

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**“DISEÑO DE UN HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO HASTA
700°C PARA TURBINAS PELTON DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN II”**

TESIS

PRESENTADO POR:

FRANKLIN QUISPE OCHOA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

**“DISEÑO DE UN HORNO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
HASTA 700°C PARA TURBINAS PELTON DE LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA SAN GABÁN II”**

TESIS PRESENTADA POR:

FRANKLIN QUISPE OCHOA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27/11/2017

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE : _____
M.Sc. ARMANDO TITO CRUZ CABRERA

PRIMER MIEMBRO : _____
M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

SEGUNDO MIEMBRO : _____
M.Sc. JOSE ANTONIO VARGAS MARON

DIRECTOR / ASESOR : _____
M.Sc. WALTER OSWALDO PAREDES PAREJA

PUNO – PERÚ
2017

ÁREA : Mecánica
TEMA : Transferencia de Calor

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio e investigación.

A Mi Madre, (Celedonia Ochoa L.) A quien tanto quiero, por darme la vida y brindarme comprensión, aliento y cariño. Por el apoyo ilimitado e incondicional que siempre me has dado, por tener siempre la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos no hay palabras en este mundo para agradecerte, mamá.

A Mis Hermanas, (Susy, Luz y Liz) Con todo mi cariño esta investigación se las dedico a ustedes, que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, ahora me toca regresar un poquito de todo lo inmenso que me han otorgado.

A Mi Padre, (Simón T. Quispe H.) Mi gran amigo, por ser una persona de digno respeto junto a sus sabios consejos, sacrificio, empeño y perseverancia en cada momento de mi existencia lo cual determinó a ser uno de las mejores personas y profesionales.

Franklin Quispe Ochoa

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, Por su bendición, gran amor, por darme el preciado don de la vida y por cada paso que doy, dándome sabiduría y fortaleza para continuar.

A la Universidad Nacional Del Altiplano, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

Al Director de Tesis, Jurados y Docentes, que dedicaron su vida a educarme, por haber inculcado y transmitido con empeño sus valores y conocimientos en todo el tiempo de mi formación profesional.

A mi Madre, Padre Y Hermanas, que han sabido impulsarme confiadamente desde el primer instante, brindándome comprensión, aliento y cariño, gracias al esfuerzo de ellos, logré la culminación de esta investigación.

A San Gabán S.A., Ingenieros y Técnicos, por darme la oportunidad de seguir con mi formación laboral, por brindarme conocimientos, experiencias, información, etc., y A Todas las Personas, que de una u otra manera contribuyeron en la realización de la presente investigación.

Franklin Quispe Ochoa

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	17
ABSTRACT.....	18

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	19
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	19
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	20
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	20
1.2.1 PROBLEMA ESPECÍFICOS.....	20
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	20
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	21
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	22
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL	22
1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	22

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA	23
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23
2.2 SUSTENTO TEÓRICO	26
2.2.1 SISTEMAS DE MANTENIMIENTO	26
2.2.2 PRINCIPALES FALLAS QUE SE PRODUCEN EN LAS TURBINAS	28
2.2.3 NORMAS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE TURBINAS PELTON	31
2.2.4 PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE TURBINAS PELTON.....	32
2.2.5 MÉTODOS PARA DETECTAR FALLAS EN LAS TURBINAS	40
2.2.6 TRATAMIENTO TÉRMICO	42
2.2.7 ETAPAS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO	42
2.2.8 TIPOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO.....	44
2.2.9 TIPOS DE HORNOS PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS	46
2.2.10 HORNOS DE RESISTENCIA ELÉCTRICA	48
2.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	52
2.3.1 CONDUCCIÓN	52
2.3.2 CONVECCIÓN.....	52

2.3.3 RADIACIÓN.....	55
2.3.4 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	56

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
3.1 TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN.....	60
3.3 UBICACIÓN.....	60
3.4 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO GENERAL.....	61
3.5 MATERIALES EXPERIMENTALES.....	64
3.6 MATERIALES REFERENCIALES.....	65
3.7 RESTRICCIONES.....	66
3.8 MÉTODO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	66
3.8.1 MÉTODO.....	66
3.8.2 TÉCNICAS.....	68
3.8.3 OBSERVACIONES.....	68
3.8.4 ENTREVISTAS.....	68
3.8.5 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	69
3.9 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	70
3.10 DISEÑO TÉRMICO DEL HORNO.....	70
3.10.1 DIMENSIONES DEL RODETE.....	70
3.10.2 DIMENSIONES DEL HORNO.....	70
3.10.3 PARÁMETROS DE DISEÑO.....	71
3.10.4 MATERIALES AISLANTES Y REFRACTARIOS PARA EL HORNO.....	73
3.10.5 TEMPERATURAS DE LAS PAREDES DEL HORNO.....	82
3.10.6 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CONVECCIÓN.....	82
3.10.7 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE RADIACIÓN.....	85
3.10.8 CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR EN LAS PAREDES.....	86
3.10.9 CÁLCULO DE LOS ESPESORES (E1, E2 Y E3) DE LAS PAREDES.....	88
3.10.10 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA SOLERA (<i>es</i>).....	91
3.10.11 CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CALOR EN EL TECHO.....	93
3.10.12 CÁLCULO DE ESPESORES (E1, E2 Y E3) DEL TECHO DEL HORNO....	94
3.10.13 CALOR PERDIDO EN PAREDES, TECHO Y SOLERA DEL HORNO.....	96
3.10.14 CALOR PARA CALENTAMIENTO DEL HORNO Y RODETE.....	99

3.10.15 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA (η) DEL HORNO HASTA 700°C	102
3.10.16 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL HORNO	102
3.11 DISEÑO MECÁNICO DEL HORNO	103
3.11.1 CÁLCULO DE LA VIGA PRINCIPAL DEL TECHO DEL HORNO	103
3.11.2 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LAS PAREDES LATERALES	108
3.11.3 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA SOLERA MÓVIL	118
3.11.4 CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR PARA LA SOLERA MÓVIL	125
3.12 DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO	128
3.13 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA.....	132
3.13.1 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA.....	132

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	141
4.1 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL HORNO.....	141
4.1.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE CÁLCULO DE ESPESORES.....	141
4.1.2 COMPROBACIÓN DE TEMPERATURAS EXTERNAS DEL HORNO.....	141
4.1.3 RESUMEN DE MATERIALES EN EL DISEÑO TÉRMICO	144
4.1.4 POTENCIA NECESARIA DEL HORNO	145
4.1.5 SELECCIÓN DE VIGAS EN EL HORNO.	145
4.1.6 SELECCIÓN DEL MOTOR PARA MOVIMIENTO DE LA SOLERA.....	146
4.1.7 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.....	146
4.1.8 SELECCIÓN DE ELEMENTOS SOBRESALIENTES DE CONTROL	147
4.2 COSTOS DEL PROYECTO.....	149
4.2.1 COSTOS DIRECTOS DE CONTRUCCIÓN DEL HORNO.....	149
4.2.2 COSTOS INDIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO	152
4.2.3 COSTOS TOTALES DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO	154
4.3 ESTUDIO FINANCIERO.....	155
4.3.1 INVERSIONES DEL PROYECTO.....	155
4.3.2 FINANCIAMIENTO	156
4.4 EVALUACIÓN DEL PROYECTO.....	157
4.4.1 EVALUACIÓN FINANCIERA.....	157
4.4.2 TASA MÍNIMA ATRACTIVA DE RETORNO (TMAR)	158
4.4.3 VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	158
4.4.4 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR).....	160

4.4.5 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	161
CONCLUSIONES	163
RECOMENDACIONES	164
REFERENCIAS.....	165
ANEXOS	168

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cavitación de Cangilones en la turbina Pelton.....	29
Figura 2: Erosión de cangilones en la turbina Pelton	31
Figura 3: Representación gráfica del tratamiento térmico.....	43
Figura 4: Horno de resistencia eléctrica	46
Figura 5: Horno de inducción	47
Figura 6: Horno de Crisol	47
Figura 7: Horno de vacío	48
Figura 8: Esquema de funcionamiento de un horno de resistencias eléctricas	49
Figura 9: Horno eléctrico de solera móvil	51
Figura 10: Sistema de control de lazo abierto.....	57
Figura 11: Sistema de control de lazo cerrado.....	57
Figura 12: Sistema de control On/Off.....	58
Figura 13: Sistema de control PID.....	58
Figura 14: Imagen panorámica Villa Residentes San Gabán S.A.	60
Figura 15: Dimensiones del rodete	70
Figura 16: Dimensiones del horno.....	70
Figura 17: Representación de los componentes de paredes del horno	72
Figura 18: Pared seleccionada para cálculo de espesor	87
Figura 19: Circuito de resistencias térmicas.	88
Figura 20: Dimensionado del área del techo.	93
Figura 21: Circuito térmico de las paredes del horno.....	96
Figura 22: Circuito térmico del techo del horno.....	97
Figura 23: Circuito térmico de la solera del horno	97
Figura 24: Circuito térmico de las ventanillas del horno.....	98
Figura 25: Representación de las fuerzas sobre la viga principal.....	103
Figura 26: Representación de la viga para análisis de la doble integración	105
Figura 27: Representación de la viga para fuerza cortante y momento flector	106
Figura 28: Diagrama de fuerza cortante de la estructura del techo "V"	107
Figura 29: Diagrama de momento flector de la estructura del techo "Mf".....	107
Figura 30: Estructura de las paredes del horno.....	110
Figura 31: Distribución de cargas en el pórtico más cargado de la pared	110
Figura 32: Viga crítica para análisis por doble integración	112

Figura 33: Representación de la viga de la pared para cálculo del “Mf” y “V”	116
Figura 34: Diagrama de fuerza cortante de la estructura de la pared "V"	116
Figura 35: Diagrama de momento flector de la estructura de la pared "Mf"	117
Figura 36: Distribución de cargas en la viga más cargada de la solera móvil	118
Figura 37: Representación de la viga de la solera móvil para cálculo del “Mf” y “V”	123
Figura 38: Diagrama de fuerza cortante de la estructura de la solera móvil "V"	123
Figura 39: Diagrama de momento flector de la estructura de la solera móvil "Mf"	124
Figura 40: Representación de las resistencias de calentamiento	129
Figura 41: Respuesta de la planta a un impulso unitario sin controlador	137
Figura 42: Respuesta a un control "P"	140
Figura 43: Respuesta a un control "PI"	140
Figura 44: Respuesta a un control "PID"	140
Figura 45: Cantidad de calor necesario para el horno	143
Figura 46: Alambre en espiral sobre tubos	146
Figura 47: Visualización grafica del TIR	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Planes de mantenimiento de la C.H.S.G.II	27
Tabla 2: Comparación de normas internacionales para el acero inoxidable CrNi 13.4..	34
Tabla 3: Selección de electrodos según su composición química	35
Tabla 4: Elementos químicos constitutivos del electrodo Weld 309 mol.....	35
Tabla 5: Características de los grupos hidráulicos.....	61
Tabla 6: Características del generador eléctrico	62
Tabla 7: Características de la turbina Pelton	63
Tabla 8: Características mecánicas de la turbina Pelton.....	63
Tabla 9: Composición química de la turbina Pelton.....	64
Tabla 10: Características de Inyectores	64
Tabla 11: Plan de recolección de información.....	67
Tabla 12: Cuestionario para la entrevista	69
Tabla 13: Composición química de óxido de aluminio	74
Tabla 14: Composición química de óxido de Silicio.....	75
Tabla 15: Composición Química de Óxido de Hierro III	76
Tabla 16: Composición Química de Óxido de Titanio IV	76
Tabla 17: Especificaciones técnicas de la manta de cerámica.....	77
Tabla 18: Especificaciones técnicas de la lana de roca basáltica	78
Tabla 19: Especificaciones técnicas de la plancha de acero	78
Tabla 20: Especificaciones técnicas del ladrillo refractario	79
Tabla 21: Composición química del ladrillo refractario	80
Tabla 22: Composición química del mortero refractario.....	81
Tabla 23: Propiedades Físicas del mortero refractario	81
Tabla 24: Espesor total de las paredes del horno.....	90
Tabla 25: Espesor total del techo del horno.....	95
Tabla 26: Coeficientes de fricción	127
Tabla 27: Tipo de controlador	139
Tabla 28: Resumen total de espesores del horno	141
Tabla 29: Datos obtenidos para control "P", "PI" y "PID"	147
Tabla 30: Costo de materiales y accesorios directos de construcción	151
Tabla 31: Costo por mano de obra directa calificada	152
Tabla 32: Costo de equipos.....	152

Tabla 33: Costo de materiales y accesorios indirectos de construcción	153
Tabla 34: Costo por mano de obra indirecta.....	153
Tabla 35: Costos por alquiler de maquinaria y equipos.....	154
Tabla 36: Costo total de construcción del horno de tratamiento térmico	155
Tabla 37: Proyección de ingresos y gastos anuales	156
Tabla 38: Amortización del proyecto	157
Tabla 39: Flujo de efectivo	158
Tabla 40: Valor Actual Neto (VAN)	159
Tabla 41: Tasa interna de retorno (TIR)	160
Tabla 42: Periodo de recuperación de la inversión (PRI).....	162

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENCUESTAS Y ENTREVISTAS	169
ANEXO B.1: INSPECCIÓN POR PARTICULAS MAGNÉTICAS (MT).....	174
ANEXO B.2: INSPECCIÓN POR TINTES PENETRANTES (PT)	176
ANEXO C: TEMPERATURAS DE CALENTAMIENTO DE MATERIALES.....	178
ANEXO D: CICLO DEL TRATAMIENTO DE ELIMINACIÓN DE TENSIONES.	179
ANEXO E.1: FIBRA DE CERÁMICA.....	180
ANEXO E.2: LANA DE ROCA BASÁLTICA.....	181
ANEXO E.3: PLANCHA DE ACERO	182
ANEXO E.4: LADRILLO REFRACTARIO	183
ANEXO E.5: MORTERO REFRACTARIO.....	184
ANEXO F: PROPIEDADES DEL AIRE SECO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA.....	185
ANEXO G: PORCENTAJE DE CARBONO SOBRE CONTENIDO DE ACERO ...	186
ANEXO H: CONTENIDO CALORÍFICO DE MATERIALES REFRACTARIOS ..	187
ANEXO I: PERFILES IPE	188
ANEXO J: CARACTERÍSTICAS DEL ACERO ASTM A36.....	189
ANEXO K: MOTOR TRIFÁSICO CERRADO W21	190
ANEXO L.1: RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS ALEACIONES NI – CR.....	191
ANEXO L.2: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE ALEACIONES NI – CR ..	191
ANEXO L.3: CARGA ESPECÍFICA MÁXIMA DE LAS RESISTENCIAS.....	192
ANEXO L.4: DISPOSICIONES DE ESPIRALES SOBRE TUBOS	193
ANEXO M: BUS POWERED MULTIFUNCTION DAQ FOR USB.....	194
ANEXO N: CONTROLADOR DE ÁNGULO DE FASE TRIFÁSICO	195
ANEXO O.1: INSPECCIONES A RODETES PELTON DENTRO DEL RECINTO	196
ANEXO O.2: INSPECCIONES A RODETES PELTON FUERA DEL RECINTO..	200
ANEXO P: VIDRIO CERÁMICO NEOCERAM.....	208
ANEXO Q: ELECTRODO E6011	209
ANEXO R: CILINDRO NEUMÁTICO.....	210
ANEXO S: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE AIRE	211
ANEXO T: CONDUCTOR ELÉCTRICO NYY	212
ANEXO U: CANALETA RANURADA	213
ANEXO V: BOTONES PULSADORES Y LÁMPARAS INDICADORAS	214
ANEXO W: SENSOR DE TEMPERATURA TERMOPAR.....	215
ANEXO X: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO	216

