105	133	115	C28/C34	
8	A354 Grado BD	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	C33/C39	
8.1	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	C32/C38	Ninguna
8.2	...	10.9	$\frac{1}{2}$ a 1	120	150	130	C35/C42	
...	A574	12.9	0 a $\frac{1}{2}$	140	180	160	C39/C45	12.9
		12.9	$\frac{3}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	155	170	160	C37/C45	12.9

### ESPECIFICACIONES DE TORSION DE ACUERDO CON LA DUREZA DEL TORNILLO

Este diagrama le ayudará a identificar los tornillos de acuerdo con su construcción, para poder aplicar en ellos la torsión adecuada en cada caso.

GRADO S. A. E.	1 o 2	5	6	8	
$\frac{1}{4}$ Diám.	5 Lbs.-pie	7 Lbs.-pie	10 Lbs.-pie	10.5 Lbs.-pie	11 Lbs.-pie
$\frac{5}{16}$ Diám.	9 Lbs.-pie	14 Lbs.-pie	19 Lbs.-pie	22 Lbs.-pie	24 Lbs.-pie
$\frac{3}{8}$ Diám.	15 Lbs.-pie	25 Lbs.-pie	34 Lbs.-pie	37 Lbs.-pie	40 Lbs.-pie
$\frac{7}{16}$ Diám.	24 Lbs.-pie	40 Lbs.-pie	55 Lbs.-pie	60 Lbs.-pie	65 Lbs.-pie
$\frac{1}{2}$ Diám.	37 Lbs.-pie	60 Lbs.-pie	85 Lbs.-pie	92 Lbs.-pie	97 Lbs.-pie
$\frac{9}{16}$ Diám.	53 Lbs.-pie	88 Lbs.-pie	120 Lbs.-pie	132 Lbs.-pie	141 Lbs.-pie
$\frac{5}{8}$ Diám.	74 Lbs.-pie	120 Lbs.-pie	167 Lbs.-pie	180 Lbs.-pie	192 Lbs.-pie
$\frac{3}{4}$ Diám.	120 Lbs.-pie	220 Lbs.-pie	280 Lbs.-pie	286 Lbs.-pie	316 Lbs.-pie
$\frac{7}{8}$ Diám.	190 Lbs.-pie	302 Lbs.-pie	440 Lbs.-pie	473 Lbs.-pie	503 Lbs.-pie
1 Diám.	282 Lbs.-pie	466 Lbs.-pie	660 Lbs.-pie	714 Lbs.-pie	771 Lbs.-pie

**BOLTS, THREADED PARTS AND RIVETS**  
**Tension**  
**Allowable loads in kips**

<b>TABLE I-A. BOLTS AND RIVETS</b> Tension on gross (nominal) area											
ASTM Designation	$F_t$ Ksi	Nominal Diameter $d$ , In.									
		5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2		
		Area (Based on Nominal Diameter), in. <sup>2</sup>									
		0.3068	0.4418	0.6013	0.7854	0.9940	1.227	1.485	1.767		
A307 bolts	20.0	6.1	8.8	12.0	15.7	19.9	24.5	29.7	35.3		
A325 bolts	44.0	13.5	19.4	26.5	34.6	43.7	54.0	65.3	77.7		
A490 bolts	54.0	16.6	23.9	32.5	42.4	53.7	66.3	80.2	95.4		
A502-1 rivets	23.0	7.1	10.2	13.8	18.1	22.9	28.2	34.2	40.6		
A502-2,3 rivets	29.0	8.9	12.8	17.4	22.8	28.8	35.6	43.1	51.2		
<p>The above table lists ASTM specified materials that generally are intended for use as structural fasteners.                      For dynamic and fatigue loading, only A325 or A490 high-strength bolts should be specified. See AISC Specification, Appendix K4.                      For allowable combined shear and tension loads, see AISC ASD Specification Sects. J3.5 and J3.6.</p>											
<b>TABLE I-B. THREADED FASTENERS</b> Tension on gross (nominal) area											
ASTM Designation	$F_y$ Ksi	$F_u$ ksi	$F_t$ ksi	Nominal Diameter $d$ , In.							
				5/8	3/4	7/8	1	1 1/8	1 1/4	1 3/8	1 1/2
				Area (Based on Nominal Diameter), in. <sup>2</sup>							
				0.3068	0.4418	0.6013	0.7854	0.9940	1.227	1.485	1.767
A36	36	58	19.1	5.9	8.4	11.5	15.0	19.0	23.4	28.4	33.7
A572, Gr. 50	50	65	21.5	6.6	9.5	12.9	16.9	21.4	26.4	31.9	38.0
A588	50	70	23.1	7.1	10.2	13.9	18.1	23.0	28.3	34.3	40.8
A449 $d \leq 1$	92	120	39.6	12.1	17.5	23.8	31.1	—	—	—	—
$1 < d \leq 1 1/2$	81	105	34.7	—	—	—	—	34.5	42.6	51.5	61.3
<p>The above table lists ASTM specified materials available in round bar stock that are generally intended for use in threaded applications such as tie rods, cross bracing and similar uses. The tensile capacity of the threaded portion of an upset rod shall be larger than the body area times <math>0.6F_u</math>.  <math>F_u</math> = specified minimum tensile strength of the fastener material.  <math>F_t = 0.33F_u</math> = allowable tensile stress in threaded fastener.</p>											

## ANEXO 7

# COSTOS EN SOLDADURA

### Introducción

Cada trabajo de soldadura presenta al diseñador y calculista sus propias características y dificultades, por lo cual, el modelo de costos que a continuación se desarrolla, propone un rango de generalidad amplio que permite abarcar cualquier tipo de aplicación.

Por otro lado, se intenta enfocar el problema con un equilibrio justo entre la exactitud y la simplicidad, es decir proponiendo fórmulas de costos de fácil aplicación, aun cuando ello signifique eliminar términos de incidencia leve en el resultado buscado.

### Determinación de Costos en Operaciones de Soldadura

<b>FORMULAS Base de Cálculo: metro lineal (ml)</b>	
<b>Costo Electrodo</b>	$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml)} \times \text{Valor Electrodo } (\$/\text{kg})}{\text{Eficiencia Deposición (\%)}}$
<b>Costo M.O. y G. Grales.</b>	$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml)} \times \text{Valor M.O. y G.G. } (\$/\text{hr})}{\text{Velocidad Deposición (kg./hr)} \times \text{F. Operación (\%)}}$
<b>Costos Gas</b>	$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \frac{\text{Pmd (kg./ml)} \times \text{flujo Gas (m}^3/\text{hr)} \times \text{Valor Gas } (\$/\text{m}^3)}{\text{Velocidad Deposición (kg./hr)}}$
<b>Costo Fundente</b>	$\frac{(\$)}{\text{m.l.}} = \text{Pmd (kg./ml)} \times \text{F. Uso (\%)} \times \text{Valor Fundente } (\$/\text{kg.})$

**Nota:** A continuación se definen conceptos previamente mencionados, además de rangos con valores de los parámetros que son normales en toda la industria de la soldadura.

#### 1. Peso metal depositado:

Cantidad de metal de aporte necesario para completar una unión soldada. Relación para determinar peso metal depositado.

$$\text{Pmd} = \text{Area Seccional} \times \text{longitud} \times \text{densidad aporte.}$$

#### 2. Eficiencia de aportación:

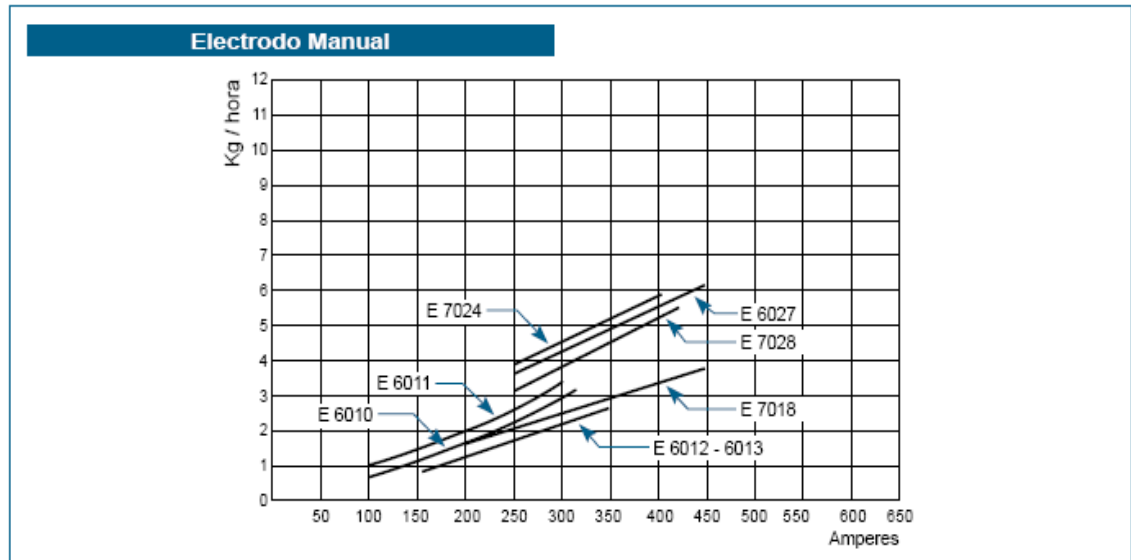
Relación entre el metal efectivamente depositado y la cantidad en peso de electrodos requeridos para efectuar ese depósito.

Proceso	Eficiencia Deposición (%)
Electrodo Manual	60 - 70
MIG Sólido	90
MIG Tubular c/protección	83
MIG Tubular s/protección	79
TIG	95
Arco Sumergido	98



### 3. Velocidad de deposición:

Cantidad de material de aporte depositado en una unidad de tiempo.



### 4. Factor de Operación:

Se define como la relación entre el tiempo en que ha existido arco y el tiempo real o tiempo total pagado.

Proceso	Factor de Operación (%)
Electrodo Manual	5 - 30
MIG Sólido	10 - 60
MIG Tubular	10 - 60
TIG	5 - 20
Arco Sumergido	50 - 100

### 5. Flujo Gas:

Cantidad de gas necesario para protección por unidad de tiempo.

Proceso	Flujo Gas (m <sup>3</sup> /hr)
MIG Sólido	0.8 - 1.2
MIG Tubular	1.0 - 1.4
TIG	0.5 - 1.0

### 6. Factor de Uso de Fundente:

Cantidad de fundente efectivamente empleado por kg. de alambre depositado.

Proceso	Factor de Uso Fundente (%)
Arco Sumergido	80 - 100

En el diseño o fabricación de cualquier componente, hay tres consideraciones fundamentales que deben estar siempre presentes. EFICIENCIA, COSTO y APARIENCIA.

### COSTO DE SOLDADURA:

Es especialmente importante, cuando es alto o cuando representa una proporción significativa del total estimado para un proyecto o un contrato. Como la soldadura está relacionada directamente a otras operaciones, nunca debe ser considerada y costada aisladamente. Cualquier operación de fabricación de productos incluye generalmente:

1. Abastecimiento y almacenamiento de materias primas.
2. Preparación de estos materiales para soldadura, corte, etc.
3. Armado de los componentes.
4. Soldadura.
5. Operaciones mecánicas subsecuentes.
6. Tratamientos Térmicos.
7. Inspección.

Dado que cada una de estas operaciones representa un gasto, es posible representar la composición del costo total, como se indica en la figura.

En este ejemplo, el costo de material, costo de soldadura y operaciones mecánicas representan 30%, 40% y 15% respectivamente del costo total; el costo de las tres últimas operaciones constituye sólo un 15% del total. Es por lo tanto evidente, que la operación de soldadura misma es importante y debe ser adecuadamente costada y examinada en detalle, para determinar donde efectuar reducciones efectivas de costo.

## INDURA 410 Ni Mo

Clasificación AWS: E-410 Ni Mo-16

- ✓ Electrodo de acero inoxidable martensítico
- ✓ Revestimiento: Gris
- ✓ Corriente Alterna
- ✓ Corriente continua. Electrodo positivo

### Descripción

El electrodo 410 Ni Mo posee un revestimiento rutilico y ha sido diseñado para operar con CA o CC, electrodo positivo. Se caracteriza por tener un arco estable de transferencia tipo spray, formando un depósito de excelente apariencia.

El electrodo 410 Ni Mo ha sido diseñado con un contenido mayor de Níquel para eliminar la ferrita en las microestructuras y sus consecuentes efectos negativos en las propiedades mecánicas obteniendo además una excelente resistencia a la oxidación, a la corrosión salina y por vapor.

### Usos

El electrodo 410 Ni Mo se recomienda especialmente para aplicaciones resistentes a la corrosión salina y por vapor. Su depósito posee elevada resistencia contra el desgaste por erosión y cavitación, siendo recomendado en reconstrucción de turbinas, tuberías de gas, agua o vapor, con temperaturas de trabajo de hasta 450° C.

### Aplicaciones típicas

- Reconstrucción de ruedas de turbinas tipo Pelton, Francis y Kaplán.
- Aceros fundidos al Cr Ni y tipo ASTM, CA 6 NM y similares.
- Aceros inoxidables 403, 405, 410, 410S, 414, 416 y 420
- Aceros martensíticos laminados, forjados, fundidos.
- Reconstrucción de válvulas y fittings.

### Procedimiento para soldar

En soldadura de materiales del mismo tipo, se recomienda un precalentamiento de 100° C a 240° C, lo que asegura un alto grado de ductilidad.

Durante el proceso de soldadura, la temperatura entre pasadas debe mantenerse entre 150° C y 250° C.

El proceso de revenido se efectúa entre 520° C - 620° C.

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

C 0,06%; Mn 1,20%; P 0,02%; S 0,02%; Si 0,5%; Mo 0,40; Ni 4,5%; Cr 12,0%

### Características típicas del metal depositado:

* Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte (según norma AWS: A5.4-92):	Requerimientos según norma AWS: A5.4-92:
Resistencia a la tracción : 120.000 lb/pulg <sup>2</sup> (827 MPa)	110.000 lb/pulg <sup>2</sup> (760 MPa)
Alargamiento en 2" : 17%	15%

\* Tratado térmicamente a 610°C por 1 Hr.

### Amperajes recomendados:

Diámetro pulg.	Electrodo mm.	Longitud pulg.	Electrodo mm.	Amperaje		Electrodos x kg. aprox.
				min.	máx.	
*1/8	3,2	14	350	90	120	30
*5/32	4,0	14	350	120	160	21

\* Electrodo fabricados a pedido



## ANEXO 8

TABLA A.1 Propiedades termofísicas de sólidos metálicos seleccionados<sup>a</sup>

Composición	Punto de fusión (K)	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K)									
		$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (J/kg · K)	$k$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k$ (W/m · K)/ $c_p$ (J/kg · K)									
						100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Acero puro	1810	7870	447	80.2	23.1	134 216	94.0 384	69.5 490	54.7 574	43.3 680	32.8 975	28.3 609	32.1 654		
Aceros al carbón															
Carbón ordinario (Mn $\leq$ 1%, Si $\leq$ 0.1%) AISI 1010		7854	434	60.5	17.7			56.7 487	48.0 559	39.2 685	30.0 1169				
Carbón-silicio (Mn $\leq$ 1%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%) Carbón-manganeso-silicio (1% < Mn $\leq$ 1.65%, 0.1% < Si $\leq$ 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			49.8 501	44.0 582	37.4 699	29.3 971				
Aceros con cromo (bajo)															
1Cr-1Mo-Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si) 1Cr-1Mo (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si) 1Cr-V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7822	444	37.7	10.9			38.2 492	36.7 575	33.3 688	26.9 969				
Aceros inoxidables															
AISI 302		8055	480	15.1	3.91			17.3 512	20.0 559	22.8 585	25.4 606				
AISI 304	1670	7900	477	14.9	3.95	9.2 272	12.6 402	16.6 515	19.8 557	22.6 582	25.4 611	28.0 640	31.7 682		
AISI 316		8238	468	13.4	3.48			15.2 504	18.3 550	21.3 576	24.2 602				
AISI 347		7978	480	14.2	3.71			15.8 513	18.9 559	21.9 585	24.7 606				

### FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, INCROPERA

## ANEXO 9

### ENCUESTA PARA EL PERSONAL DE MANTENIMIENTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA AGOYÁN.

A continuación se presenta un listado de preguntas las cuales rogamos sean contestadas con la mayor seriedad y responsabilidad posible, marque con una X la respuesta que usted crea sea la más conveniente.

6. El desgaste o fallas en las partes móviles de las turbinas se presenta:

- f. Siempre ( )
- g. Con Frecuencia ( )
- h. A Veces ( )
- i. Casi Nunca ( )
- j. Nunca ( )

7. La reconstrucción de estas fallas o desgastes se realizan:

- f. Frecuentemente ( )
- g. Regularmente ( )
- h. Algunas Veces ( )
- i. Casi Nunca ( )
- j. Nunca ( )

8. Actualmente el proceso mencionado se lo realiza:

- e. En la Central ( )
- f. Dentro de la provincia ( )
- g. En el país ( )
- h. Fuera del país ( )

9. El tiempo de entrega de las partes enviadas a reconstruir es:

- f. Muy Largo ( )
- g. Largo ( )
- h. Mediano ( )
- i. Corto ( )
- j. Muy Corto ( )

10. ¿Tiene usted un conocimiento de los procedimientos que se aplican para la reconstrucción de los desgastes?

- f. Muy Alto ( )
- g. Alto ( )
- h. Aceptable ( )
- i. Escaso ( )
- j. Nulo ( )

11. ¿Está al tanto si en la reconstrucción de los elementos afectados por los desgastes y fallas es necesario aplicar algún Tratamiento Térmico?