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ACRÓNIMO	SIGNIFICADO
SEIN	: <i>Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.</i>
TMAR	: <i>Tasa Mínima Atractiva de Retorno.</i>
VAN	: <i>Valor Actual Neto.</i>
TIR	: <i>Tasa Interna de Retorno.</i>
PRI	: <i>Periodo de Recuperación de la Inversión.</i>
USD	: <i>Dólar de los Estados Unidos.</i>
AAAC	: <i>All Aluminium Alloy Conductors.</i>
S.A:	: <i>Sociedad Anónima.</i>
S.A.C.	: <i>Sociedad Anónima Cerrada.</i>
GTU	: <i>Turbina.</i>
C.H.S.G. II	: <i>Central Hidroeléctrica San Gabán II.</i>
ASTM	: <i>American Society for Testing and Materials.</i>
DIN	: <i>Deutsches Institut für Normung.</i>
IPE	: <i>Perfil.</i>
HB	: <i>Dureza Brinell.</i>
MIG	: <i>Metal Inert Gas.</i>
TIG	: <i>Tungsten Inert Gas.</i>
P	: <i>Proporcional.</i>
PI	: <i>Proporcional – Integral.</i>
PID	: <i>Proporcional - Integral – Derivativo.</i>
 INSTITUCIONES	
COES	: <i>Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional</i>
SAN GABÁN S.A.	: <i>Empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A..</i>
EGEMSA	: <i>Empresa de Generación Eléctrica Machu Picchu.</i>
METAM	: <i>Mecánica Tamariz S.R. LTDA.</i>
ANDRITZ Hydro, ALSTOM	: <i>Empresas.</i>
 INGENIERÍA	
<i>m.s.n.m.</i>	: <i>Altitud en metros sobre el nivel del mar.</i>
<i>C.H.</i>	: <i>Central hidroeléctrica.</i>
<i>°C</i>	: <i>Grados centígrados.</i>

K	:	Grados kelvin.
$^{\circ}C/h$:	Velocidad de incremento de temperatura.
W, MW	:	Unidad de medida de potencia.
HZ	:	Frecuencia.
RPM	:	Revoluciones por minuto.
$X5CrNi13.4$ o $ASTM$ $A743 CA6NM$).	:	Acero inoxidable martensítico con 13% de cromo y 4% de níquel.
KWh	:	Unidad de medida de energía.
R_{aL}	:	Numero de Rayleigh.
Gr_L	:	Numero de Grashof.
P_r	:	Numero de Prandtl.
\bar{N}_{UL}	:	Numero de Nusselt.
g	:	Aceleración de la gravedad.
β	:	Coefficiente de expansión térmica volumétrica.
$T_{...}$:	Temperatura.
ΔT	:	Variación de temperatura.
ε	:	Emisividad.
ν	:	Viscosidad cinemática.
α	:	Difusividad térmica.
$A_{...}$:	Área.
P	:	Perímetro.
Φ_{max}	:	altura de cada cangilón.
h_{max}	:	Diámetro del rodete.
$h_{...}$:	Coefficiente convectivo.
h_r	:	Coefficiente de radiación del interior del horno.
$k_{...}$:	Coefficiente de conductividad.
$e_{...}$:	Espesor.
$m_{...}$:	Masa.
$Q_{...}, q_{...}$:	Flujo de calor.
$R_{...}$:	Resistencia térmica.
$M_{...}$:	Momento.
$I_{...}$:	Corriente.
$V_{...}$:	Tensión.
$W_{...}$:	Peso.
$C_{...}$:	Capacidad térmica.
S	:	Factor de forma.

C	:	Conductividad térmica.
C_P	:	Calor específico.
η	:	Eficiencia.
P	:	Potencia.
q_1, q_2	:	Carga distribuida.
R_A, R_b	:	Reacciones puntuales.
L	:	Longitud.
E	:	Módulo de elasticidad.
I_X	:	Momento de inercia.
σ	:	Esfuerzo máximo.
S_y	:	Límite de fluencia.
n	:	Coefficiente de seguridad.
SR	:	Relación de esbeltez.
K	:	Factor de fijación.
r	:	Radio de giro.
y	:	Elongación de la viga.
ω	:	Velocidad angular.
$D_{rodillo}$:	Diámetro del rodillo.
$V_{desplaz.}$:	Velocidad de desplazamiento.
N	:	Fuerza normal.
F_C	:	Factor de carga.
F_f	:	Fuerza de fricción.
μ_s	:	Coefficiente de fricción estática.
μ_K	:	Coefficiente de fricción dinámica.
T_{motor}	:	Torque del motor.
Vac	:	Tensión de corriente alterna.
ρ	:	Resistividad eléctrica.
C_t	:	Coefficiente de resistividad.
\mathcal{L}	:	Laplace.
T_S	:	Tiempo de establecimiento.
M_P	:	Máximo sobre impulso.
ω_n	:	Frecuencia natural.
Ln	:	Logaritmo natural.
\dot{E}_E, \dot{E}_S	:	Energía de entrada y salida.
A	:	Amperios.
V	:	Voltios.

RESUMEN

El proyecto de tesis desarrolla el diseño de un horno de tratamiento térmico hasta 700°C para turbinas Pelton de la central hidroeléctrica San Gabán II, el tipo de investigación es descriptiva y del tipo documental de campo. Debido al desgaste de las diferentes partes de la turbina Pelton como producto de la erosión y cavitación, cuyos efectos se evalúan utilizando ensayos no destructivos. Para su recuperación se realiza el proceso mediante el aporte de soldadura con el tipo de electrodo Chroma Weld 309 Mol. Este proceso produce acumulación de tensiones internas, que debe ser tratado térmicamente mediante un proceso de revenido, donde en la etapa de calentamiento se reducen las tensiones internas, en la etapa de permanencia aumenta la tenacidad y en la etapa de enfriamiento gana estabilidad dimensional. Para la ejecución de todo el proceso se ha seleccionado la alternativa de un horno eléctrico de solera móvil que es calentado mediante resistencias eléctricas 80Ni-20Cr. cuya conexión se realiza en estrella, controlado por un sistema Proporcional, Integral y Derivativo, diseñado por el método de lugar geométrico de raíces. Las dimensiones internas del horno de tratamiento térmico son 3.0 m. x 3.0 m. x 1.0 m, está conformado por capas de mantas de fibra de cerámica, lana de roca basáltica, recubrimiento con planchas de acero y solera móvil de ladrillo refractario. El diseño del horno consta de cálculos de temperaturas de trabajo, transferencia de calor, espesores para cada uno de los elementos que conforman el horno, y deformaciones según el tipo de carga, teniendo como resultado un rendimiento de 91.41 %, con una potencia de diseño de 62.29 KW, cumpliendo con las normas y estándares necesarios del diseño estructural DIN-ASME para el acero inoxidable tipo 13.4 (X5CrNi13.4 ó ASTM A743 CA6NM). Como una evaluación teórica final se efectúa un análisis técnico económico, que da como resultado un costo total de construcción de S/. 45,116.65, el proyecto es evaluado según cuadros de VAN y TIR.

Palabras claves: tratamiento térmico, turbina Pelton, central hidroeléctrica, control automático, San Gabán S.A.

ABSTRACT

The thesis project develops the design of a thermal treatment furnace up to 700 ° C for Pelton turbines of the San Gabán II hydroelectric power plant, the type of research is descriptive and the field documentary type. Due to the wear of different parts of the Pelton turbine as a result of erosion and cavitation, whose effects are evaluated using non-destructive tests. For its recovery, the process is carried out by welding with the Chroma Weld 309 Mol electrode type. This process produces accumulation of internal tensions, which must be thermally treated by an annealing process, where internal tensions are reduced in the heating stage, tenacity increases in the permanence stage, and dimensional stability is gained in the cooling stage. For the execution of the entire process, the alternative of a mobile hearth electric furnace that is heated by electrical resistors 80Ni-20Cr has been selected. whose connection is made in star, controlled by a Proportional, Integral and Derivative system, designed by the root locus method. The internal dimensions of the heat treatment furnace are 3.0 m. x 3.0 m x 1.0 m, is made up of layers of ceramic fiber blankets, basaltic rock wool, steel plate coating and refractory brick mobile hearth. The design of the furnace consists of calculations of working temperatures, heat transfer, thickness for each of the elements that make up the furnace, and deformations according to the type of load, resulting in a yield of 91.41%, with a design power of 62.29 KW, complying with the norms and necessary standards of structural design DIN-ASME for stainless steel type 13.4 (X5CrNi13.4 or ASTM A743 CA6NM). As a final theoretical evaluation, a technical-economic analysis is carried out, which results in a total construction cost of S /. 45,116.65, the project is evaluated according to VAN and TIR tables.

Keywords: heat treatment, pelton turbine, hydroelectric power station, automatic control, San Gaban S.A.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

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. También dentro del territorio nacional se encuentran otras empresas como es el caso de METAM, etc. Tomando en cuenta las reparaciones realizadas desde el funcionamiento de la central eléctrica hasta la fecha, los costos de reparación y transporte son de consideración elevada. El problema principal que presentan la turbinas es el desgaste por efecto de la erosión y la cavitación, en la última adquisición de los rodets R-116829701A y R-16829701B el periodo de operación se inició el 25 de julio del 2015 y uno de ellos salió de operación por excesiva erosión y

cavitación en marzo del 2017. en la central hidroeléctrica se realizan reparaciones de los cangilones con un relleno con soldadura en las zonas afectadas, pero no se hace un tratamiento térmico, ya que la soldadura produce una acumulación de tensiones internas que pueden ocasionar daños aún mayores en los cangilones.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

¿Cómo influirá el diseño de un horno de tratamiento térmico hasta 700°C en el mantenimiento y reparación de turbinas Pelton de la C.H. San Gabán II?

1.2.1 PROBLEMA ESPECÍFICOS

- a) ¿Cuál será la capacidad volumétrica, forma, materiales, temperaturas, pérdidas de calor, rendimiento, potencia y tiempo de carga para garantizar el funcionamiento del horno de tratamiento térmico hasta 700°C.
- b) ¿Cómo será el modelo matemático del horno circuitos de control y potencia en un sistema de control automático PID?
- c) ¿Cuál será el costo total y será posible la construcción del horno según cuadros de evaluación VAN y TIR efectuados en un estudio técnico económico?

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Las industrias alrededor del mundo entero crecen a medida que pasa el tiempo en lo cual 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 San Gabán II, que es una empresa de generación de energía eléctrica, dedicada en su rubro cubre un porcentaje de la demanda de energía a nivel nacional prioritariamente en el sur peruano, 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 mediante el área de mantenimiento en la actualidad es el mejoramiento en los procesos de reconstrucción de los cangilones de la turbina Pelton, por este motivo es de interés de la empresa la implementación de un horno para tratamiento térmico del rodete con tecnología avanzada, ya que debido al desgaste producto de la erosión y cavitación, se realiza el proceso de recuperación mediante el aporte de soldadura y esto produce acumulación de tensiones internas, este rodete de tamaño considerable es una de las partes más importantes de la hidroeléctrica. La necesidad de diseñar un horno para el rodete cuya función es mejorar las propiedades físicas del mismo y lo que es mejor que asegure un bajo costo en el mantenimiento y reparación del rodete prolongando la vida útil del mismo, lo que implica el aprovechamiento de los recursos de la empresa y el ahorro significativo para la misma, puesto que se evita la importación de equipos costosos, elimina la prestación de servicios de tratamiento con otras entidades, optimiza tiempos de reparación, incrementa la confiabilidad en la generación de energía eléctrica y a la vez apoya a la investigación en el país dentro del campo académico, así mismo dotar de conocimientos a los nuevos estudiantes interesados en el tema.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un horno de tratamiento térmico hasta 700°C para turbinas Pelton de la central hidroeléctrica San Gabán II.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar la capacidad volumétrica, forma, materiales, temperaturas, pérdidas de calor, rendimiento, potencia y tiempo de carga cumpliendo con las normas y estándares necesarios, para garantizar el funcionamiento del horno de tratamiento térmico hasta 700°C.
- b) Determinar el modelo matemático del horno, circuitos de control y potencia en un sistema de control automático PID.
- c) Efectuar un estudio técnico económico según cuadros de evaluación VAN y TIR, costos directos, indirectos y totales para su posibilidad de la construcción del horno.

1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

Se diseñará un horno de tratamiento térmico hasta 700°C para turbinas Pelton de la Central Hidroeléctrica San Gabán II.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a) La capacidad volumétrica, forma, materiales, temperaturas, pérdidas de calor, rendimiento, potencia y tiempo de carga garantizará el funcionamiento del horno de tratamiento térmico hasta 700°C.
- b) El modelo matemático del horno, circuitos de control y potencia en un sistema de control automático PID, para garantizar la operación segura del horno.
- c) El estudio técnico económico permitirá optimizar recursos según cuadros de evaluación VAN y TIR.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Entre 1928 y 1930 se empezó a darle gran importancia a la cinética de las transformaciones de fase, es decir, al estudio de las transformaciones de fase durante el proceso de solidificación. Esto permitió establecer el mecanismo de las transformaciones y elaborar la teoría y los problemas prácticos del tratamiento térmico del acero. (Luna Álvarez, 2005). La Central Hidroeléctrica San Gabán II, viene entregando energía eléctrica al SEIN desde 1999 y a través de los años los rodetes de las turbinas hidráulicas empleadas en la generación eléctrica, han estado y siguen siendo sometidos a un continuo desgaste producido por el permanente contacto con el agua que impulsa su rotación, produciéndose dos fenómenos principales, la erosión y cavitación, que son los primordiales problemas para el desgaste del rodete.

En el año 2005 San Gabán S.A. suscribe un contrato de reparación integral de dos rodetes Pelton R-13075 y R-12856, con 69567 y 74527 horas de operación respectivamente, con mecánica tamariz S.R. LTDA por USD 159,999.00 (Ciento Cincuenta y nueve Mil Novecientos noventa y nueve con 00/100 Dólares de los Estados

Unidos de América) incluidos los impuestos de ley. Y una segunda reparación mediante un convenio de cooperación técnica interinstitucional con EGEMSA por S/. 408,301.53 (Cuatrocientos Ocho Mil Trescientos Uno con 53/100 Nuevos Soles) incluido IGV, con un Servicio de traslado de Rodete Pelton desde las instalaciones de la C.H. San Gabán hasta el Taller de la Empresa EGEMSA de la ciudad del Cusco por el monto de S/. 8 024.00 (Ocho Mil Veinticuatro con 00/100 Nuevos Soles). También habiendo reparaciones de los rodets R-13124 y R-13014 a las 38893 y 73150 horas de operación.

En el año 2015 San Gabán S.A. suscribe un contrato de Adquisición de dos (02) Rodetes Pelton para La Central San Gabán II, Por USD 1'177,919.40 (un millón ciento setenta mil setecientos setenta y siete dólares americanos con 40/100) correspondiente a la importación del suministro y servicios locales realizada por ANDRITZ HYDRO AG (Suiza) & ANDRITZ HYDRO S.A. (Perú). Los rodets R-116829701A y R-16829701B el periodo de operación se inició el 25 de julio del 2015 y por problemas que aún se investigan uno de ellos salió de operación por excesiva cavitación en marzo del 2017. Se ha verificado que la reparación, tratamiento y compra con entidades dentro y fuera del país implica inversiones de consideración. Para lo cual se requiere de un horno con las dimensiones de la pieza a tratarse y con un diseño de control de temperatura preciso.