- e. Muy Necesario ( )
- f. Necesario ( )
- g. Innecesario ( )
- h. En Desacuerdo ( )

12. Su conocimiento teórico de los Tratamientos Térmicos que se deben aplicar es:

- f. Mucho ( )
- g. Bastante ( )
- h. Suficiente ( )
- i. Poco ( )
- j. Nada ( )

13. Estima usted que el costo de los Tratamientos Térmicos que se dan en la reconstrucción de los elementos desgastados es:

- f. Muy Alto ( )
- g. Alto ( )
- h. Aceptable ( )
- i. Reducido ( )
- j. Insignificante ( )

14. ¿Cuál cree usted que sería la posibilidad que la Central pueda reconstruir las partes móviles de las turbinas en sus instalaciones con un Centro de Mecanizado?

- f. Muy Alta ( )
- g. Alta ( )
- h. Aceptable ( )

- i.** Escasa ( )
- j.** Nula ( )

15. ¿Piensa usted que el Centro de Mecanizado y Recuperación de las Turbinas que se pretende crear en la Central debe tener un horno de Tratamientos Térmicos?

- e.** Muy Necesario ( )
- f.** Necesario ( )
- g.** Innecesario ( )
- h.** En Desacuerdo ( )

16. ¿Cuál cree usted que fuese la utilidad de un Horno de Tratamientos Térmicos en la Central?

- f.** Muy Alta ( )
- g.** Alta ( )
- h.** Aceptable ( )
- i.** Escasa ( )
- j.** Nula ( )

17. Considera usted que al reconstruir los elementos desgastados en las instalaciones de la Central la reducción de costos sería:

- f.** Muy Eficaz ( )
- g.** Buena ( )
- h.** Eficaz ( )
- i.** Inadecuada ( )
- j.** Inexistente ( )

Firma:.....

**¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!**

## ANEXO 10

### ENTREVISTA

**FECHA** : Baños de Agua Santa, noviembre del 2010  
**LUGAR** : Central Hidroeléctrica Agoyán  
**ENTREVISTADO** : Tnlg. Eduardo Ruales C.  
**CARGO** : Jefe de Mantenimiento Mecánico  
**ENTREVISTADOR**: Carlos Fernando Sánchez Robalino

Soy estudiante de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato. Estoy realizando un estudio de los Tratamientos Térmicos que se realizan en la reconstrucción de las partes móviles de las turbinas, con la finalidad de contribuir en el mejoramiento de los procesos para minimizar los costos de reparación y a la vez incentivar a la posibilidad de realizar estas operaciones en las instalaciones de la Central a través del Centro de Mecanizado y Recuperación que se pretende crear en la misma.

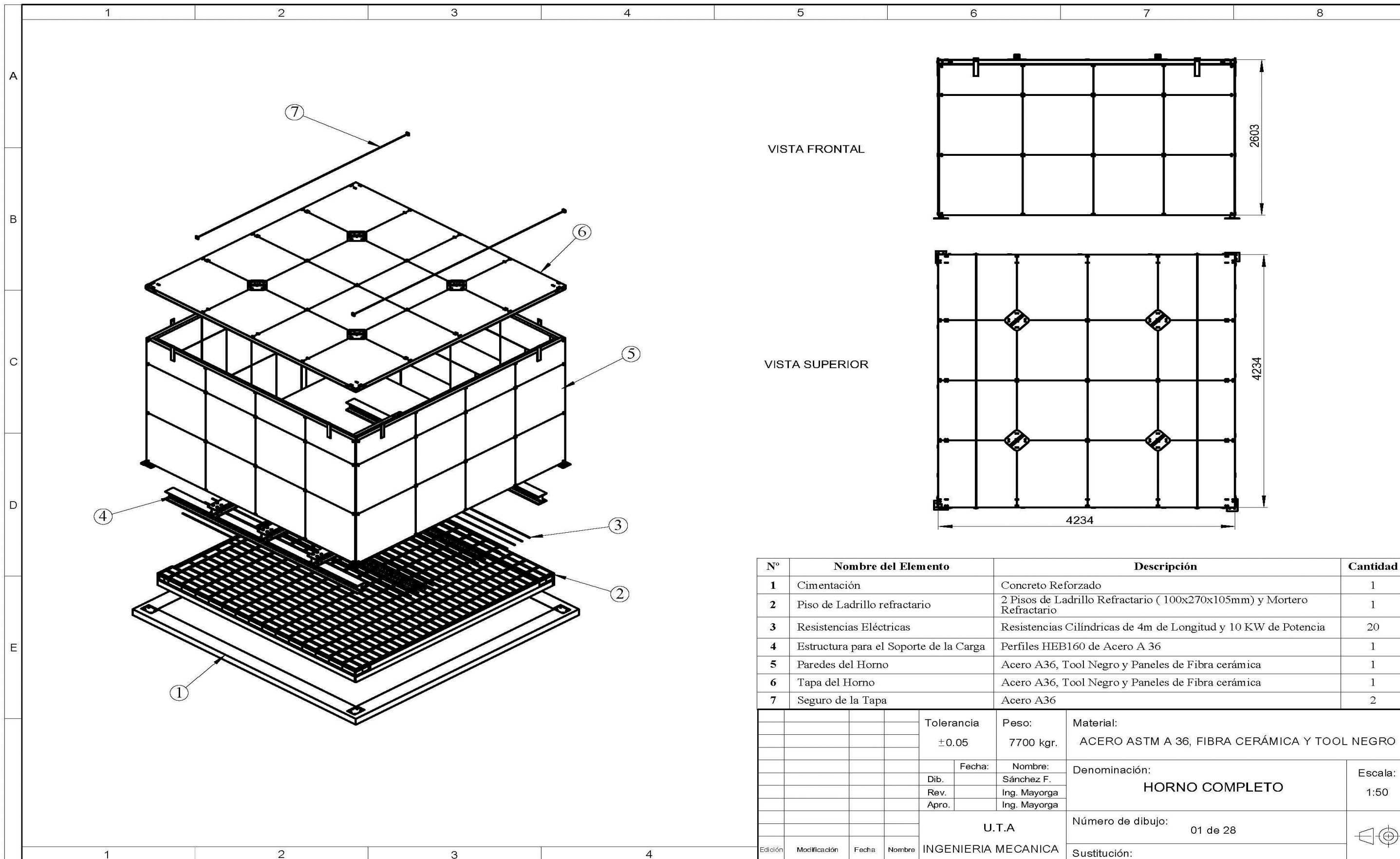
A continuación le formularé algunas preguntas con el propósito de recopilar información acerca de las diferentes actividades y costos de mantenimiento y reparación que se deben realizar para la Reconstrucción de los elementos afectados. Los datos aportados serán de gran relevancia para cumplir con este proyecto y serán mantenidos en estricta confidencialidad.

1. ¿Con qué frecuencia se hace el mantenimiento en las partes móviles de las turbinas?
2. ¿Qué tipo de desgaste ó fallas se presentan en los elementos de las turbinas?
3. ¿Cuáles son las partes más afectadas en las turbinas?
4. ¿Cuáles son los métodos utilizados para la recuperación de las partes de las turbinas?

5. ¿Para las reparaciones y el mantenimiento se requiere dar tratamiento térmico a las partes afectadas?
6. ¿Cuál es la temperatura adecuada para realizar los tratamientos térmicos de acuerdo al material de los elementos?
7. ¿En qué tiempo se alcanzan las condiciones necesarias para el tratamiento térmico?
8. ¿Cuáles son las características necesarias de la atmósfera para obtener un tratamiento óptimo?
9. ¿Qué características mecánicas se deben obtener a través del tratamiento térmico?
10. ¿Qué materiales se utilizan en la reparación y tratamientos térmicos?
11. ¿Cuál es el costo total de la reparación de las partes de las turbinas?
12. ¿Qué tipo de pruebas se realizan para determinar que los elementos ya necesitan reparación?
13. ¿Con qué frecuencia se da la reconstrucción de las partes de las turbinas?

Le agradezco por su tiempo brindado, por su ayuda y colaboración para permitir que el presente trabajo de investigación alcance el éxito esperado.

**PLANOS**



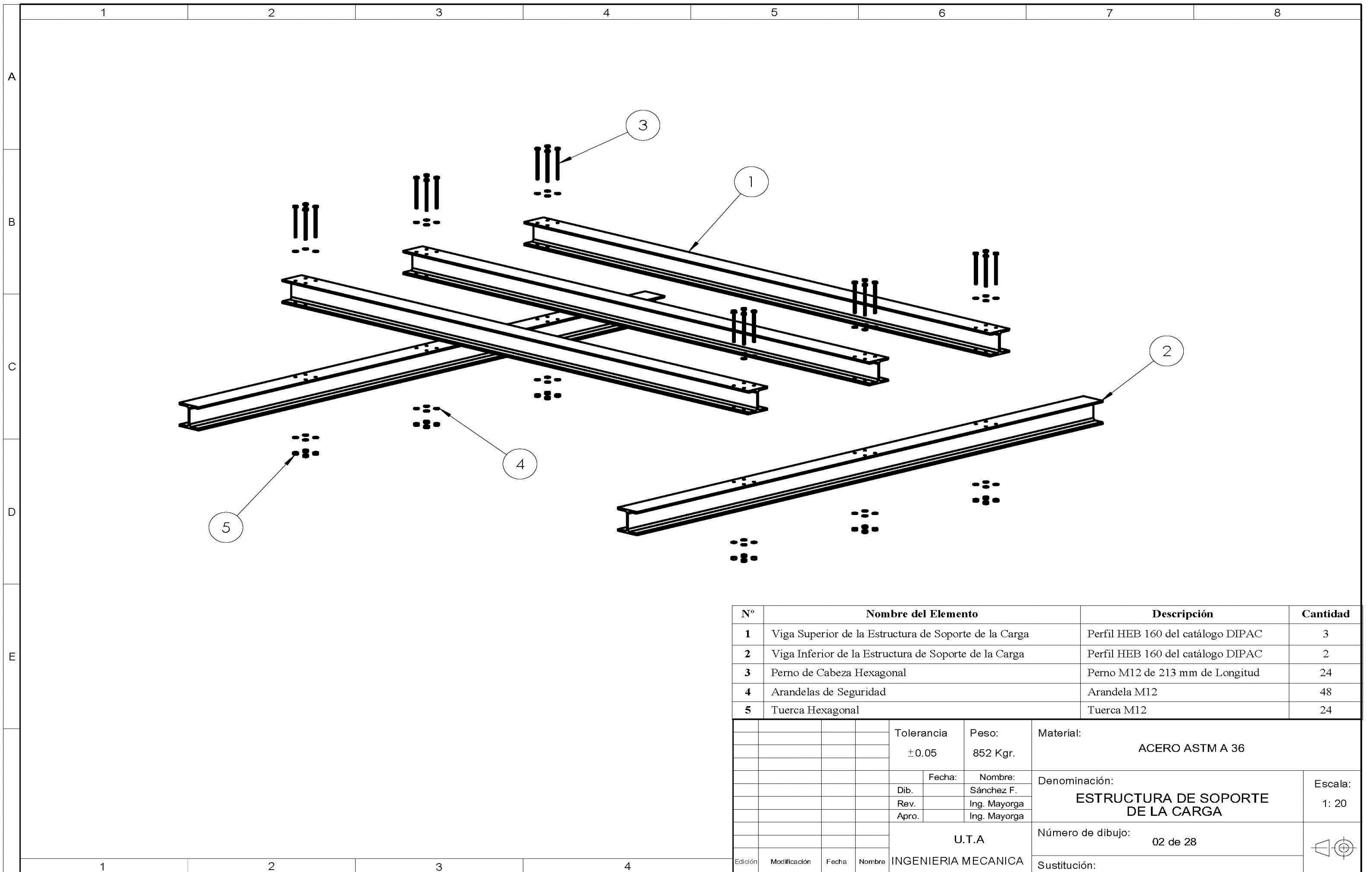
VISTA FRONTAL

VISTA SUPERIOR

N°	Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad
1	Cimentación	Concreto Reforzado	1
2	Piso de Ladrillo refractario	2 Pisos de Ladrillo Refractario ( 100x270x105mm) y Mortero Refractario	1
3	Resistencias Eléctricas	Resistencias Cilíndricas de 4m de Longitud y 10 KW de Potencia	20
4	Estructura para el Soporte de la Carga	Perfiles HEB160 de Acero A 36	1
5	Paredes del Horno	Acero A36, Tool Negro y Paneles de Fibra cerámica	1
6	Tapa del Horno	Acero A36, Tool Negro y Paneles de Fibra cerámica	1
7	Seguro de la Tapa	Acero A36	2

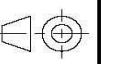
				Tolerancia ±0.05	Peso: 7700 kgr.	Material: ACERO ASTM A 36, FIBRA CERÁMICA Y TOOL NEGRO	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>HORNO COMPLETO</b>	Escala: 1:50
				Dib.	Sánchez F.		
				Rev.	Ing. Mayorga		
				Apro.	Ing. Mayorga	Número de dibujo: 01 de 28	
				U.T.A			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA MECANICA		Sustitución:	

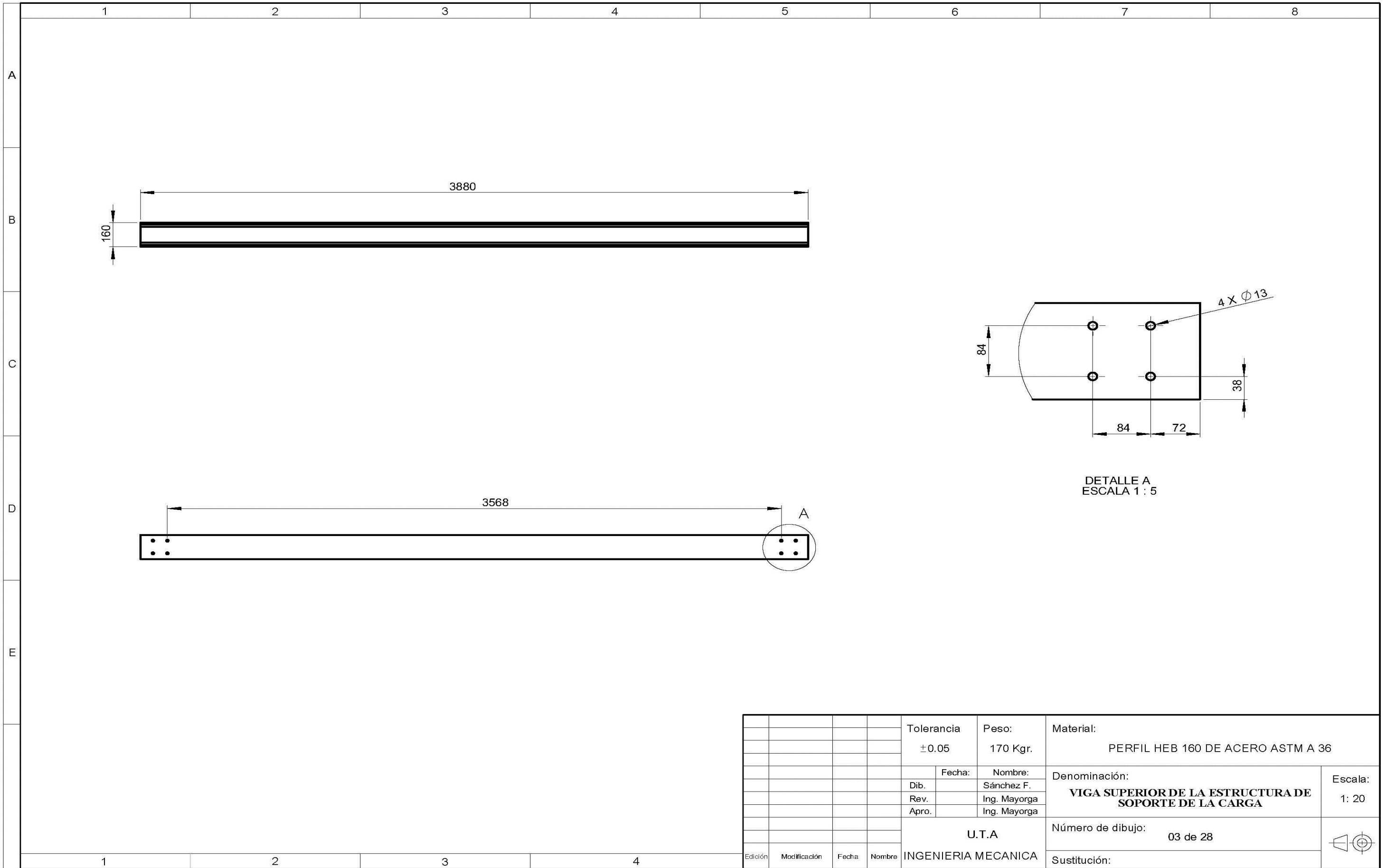




N°	Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad
1	Viga Superior de la Estructura de Soporte de la Carga	Perfil HEB 160 del catálogo DIPAC	3
2	Viga Inferior de la Estructura de Soporte de la Carga	Perfil HEB 160 del catálogo DIPAC	2
3	Perno de Cabeza Hexagonal	Perno M12 de 213 mm de Longitud	24
4	Arandelas de Seguridad	Arandela M12	48
5	Tuerca Hexagonal	Tuerca M12	24

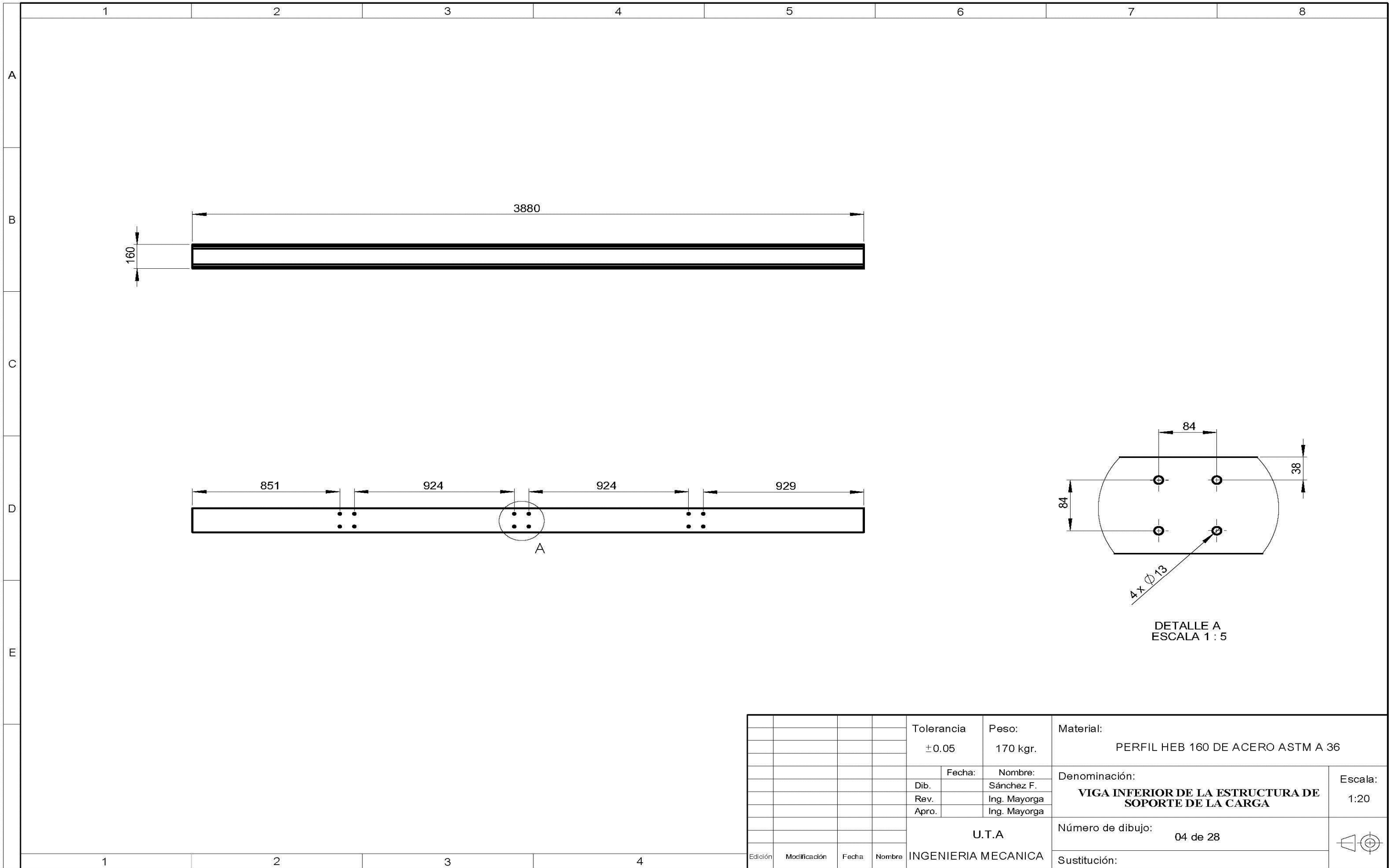
				Tolerancia ±0.05	Peso: 852 Kgr.	Material: ACERO ASTM A 36	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LA CARGA</b>	
				Dib.	Sánchez F.		
				Rev.	Ing. Mayorga		
				Apro.	Ing. Mayorga	Escala: 1: 20	
				U.T.A		Número de dibujo: 02 de 28	
				INGENIERIA MECANICA		Sustitución:	





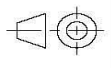
DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

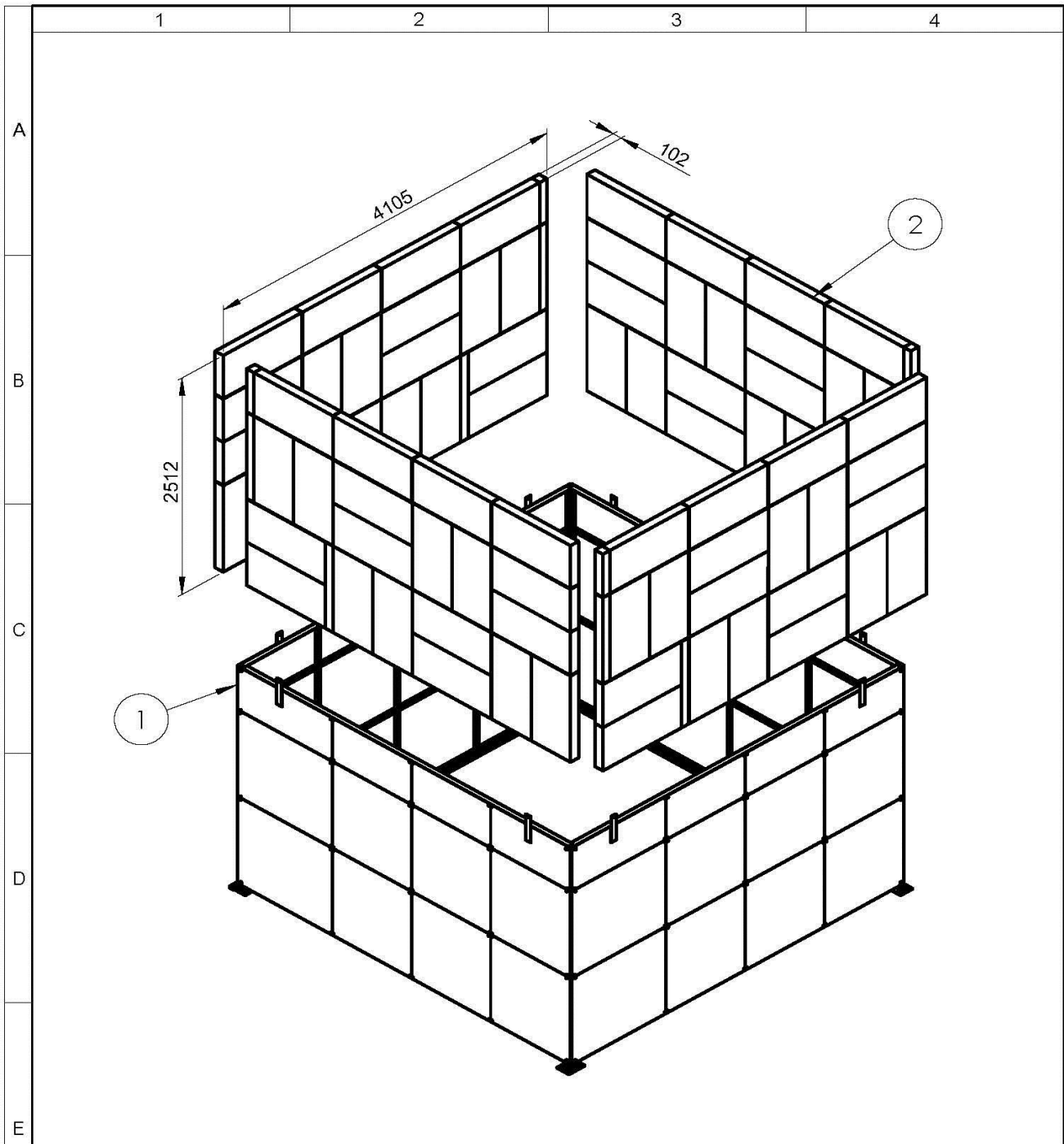
				Tolerancia ±0.05	Peso: 170 Kgr.	Material: PERFIL HEB 160 DE ACERO ASTM A 36
					Fecha:	Nombre:
				Dib.		Sánchez F.
				Rev.		Ing. Mayorga
				Apro.		Ing. Mayorga
				U.T.A		Número de dibujo: 03 de 28
				INGENIERIA MECANICA		Sustitución:
						Escala: 1: 20
						



DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

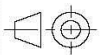
				Tolerancia ±0.05	Peso: 170 kgr.	Material: PERFIL HEB 160 DE ACERO ASTM A 36
					Fecha:	Nombre:
				Dib.		Sánchez F.
				Rev.		Ing. Mayorga
				Apro.		Ing. Mayorga
				U.T.A		Denominación: <b>VIGA INFERIOR DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LA CARGA</b>
				INGENIERIA MECANICA		Número de dibujo: 04 de 28
						Escala: 1:20
						Sustitución:

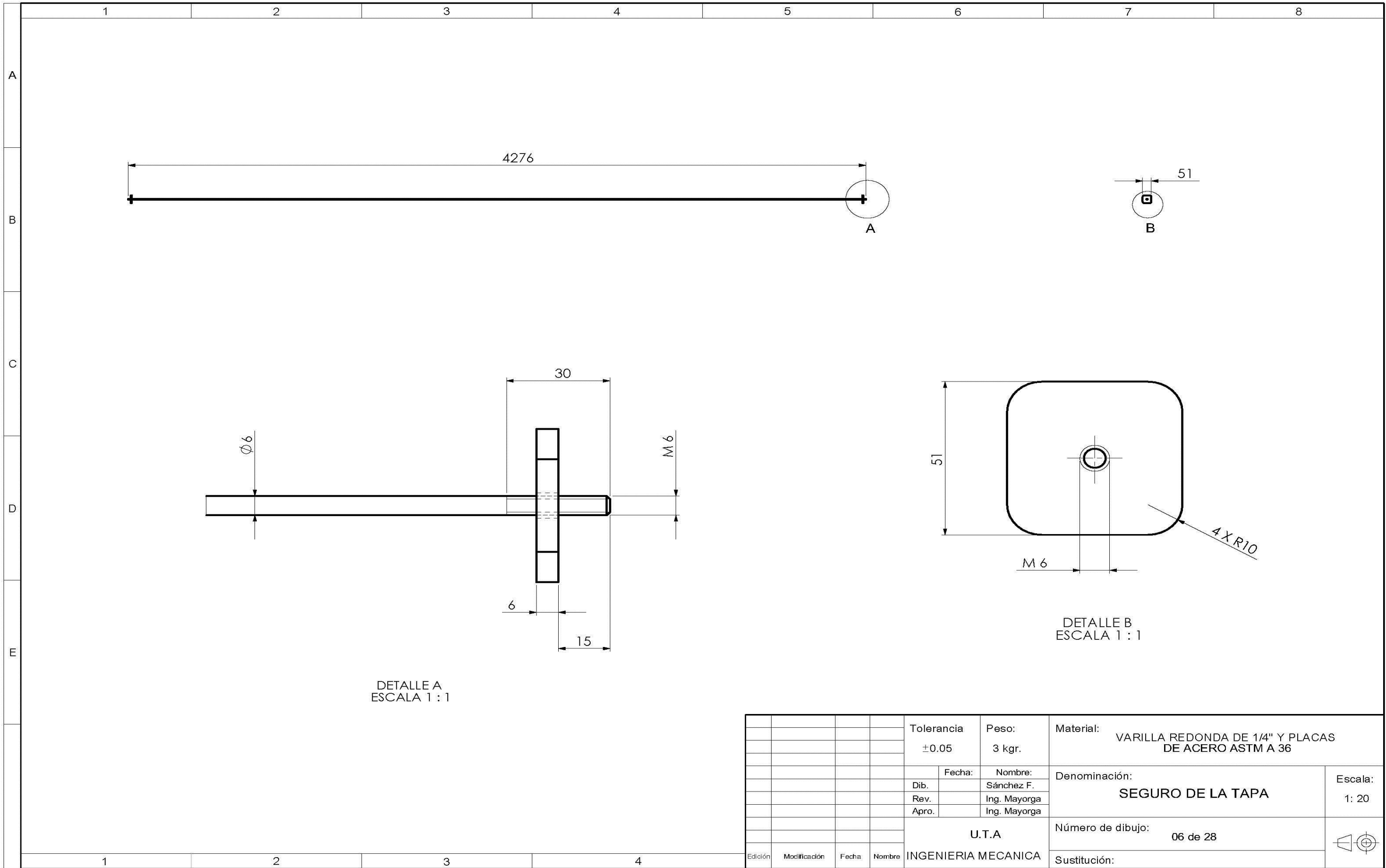




N°	Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad
1	Estructura Metálica	Láminas de Tool Negro y Ángulos de Acero A36	48
2	Pared de Aislante Térmico	Paneles de Fibra Cerámica de 4" de espesor	80

		Tolerancia ±0.05	Peso: 3556 Kgr.	Material: ACERO ASTM A 36 Y PANELES DE FIBRA CERÁMICA	
			Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>PAREDES DEL HORNO</b>
		Dib.		Sánchez F.	
		Rev.		Ing. Mayorga A.	
		Apro.		Ing. Mayorga A.	Escala: 1: 50
		U.T.A		Número de dibujo: 05 de 28	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA	
				Sustitución:	