En la actualidad la central hidroeléctrica San Gabán II, cuenta con un horno pequeño que es empleado para tratamiento térmico de partes pequeñas. 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 martensítico del tipo 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 San Gabán II es una empresa de generación eléctrica por lo tanto 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 tiene como referencia el manual de operación y mantenimiento del fabricante como es el caso de las empresas ALSTOM y ANDRITZ Hydro. Donde indica que 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 A743 CA6NM).
- ✎ El horno de tratamiento térmico debe poseer control digital de temperaturas, un ventilador para uniformizar la temperatura dentro del horno. El rodete debe ser colocado en posición horizontal en el interior del horno, donde todo el peso este apoyado en la llanta del rodete, permaneciendo las cucharas en el aire. Una vez apoyado perfectamente el rodete en la llanta, en la base del horno, se debe colocar apoyos en las 22 cucharas de modo que estas no se encuentren colgadas en el aire, para esto se deben colocar platinas de distintos espesores de modo que cada cuchara este perfectamente apoyada.
- ✎ Se debe colocar sondas de medición de temperatura en cuatro zonas como mínimo, siendo estas las siguientes partes del rodete:
 - ☞ Una sonda de medición de temperatura en la zona más gruesa del rodete, es decir en la llanta.
 - ☞ Una sonda de medición de temperatura en la zona más delgada del rodete, es decir en la cuchara cerca al diámetro exterior.

- ☞ Una sonda de temperatura en una parte de espesor intermedio del rodete, es decir en la parte posterior de una cuchara. La sonda colocada en esta parte debe ser la temperatura patrón de la curva del tratamiento térmico.
 - ☞ Estas tres sondas de medición de temperatura deben colocarse distribuidas en tres cucharas de modo que entre ellas exista 120° sexagesimales.
 - ☞ Una sonda de medición de temperatura en la zona más delgada del rodete, similar a la anterior, pero en una cuchara ubicada a 180° de la anterior.
- ☞ El procedimiento del tratamiento térmico del rodete debe ser el siguiente:

Velocidad de Calentamiento : $50^\circ\text{C} / \text{h}$.

Temperatura de alivio : 600°C .

Permanencia a la temperatura de alivio : *min. 2 horas.*

Velocidad de enfriamiento hasta los 200°C : *menor de $50^\circ\text{C} / \text{h}$.*

A temperatura menor a 200°C , se debe abrir el horno o las escotillas del horno y se deja enfriar en aire calmado hasta la temperatura ambiente. El rodete se debe retirar del horno cuando esté por debajo de los 50°C .

2.2 SUSTENTO TEÓRICO

2.2.1 SISTEMAS DE MANTENIMIENTO

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

- ☞ Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- ☞ Disminución de los costos de reparación y mantenimiento.
- ☞ Optimización de los recursos humanos.
- ☞ Maximización de la vida útil de la máquina.

La planificación del mantenimiento en la central hidroeléctrica San Gabán II, se consolida anualmente, mediante el programa anual de mantenimiento, que contienen

todos los mantenimientos preventivos y predictivos recomendados por el fabricante. No obstante, existe una reunión semanal de mantenimiento, en donde se planifican las actividades específicas que se desarrollarán durante la semana, incluyen actividades de:

✎ **Mantenimiento predictivo:** Conjunto de actividades programadas para detectar las fallas de los activos físicos, por relevación antes de que sucedan, con los equipos en operación y sin perjuicio de la producción, usando aparatos de diagnóstico y pruebas no destructivas.

✎ **Mantenimiento preventivo:** Acciones sobre revisiones, modificaciones y mejoras dirigidas a evitar averías y las consecuencias de estas en la producción.

Las actividades de mantenimiento preventivo, contenidas en el programa anual de mantenimiento, se han estructurado de la siguiente forma:

Tipo de Plan	Frecuencia	Actividades
0	7 a 9 días	Inspecciones, limpieza externa y monitoreo de temperaturas en general.
1	30 a 60 días	Inspecciones, limpieza interna, ajustes mecánicos, lectura de corrientes y voltajes. En los grupos generadores involucra parada de unidad.
1C	90 a 180 días	Engrases y lubricaciones, limpieza interior, cambio de componentes básicos entre otros.
2	09 a 18 meses	Mantenimiento mayor, incluye: mediciones, evaluaciones de desgaste, mediciones y evaluaciones de aislamientos, limpieza general, cambio de componentes mayores, entre otros.

Tabla 1: Planes de mantenimiento de la C.H.S.G.II

Fuente: San Gabán S.A.

✎ **Mantenimiento correctivo:** Conjunto de actividades realizadas tras el fallo de un bien o el deterioro de su función, conjunto de actividades desarrolladas en los sistemas, equipos, máquinas, instalaciones o edificios, cuando a causa de una falla, se requiere recuperar su función principal. Como su nombre lo indica, las acciones de mantenimiento reaccionan a las fallas y se ejecutan para corregirlas.

2.2.2 PRINCIPALES FALLAS QUE SE PRODUCEN EN LAS TURBINAS

2.2.2.1 Cavitación

Cuando el flujo de un fluido es tal que en ciertos puntos la presión es inferior a la tensión de vapor del fluido considerado, se produce una vaporización parcial. Si las burbujas de vapor así creadas son arrastradas por la corriente y llegan a una zona de presión más elevada, se resorben y hacen implosión. Tal resorción ocasiona un desplazamiento de las partículas del fluido circundante que se precipitan para rellenar el vacío así creado, produciéndose una especie de pequeño "martillo de agua". Se propaga la onda de sobrepresión consecutiva a este martillo de agua provocando la condensación de la burbuja siguiente, y así sucesivamente.

Esta forma de degradación de las paredes metálicas que se encuentra en las turbinas hidráulicas es denominada desgaste por cavitación.

Sumariamente, en lo que se refiere a la resistencia a la cavitación, para idéntica dureza, la estructura cúbica con caras centradas (austeníticos, cuproaluminio) ofrece una mejor resistencia que la estructura cúbica centrada (ferrítica). Pero la dureza (y por tanto la resistencia a la rotura) es preponderante sobre la resistencia a la cavitación.

En los rodets de acero inoxidable, la cavitación ocurre por lo general para saltos muy grandes o cuando los rodets se utilizan con velocidades específicas excesivas; puede igualmente ser inducida por leves imperfecciones de perfil (estrías de esmerilado, protuberancias, huecos, impactos, ...).

En general, el proceso de degradación es lo bastante lento para poder ser detectado y permitir una intervención eficaz durante las inspecciones periódicas normales. El deseo de evitar las soldaduras conducirá a restaurar sin tardar las partes erosionadas y sus alrededores por maquinado local, con muela o lima, seguido de un pulido.

La erosión por cavitación puede aparecer particularmente en los puntos siguientes:

- 1) Extradós de las puntas.
- 2) Extradós e intradós de los bordes de las escotaduras.
- 3) A ambos lados de las aristas medianas.
- 4) En el intradós en el fondo de los cangilones.

Cuando la cavitación en estas zonas es profunda, puede ser necesario rellenarlas por soldadura. Dado que las partes afectadas son zonas fuertemente solicitadas, el relleno se efectuará con metal homogéneo y será seguido de un tratamiento de eliminación de tensiones. Previamente a la soldadura, y como es usual cuando se quiere rellenar las zonas erosionada por cavitación, es preciso remover por esmerilado todo residuo del metal.

Cuando las excavaciones se realicen total o parcialmente en las áreas solicitadas mencionadas, se procederá obligatoriamente a un tratamiento térmico de eliminación de tensiones. En el caso de reparación por soldadura, se efectuará sistemáticamente un examen por líquidos penetrantes y partículas magnéticas.



Figura 1: Cavitación de Cangilones en la turbina Pelton

Fuente: San Gabán S.A.

2.2.2.2 Erosión

La erosión por la arena lleva normalmente consigo.

- ✘ El rebaje y consiguiente mayor espesor de las aristas medianas y de las escotaduras.
- ✘ La reducción del espesor del cangilón, sobre todo en la región del fondo y en las paredes laterales intradós.
- ✘ El desgaste local en forma de golpes de gubia en la superficie del metal, en particular en el fondo y en las paredes laterales intradós.

El reacondicionamiento de un rodete desgastado por la arena dependerá del grado de desgaste, pudiendo diferenciarse dos niveles:

- 1) Un desgaste relativamente reducido (después de uno o varios periodos de operación).

El reacondicionamiento se realizará en este caso por:

- a) El adelgazamiento (para restablecer la forma original) y la regularización por esmerilado de las aristas medianas y de las escotaduras, admitiéndose cierto rebaje de éstas, pero respetando los ángulos originales.
 - b) La regularización con muela de todo el intradós. Se eliminarán los golpes locales de gubia mediante una excavación unida al resto del perfil en las áreas solicitadas y por una soldadura local en el resto del cangilón.
- 2) Un fuerte desgaste (después de uno o varios periodos de operación)
 - a) El rebaje de las aristas medianas y de las escotaduras puede ser importante, siendo a veces necesario rellenarlas por soldadura. El acero de aportación será con preferencia de un grado y una dureza análogos a los del metal de base.

- b) El fondo y la parte trasera del cangilón, cuando estén fuertemente desgastados, pueden naturalmente restaurarse por esmerilado uniformizando el conjunto de la superficie, pero este trabajo ya no es posible cuando el espesor restante es demasiado reducido, pues se corre el riesgo de que las tensiones mecánicas lleguen a ser excesivas.

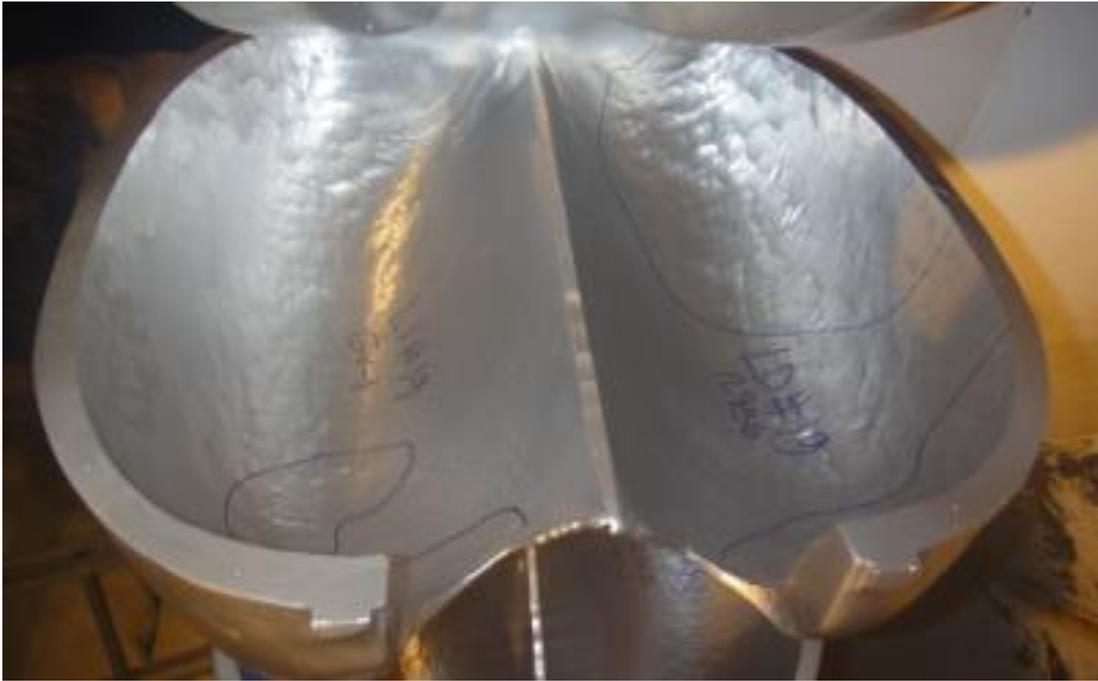


Figura 2: Erosión de cangilones en la turbina Pelton

Fuente: San Gabán S.A.

2.2.3 NORMAS PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE TURBINAS PELTON

Las especificaciones técnicas para la reparación de los elementos o partes de las turbinas deberán seguirse de acuerdo a lo indicado por los diseñadores y manuales respectivos, en conformidad con las siguientes normativas correspondientes:

- ✘ **A.S.T.M.:** *American Society for Testing and Materials.*
- ✘ **A.S.M.E:** *American Society of Mechanical Engineers.*
- ✘ **A.N.S.I.:** *American National Standards Institute.*
- ✘ **D.I.N.:** *Deutsches Institut für Normung.*
- ✘ **A.I.S.I.:** *American Iron and Steel Institute.*

- ✎ **S.A.E.:** *Society of Automotive Engineers.*
- ✎ **I.S.O.:** *International Organization for Standardization.*
- ✎ **A.W.S.:** *American Welding Society.*
- ✎ **A.G.M.A.:** *American Gears Manufacturers Association.*
- ✎ **A.I.S.C.:** *American Institute of Steel Construction.*
- ✎ **I.E.C.:** *International Electrotechnical Commission.*

2.2.4 PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE TURBINAS PELTON

Se describe el procedimiento de reparación de los principales procesos, sin ser limitativo, para el cumplimiento cabal de la reparación:

2.2.4.1 Pesaje del rodete

Es necesario determinar el peso del rodete para poder cuantificar el desgaste del rodete durante el funcionamiento o durante los procesos de reparación, por lo tanto, se recomienda pesar el rodete en las siguientes ocasiones:

- ✎ Antes de iniciar la reparación.
- ✎ Después de culminado el proceso de soldadura.
- ✎ Al iniciar la reparación y al final de la aplicación de la soldadura.
- ✎ Cuando se culmine la reparación

2.2.4.2 Control dimensional total del rodete

Cuando se va a iniciar la reparación de un rodete Pelton, aparte de conocer el estado del rodete es necesario realizar un control dimensional total del rodete para conocer ya sea el grado de desgaste que sufrió durante el periodo de operación o ya sea para conocer las dimensiones con las que iniciará su nueva operación.

2.2.4.3 Control por líquidos penetrantes o por resudación

El control por líquidos penetrantes se debe realizar en todas las superficies interiores de todas las cucharas del rodete a reparar. Todos los defectos detectados deben

ser marcados y esmerilados con piedra de amolar. Comprobar nuevamente con líquidos penetrantes para observar si el defecto persiste y esmerilar hasta comprobar que éste ya desapareció. Todos los defectos detectados en esta etapa, serán reparados con aporte de soldadura, en el momento en que se realice el proceso de soldadura a todo el rodete.

2.2.4.4 Control por partículas magnéticas

El control por partículas magnéticas debe realizarse en la zona del cuello de las cucharas y en la zona de la embocadura, para detectar defectos internos. Todos los defectos detectados con el control por partículas magnéticas deben ser marcados y esmerilados con una lima rotativa, comprobar nuevamente con líquidos penetrantes para observar si el defecto persiste, y esmerilar hasta comprobar que este ya desapareció. Todos los defectos detectados en esta etapa, serán reparados con aporte de soldadura, en el momento en que se realice el proceso de soldadura a todo el rodete.

2.2.4.5 Diagnóstico del estado del rodete

Los datos obtenidos en los controles iniciales nos permitirán determinar cuál es el estado del rodete, como grado de desgaste, si presenta o no fisuras, porosidades, desgastes profundos o puntuales, con el cual se determina el estado del mismo.

2.2.4.6 Soldadura de aporte

Para la realización de los trabajos de soldadura, en primer lugar, es necesario conocer cuál es el espesor de aporte de soldadura a aplicar en cada zona, para lo cual se debe tomar medidas de estos espesores y transferirlos a un formato, el cual debe ser la guía para el soldador, al momento de la aplicación de soldadura.

🔧 Materiales y equipos para relleno con soldadura

- a) **Soldadura arco Manual:** Se realizará mediante electrodo y su uso es el más generalizado, para hacer relleno, por la capacidad de depositar mayor material de aporte.

- b) Soldadura Tig:** De reducida capacidad de aporte y su uso se limita a rellenado de pequeñas cavitaciones y la reparación del divisor de flujo en sitio en el rodete Pelton.