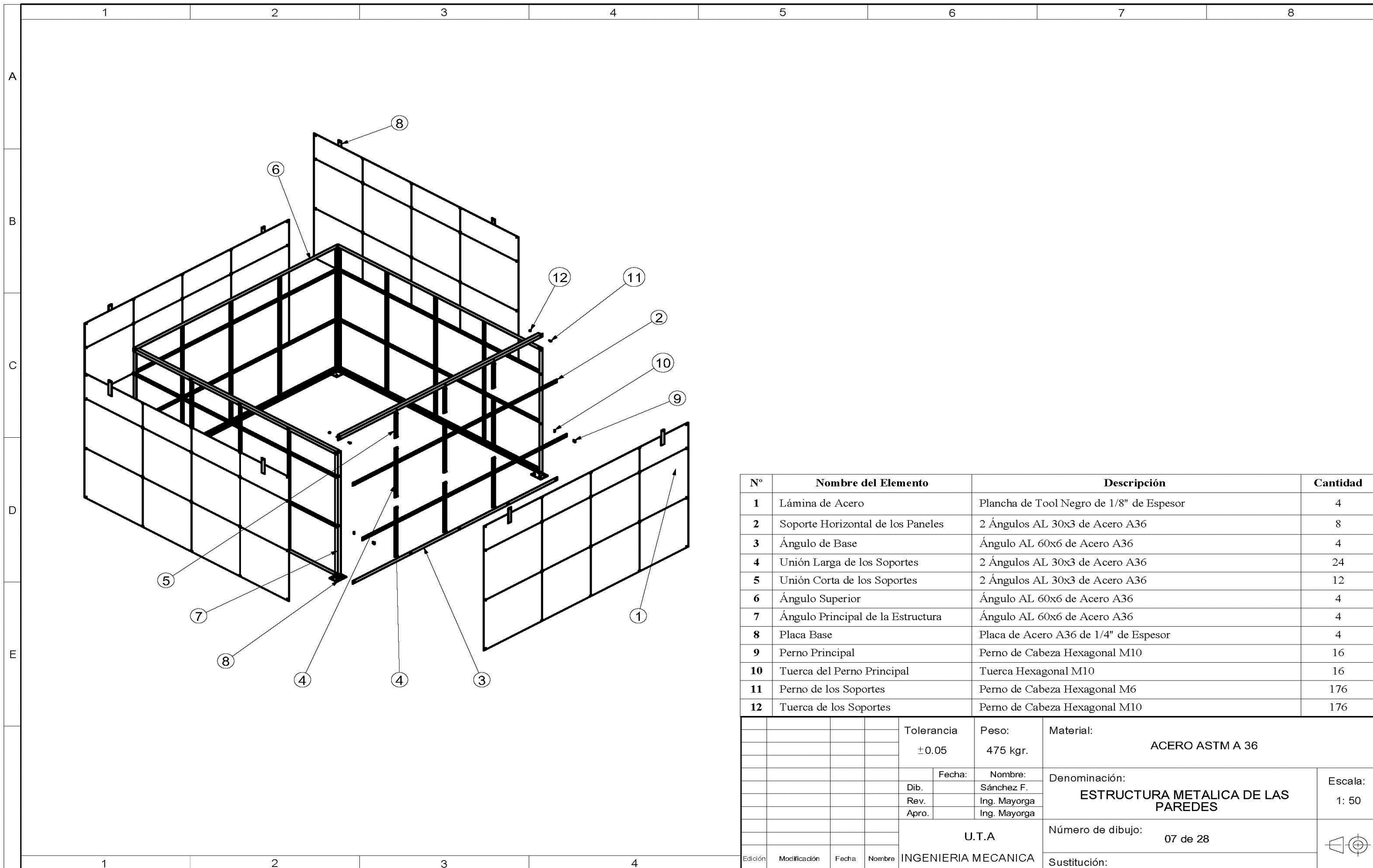


DETALLE A  
ESCALA 1 : 1

DETALLE B  
ESCALA 1 : 1

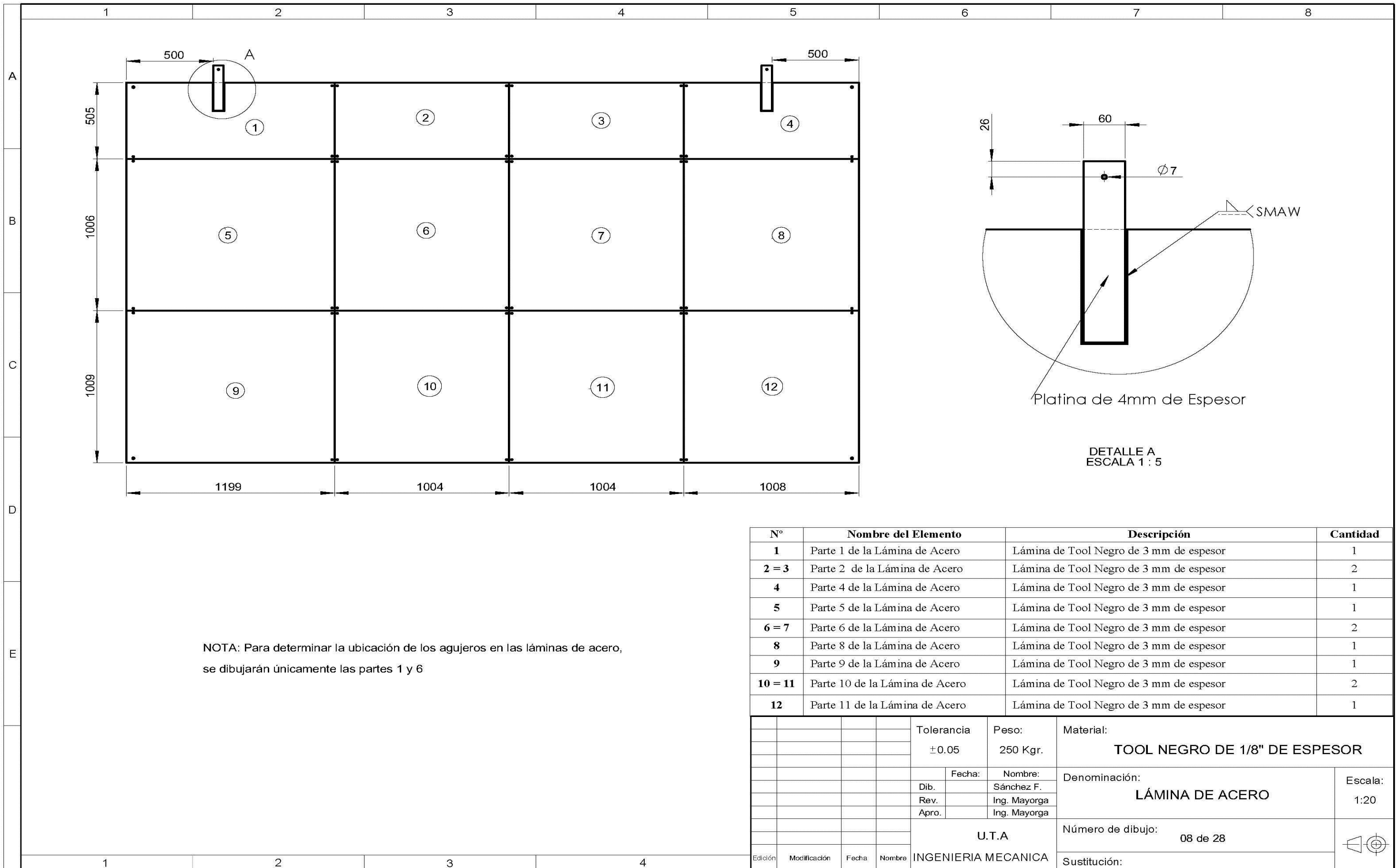
				Tolerancia ±0.05	Peso: 3 kgr.	Material: VARILLA REDONDA DE 1/4" Y PLACAS DE ACERO ASTM A 36
					Fecha:	Nombre:
				Dib.	Sánchez F.	Denominación: <b>SEGURO DE LA TAPA</b>
				Rev.	Ing. Mayorga	Escala: 1: 20
				Apro.	Ing. Mayorga	Número de dibujo: 06 de 28
				U.T.A		Sustitución:
				INGENIERIA MECANICA		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			





N°	Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad
1	Lámina de Acero	Plancha de Tool Negro de 1/8" de Espesor	4
2	Soporte Horizontal de los Paneles	2 Ángulos AL 30x3 de Acero A36	8
3	Ángulo de Base	Ángulo AL 60x6 de Acero A36	4
4	Unión Larga de los Soportes	2 Ángulos AL 30x3 de Acero A36	24
5	Unión Corta de los Soportes	2 Ángulos AL 30x3 de Acero A36	12
6	Ángulo Superior	Ángulo AL 60x6 de Acero A36	4
7	Ángulo Principal de la Estructura	Ángulo AL 60x6 de Acero A36	4
8	Placa Base	Placa de Acero A36 de 1/4" de Espesor	4
9	Perno Principal	Perno de Cabeza Hexagonal M10	16
10	Tuerca del Perno Principal	Tuerca Hexagonal M10	16
11	Perno de los Soportes	Perno de Cabeza Hexagonal M6	176
12	Tuerca de los Soportes	Perno de Cabeza Hexagonal M10	176

Tolerancia		Peso:	Material:	
±0.05		475 kgr.	ACERO ASTM A 36	
Fecha:		Nombre:	Denominación:	Escala:
Dib.		Sánchez F.		
Rev.		Ing. Mayorga		
Apro.		Ing. Mayorga		
U.T.A			Número de dibujo:	Escala: 1: 50
INGENIERIA MECANICA			07 de 28	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Sustitución:

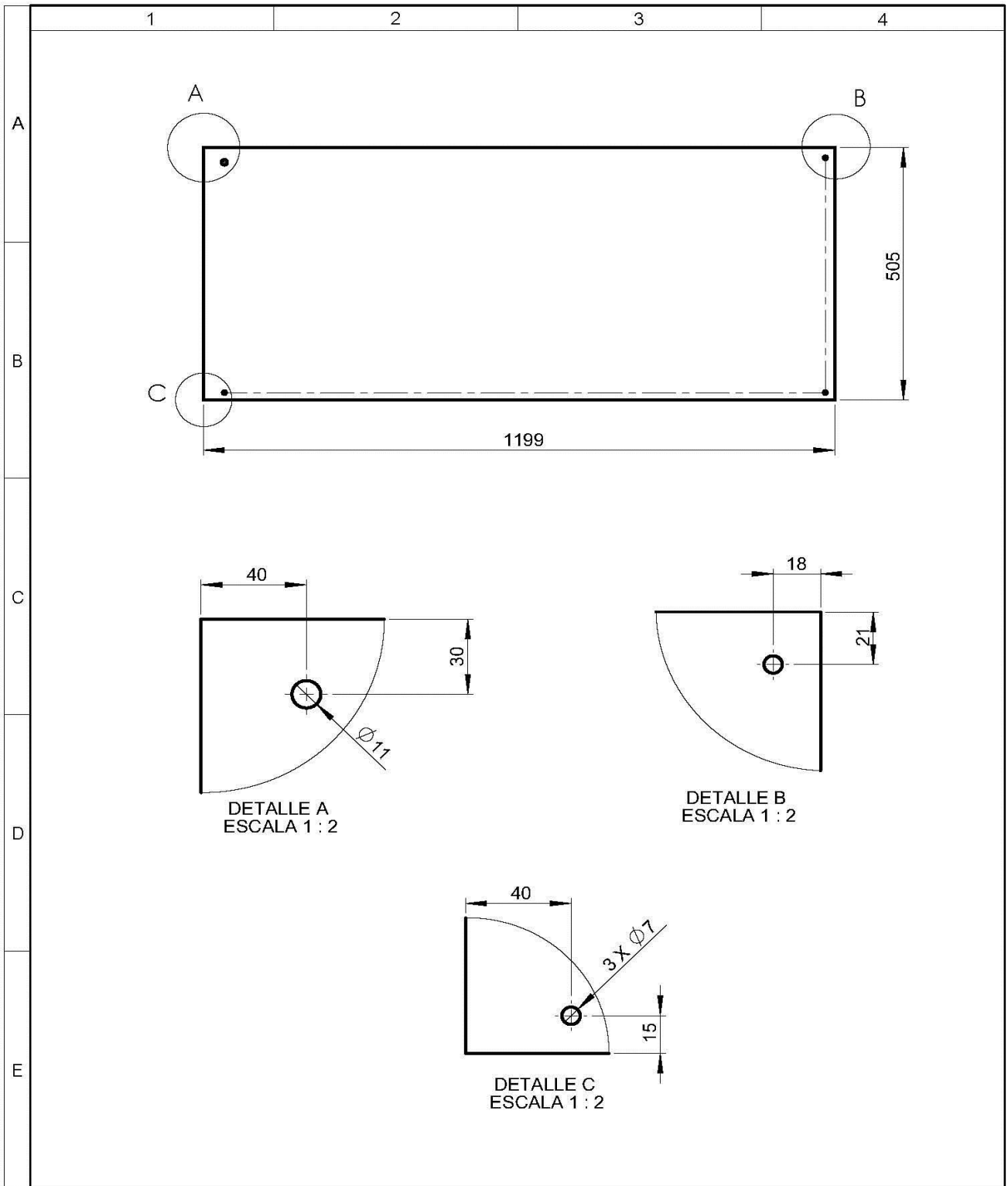


NOTA: Para determinar la ubicación de los agujeros en las láminas de acero, se dibujarán únicamente las partes 1 y 6

N°	Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad
1	Parte 1 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
2 = 3	Parte 2 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	2
4	Parte 4 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
5	Parte 5 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
6 = 7	Parte 6 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	2
8	Parte 8 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
9	Parte 9 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
10 = 11	Parte 10 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	2
12	Parte 11 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1

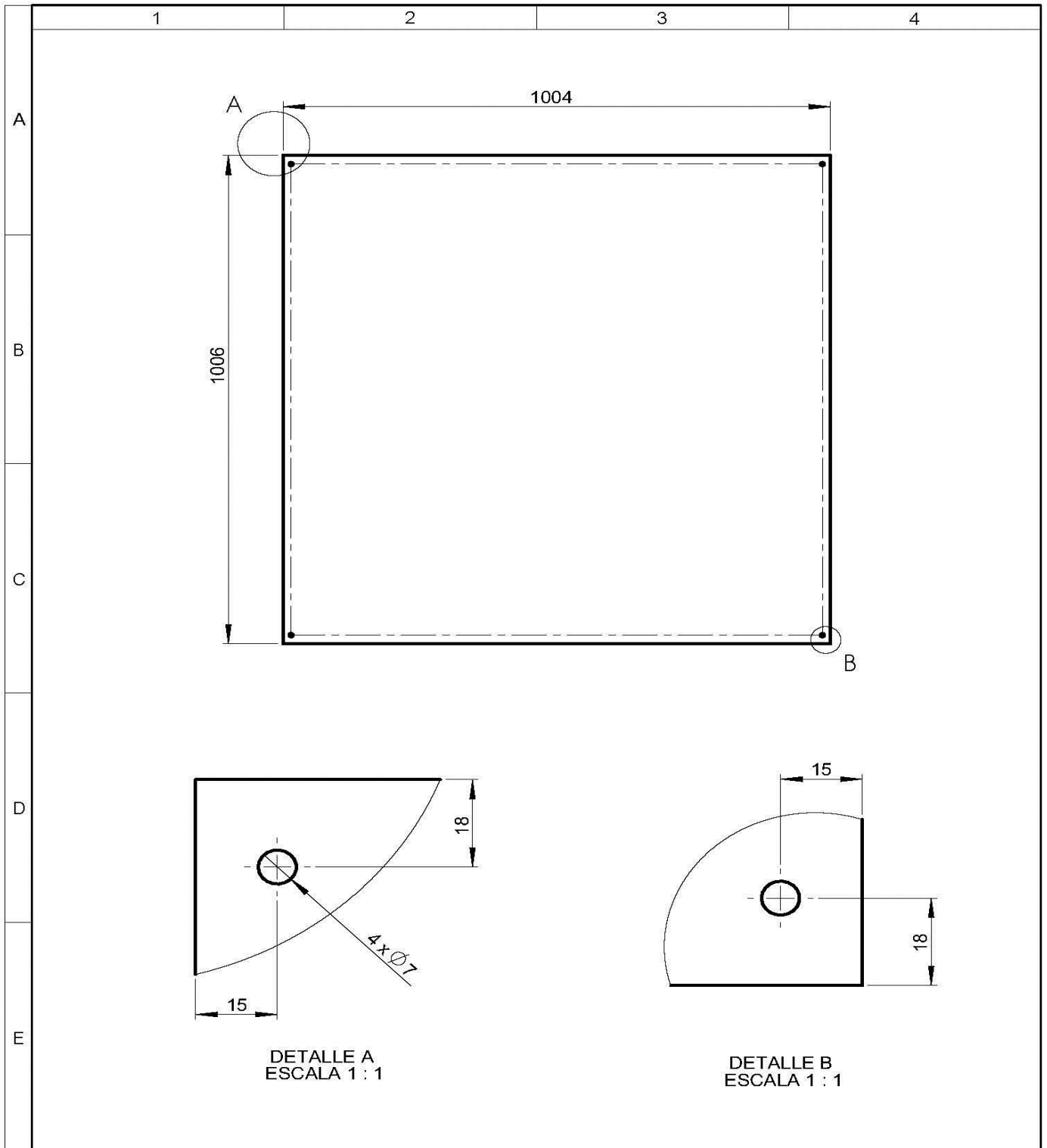
Tolerancia		Peso:	Material:	
±0.05		250 Kgr.	TOOL NEGRO DE 1/8" DE ESPESOR	
Fecha:		Nombre:	Denominación:	Escala:
Dib.		Sánchez F.		
Rev.		Ing. Mayorga		
Apro.		Ing. Mayorga	Número de dibujo:	Escala:
U.T.A		Número de dibujo:		Sustitución:
INGENIERIA MECANICA		08 de 28		



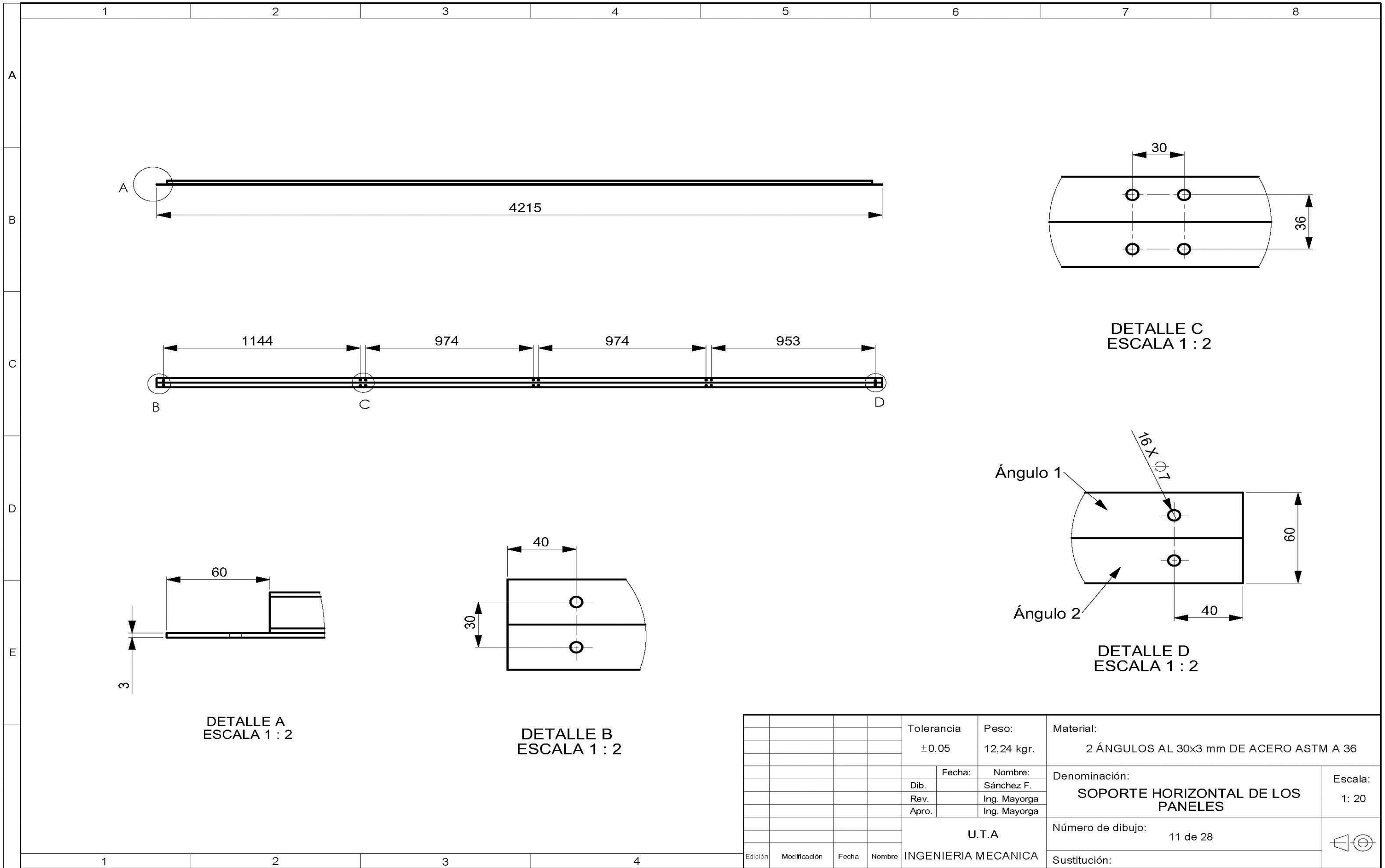


				Tolerancia $\pm 0.05$	Peso: 14, 26 Kgr.	Material: TOOL NEGRO	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dib.	Sánchez F.	<b>PARTE 1 DE LA LAMINA DE ACERO DE LA PARED</b>	1:10
				Rev.	Ing. Mayorga A.		
				Apro.	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A		Número de dibujo: 09 de 28	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	





				Tolerancia ±0.05	Peso: 23,8 Kgr.	Material: TOOL NEGRO	
					Fecha:	Nombre:	Denominación: PARTE 6 DE LA LÁMINA DE ACERO DE LA PARED
				Dib.		Sánchez F.	
				Rev.		Ing. Mayorga A.	
				Apro.		Ing. Mayorga A.	Escala: 1:10
				U.T.A		Número de dibujo: 10 de 28	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	



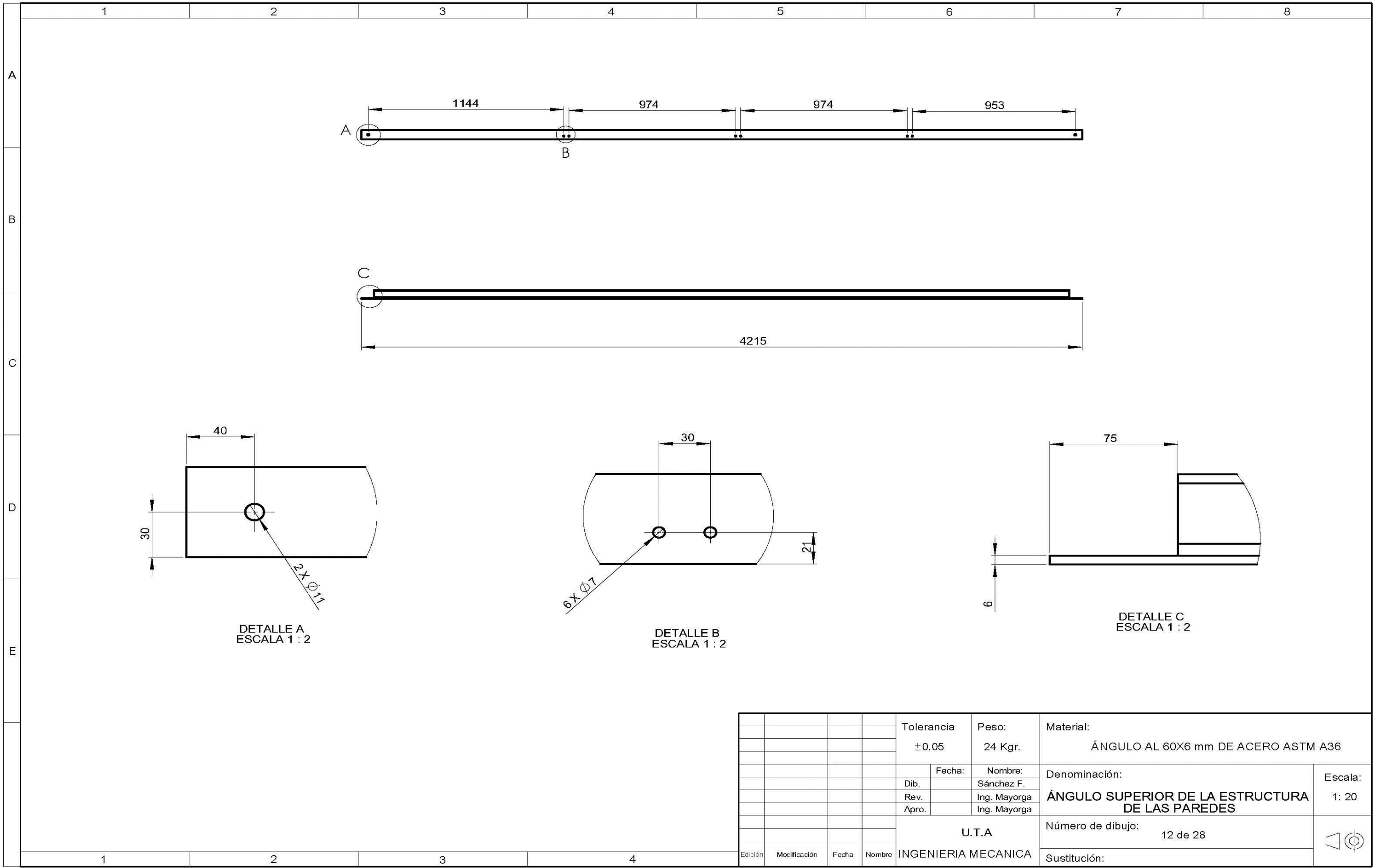
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

DETALLE C  
ESCALA 1 : 2

DETALLE D  
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia ±0.05	Peso: 12,24 kgr.	Material: 2 ÁNGULOS AL 30x3 mm DE ACERO ASTM A 36
				Fecha:	Nombre: Sánchez F.	Denominación: SOPORTE HORIZONTAL DE LOS PANELES
				Dib.	Ing. Mayorga	Escala: 1: 20
				Rev.	Ing. Mayorga	
				Apro.	Ing. Mayorga	Número de dibujo: 11 de 28
				U.T.A		Sustitución:
				INGENIERIA MECANICA		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

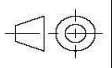


DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

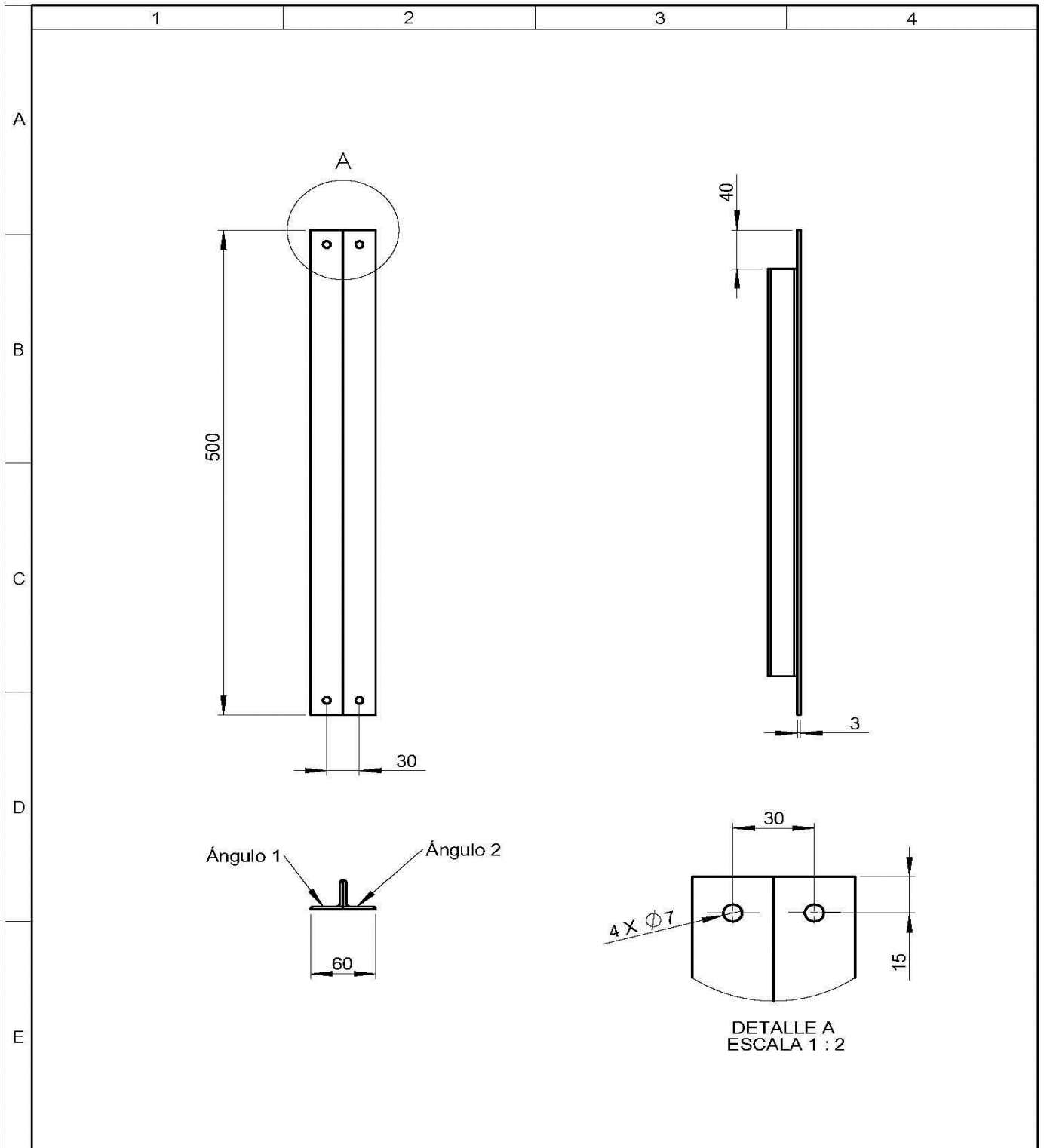
DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

DETALLE C  
ESCALA 1 : 2

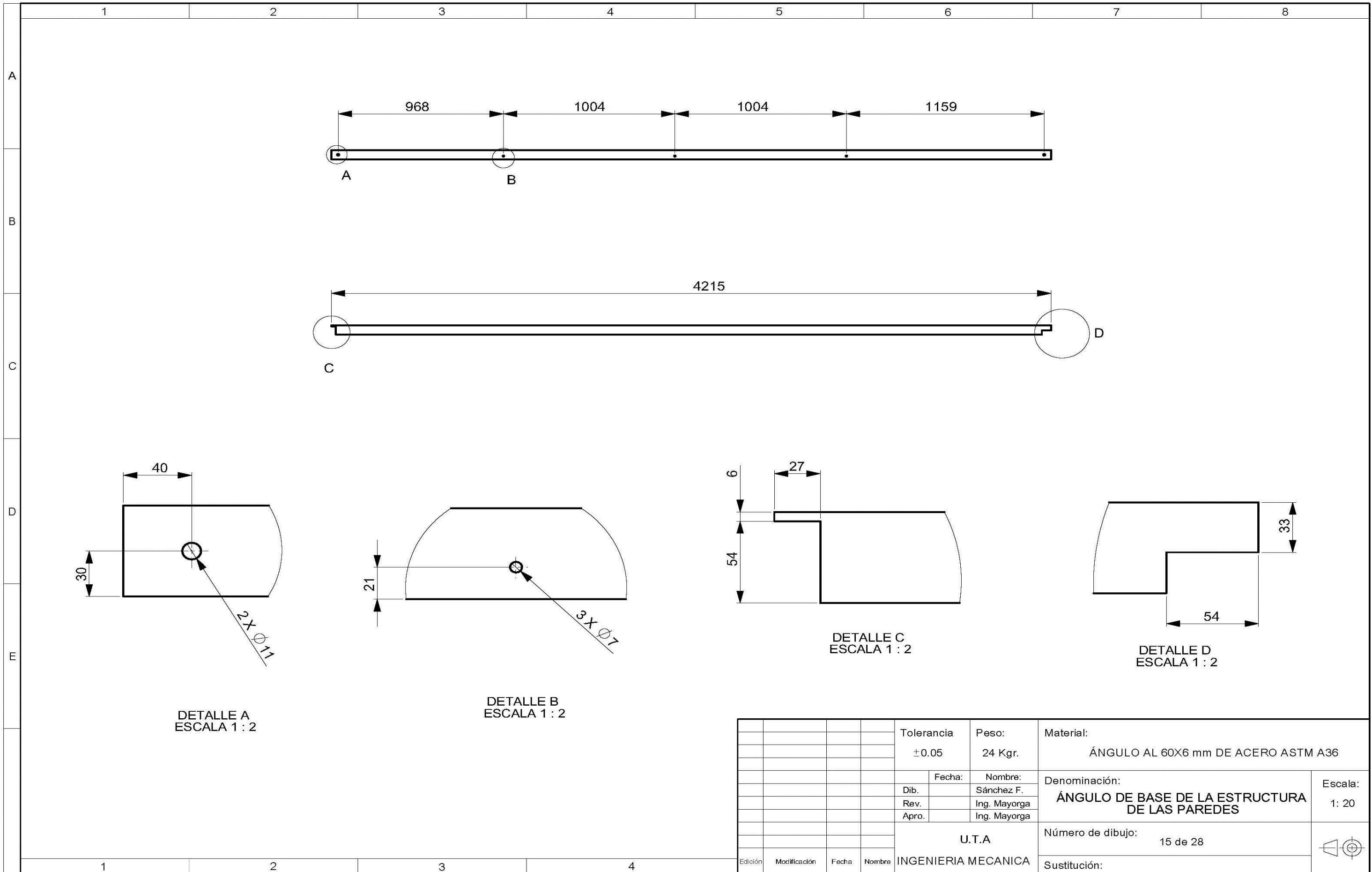
				Tolerancia ±0.05	Peso: 24 Kgr.	Material: ÁNGULO AL 60X6 mm DE ACERO ASTM A36
					Fecha:	Nombre: Sánchez F.
					Rev.	Ing. Mayorga
					Apro.	Ing. Mayorga
				U.T.A		Denominación: ÁNGULO SUPERIOR DE LA ESTRUCTURA DE LAS PAREDES
				INGENIERIA MECANICA		Escala: 1: 20
						Número de dibujo: 12 de 28
						Sustitución:







				Tolerancia ±0.05	Peso: 1,6 Kgr.	Material: 2 ÁNGULOS AL 30X3 mm DE ACERO ASTM A36	
					Fecha:	Nombre:	Denominación:
				Dib.		Sánchez F.	UNIÓN CORTA DE LOS SOPORTES
				Rev.		Ing. Mayorga A.	
				Apro.		Ing. Mayorga A.	
				U.T.A		Número de dibujo:	14 de 28
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	Escala: 1: 5 