✎ *Especificaciones técnicas para el material base*

Las piezas hidromecánicas casi en su totalidad fueron fundidas en una sola pieza, con un material de acero inoxidable Cr-Ni el más empleado en hidro-generación eléctrica. Esta combinación de cromo-níquel acero fundido, de gran pureza de aleación se caracteriza sobre todo por su gran resistencia a la corrosión y al desgaste, así como por su soldabilidad y grandes propiedades de imantación, necesarias para las pruebas de partículas magnéticas, su dureza promedio se encuentra entre 270 HB-310HB, (*Dureza Brinell se mide en Kp/mm^2*).

PAIS	NORMA	DENOMINACION
República Federal de Alemania	DIN	Nº material: 1,4313 X4CrNi13 4 G-X5 CrNi13 4
Francia	AFNOR	Z4 CND 13,4M Z8 CD 17-01
Gran Bretaña	B.S.	425 C11 425 C12
Italia	UNI	GX6CrNi13 04
Japón	JIS	SCS 5 SCS6
Suecia	SS	2385
Estados Unidos	ASTM/SAE	A743 CA 6-NM

Tabla 2: Comparación de normas internacionales para el acero inoxidable CrNi 13.4

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2439/1/85T00216.pdf>

Los electrodos dependen de la composición química del material base a ser reparado, y teniendo en cuenta que cada empresa distribuidora y productora de electrodos les designan su propio código de fabricación, nombre y logo.

ELEMENTO HIDROMECAÁNICO	MATERIAL	ELECTRODO
Rodete Pelton	DIN 17445 GX5 13-4 CrNi	Chroma Weld309 MOL
Aguja	DIN 17445 GX5 13-4 CrNi	Chroma Weld309 MOL
Asientos	DIN 17445 GX5 13-4 CrNi	Chroma Weld309 MOL

Tabla 3: Selección de electrodos según su composición química

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2439/1/85T00216.pdf>

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ELECTRODOS Weld	
Carbono - C	0,07%
Manganeso - Mn	0,80%
Silicio - Si	0,40%
Cromo - Cr	13,00%
Níquel - Ni	4,20%
Molibdeno - Mo	0,70%

Tabla 4: Elementos químicos constitutivos del electrodo Weld 309 mol

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2439/1/85T00216.pdf>

2.2.4.7 Reparación de fisuras y porosidades

Si en los controles iniciales realizados se hubieran detectado fisuras y/o porosidades, estos deben ser previamente reparados.

2.2.4.8 Esmerilado de la superficie interior de las cucharas

En las zonas donde se aplique la soldadura, se deberá observar si las superficies presentan irregularidades. Si estas son bastante pronunciadas, deberá realizarse un esmerilado para uniformizar la superficie y permita que el aporte de soldadura se aplique de forma que no presente defectos. Este esmerilado se deberá realizar solo en las zonas donde se aplique soldadura. La superficie exterior de las cucharas normalmente no presenta ningún tipo de desgaste o, en algunos casos, éstos son muy leves, por lo que no requieren que se esmerilen.

2.2.4.9 Soldadura de las zonas exteriores de las cucharas

Esta zona de las cucharas se debe soldar para reforzar y lograr una rigidez de la cuchara y evitar que se siga disminuyendo los espesores finales, es necesario reforzar la parte exterior de las cucharas.

2.2.4.10 Soldadura de la parte exterior de la embocadura

Cuando se suelda los refuerzos se hace por la parte posterior de la cuchara y es posible reforzar también la parte posterior de la embocadura; debe cuidarse la mejor limpieza de la soldadura, pues esta zona es muy delicada por ser delgada y por los esfuerzos aplicados en ellas.

2.2.4.11 Soldadura de la parte interior de la cuchara

En esta parte se suelda en plano y cualquier poro es fácilmente atrapado por el cordón superior. Debe primero rellenarse hasta conseguir la altura adecuada en los planos, esto servirá de base para continuar con las plantillas de los mismos planos por lo que no debe excederse demasiado.

2.2.4.12 Soldadura de la parte interior de la embocadura

Se debe continuar con la soldadura de la parte interior de la embocadura, el área de aporte debe ser aproximadamente 240 a 250 cm², por cada lado de cada cuchara, el espesor a aplicar dependerá de acuerdo a lo determinado líneas arriba.

2.2.4.13 Soldadura de la parte del filo de ataque

El filo de ataque se levanta desde abajo y sube con los cordones circulares de aporte, la que deberá realizarse con proceso semiautomático o proceso MIG, haciendo uso de alambre sólido del tipo CrNi 13.4 de 1.2 mm. de diámetro.

2.2.4.14 Tratamiento térmico del rodete

En la reparación de un rodete Pelton, el aporte de soldadura es bastante grande, lo que genera tensiones internas dentro del rodete, por lo tanto, estas tensiones deben eliminarse, para lo cual debe realizarse un tratamiento térmico de distensión.

2.2.4.15 Maquinado del diámetro exterior y de la embocadura

En primer lugar, es necesario obtener el diámetro exterior del rodete luego ubicar el centro de las cucharas o la dirección del filo de ataque y el ancho de la embocadura, los cuales deben estar, perfectamente trazados con las dimensiones nominales exactas, Estos puntos sirven de apoyo o de guía para colocar las plantillas y ubicar los cortes de los planos, y de la exactitud de estos dependerá la exactitud de las dimensiones de toda la reparación a realizar en el rodete.

2.2.4.16 Esmerilado del rodete

Al culminar con todos los procedimientos anteriormente descritos, se debe proceder a la realización del esmerilado del rodete, para lo cual se debe seguir los siguientes pasos.

2.2.4.17 Esmerilado de la parte exterior del lado derecho de las cucharas

Se debe empezar el esmerilado de las cucharas por la parte exterior, es decir por la soldadura aplicada. Marcar la dirección según planos, con plumón indeleble. Se debe esmerilar hasta lograr una rugosidad gruesa, haciendo uso de piedras de grano 40.

2.2.4.18 Esmerilado del filo de ataque

Se debe continuar con el esmerilado del filo de ataque del lado derecho de las cucharas, en la misma posición horizontal en que se encuentra el rodete, porque se debe realizar la mínima cantidad de maniobras posible del rodete. Se debe esmerilar hasta lograr una rugosidad gruesa, haciendo uso de piedras de grano 36.

2.2.4.19 Esmerilado de la superficie interior del lado izquierdo de las cucharas

Se debe continuar con el esmerilado del perfil interior de las cucharas del lado izquierdo, es decir la parte que se encuentra hacia arriba, siempre en la posición horizontal en que se encuentra el rodete desde el inicio del esmerilado. Se debe esmerilar hasta lograr una rugosidad gruesa, haciendo uso de piedras de grano 40.

2.2.4.20 Esmerilado de la parte exterior del lado izquierdo de las cucharas

Una vez culminado con el esmerilado de las partes ya descritas, se debe proceder a esmerilar el lado exterior izquierdo de las cucharas. Se debe iniciar con el esmerilado por la parte exterior de las cucharas. Se debe continuar con el esmerilado del filo de ataque por el lado izquierdo de las cucharas y finalizar con él con el esmerilado de la superficie interior de las cucharas del lado derecho.

2.2.4.21 Controles de esmerilado

Una vez concluido con el esmerilado sin el pulido respectivo, se debe proceder a realizar un control del esmerilado, esto con el objeto principalmente de realizar un control dimensional, es decir determinar si existen partes que falta material, o aun si existen zonas

donde falta el esmerilado. Se debe realizar los controles haciendo uso de las plantillas para determinar si las tolerancias se encuentran dentro de los permitidos. De encontrarse zonas o puntos donde existan defectos dimensionales, se debe proceder a repararlos sea con esmerilado o soldadura.

2.2.4.22 Corrección de los defectos detectados en el esmerilado

De acuerdo al control dimensional de esmerilado realizado, se debe corregir los defectos detectados. Estos defectos pueden ser:

- ✎ Falta de material por exceso de esmerilado o por soldadura insuficiente.
- ✎ Exceso de material por falta de esmerilado.

2.2.4.23 Acabado final de las superficies de las cucharas

Concluido con el esmerilado de todas las cucharas en forma gruesa, será necesario dar el acabado final, en esta etapa se corregirá las irregularidades que presentan las superficies. En esta etapa se realizará también el pulido de la totalidad de las superficies de las cucharas, para lo cual se utilizará ruedas flaps. El grado de acabado del pulido de las superficies será de N12.

2.2.4.24 Control por gammagrafía o radiografía industrial

El control por gammagrafía debe realizarse en la zona de la embocadura, a ambos lados de cada cuchara, para detectar defectos internos. Todos los defectos detectados con el control por gammagrafía deben ser marcados y esmerilados con una lima rotativa, comprobar nuevamente con líquidos penetrantes para observar si el defecto persiste, y esmerilar hasta comprobar que este ya desapareció. Todos los defectos detectados por gammagrafía en la zona de la embocadura, deben ser necesariamente reparados. En la zona de la embocadura deben realizarse el control por gammagrafía utilizando placas radiográficas de aproximadamente 7 cm. de ancho por 22 cm. de largo. Todos los defectos

detectados en esta etapa serán reparados con aporte de soldadura, en el momento en que se realice el proceso de soldadura a todo el rodete.

2.2.4.25 Control por ultrasonido

El control por ultrasonido debe realizarse de todas maneras en la zona del cuello de todas las cucharas, especialmente en la zona de la hendidura, para poder detectar defectos internos. Todos los defectos detectados con el control por ultrasonido deben ser marcados y esmerilados con una lima rotativa, o piedra esmeril hasta ubicar el defecto, comprobar con líquidos penetrantes para observar si el defecto persiste y esmerilar hasta comprobar que este ya desapareció. Todos los defectos detectados en esta etapa serán reparados con aporte de soldadura, en el momento en que se realice el proceso de soldadura a todo el rodete.

2.2.4.26 Desequilibrio máximo desbalance

El desequilibrio máximo permitido a los rodetes Pelton es la siguiente:

☞ Desequilibrio máximo = 0.232 m.Kg.

2.2.5 MÉTODOS PARA DETECTAR FALLAS EN LAS TURBINAS

Para determinar la magnitud de las fallas y desgastes presentes en las turbinas, se aplican las siguientes normas y métodos: (*Anexo B.1 y B.2*).

☞ Normativa aplicada

- ☞ **ASTM, Vol 03.03:** *American Society of Testing and Materials.*
- ☞ **ASME; Sección V – 2013:** *American Society of Mechanical Engineers.*
- ☞ **CCH 70 -3 – 1996:** *Specification for Inspection of steel castings for Hydraulic Machines.*

☞ Otras normas consideradas

- ☞ **ASTM E165:** *Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination.*
- ☞ **ASTM E1417:** *Standard practice for Liquid Penetrant Examination.*

- ☞ **IRAM 760:** *Ensayos no destructivos. Acero fundido. Examen por líquidos penetrantes.*
- ☞ **IRAM-CNEA Y 500 1001:** *Ensayos no destructivos. Inspección con líquidos penetrantes. Principios generales.*
- ☞ **IRAM-CNEA Y 500 1004:** *Ensayos no destructivos. Líquidos penetrantes. Calificación y evaluación de los productos para el ensayo.*

🔍 **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.

🔍 **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:

a) Partículas magnéticas fluorescentes

Aplicados en el cuello y pico de las cucharas para evaluar la continuidad del material y descartar existencia de defectos superficiales y subsuperficiales de encontrar discontinuidades tomar las medidas correctivas antes de su puesta en servicio. La descripción del procedimiento de inspección por partículas magnéticas se visualiza en el (Anexo B.I).

b) Tintes Penetrantes colorados

Aplicados en aerosol en zonas indicadas, consideradas como críticas por la norma o hayan tenido indicios de falla para evaluar continuidad superficial y

así descartar o verificar presencia de defectos superficiales tipo poros y/o fisuras. La descripción del procedimiento de inspección por tintes penetrantes colorados se visualiza en el (Anexo B.2).

2.2.6 TRATAMIENTO TÉRMICO

Una definición de tratamiento térmico (Metals Handbook) es: *“una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento, en tiempos determinados y aplicadas a un metal o aleación en el estado sólido en una forma tal que producirá propiedades deseadas”.*

El Tratamiento Térmico es una combinación de operaciones aplicadas a un metal o aleación solidificada, el proceso incluye el calentamiento de la muestra a una temperatura predefinida, permanencia a esta temperatura y posterior enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente; logrando así cambiar sus propiedades mecánicas, forma o estructura con el propósito de mejorar condiciones como dureza, resistencia y maleabilidad de las muestras sometidas al tratamiento a fin de obtener un óptimo desempeño en su utilización. (Avne,1988).

2.2.7 ETAPAS DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

Un tratamiento térmico consta de tres etapas que se presentan a continuación.

2.2.7.1 Calentamiento

El calentamiento puede ser de crecimiento constante y sostenido o de forma escalonada con tiempos de crecimiento y estabilización variables; la rapidez del calentamiento depende del tipo y tamaño de la muestra que se esté tratando, cambios de temperatura demasiado rápidos pueden ser peligrosos o dañinos en ciertas circunstancias, pero necesarios en otros casos; en tal sentido es importante tener la capacidad de controlar la rapidez del calentamiento y variarla en función del proceso. (Herrera & Vásquez, 2011).

2.2.7.2 Permanencia

La superficie de las muestras se calienta más rápidamente que su interior, hecho que obliga a la existencia del tiempo de permanencia para lograr que todo el material se caliente uniformemente; este tiempo depende del tipo de la muestra tratada y de la rapidez de calentamiento de la misma, en base a una relación directamente proporcional ya que a mayor rapidez de calentamiento mayor será el tiempo de permanencia.

2.2.7.3 Enfriamiento

El proceso de enfriamiento por su parte utiliza distintos medios en función del tipo de muestra y las propiedades deseadas en la misma, entre los mecanismos de mayor utilización para esta etapa se encuentran: aire, agua, salmuera (mezcla de agua y cloruro de sodio), salmuera con hielo, aceite, aire a presión y baño de sales.

A continuación, se muestra las etapas que conforman el tratamiento térmico, cada una de ellas tiene independencia y que sus variaciones se derivan los diferentes tipos de tratamientos térmicos, que pueden ser: recocido, normalizado, temple y revenido.

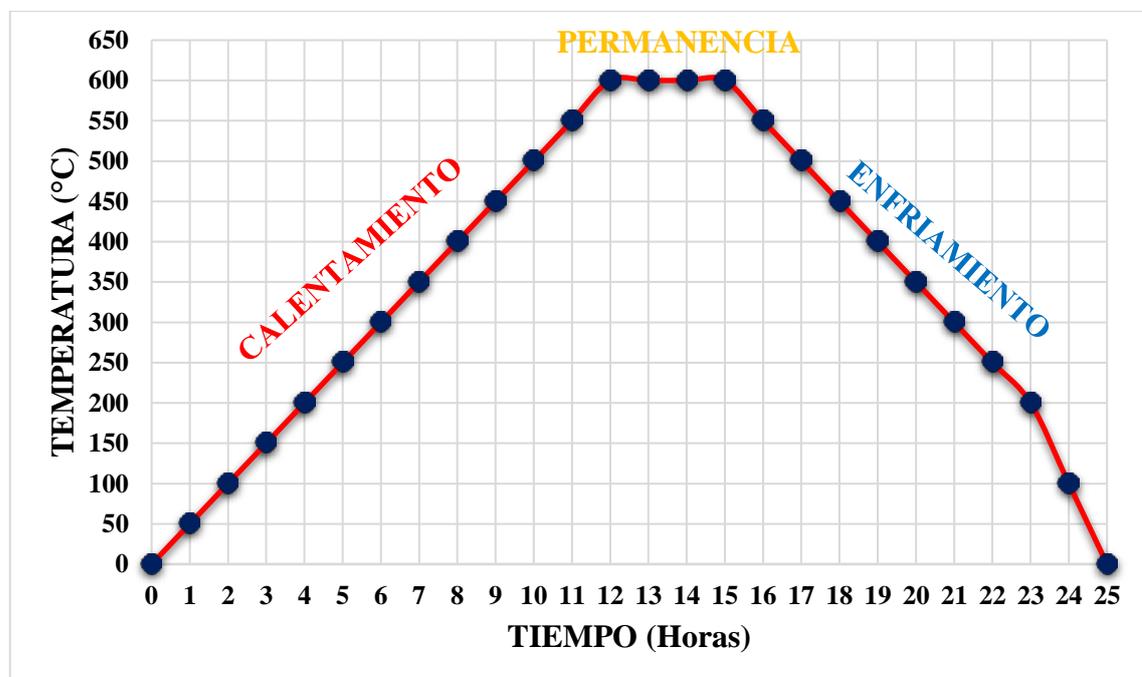


Figura 3: Representación gráfica del tratamiento térmico

Elaboración: Propia

2.2.8 TIPOS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

2.2.8.1 Recocido

El recocido es un tratamiento inicial que consiste en el calentamiento del material a la temperatura crítica superior que está entre 800 y 925°C, un posterior mantenimiento y finalmente un enfriamiento lento dentro del horno o usando algún material aislante del calor; el propósito del recocido es incrementar la ductilidad o elasticidad al reducir la resistencia mecánica y la dureza de los materiales.