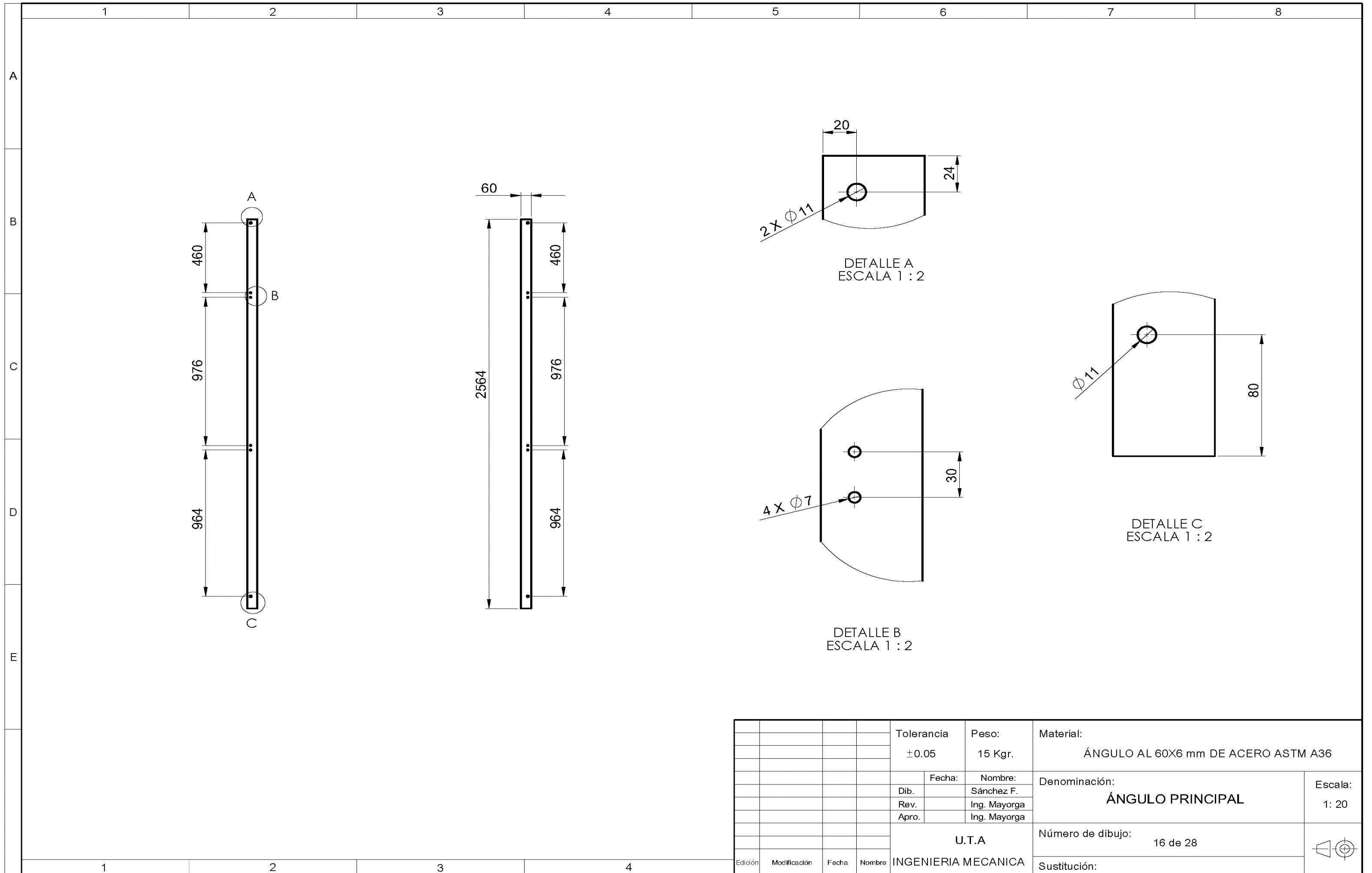
DETALLE A  
ESCALA 1 : 2

DETALLE B  
ESCALA 1 : 2

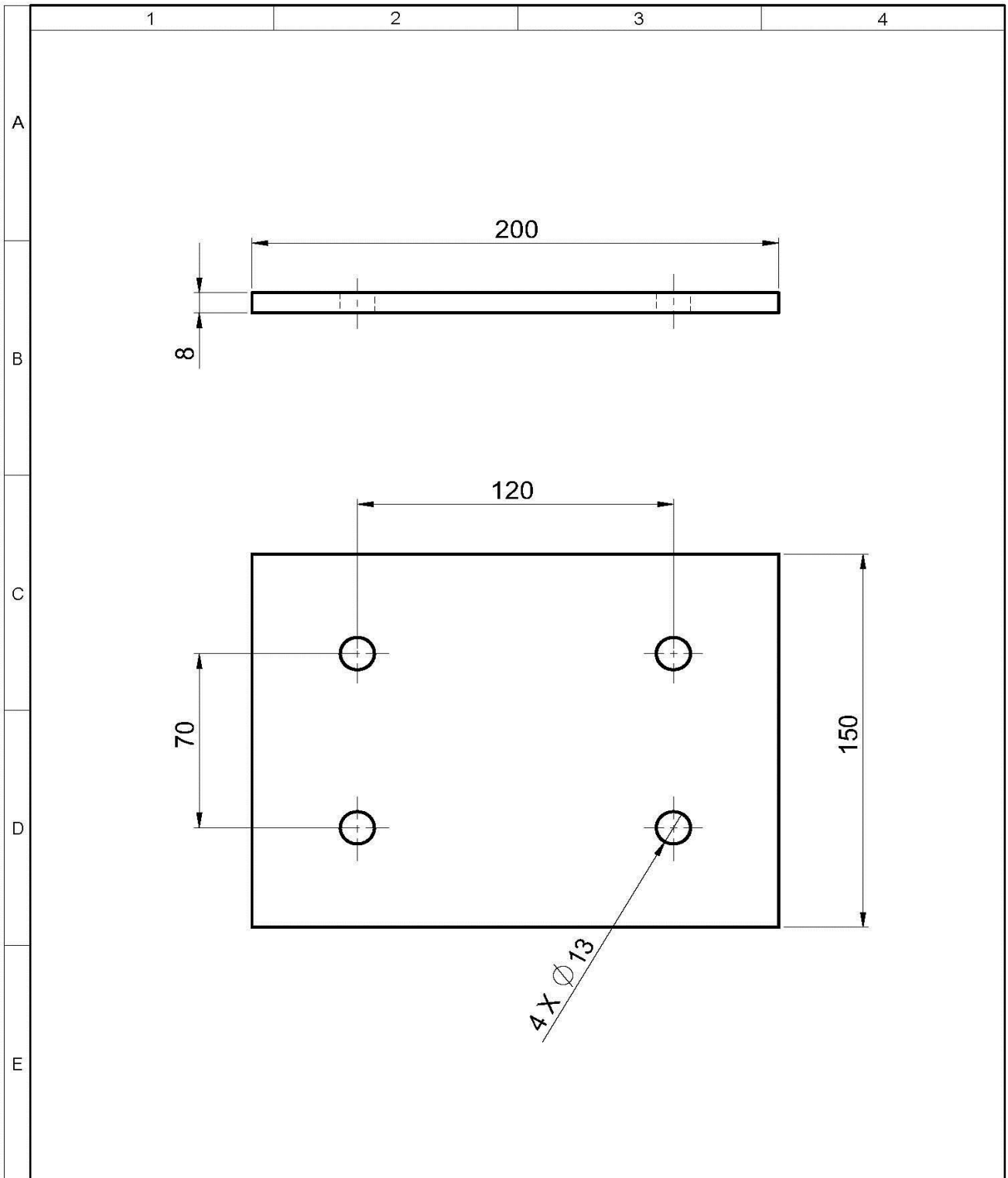
DETALLE C  
ESCALA 1 : 2


DETALLE D  
ESCALA 1 : 2

				Tolerancia ±0.05	Peso: 24 Kgr.	Material: ÁNGULO AL 60X6 mm DE ACERO ASTM A36	
					Fecha:	Nombre: Sánchez F.	Denominación: ÁNGULO DE BASE DE LA ESTRUCTURA DE LAS PAREDES
						Ing. Mayorga	Escala: 1: 20
						Ing. Mayorga	
					U.T.A		Número de dibujo: 15 de 28
					INGENIERIA MECANICA		Sustitución:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

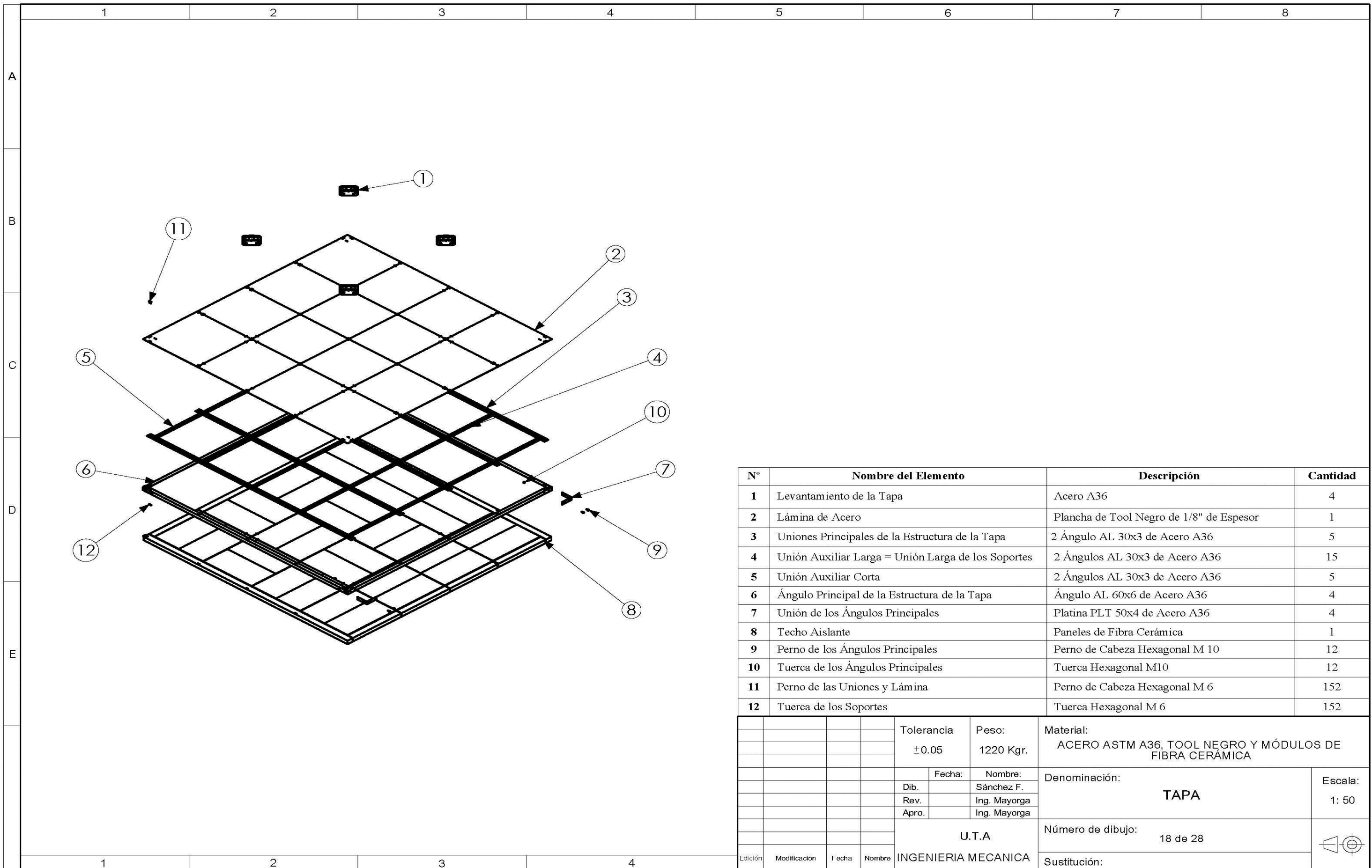


				Tolerancia ±0.05	Peso: 15 Kgr.	Material: ÁNGULO AL 60X6 mm DE ACERO ASTM A36		
					Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>ÁNGULO PRINCIPAL</b>	
				Dib.		Sánchez F.		
				Rev.		Ing. Mayorga		
				Apro.		Ing. Mayorga		
				U.T.A			Número de dibujo: 16 de 28	Escala: 1: 20 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA MECANICA			Sustitución:	



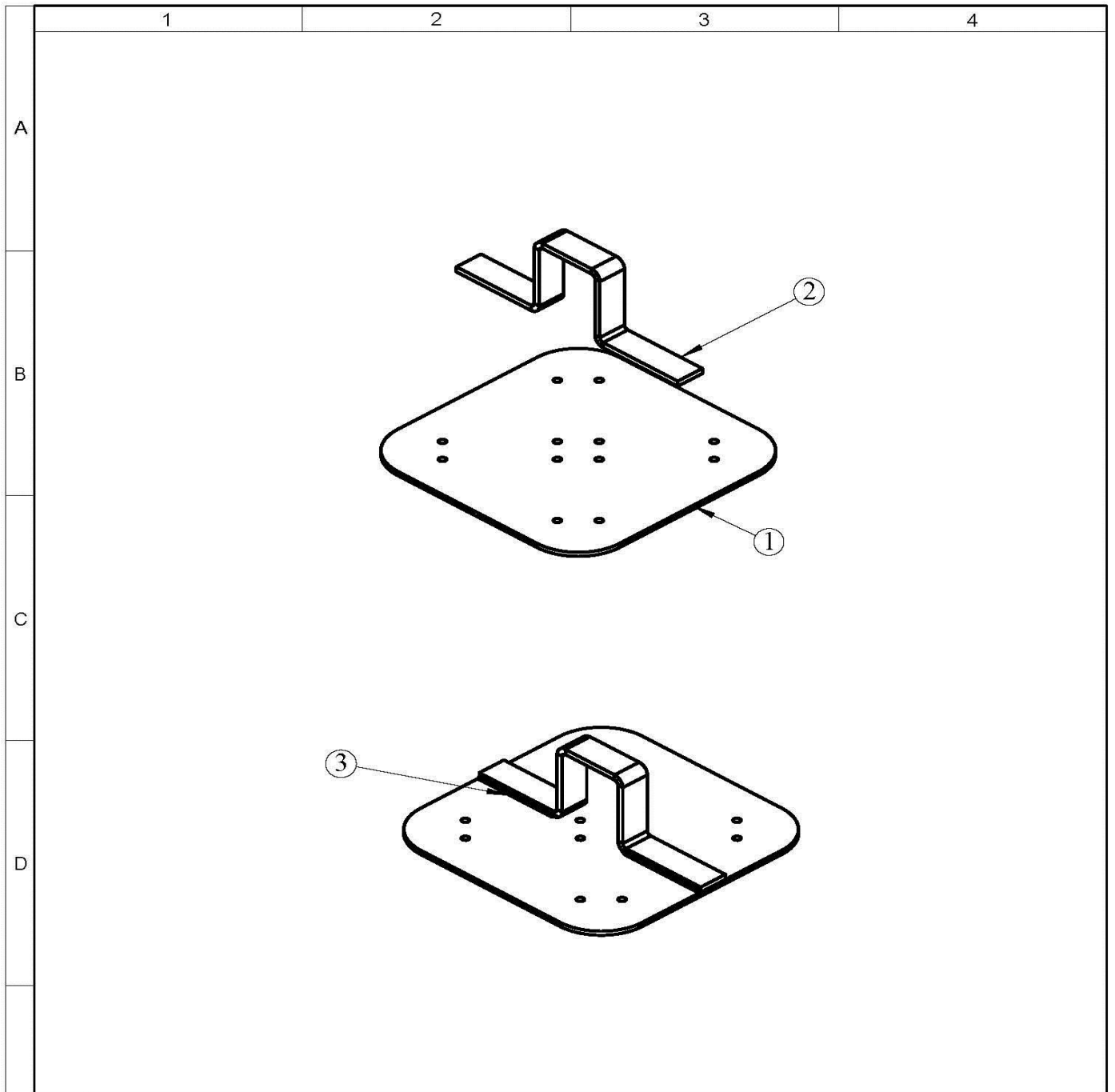
				Tolerancia ±0.05	Peso: 2 Kgr.	Material: PLACA DE ACERO ASTM A36 DE 8 mm DE ESPESOR	
					Fecha:	Nombre:	Denominación:
				Dib.		Sánchez F.	Escala: 1:2
				Rev.		Ing. Mayorga A.	
				Apro.		Ing. Mayorga A.	
				U.T.A		Número de dibujo:	17 de 28
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	





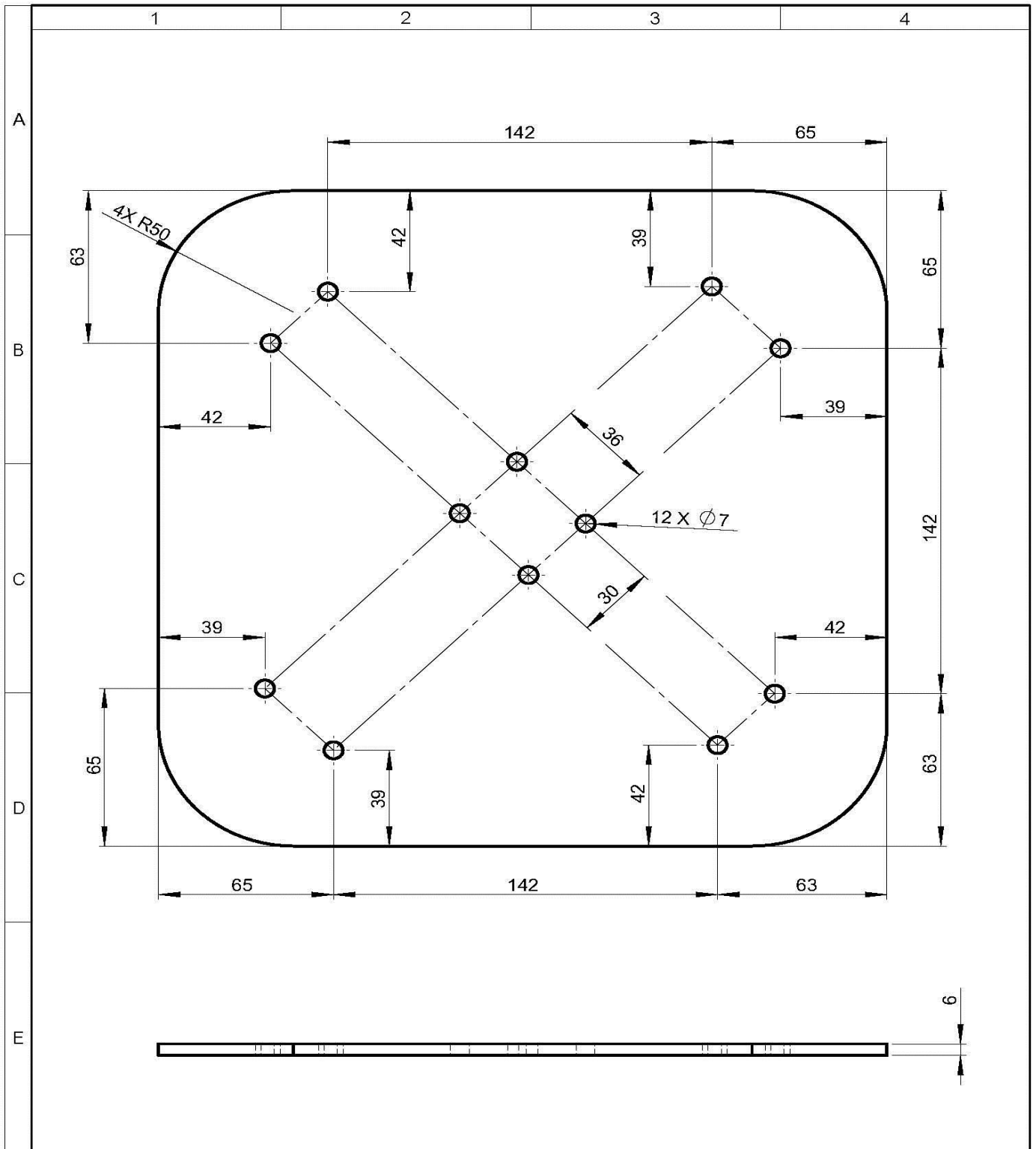
N°	Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad
1	Levantamiento de la Tapa	Acero A36	4
2	Lámina de Acero	Plancha de Tool Negro de 1/8" de Espesor	1
3	Uniones Principales de la Estructura de la Tapa	2 Ángulo AL 30x3 de Acero A36	5
4	Unión Auxiliar Larga = Unión Larga de los Soportes	2 Ángulos AL 30x3 de Acero A36	15
5	Unión Auxiliar Corta	2 Ángulos AL 30x3 de Acero A36	5
6	Ángulo Principal de la Estructura de la Tapa	Ángulo AL 60x6 de Acero A36	4
7	Unión de los Ángulos Principales	Platina PLT 50x4 de Acero A36	4
8	Techo Aislante	Paneles de Fibra Cerámica	1
9	Perno de los Ángulos Principales	Perno de Cabeza Hexagonal M 10	12
10	Tuerca de los Ángulos Principales	Tuerca Hexagonal M10	12
11	Perno de las Uniones y Lámina	Perno de Cabeza Hexagonal M 6	152
12	Tuerca de los Soportes	Tuerca Hexagonal M 6	152

Tolerancia		Peso:	Material: ACERO ASTM A36, TOOL NEGRO Y MÓDULOS DE FIBRA CERÁMICA	Escala: 1: 50
±0.05		1220 Kgr.		
Fecha:		Nombre:	Denominación: <b>TAPA</b>	Número de dibujo: 18 de 28
Dib.		Sánchez F.		
Rev.		Ing. Mayorga		
Apro.		Ing. Mayorga		
U.T.A			Sustitución:	
Edición	Modificación	Fecha		