Existen algunas alternativas o variantes del proceso de recocido, las mismas que se diferencian especialmente en la temperatura de calentamiento y el tiempo de enfriamiento, dando lugar a diferentes resultados y utilidades. (Torres, 2004).

2.2.8.2 Normalizado

El normalizado conocido también como perlitización es un tratamiento térmico intermedio previo al revenido o templado, aunque puede ser también un tratamiento final que se utiliza principalmente en muestras con un bajo porcentaje de carbono; se basa en el calentamiento entre 30 y 50°C por encima de la temperatura crítica superior (800 a 925°C), seguida de un tiempo de mantenimiento, para luego someterlo a un enfriamiento rápido logrado con la utilización de aire natural o forzado hasta alcanzar la temperatura ambiente; su propósito es mejorar la maquinabilidad, refinar el grano y homogenizar la estructura del material, obteniendo una mayor resistencia mecánica, para optimizar su respuesta en futuros procesos de endurecimiento. (Torres, 2004).

2.2.8.3 Temple o templado

Con el propósito de obtener la dureza y resistencia máximas del material tratado a pesar de sacrificar su ductilidad, se utiliza el temple como tratamiento térmico final; este procedimiento consiste en el calentamiento de la muestra hasta la temperatura crítica superior (800 a 925°C), después de lo cual se usa un tiempo de permanencia para lograr

que todo el material llegue a la temperatura deseada y finalmente se somete el material a un enfriamiento muy rápido y brusco que define la calidad del temple y se logra con la utilización de salmuera, agua, sales fundidas, aceite o aire. La dureza del material es dependiente de la cantidad de carbono que contenga, siendo en tal sentido un proceso principalmente aplicado a materiales con alto contenido de carbono. (Torres, 2004).

2.2.8.4 Revenido

El endurecimiento de los materiales tratados térmicamente limita su utilización debido a la fragilidad resultante de estos procesos, en tal sentido es necesario mejorar esta condición para obtener mayores aplicaciones prácticas de las muestras aliviando los esfuerzos internos a través del proceso de revenido, corrigiendo así la ductilidad del material sin eliminar la dureza producto del templado; este tratamiento térmico final puede ser bajo, medio o alto; consiste en el calentamiento del material endurecido en un rango entre 250 y 650°C, siendo esta etapa la que define la calidad del proceso; posteriormente se mantiene la muestra a la temperatura alcanzada y tras esta etapa se somete a un enfriamiento. (Torres, 2004). *En la etapa de calentamiento tiene como finalidad reducir las tensiones internas del material, y a alta temperatura tiene como finalidad aumentar la tenacidad del material, en la etapa de enfriamiento el material gana estabilidad dimensional.*

En el (*Anexo C*), podemos ver las temperaturas de calentamiento de algunos materiales y procesos.

El éxito del tratamiento térmico está relacionado con el correcto control de las etapas del proceso antes descritas y de la utilización de hornos que puedan cumplir estas exigencias; donde en ciencia de materiales, la tenacidad es la energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto, por acumulación de dislocaciones.

2.2.9 TIPOS DE HORNOS PARA TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Para escoger el horno, se considera el tamaño y forma de la pieza (tamaño del lote) y las temperaturas de tratamiento térmico del material. (Stanley Walas, 1990).

Se pueden clasificar a partir del proceso de calentamiento, la atmósfera o la solera.

2.2.9.1 Hornos de resistencia eléctrica

Es el más usado para hornos de tratamientos térmicos que trabaja según la Ley de Joule. La disposición de las resistencias da el nombre a los hornos, que son de tipo mufla o caja, la resistencia está instalada a lo largo de las paredes interiores en contacto con las paredes del horno. El material de la resistencia suele ser níquel - cromo (Níquel 70%, Cromo 30%), que alcanza temperaturas de 1100 °C, aleación de carburo de silicio (1300°C), molibdeno (1800°C), tungsteno (2500°C), grafito (2700°C), y para temperaturas superiores se utiliza los hornos de inducción (3000°C). (Estévez. 1998).



Figura 4: Horno de resistencia eléctrica

Fuente: <http://www.bautermic.com/productos/hornos-electricos-HE>

2.2.9.2 Hornos de inducción

Debido a que existen muchas variantes de hornos de inducción no es posible clasificarlos por la frecuencia de la corriente usada. Los hornos que trabajan a frecuencias superiores a los 500 ciclos por segundo tienen un baño en forma de crisol cilíndrico y no

llevan un núcleo de hierro. Últimamente se han construido muchos de este tipo que trabajan a 60 ciclos por segundo, es decir la frecuencia normal de las redes de suministro.

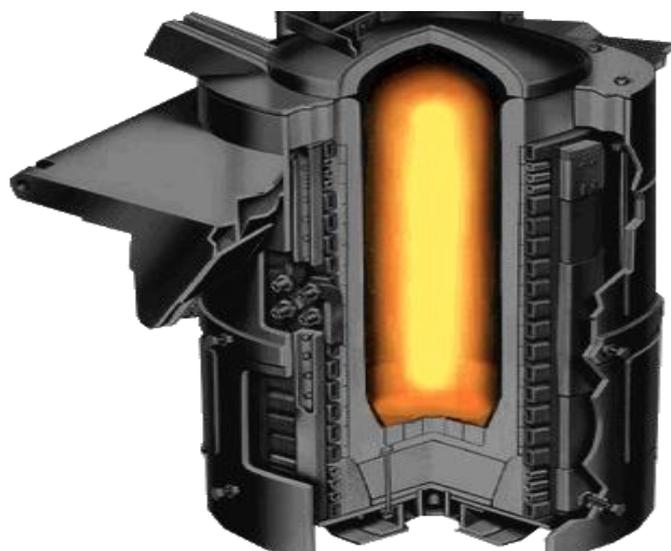


Figura 5: Horno de inducción

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Horno_de_inducci%C3%B3n#/media

2.2.9.3 Hornos de crisol (quemador a gas y quemador a diésel)

Los hornos de crisol con sales fundidas han sido largamente utilizados en tratamiento térmico de metales. Su principal ventaja radica en la rapidez de tratamiento, la uniformidad de temperaturas, la ausencia de oxidación y la facilidad de manejo.

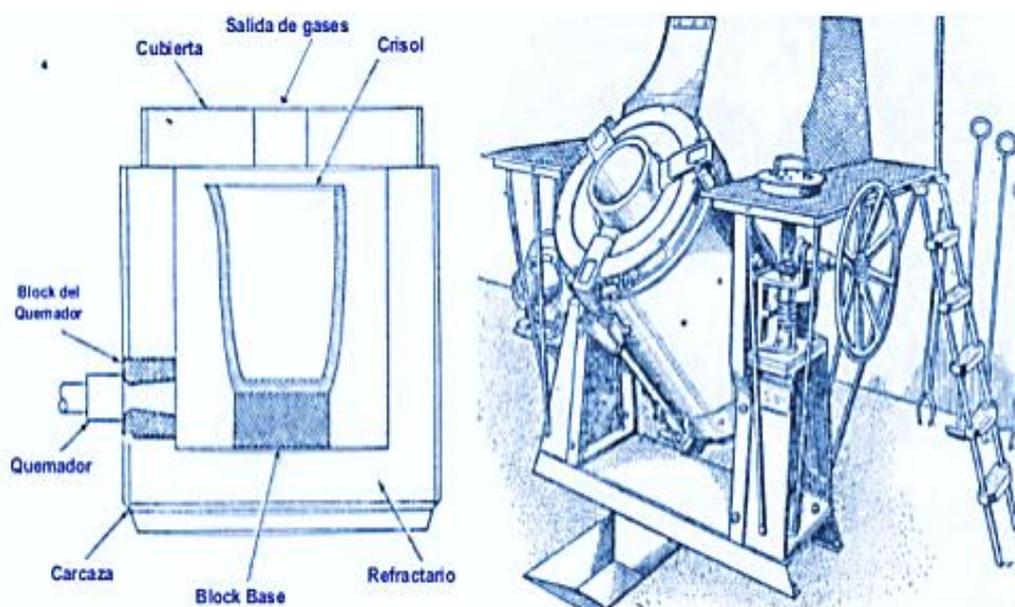


Figura 6: Horno de Crisol

Fuente: <https://es.slideshare.net/willingtonrodriguezmarinos/hornosyambiente>

2.2.9.4 Hornos según su atmósfera

Son hornos que dan importancia a la masa gaseosa encerrada dentro del horno que está en contacto con la pieza a tratar, las atmósferas pueden tener carácter neutro, oxidante o reductor. El papel desempeñado por la atmósfera controlada es doble, por una parte, evita que se produzcan reacciones perjudiciales como la oxidación y la descarbonización de las piezas. Por otra parte, permite realizar la reducción de óxidos superficiales. Son:

- ☒ horno de vacío.
- ☒ horno de atmosfera controlada.
- ☒ horno criogénico.

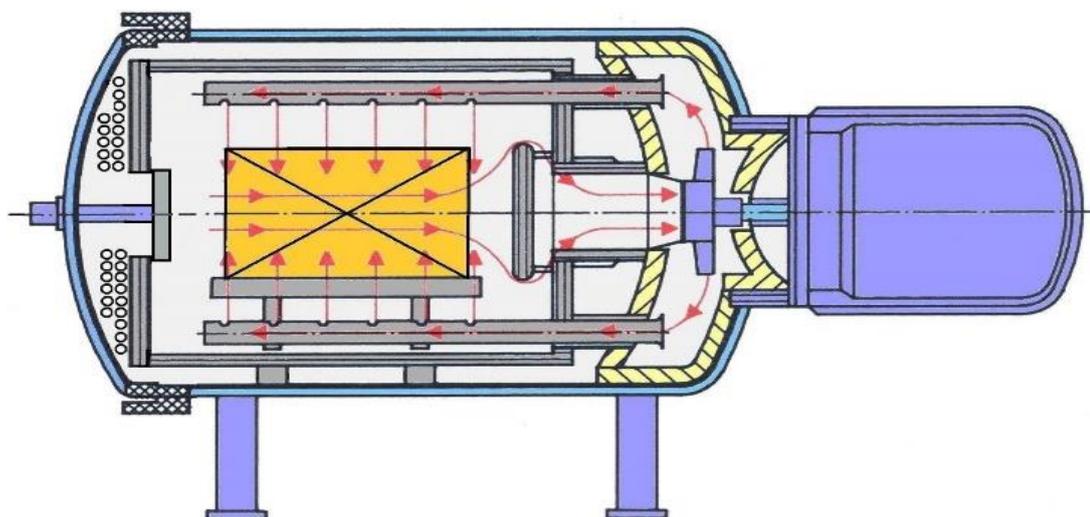


Figura 7: Horno de vacío

Fuente: <http://www.insertec.biz/es/hornos-industriales/hornos-tratamiento-termico>

2.2.10 HORNOS DE RESISTENCIA ELÉCTRICA

Los hornos de resistencia se definen como aquellos que utilizan el calor disipado por efecto Joule en una resistencia óhmica, la misma que puede estar constituida por la carga que se va a calentar (hornos de calentamiento directo) o por resistencias adecuadas independientes de la carga (hornos de calentamiento indirecto), por las cuales circula corriente eléctrica. En los hornos de calentamiento directo, el material se coloca entre dos electrodos (en contacto directo con ellos), ofreciendo una resistencia al paso de la

corriente, y calentándose. Aplicándose en la fabricación de electrodos de grafito, tratamiento térmico de metales y en hornos de sales para la cementación de aceros.

En los hornos de calentamiento indirecto, el material es calentado por radiación, por convección y/o por conducción mediante resistencias colocadas de forma adecuada. La carga a calentar y las resistencias se encuentran contenidas en una cámara aislada térmicamente por medio de materiales refractarios y aislantes.

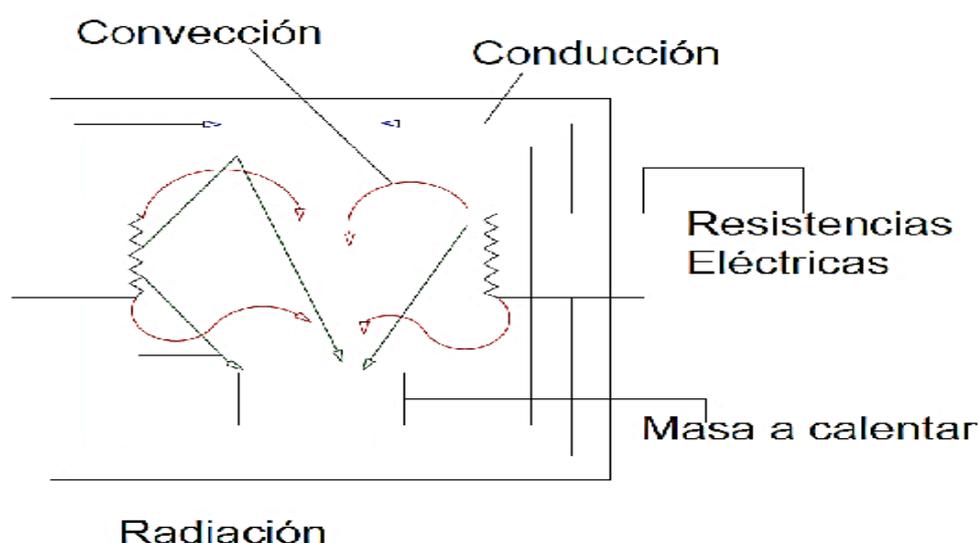


Figura 8: Esquema de funcionamiento de un horno de resistencias eléctricas

Fuente: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1398/1/15T00485.pdf>

a) Por conducción.

El calor absorbido por la superficie de la carga por radiación y/o convección pasa a su interior por conducción lo que exige un gradiente de temperatura, es decir, la temperatura en el centro de la carga será inferior a la de la superficie, no solamente durante el calentamiento (temperatura del horno mayor que la de la superficie de la carga), sino también durante una buena parte del mantenimiento a temperatura, hasta conseguir en la pieza la uniformidad de temperatura requerida.

b) Por convección

Si existe una diferencia de temperatura en el interior de un líquido o un gas, es

casi seguro que se producirá un movimiento del fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado.

En los hornos eléctricos de tratamientos térmicos de baja y media temperatura (hasta 750°C) es frecuente realizar el calentamiento de la carga mediante una corriente de aire o atmósfera controlada a elevada temperatura, que sede calor a la carga por convección.

c) **Por radiación.**

La radiación 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. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas.

Es frecuente afirmar que por encima de 700°C el mecanismo de transmisión de calor por convección no es importante, mientras que por debajo de 700°C se puede despreciar el mecanismo de radiación.

✎ **Selección de la mejor alternativa para el diseño del horno.**

De los tipos de hornos que se utilizan para los tratamientos térmicos se ha seleccionado el horno de tipo eléctrico, porque en comparación con el resto, éste presenta ventajas como: menor gasto de instalación, menor superficie ocupada, la limpieza, y gracias a la tecnología se lo puede controlar y regular con facilidad, con una mejor precisión, y lo más importante es que la central San Gabán II, es una generadora a base de fuente renovable. Según dónde se ubiquen las resistencias, los hornos pueden ser de calefacción por la parte inferior, superior, lateral o por un extremo.

Por el tipo de recinto podemos encontrar multitud de formas, las más importantes son:

- ☞ Hornos de solera.
- ☞ Hornos de balsa.

- ☞ Hornos de soleras múltiples.
- ☞ Hornos de solera giratoria.
- ☞ Hornos de solera móvil.
- ☞ Hornos de mufla.

☞ **Horno eléctrico de forma cuadrada con solera móvil.**

Se utiliza para procesos industriales que requieran un riguroso control de temperatura, durante lapso prolongado para partes o piezas de materiales expuestos a tratamiento térmico o calentamiento. Este diseño considera mantener la mayor parte del horno fijo, es decir techo y paredes, mientras que la solera y la puerta del horno son móviles. Para introducir la carga dentro del horno se debe desplazar la solera a través de rieles que encaminan hacia el interior del mismo, posteriormente se debe cerrar la puerta como se puede apreciar en la figura:



Figura 9: Horno eléctrico de solera móvil

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/nabertherm/product-16539-707213.html>

2.3 MODELOS MATEMÁTICOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En la transferencia de calor se consideran los mecanismos por los que fluye el calor son: conducción, convección y radiación. Las ecuaciones están escritas según el libro de fundamentos de transferencia de calor INCROPERA.

2.3.1 CONDUCCIÓN

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

$$qx'' = -K \frac{dT}{dx} \quad \dots (Ec. 1)$$

La gradiente de temperatura de acuerdo la transferencia unidimensional de calor por conducción, se puede expresar como:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \dots (Ec. 2)$$

Donde T_2 es la temperatura interior y T_1 es la temperatura exterior, Entonces el flujo de calor sería:

$$qx'' = -K \frac{T_2 - T_1}{L} = K \frac{T_1 - T_2}{L} = K \frac{\Delta T}{L} \quad \dots (Ec. 3)$$

2.3.2 CONVECCIÓN

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

$$q'' = h * (T_s + T_\infty) \quad \dots (Ec. 4)$$

Para la convección libre existen correlaciones empíricas desarrolladas para geometrías comunes inmersas las cuales son:

☞ Numero de Nusselt

Este parámetro proporciona una medida de la transferencia de calor por convección que ocurre en la superficie.

$$\bar{N}_{UL} = \frac{\bar{h} * L}{K} \quad \dots (Ec. 5)$$

Donde:

- ✎ \bar{N}_{UL} , es el número de Nusselt promedio.
- ✎ \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

Es el producto de los números de Grashof y Prandtl.

$$R_{aL} = Gr_L * Pr \quad \dots (Ec. 6)$$

✎ Número de Grashof

Indica la razón de las fuerzas de empuje a las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido.

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} \quad \dots (Ec. 7)$$

Donde:

- ✎ Gr_L , es el número de Grashof.
- ✎ g , es la aceleración de la gravedad.
- ✎ β , es el coeficiente de expansión térmica volumétrica (K^{-1}) que es igual a:

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad \dots (Ec. 8)$$

Donde:

- ✎ T_f , es la temperatura de película.

$$T_f = \frac{(T_s + T_\infty)}{2} \quad \dots (Ec. 9)$$

Donde:

☞ T_S , es la temperatura de la superficie limitante.

☞ T_∞ , es la temperatura del fluido en movimiento.

☞ Número de Prandtl

Es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica. Gracias a Ludwig Prandtl.

$$P_r = \frac{\nu}{\alpha} \quad \dots \text{(Ec. 10)}$$

Donde:

☞ ν , es la viscosidad cinemática de la superficie limitante.

☞ α , es la difusividad térmica del fluido.

Reemplazando las ecuaciones (7) y (10) en la ecuación (6) tenemos:

$$R_{aL} = Gr_L * P_r = \frac{g\beta(T_S - T_\infty)L^3}{\nu^2} * \frac{\nu}{\alpha}$$

$$R_{aL} = \frac{g\beta(T_S - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \quad \dots \text{(Ec. 11)}$$

La ecuación (11), se aplica tanto para placas verticales y horizontales.

☞ Número de Nusselt para placas verticales

Churchill y Chu recomienda las siguientes correlaciones para el Número de Nusselt en placas verticales.

☞ **Para flujo laminar**, cuando $R_{aL} \lesssim 10^9$.

$$\bar{N}_{UL} = 0.68 + \frac{0.670 * Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \quad \dots \text{(Ec. 12)}$$

☞ **Para flujo turbulento** la correlación es la siguiente.

$$\bar{N}_{UL} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/0.Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad \dots \text{(Ec. 13)}$$

☞ Número de Nusselt para placas horizontales

INCROPERA recomienda que se utilice la longitud característica que se define como:

$$L = \frac{A_S}{P} \quad \dots \text{(Ec. 14)}$$

Donde:

☞ A_S , es el área de la superficie.

☞ P , es el perímetro de la placa.

De estas correlaciones el número de Nusselt promedio son:

☞ **Para superficie superior de placa caliente o superficie interior de placa fría.**

$$\bar{N}_{UL} = 0.54 * Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \lesssim Ra_L \lesssim 10^7) \quad \dots \text{(Ec. 15)}$$

$$\bar{N}_{UL} = 0.15 * Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{11}) \quad \dots \text{(Ec. 16)}$$

☞ **Para superficie inferior de placa caliente o superficie superior de placa fría.**

$$\bar{N}_{UL} = 0.27 * Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{10}) \quad \dots \text{(Ec. 17)}$$

Para el cálculo del coeficiente de convección promedio, despejando la ecuación (5)

tenemos:

$$\bar{h} = \frac{\bar{N}_{UL} * k}{L} \quad \dots \text{(Ec. 18)}$$

2.3.3 RADIACIÓN

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 (W/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.

$$E_b = \sigma * T_S^4 \quad \dots \text{(Ec. 19)}$$

Donde:

☞ T_S , es la temperatura absoluta de la superficie.

☞ $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$, es la constante de Stefan Boltzmann.

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:

$$E = \varepsilon * \sigma * T_S^4 \quad \dots (Ec. 20)$$

Donde:

☞ ε , es la propiedad radiativa denominada emisividad, ($0 \leq \varepsilon \leq 1$).

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 α .

$$G_{abs} = \alpha * G \quad \dots (Ec. 21)$$

La velocidad neta de transferencia de calor por radiación desde la superficie, expresada por la unidad de área de la superficie, es:

$$q''_{rad} = \frac{q}{A} = \varepsilon \sigma (T_S^4 - T_{alr}^4) \quad \dots (Ec. 22)$$

Algunas veces es conveniente expresar el intercambio neto de calor por radiación de la forma:

$$q''_{rad} = h_r A (T_S - T_{alr}) \quad \dots (Ec. 23)$$

Donde:

☞ h_r , es el coeficiente de transferencia de calor por radiación

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_S - T_{alr}) (T_S^2 + T_{alr}^2) \quad \dots (Ec. 24)$$

Reemplazando la ecuación (24) en la ecuación (23), se tiene el valor de la ecuación (22), como se muestra anteriormente:

$$q''_{rad} = \varepsilon \sigma (T_S^4 - T_{alr}^4) \quad \dots (Ec. 25)$$

2.3.4 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

2.3.4.1 Control de lazo abierto

En este sistema no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada. En la práctica, el control en lazo abierto solo se usa si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay perturbaciones internas ni externas. (Ogata, 2010).

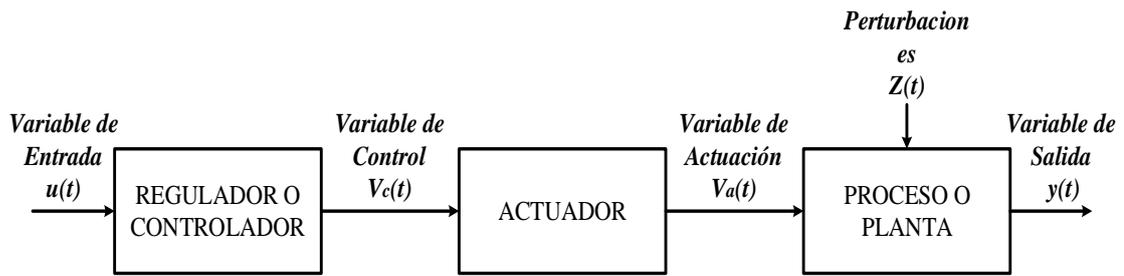


Figura 10: Sistema de control de lazo abierto

Elaboración: Propia

2.3.4.2 Control de lazo cerrado

En un sistema de control de lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentado para reducir el error del sistema. (Ogata, 2010).

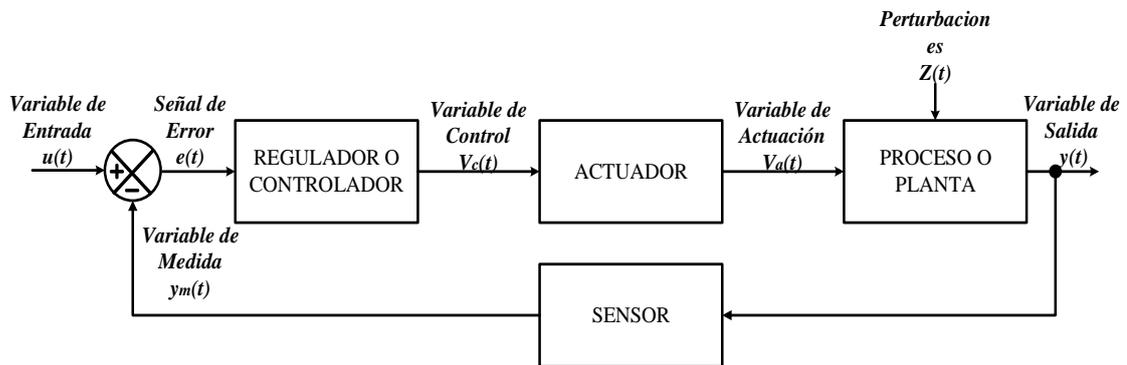


Figura 11: Sistema de control de lazo cerrado

Elaboración: Propia

2.3.4.3 Control On/Off

En un sistema de control de dos posiciones, el elemento de actuación solo tiene dos posiciones fijas, que, en muchos casos, son simplemente encendido y apagado. El control de dos posiciones o de encendido y apagado es relativamente simple y barato, razón por la cual su uso es extendido en sistemas de control, tanto industriales como domésticos. (Ogata, 2010).

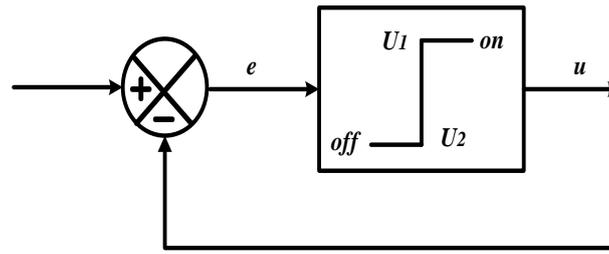


Figura 12: Sistema de control On/Off

Elaboración: Propia

2.3.4.4 Control PID

El control “PID” ofrece la capacidad de programar una determinada operación de modo que se realice en forma regular y coherente. El control PID tiene como fin específico, mantener la regularidad del proceso y compensar las perturbaciones externas. Este controlador combina control proporcional con dos ajustes adicionales, que ayuda a la unidad automáticamente a compensar los cambios en el sistema.

El sistema de control a utilizar es un controlador PID porque permiten un ajuste fino. Este ajuste, integral y derivativo, se expresan en unidades basadas en el tiempo. Los términos integral y derivativo se deben ajustar de manera individual mediante el método prueba y error. Son conocidos como autoajustables.

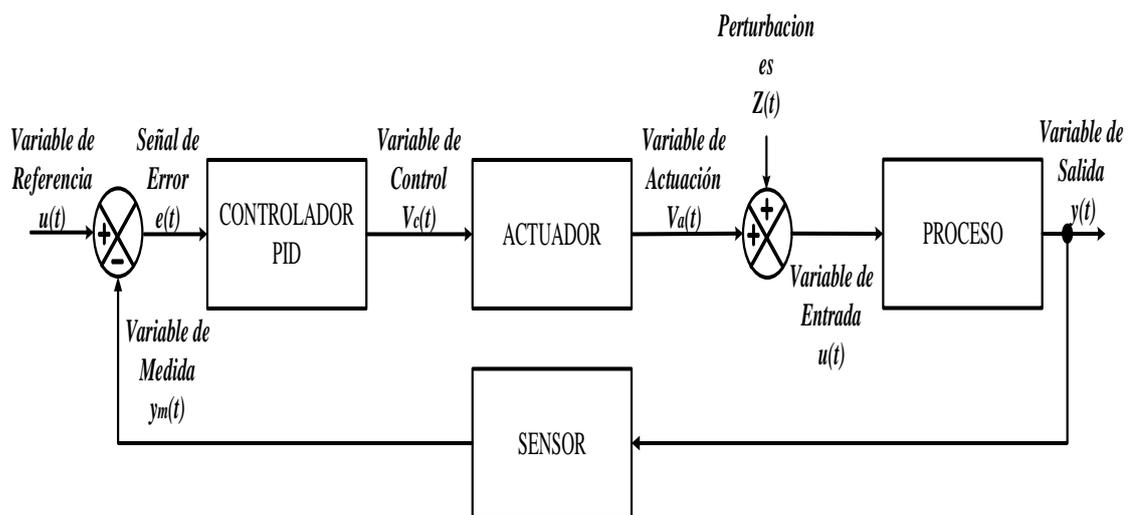


Figura 13: Sistema de control PID

Elaboración: Propia

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de tesis titulado “*diseño de un horno de tratamiento térmico hasta 700°C para turbinas Pelton de la central hidroeléctrica San Gabán II*” se encuentra enmarcado en una investigación descriptiva del tipo documental de campo.

En cuanto se refiere a la investigación documental porque consiste en “el estudio de problemas con el propósito de ampliar y profundizar el conocimiento de su naturaleza, con apoyo, principalmente en trabajos previos, información y datos divulgados por medios impresos, audiovisuales o electrónicos”.

La investigación de campo consiste en “el análisis sistémico de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, entender su naturaleza y factores constituyentes, explicar sus causas y efectos, o predecir su ocurrencia, haciendo uso de métodos característicos o en desarrollo. Los datos recogidos son tomados directamente de la realidad; en este sentido se trata de investigaciones a partir de datos originales o primarios”.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN

La población a beneficiarse en forma directa serán todos los trabajadores, empleados y funcionarios de la empresa y por la totalidad de los sujetos relacionados con el estudio que se realiza y que presentan por lo menos una característica en común de interés para todos, pues este horno de tratamiento térmico minimizara los tiempos de recuperación y aumentara sus ingresos económicos a la empresa.

La muestra no aplicará ningún tipo de muestreo, ya que la población a investigar es medible y está compuesta por el subgerente de producción, jefe de mantenimiento, operación y personal de mantenimiento de la central hidroeléctrica San Gabán II.

3.3 UBICACIÓN

El estudio del proyecto de diseño de un horno de tratamiento térmico para turbinas Pelton, tendrá como ámbito de estudio las instalaciones de la central hidroeléctrica San Gabán II, ubicado en los distritos de Ollachea, Ayapata y San Gabán de la provincia de Carabaya, departamento de Puno, a 290 Km. Al norte de la ciudad de Juliaca, la localización exacta ha de ser en el Lote N° 01, Chuani en la cual se encuentran el taller electromecánico y Lote N° 04, que comprende la casa de máquinas en caverna, de 29.8 m de altura, 51.05 m de longitud y 18.6 m de ancho.