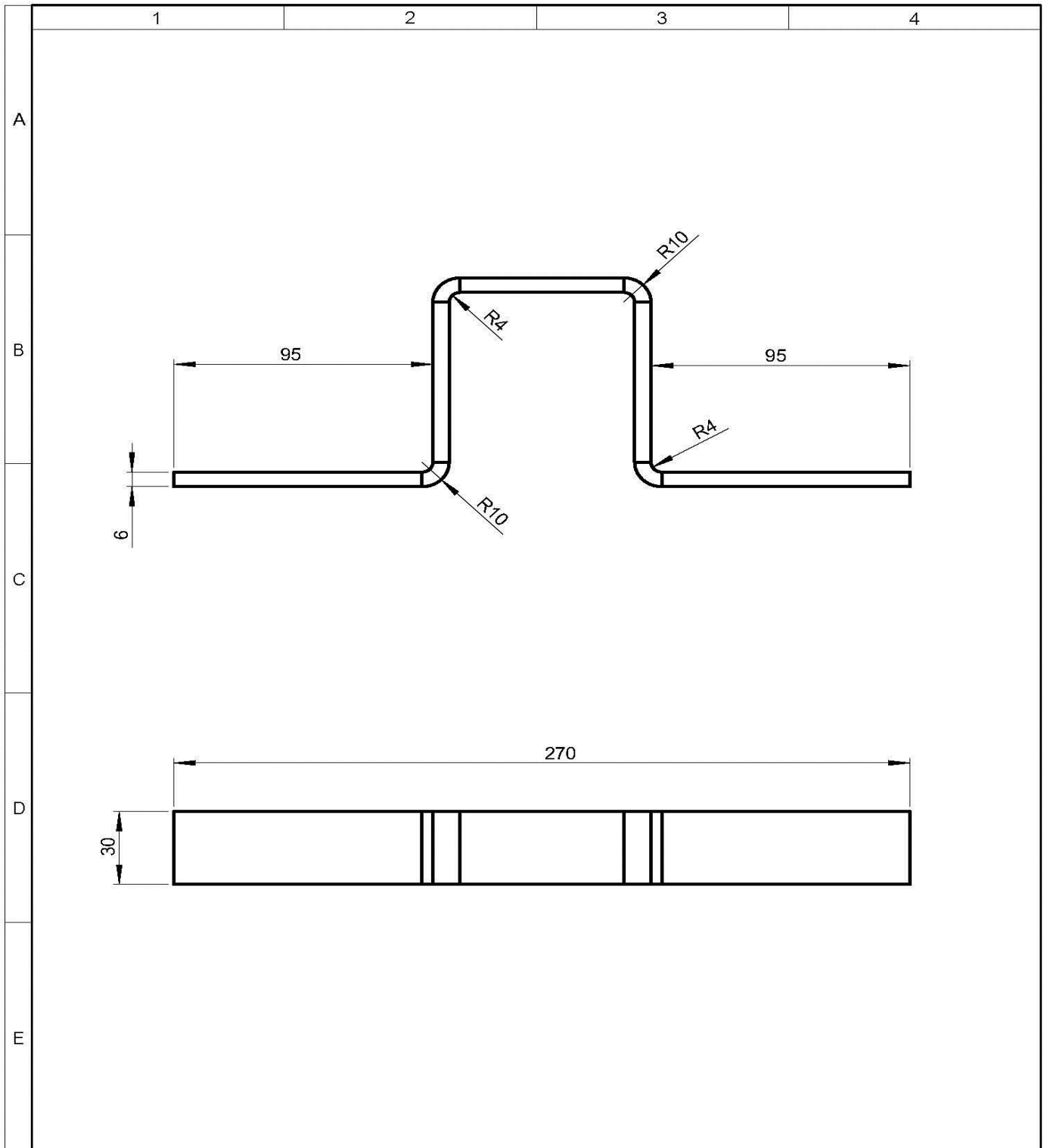


N°	Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad
1	Placa Sujetadora	Acero A 36	1
2	Gancho para Elevar	Platina PT 30x6 de Acero A 36	4
3	Soldadura	Soldadura SMAW	Entre el Gancho y la Placa Sujetadora

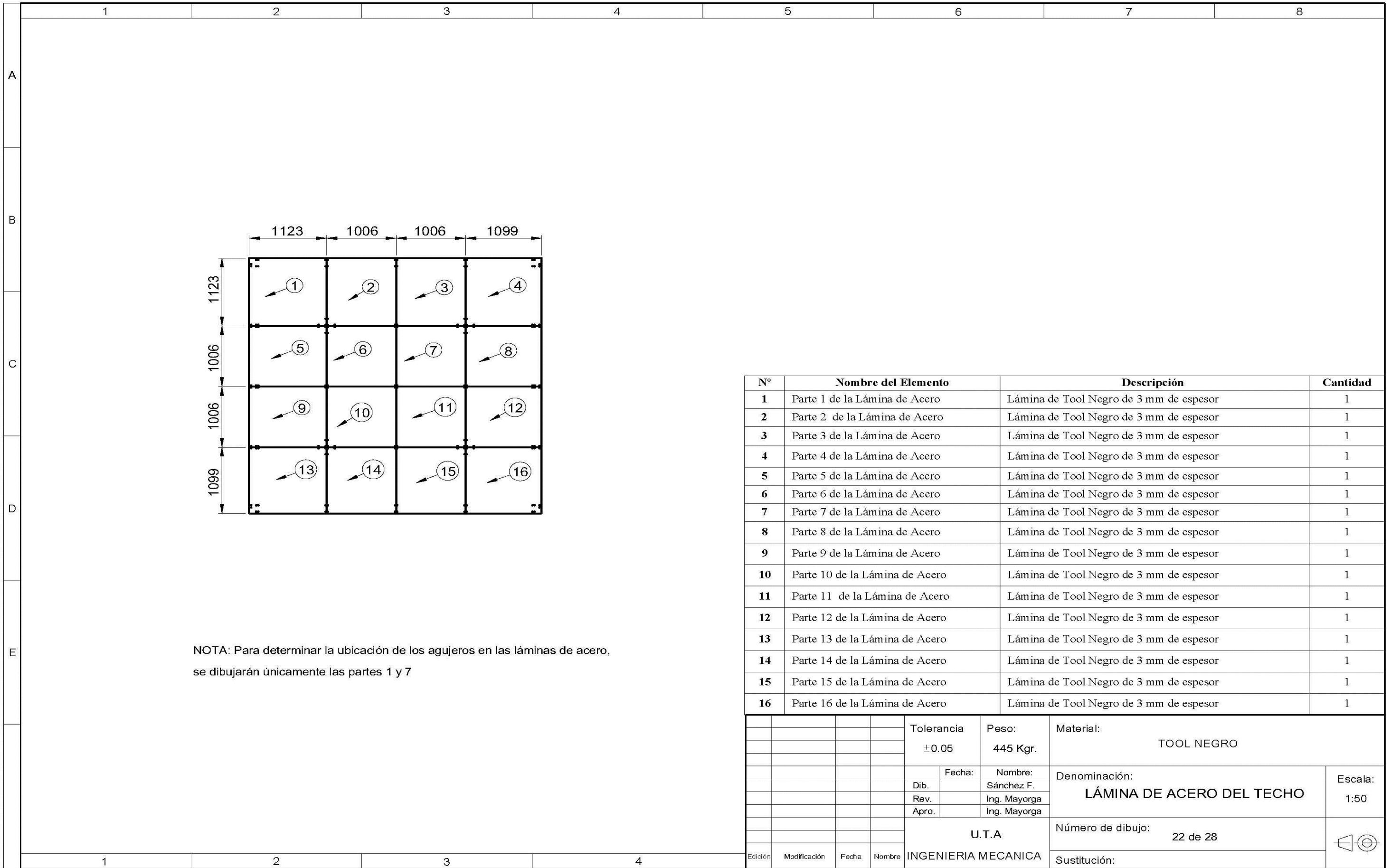
				Tolerancia ±0.05	Peso: 4 Kgr.	Material: ACERO ASTM A36	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dib.	Sánchez F.	<b>LEVANTAMIENTO DE LA TAPA</b>	1: 5
				Rev.	Ing. Mayorga A.		
				Apro.	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A		Número de dibujo: 19 de 28	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	



				Tolerancia ±0.05	Peso: 3,2 Kgr.	Material: PLANCHA DE ACERO ASTM A36 DE 6 mm DE ESPESOR	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dib.	Sánchez F.	<b>PLACA SUJETADORA</b>	1:2
				Rev.	Ing. Mayorga A.		
				Apro.	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A		Número de dibujo:	20 de 28
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	




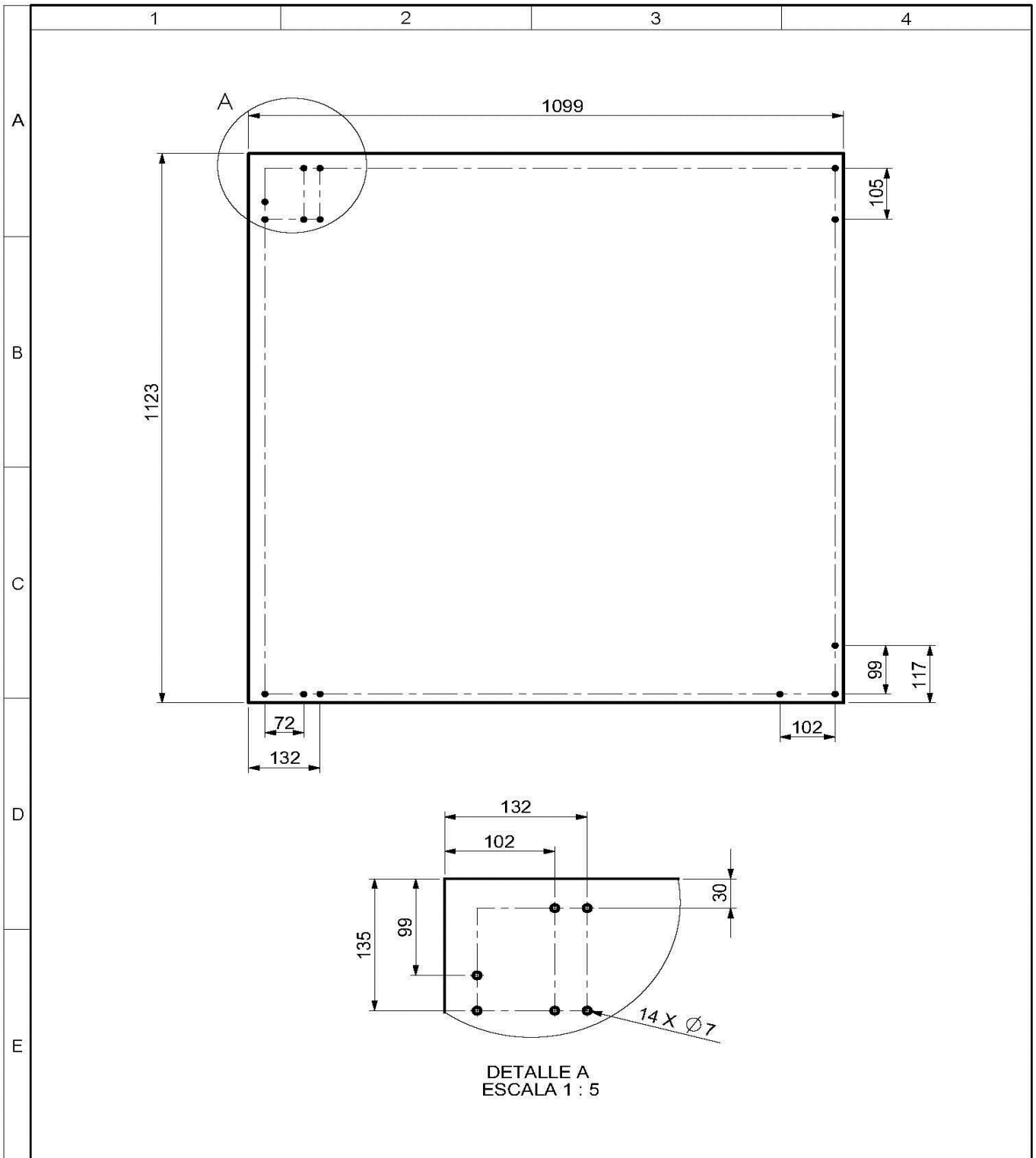
				Tolerancia ±0.05	Peso: 0,6 Kgr.	Material: PLATINA PT 30x6 mm (de 418 mm de Longitud )	
					Fecha:	Nombre:	Denominación:
				Dib.		Sánchez F.	GANCHO PARA ELEVAR
				Rev.		Ing. Mayorga A.	
				Apro.		Ing. Mayorga A.	
				U.T.A		Número de dibujo:	21 de 28
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	



NOTA: Para determinar la ubicación de los agujeros en las láminas de acero, se dibujarán únicamente las partes 1 y 7

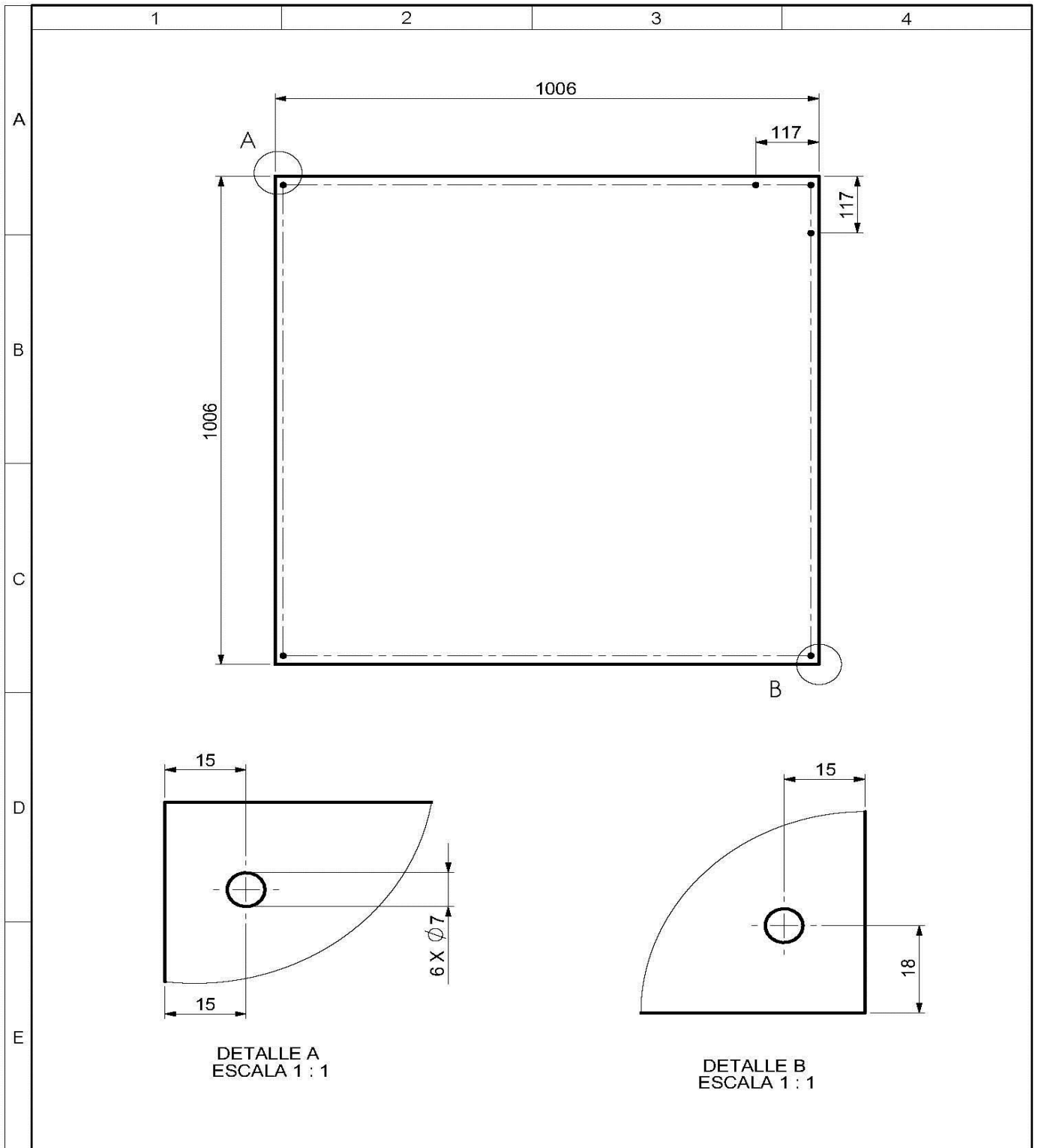
N°	Nombre del Elemento	Descripción	Cantidad
1	Parte 1 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
2	Parte 2 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
3	Parte 3 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
4	Parte 4 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
5	Parte 5 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
6	Parte 6 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
7	Parte 7 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
8	Parte 8 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
9	Parte 9 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
10	Parte 10 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
11	Parte 11 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
12	Parte 12 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
13	Parte 13 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
14	Parte 14 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
15	Parte 15 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1
16	Parte 16 de la Lámina de Acero	Lámina de Tool Negro de 3 mm de espesor	1

Tolerancia		Peso:	Material:			
±0.05		445 Kgr.	TOOL NEGRO			
Fecha:		Nombre:	Denominación:	Escala:		
Dib.		Sánchez F.			LÁMINA DE ACERO DEL TECHO	1:50
Rev.		Ing. Mayorga				
Apro.		Ing. Mayorga	Número de dibujo:			
U.T.A		22 de 28				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA MECANICA		
Sustitución:						