Figura 14: Imagen panorámica Villa Residentes San Gabán S.A.

Fuente: Google Earth

3.4 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPAMIENTO GENERAL

Las características técnicas de los equipos primarios de la C.H. San Gabán II son las siguientes:

3.4.1.1 Grupos hidráulicos de la central hidroeléctrica

Número de unidades	02
Año de puesta en servicio	1999
Potencia instalada (central)	110 MW
Potencia efectiva (central)	115 MW (medida en bornes) - 2015
Tipo de enfriamiento	Aire
Cota del embalse regulador	2095.15 m.s.n.m.
Cota línea de eje del inyector	1416.00 m.s.n.m.
Caída nominal (de diseño)	657 m
Caída máxima	679 m

Tabla 5: Características de los grupos hidráulicos

Fuente: San Gabán S.A.

🔗 Generador eléctrico

Fabricante	ALSTOM
Potencia nominal	63.5 MVA
Corriente	2657 A
Tensión	13.8 KV
Frecuencia	60 Hz
Velocidad nominal	514.3 rpm

Continúa ...

Velocidad de embalamiento	953 rpm
Rotación	en sentido antihorario visto desde arriba
Tipo de servicio	continuo
Horas de operación	8600 horas

Tabla 6: Características del generador eléctrico

Fuente: San Gabán S.A

3.4.1.2 Turbina Pelton

Tipo	Rodete Pelton de eje vertical, directamente acoplada al generador síncrono trifásico.
Cantidad	01
Fabricante	ALSTOM hydro FRANCIA
Año	1998
Potencia nominal	55 MW
Potencia efectiva	Se registran potencias superiores a 58 MW con la operación de un solo grupo
Caudal nominal	9.35 m ³ /s
Diámetro hidráulico del rodete	2040 mm
Diámetro externo del rodete	2530 mm
Diámetro interior del rodete	582 mm
Altura de la llanta	170 mm
Diámetro interior del cangilón	1624 mm
Diámetro interior de la cuchara	474.4 mm
Embocadura interior	174 mm

Continúa ...

Numero de cangilones	22
Peso	5 000 kg
Material	Acero fundido ASTM A743 Grado CA 6NM
Máximo equilibrio estático	0.232 mKg
Frenado	con contra chorro y freno mecánico
Acoplamiento del rodete al eje	Mediante pernos calibrados

Tabla 7: Características de la turbina Pelton

Fuente: San Gabán S.A.

🔗 Descripción de las características mecánicas y químicas de la turbina Pelton.

El rodete Pelton es de acero inoxidable, con un contenido del 13% de cromo y 4% de níquel, de calidad de soldabilidad superior equivalente al grado X3 Cr Ni 13.4 de la norma DIN ó F6NM de la norma ASTM A182.

Límite de fluencia mínimo(N/mm²)	590
Resistencia a la tracción mínimo (N/mm²)	790
Alargamiento a la rotura mínimo (%)	15(L – 4D)
Resistencia al impacto mínimo KV (Joule) a -60° C	40
Dureza (Brinell HB)	295 máximo

Tabla 8: Características mecánicas de la turbina Pelton

Fuente: San Gabán S.A.

Carbono (C)	0.05 máximo
Manganeso (Mn)	1.50 máximo
Silicio (Si)	0.7 máximo

Continúa ...

Cromo (Cr)	12 – 14
Níquel (Ni)	3.5 – 4.5
Molibdeno (Mo)	0.50 – 1.00
Azufre (S)	0.03 máximo
Fosforo (P)	0.03 máximo

Tabla 9: Composición química de la turbina Pelton

Fuente: San Gabán S.A.

3.4.1.3 Inyectores/deflectores

Fabricante	ALSTOM
Numero de inyectores	5
Tipo	Hidráulico
Diámetro del chorro	177.5 mm
Carrera de la aguja	146 mm
Tiempo de apertura de la aguja	20 s
Tiempo de cierre de la aguja	20 s
Ángulo de la aguja	45°
Ángulo de la boquilla	75°

Tabla 10: Características de Inyectores

Fuente: San Gabán S.A.

3.5 MATERIALES EXPERIMENTALES

Para desarrollar el presente trabajo de tesis se utilizó los siguientes materiales que son necesarios para las inspecciones:

☞ **Inspección por partículas magnéticas (MT). (Anexo B.1).**

- ✓ Equipo de Partículas magnéticas, Yugo marca MAGNAFLUX, modelo Y – 8 de patas articulables, tipo de corriente DC.
- ✓ Lámpara de luz negra modelo ZB 100F marca MAGNAFLUX.
- ✓ Partículas de hierro fluorescentes 14AM en aerosol diluidas en solvente marca MAGNAFLUX.

☞ **Inspección por tintes penetrantes (PT), (Anexo B.2).**

- ✓ Líquidos Penetrantes marca “MAGNAFLUX” no clorinados de las siguientes características:
 1. Penetrante: SKL – WP
 2. Revelador: SKD – S2
 3. Limpiador: Agua

3.6 MATERIALES REFERENCIALES

- ✎ Bibliografía referente al tema *de transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones* de Cengel Yunus y Frank Incropera. Siguiendo un *cálculo estructural* según Gash Salvador, M. & Gash Molina, I., utilizando el libro de Katsuhiko Ogata en el área de *ingeniería de control moderna y sistema de control automático para un horno industrial* de Arguedas Romero, J.
- ✎ Manuales de instalación, operación y mantenimiento recomendados por empresas ANDRITZ Hydro y CEGELEC & Asociación Accidental – Mecánica Pesada ALSTOM NEYRPIC en temas de *Turbinas Pelton pruebas de aceptación de campo y procedimiento de pruebas termodinámicas, Informe instalación de dos rodets Pelton de la central san Gabán II. Y Nota sobre la vigilancia y el mantenimiento de los rodets Pelton en servicio*, respectivamente. En el tema de *Aceros, estructuras y tratamientos térmicos*. De Castillo

Rodríguez, F. & Reyes Solís, A. *Manufactura, ingeniería y tecnología y Cementación sólida de aceros* de Kalpakjian, S. & Schmid, S. y Luna Álvarez, J, respectivamente. también *Apuntes acerca del tratamiento térmico y la clasificación general de los aceros* del libro de Torres, E. y *Memorias anuales de la empresa San Gabán S.A.*

- ☞ Informes de seguimiento, inspección, mantenimiento preventivo y correctivo realizados en épocas anteriores (**Anexo O**), al diseño como son los siguientes:
 - *Ficha de mantenimiento preventivo Plan 0 turbina EGESG-F-P-81 – 001*
 - *Ficha de mantenimiento preventivo Plan 1 turbina EGESG-F-P-81 – 002*
 - *Ficha de mantenimiento preventivo Plan 2 turbina EGESG-F-P-81 - 003*
 - *Instructivo del mantenimiento plan 1 de las turbinas EGESG-I-P-143*
 - *Instructivo del cambio de rodete de las turbinas EGESG-I-P-92*
 - *Lista de manuales de operación y mantenimiento EGESG-D-P-33*
 - *Formato y reportes semanales de mantenimiento EGESG-F-P-53*
 - *Formatos y fichas únicas de mantenimiento EGESG-F-P-64*
 - *Formatos y fichas del programa anual de mantenimiento EGESG-F-P-36*
 - *Formatos y fichas del programa semanal de mantenimiento EGESG-F-P-37.*

3.7 RESTRICCIONES

No se presentan restricciones en la planta ni en las instalaciones industriales ya que solamente existe un pequeño horno de tratamiento térmico en el lugar de instalación del horno, por ello será posible realizar una evaluación del comportamiento de este horno para así poder tener más conclusiones con respecto a este proyecto de tesis.

3.8 MÉTODO Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.8.1 MÉTODO

Para la investigación inicialmente, se procedió con la recolección, selección y su

revisión de la bibliografía. Así mismo se solicitó a la empresa las informaciones técnicas necesarias, tales como: planos hidromecánicos y electromecánicos, manuales de mantenimiento y reparación de turbinas, registro de inspecciones, mantenimientos preventivos y problemas actuales a solucionar, se ingresó al recinto para ver y estudiar las turbinas directamente para el desarrollo de la investigación. Para la hipótesis se ha recurrido a la bibliografía establecida, planos de como construido, catálogos, tablas y varios temas para determinar el fundamento teórico de los sistemas de tratamiento térmico. Para lo cual se muestra un plan de recolección de información entre interrogantes básicas y explicación de la siguiente forma:

Nº	INTERROGANTES BÁSICAS	EXPLICACIÓN
01	¿Quién?	El investigador
02	¿Cuándo?	Según el cronograma de investigación establecida
03	¿Dónde?	Central hidroeléctrica San Gabán II
04	¿Para Qué?	Para conseguir los objetivos propuestos
05	¿De Quién?	Del personal de la central hidroeléctrica
06	¿Qué tema?	Hornos y tratamientos térmicos de turbinas Pelton
07	¿Cuántas veces?	Durante toda la duración de la investigación
08	¿Qué técnica?	Encuestas, observaciones y entrevistas
09	¿Con Qué?	Cuestionarios previamente establecidos
10	¿En Qué estado?	En la actualidad

Tabla 11: Plan de recolección de información

Elaboración: Propia

3.8.2 TÉCNICAS

Para la ejecución del presente proyecto de investigación se vio por conveniente utilizar las técnicas que se muestran a continuación.

3.8.3 OBSERVACIONES

☞ **Observaciones directas**

Esta se ha aplicado para visualizar en forma directa las fallas y defectos que se producen en los cangilones de las turbinas, para determinar las soluciones que se han de tomar en el momento de la reparación y su posterior tratamiento térmico.

☞ **Observaciones indirectas**

Esta se ha aplicado cuando era necesario recurrir a informaciones de mantenimientos de turbinas y datos que se realizaron en épocas anteriores para poder comparar y constatar los detalles observados para mejorar la investigación, así también establecer una serie de opciones para poder diseñar un horno.

☞ **Observaciones de campo**

Esta se ha aplicado dentro de las instalaciones de la central hidroeléctrica, ya que la gran parte de la investigación se realiza en las instalaciones del taller mecánico, CC.MM. y recinto, de esta manera se estuvo en contacto directo con el problema.

3.8.4 ENTREVISTAS

El personal encargado de la operación y mantenimiento de la central hidroeléctrica, estuvo encargado de brindar las facilidades necesarias para las observaciones, por lo cual durante el tiempo de investigación se aplicaron los siguientes tipos de entrevista:

☞ **Entrevista estructurada**

Esta se aplicó cuando la información requerida involucraba las diferentes divisiones de operación y mantenimiento de la central para realizar un análisis desde los diferentes puntos de vista de cada división.

🗒️ Entrevista no estructurada

Esta se aplicó cuando se necesitó una información de suma importancia, para seleccionar al individuo se ha tomado en cuenta el cargo que ocupa y los años de experiencia que este poseía.

N°	PREGUNTAS BÁSICAS
01	¿Cuál es la temperatura adecuada para realizar tratamientos térmicos de acuerdo al material?
02	¿En qué tiempo se alcanzan las condiciones necesarias?
03	¿Cuáles son las condiciones necesarias de la atmósfera para un tratamiento óptimo?
04	¿Qué características mecánicas y térmicas se deben obtener a través del tratamiento térmico?
05	¿Qué materiales se utilizan en la reparación y tratamientos térmicos?
06	¿Cuál es el costo total de la reparación de los rodetes?
07	¿Qué fallas se presentan en las turbinas?
08	¿Qué tipo de pruebas se realizan inspección del rodete?
09	¿Con qué frecuencia se da el mantenimiento correctivo de los rodetes?

Tabla 12: Cuestionario para la entrevista

Elaboración: Propia

3.8.5 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para poder procesar la información recolectada con las técnicas empleadas se evaluaron de la siguiente forma.

- I. Análisis, revisión y clasificación de la información.
- II. Tabulación de datos según variables de hipótesis y objetivos.
- III. Elaboración de cuadros estadísticos según resultados tabulados de observaciones y encuestas.

3.9 CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

Los cálculos justificativos se realizan paso a paso para tener una mejor presentación de los resultados como sigue a continuación en los siguientes ítems:

3.10 DISEÑO TÉRMICO DEL HORNO

3.10.1 DIMENSIONES DEL RODETE

El rodete Pelton de la C.H. San Gabán II, tiene las siguientes dimensiones:

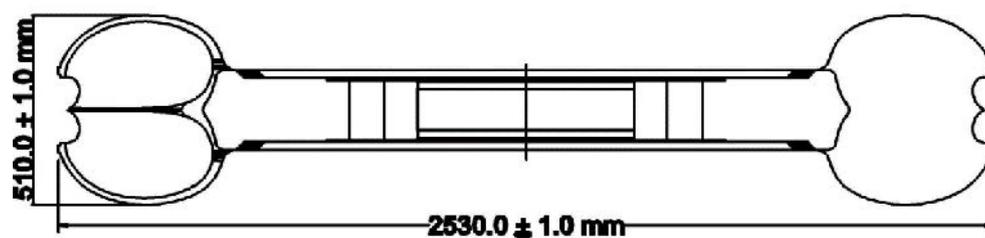


Figura 15: Dimensiones del rodete

Elaboración: Propia

$$\varphi_{max} = 2530 \text{ mm}$$

$$h_{max} = 510 \text{ mm}$$

3.10.2 DIMENSIONES DEL HORNO

La medida que ha de seleccionarse de acuerdo al tamaño del rodete será de 3x3x1 metros. Lo cual deja holguras aproximados de medio metro para los lados de la cuba con respecto al rodete.

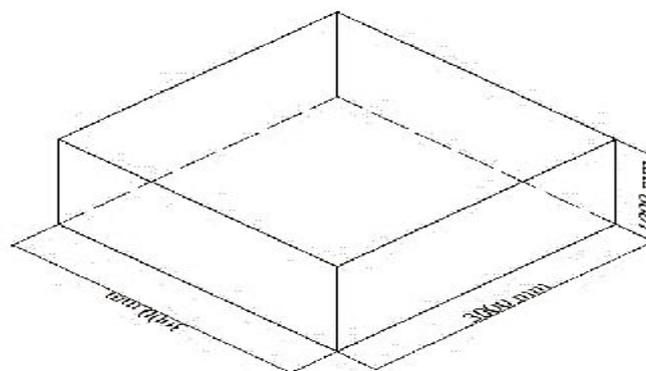


Figura 16: Dimensiones del horno

Elaboración: Propia

3.10.3 PARÁMETROS DE DISEÑO

El tratamiento térmico para el rodete, implica altas temperaturas en el interior del horno, la cual exige materiales aislantes que garanticen una temperatura adecuada y segura para el operador y además un coeficiente mínimo de pérdida de calor del sistema hacia el exterior por ello que el material de recubrimiento es imprescindible. Para este recubrimiento se utilizará una plancha de acero.

Conforme a la información proporcionada por ALSTOM y ANDRITZ Hydro y los requerimientos de la central hidroeléctrica San Gabán II, el horno de tratamiento térmico debe de tener las siguientes características:

- ✎ El horno de tratamiento térmico debe de tener todas sus resistencias de calentamiento en las paredes y techo de la cámara interna para una distribución uniforme de calor y un ciclo del tratamiento de eliminación de tensiones para rodetes Pelton acero INOX 13.4 tal como se muestra en el (*Anexo D*). En la cual el rodete será calzado cuidadosamente.
- ✎ La elevación de temperatura a partir de la del ambiente hasta la temperatura de mantenimiento será a una velocidad menor de 50°C/h.
- ✎ Tratamiento de eliminación de tensiones del rodete es a 600°C.
- ✎ El tiempo de tratamiento varia, para un tratamiento térmico es necesario 2 horas a 600°C y más una hora por cada 25 mm de profundidad de la excavación.
- ✎ Enfriamiento de 600 a 200 °C a una velocidad menor de 50 °C/h.
- ✎ Temperatura de la pieza al abrir el horno debe ser menor de 200°C.
- ✎ La temperatura será controlada mediante pares termoelectrónicos dispuestos en la pieza, con uno por lo menos en la parte más gruesa y uno por lo menos en la parte más delgada.