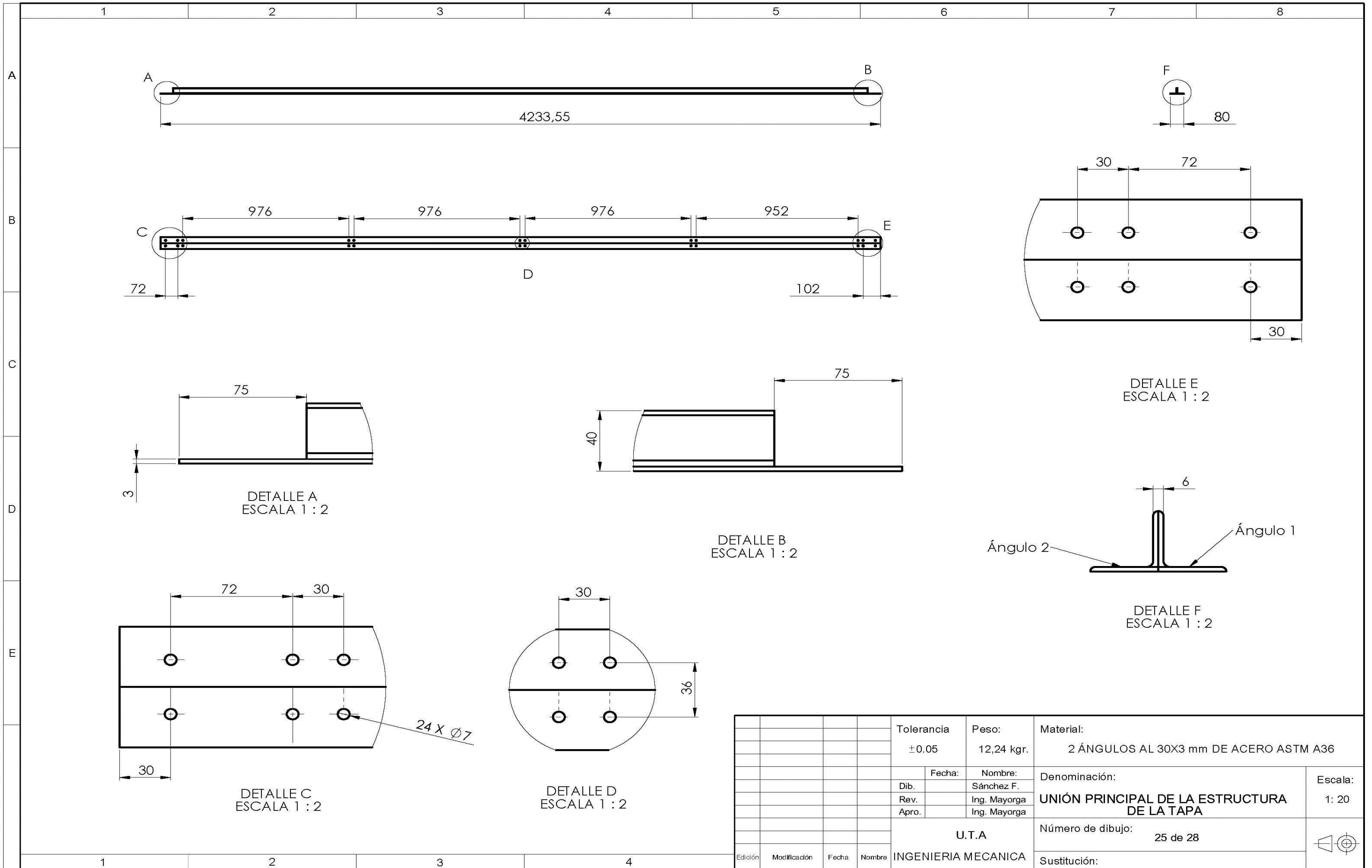


DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

				Tolerancia ±0.05	Peso: 29,07 Kgr.	Material: TOOL NEGRO	
				Dib.	Fecha:	Nombre:	Denominación:
				Rev.		Sánchez F.	PARTE 1 DE LA LÁMINA DE ACERO DEL TECHO
				Apro.		Ing. Mayorga A.	
				U.T.A		Número de dibujo:	Escala:
				MECANICA - INGENIERIA		23 de 28	1:10
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución:	

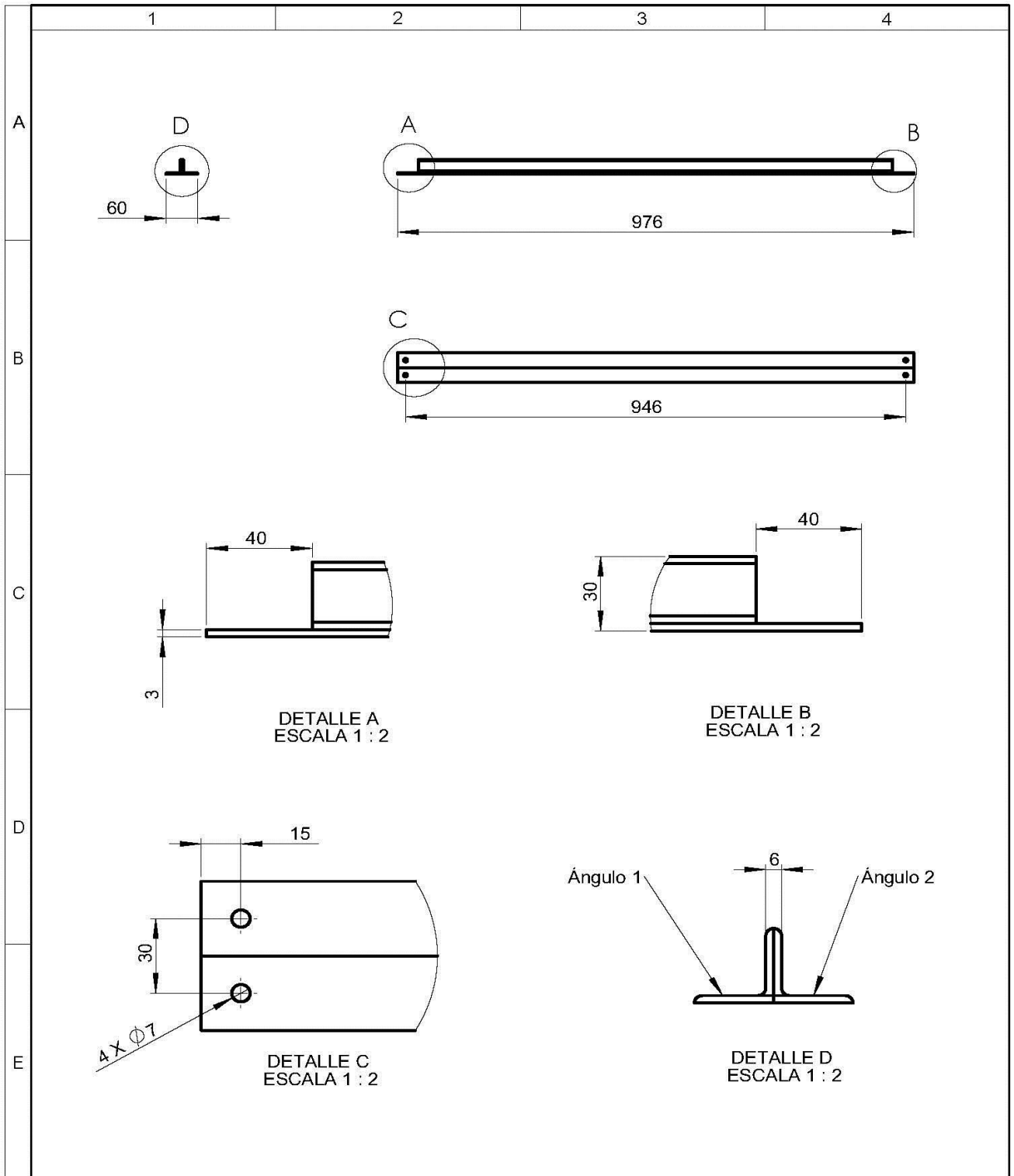


				Tolerancia ±0.05	Peso: 29,07 Kgr.	Material: TOOL NEGRO	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dib.	Sánchez F.	<b>PARTE 7 DE LA LÁMINA DE ACERO DEL TECHO</b>	1:10
				Rev.	Ing. Mayorga A.		
				Apro.	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A		Número de dibujo: 24 de 28	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	

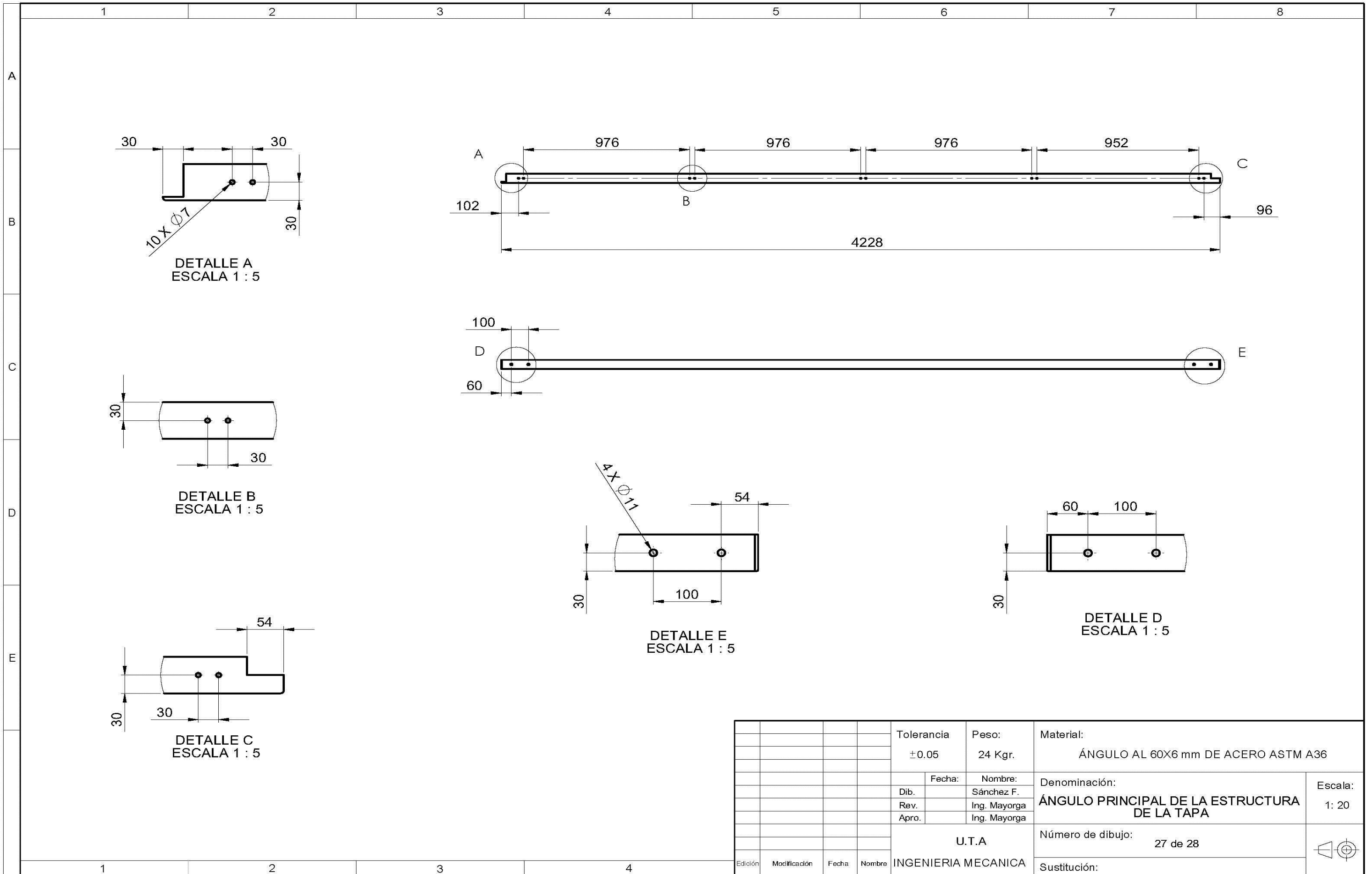


Tolerancia	±0.05	Peso:	12,24 kg.	Material:	2 ÁNGULOS AL 30X3 mm DE ACERO ASTM A36
Edición	Modificación	Fecha	Nombre:	Denominación:	UNIÓN PRINCIPAL DE LA ESTRUCTURA DE LA TAPA
			Sánchez F.	Número de dibujo:	
			Ing. Mayorga		
			Ing. Mayorga	Sustitución:	
U.T.A					
INGENIERIA MECANICA					





				Tolerancia ±0.05	Peso: 2,66 Kgr.	Material: 2 ÁNGULOS AL 30X3 mm DE ACERO ASTM A36	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>UNIÓN AUXILIAR CORTA</b>	Escala: 1: 10
			Dib.		Sánchez F.		
			Rev.		Ing. Mayorga A.		
			Apro.		Ing. Mayorga A.		
				U.T.A		Número de dibujo: 26 de 28	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	



DETALLE A  
ESCALA 1 : 5

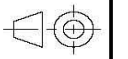
DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

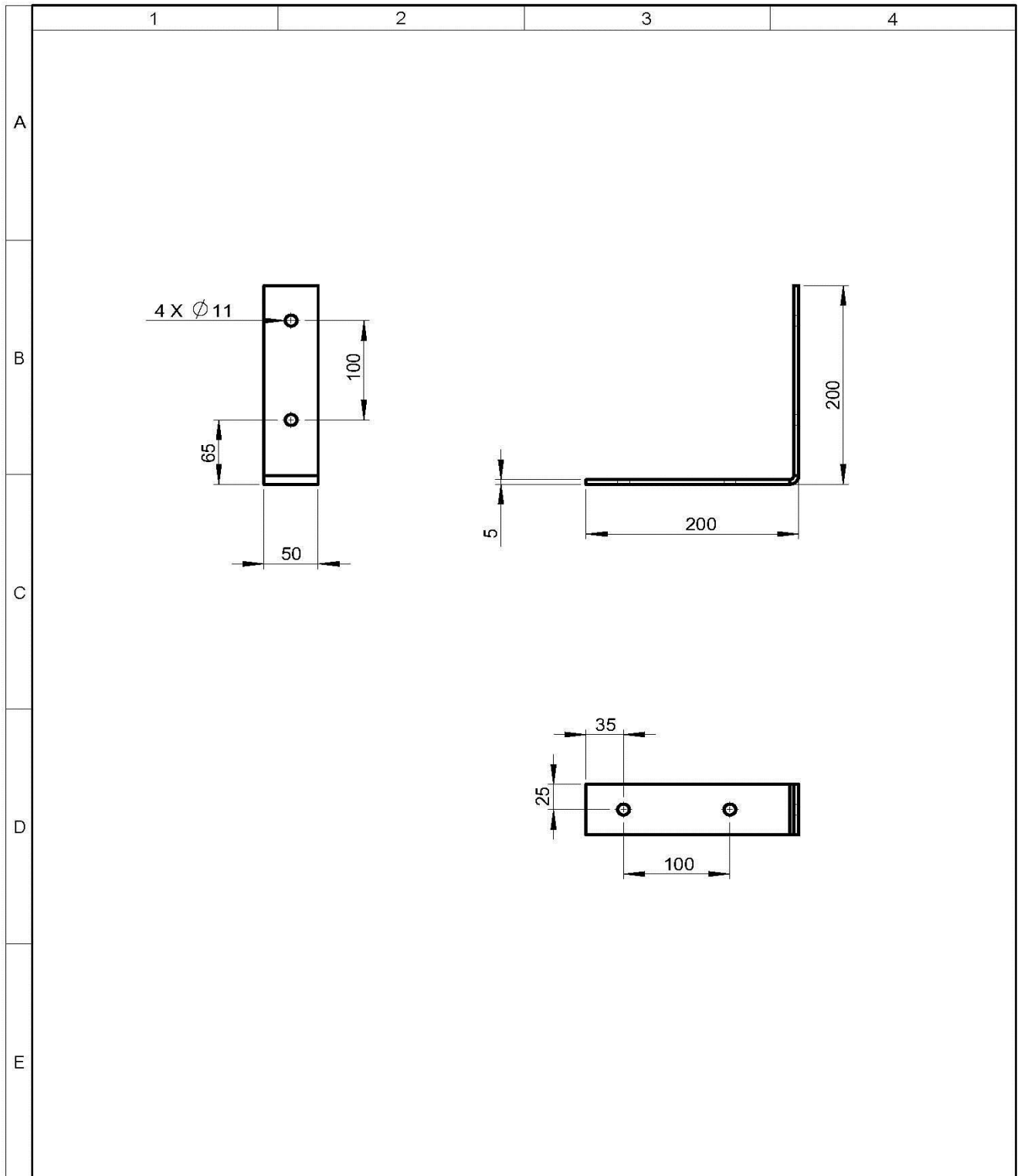
DETALLE C  
ESCALA 1 : 5

DETALLE E  
ESCALA 1 : 5

DETALLE D  
ESCALA 1 : 5

				Tolerancia	Peso:	Material:	
				±0.05	24 Kgr.	ÁNGULO AL 60X6 mm DE ACERO ASTM A36	
					Fecha:	Nombre:	
				Dib.		Sánchez F.	Denominación:
				Rev.		Ing. Mayorga	ÁNGULO PRINCIPAL DE LA ESTRUCTURA DE LA TAPA
				Apro.		Ing. Mayorga	
							Escala:
							1: 20
							Número de dibujo:
							27 de 28
							Sustitución:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERIA MECANICA			





				Tolerancia ±0.05	Peso: 0,75 Kgr.	Material: PLATINA PT 50X5 mm	
					Fecha:	Nombre:	Denominación:
				Dib.		Sánchez F.	UNIÓN DE LOS ÁNGULOS PRINCIPALES
				Rev.		Ing. Mayorga A.	
				Apro.		Ing. Mayorga A.	
				U.T.A		Número de dibujo:	28 de 28
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	MECANICA - INGENIERIA		Sustitución:	