La diferencia de temperatura entre los pares termoeléctricos deberá ser menor de 80°C, durante todo el tratamiento térmico.

Para garantizar que se alcance la temperatura de tratamiento se toma en cuenta las pérdidas de calor, consideramos que la temperatura de diseño sea de 700 °C.

Por las razones de seguridad, la temperatura de la pared exterior debe encontrarse en un rango de 18 a 45 °C. En la figura se puede apreciar el planteamiento de las temperaturas a las que estaría sometida la pared del horno de tratamiento térmico.

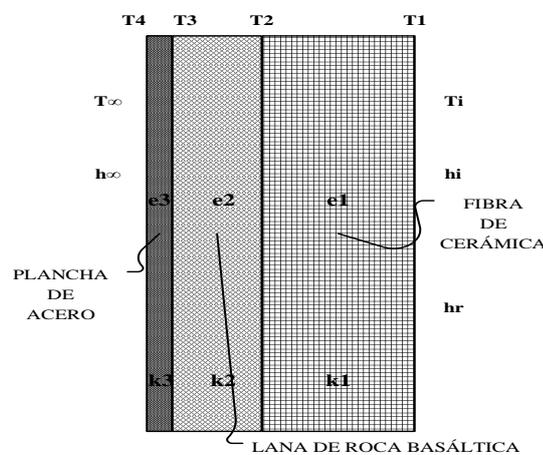


Figura 17: Representación de los componentes de paredes del horno

Elaboración: Propia

Donde:

- La T_∞ : Temperatura exterior del horno.
- La T_i : Temperatura interior del horno en.
- La T_1 : Temperatura en la pared interna del horno.
- La T_2 : Temperatura en la cara caliente de la pared de la lana de roca.
- La T_3 : Temperatura en la cara fría de la pared de la lana de roca.
- La T_4 : Temperatura en la pared exterior del horno.
- La T_{V1} : Temperatura superficial después del primer vidrio.
- La T_{V2} : Temperatura superficial antes del segundo vidrio.

- ✎ h_{∞} : Coeficiente convectivo del exterior del horno.
- ✎ h_i : Coeficiente convectivo del interior del horno.
- ✎ h_r : Coeficiente de radiación del interior del horno.
- ✎ k_1 : Coeficiente de conductividad de la fibra de cerámica.
- ✎ k_2 : Coeficiente de conductividad de la lana de roca.
- ✎ k_3 : Coeficiente de conductividad de la plancha de acero.
- ✎ k_4 : Coeficiente de conductividad del vidrio cerámico neoceram.
- ✎ k_5 : Coeficiente de conductividad de aire estancado.
- ✎ e_1 : Espesor de la pared de fibra cerámica.
- ✎ e_2 : Espesor de la pared de la lana de roca.
- ✎ e_3 : Espesor de la pared de la plancha de acero.
- ✎ e_v : Espesor del vidrio cerámico neoceram.
- ✎ e_a : Longitud de la capa de aire en las ventanillas.

3.10.4 MATERIALES AISLANTES Y REFRACTARIOS PARA EL HORNO.

El poder aislante de un material está en relación inversa con la temperatura máxima de uso, por esto se utilizan comúnmente construcciones multicapa, usando materiales de menor conductividad a medida que disminuye la temperatura dentro de la pared del horno.

Por tal motivo que el horno de tratamiento térmico constará de tres paredes conformadas por una capa de fibra cerámica, una capa de lana de roca basáltica y el revestimiento con plancha metálica colocados de interior a exterior.

3.10.4.1 FIBRA DE CERÁMICA (Ceramic Fiber Blanket)

La primera estará formada por mantas de fibra cerámica “Nutec Ibar HP 8-1”, seleccionada según el (*Anexo E.1*) del catálogo de productos de Aísala Perú S.A.C.

🔗 **Descripción:** La Manta de Fibra Cerámica "Nutec Ibar HP 8-1" se compone de fibras flexibles entramadas o entretejidas. Son fabricadas a través de un proceso de hilado que proporciona una manta fuerte, ligera, durable y con alto coeficiente de aislamiento térmico. Resistente para aplicaciones industriales de temperaturas de hasta 1315 °C.

🔗 **Principales aplicaciones:**

- ☞ En industrias de refinerías y petroquímicas
- ☞ En la industria de la siderurgia
- ☞ En la industria cerámica
- ☞ En la generación de energía eléctrica

🔗 **Composición Química**

☞ **Óxido de Aluminio (Al_2O_3)**

Material	Óxido de aluminio (Alumina)	
Símbolo	Al_2O_3	
Cantidad	44 – 55	
Propiedades	Densidad	3,95 g/cm ³
	Masa molar	101,9 g/mol
	Punto de fusión	2072 °C
	Punto de ebullición	2980 °C
Características	Polvo blanco de elevada dureza y resistencia media. Está presente en la naturaleza en forma de cordón y de esmeril.	
Usos	Aislante térmico, dispositivo refractario, esmaltes y cerámicas (proporciona dureza)	

Tabla 13: Composición química de óxido de aluminio

Fuente: formulaciónquimica.com

☞ Óxido de Silicio (SiO_2)

Material	Óxido de Silicio (Sílice)	
Símbolo	SiO_2	
Cantidad	50 -56	
Propiedades	Densidad	2630 kg/m ³
	Masa molar	60,0843 g/mol
	Punto de fusión	1713 °C
	Punto de ebullición	2230 °C
	Solubilidad	0,012g en 100g de agua
Características	Mineral que aparece en la arena y es el más abundante de la naturaleza. Se presenta en forma de granito, cuarcitas...	
Usos	Fabricación de vidrios, joyería (como piedras preciosas), construcción y elemento en aleaciones.	

Tabla 14: Composición química de óxido de Silicio

Fuente: formulaciónquímica.com

☞ Óxido de Hierro III (Fe_2O_3)

Material	Óxido de Hierro III	
Símbolo	Fe_2O_3	
Cantidad	1 – 0,2	
Propiedades	Densidad	5,242 g/cm ³
	Masa molar	159,07 g/mol
	Punto de fusión	1565 °C
	Solubilidad en agua	insoluble

Continúa ...

Características	Compuesto que no conduce la electricidad. Su apariencia es en forma de polvo de diversos colores como azul o verde.
------------------------	---

Tabla 15: Composición Química de Óxido de Hierro III

Fuente: formulaciónquimica.com

☞ **Óxido de Titanio IV (TiO_2)**

Material	Óxido de Titanio IV	
Símbolo	TiO_2	
Cantidad	0,1 – 0,2	
Propiedades	Densidad	4,2 g/cm ³
	Masa molar	79,86 g/mol
	Punto de fusión	1830 °C
	Punto de ebullición	2500 °C
Características	Polvo cristalino de color blanco que es muy frecuente y abundante en el planeta Tierra.	
Usos	Industria cosmética, agente blanqueador, industria farmacéutica, industria de la cerámica y pinturas.	

Tabla 16: Composición Química de Óxido de Titanio IV

Fuente: formulaciónquimica.com

🔗 **Características:**

☞ **Especificaciones técnicas de la fibra de cerámica.**

Ancho	0.61 m.
Longitud	7.62 m.
Espesor	1 Pulg.
Densidad	128Kg/m ³

Continúa ...

Conductividad térmica	0,6 Btu-in/h-ft ² F a 800 °C
------------------------------	---

Tabla 17: Especificaciones técnicas de la manta de cerámica

Fuente: Aisla Perú S.A.C.

- ✎ **Modo de Anclaje:** El arreglo de anclaje se debe hacer en el interior de la cobertura, asegurándose que el sistema de anclaje este localizado apropiadamente para el revestimiento de la manta. Este arreglo está basado en la capa expuesta o cara caliente de la manta sin considerar ninguna de las capas de respaldo de la manta, puesto que hay que asegurarse que las juntas de las siguientes capas de manta estén escalonadas.

3.10.4.2 LANA DE ROCA BASÁLTICA

La segunda capa de las paredes, puerta y techo del horno estará formada por el aislamiento térmico de Lana de roca basáltica seleccionada según el (*Anexo E.2*) del catálogo de productos de hyn S.A.C.

- ✎ **Descripción del Producto:** La lana de roca basáltica está compuesto en un 98%, de roca de origen volcánico (basalto) y un 2% de ligante orgánico.
- ✎ **Presentación:** 1.20 x 0.60 metros.
- ✎ **Usos:** La lana de roca basáltica está diseñada para ser empleada en todo tipo de instalaciones de aislamiento térmico y acústico.
- ✎ **Beneficios:** Tiene una alta eficiencia térmica, debido a la resistencia al paso del calor y es un mineral no orgánico, incombustible y termoestable.
- ✎ **Especificaciones técnicas:**

Densidad	60 kg. / m ³
Temperatura máxima de trabajo	500 °C
Espesor	50 mm

Continúa ...

Conductividad térmica	0.038 W/m.k
Característica	No genera gases ni humos tóxicos, contribuye a la resistencia al fuego.

Tabla 18: Especificaciones técnicas de la lana de roca basáltica

Fuente: HyN Import S.A.C.

3.10.4.3 PLANCHA DE ACERO.

La tercera capa del horno de tratamiento térmico lo conformará el recubrimiento externo del horno, cuyo material corresponderá a la plancha de acero, como se puede apreciar en el (*Anexo E.3*).

- ✎ **Descripción:** Bobinas y planchas de acero laminadas con bordes de laminación.
- ✎ **Usos:** Fabricación de electrodomésticos, tubería soldada, tambores y recipientes de almacenamiento, láminas para galvanizar, autopartes, carrocerías, carpintería metálica, fabricación de elementos estructurales y maquinaria en general.

✎ **Especificaciones Técnicas:**

Norma	ASTM A36
Presentación	Rollos y planchas
Ancho	1200 mm
Longitud	2400 mm
Espesores	1.5 mm a 5.9 mm
Límite de fluencia	25.50 (250), min. Kg/mm ² [MPa]
Resistencia a la tracción	40.80 (400) – 56.10 (550), min. Kg/mm ² [MPa]

Tabla 19: Especificaciones técnicas de la plancha de acero

Fuente: Aceros Arequipa

3.10.4.4 LADRILLO REFRACTARIO

Para la solera el material que se ha seleccionado es el ladrillo refractario aislante WAM-23 según el (*Anexo E.4*). Debido a que sobre ellos se ubicará el rodete Pelton que tiene un peso de 5 toneladas, se considera como característica principal para su selección su resistencia mecánica.

🔗 Especificaciones Técnicas:

Densidad volumétrica	0.58 (g/cm ³)	
Resistencia a la compresión en frío	12.24 (kg/cm ²)	
Módulo de ruptura en frío	9.18 (kg/cm ²)	
Conductividad térmica	Temperatura °C	Conductividad W/m*k
	400	0.17
	600	0.19
	800	0.22
	1000	0.23

Tabla 20: Especificaciones técnicas del ladrillo refractario

Fuente: Refractarios Rivara S.A.

🔗 Composición Química:

Material	Símbolo	Cantidad (%)
Óxido de Aluminio	Al_2O_3	45
Óxido de Hierro III	Fe_2O_3	0.7
Óxido de Silicio	SiO_2	50
Óxido de Titanio IV	TiO_2	1.2

Continúa ...

Óxido de Calcio + Óxido de Magnesio	$CaO + MgO$	0.7
Óxido de Potasio + Óxido de Sodio	$K_2O + Na_2O$	1.3

Tabla 21: Composición química del ladrillo refractario

Fuente: Refractarios Rivara S.A.

3.10.4.5 MORTERO REFRACTARIO

Para ubicar los ladrillos refractarios se necesita un mortero refractario sílico aluminoso, según el (*Anexo E.5*), se ha seleccionado en base a la similitud de su composición química con respecto al ladrillo refractario (*Anexo E.4*), teniendo como principal aplicación el asentado de ladrillos refractarios y aplicable para formar hornos variados.

🔗 Especificaciones Técnicas

- ☞ Tipo de mortero: Mortero Refractario de fragua cerámica (al calor)
- ☞ Presentación: Bolsa de papel de 40 kg.

🔗 **Rendimiento:** Varía según el formato. Para el ladrillo recto con juntas de hasta 2mm rinde aproximadamente 200 unidades en posición soga, 164 en posición cabeza y 300 en posición canto.

🔗 Análisis Químico:

Componentes	Fórmula	Peso (%)
Óxido de Aluminio	Al_2O_3	32.2
Óxido de Hierro III	Fe_2O_3	01.9
Óxido de Silicio	SiO_2	63.4
Óxido de Magnesio	MgO	00.1
Óxido de Calcio	CaO	00.7

Continúa ...

Óxido de Potasio + Óxido de Sodio	$K_2O + Na_2O$	00.7
-----------------------------------	----------------	------

Tabla 22: Composición química del mortero refractario

Fuente: Refractarios Rivara S.A.

🔍 Propiedades Físicas:

Refractariedad	28 C.P.E.
Temperatura de servicio	1400 °C
Densidad	100% Menor de 0.833 mm (-20M)
Granulometría	90% Menor de 0.295mm (-48M)

Tabla 23: Propiedades Físicas del mortero refractario

Fuente: Refractarios Rivara S.A.

3.10.4.6 VIDRIO CERÁMICO NEOCERAM

Neoceram es un vidrio cerámico transparente de baja expansión utilizado en todo el mundo en una variedad de aplicaciones que incluyen ventanas para cocinas, planchas encimeras para cocinas a gas y eléctricas, vidrio para chimeneas y bandejas para microondas por su alta resistencia al choque térmico, alta fuerza mecánica y excelentes características eléctricas.

🔍 Especificaciones Técnicas

- ☞ Soporta temperaturas hasta los 700 °C.
- ☞ Resistente al choque térmico.
- ☞ Resistencia superior al calor (3 veces más resistente que el vidrio templado).
- ☞ Disponible en 4 mm.

🔍 **Uso normal:** No se asume quiebre por exceso de shock térmico. El vidrio no abusado debería durar indefinidamente.

☞ **Shock térmico:** El vidrio se somete a shock físico cuando se calienta uniformemente a cierta temperatura y luego se sumerge en agua a una temperatura de 10 °C sin romperse.

3.10.5 TEMPERATURAS DE LAS PAREDES DEL HORNO

Los datos que consideraremos para el cálculo son los siguientes:

☞ $T_{\infty} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C} = 291.15 \text{ K}$ *Temperatura ambiente (Villa C.H. San Gabán II).*

☞ $T_i \approx 700 \text{ }^{\circ}\text{C} = 973.15 \text{ K}$ *Temperatura interior aproximada del horno.*

☞ $T_1 = 700 \text{ }^{\circ}\text{C} = 973.15 \text{ K}$ *Temperatura en la pared interior del horno.*

☞ $T_2 = 450 \text{ }^{\circ}\text{C} = 723.15 \text{ K}$ *Temperatura de servicio lana de roca basáltica.*

☞ $T_3 \approx 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313.15 \text{ K}$ *Temperatura aproximada a la pared exterior.*

☞ $T_4 = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313.15 \text{ K}$ *Temperatura exterior recomendada para el horno.*

3.10.6 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE CONVECCIÓN

Según las dimensiones externas del horno

3.10.6.1 Parámetros y cálculo para el coeficiente de convección externo

☞ $T_{\infty} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C} = 291.15 \text{ K}$ *Temperatura ambiente (Villa C.H. San Gabán II).*

☞ $T_s = T_4 = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 313.15 \text{ K}$ *Temperatura exterior recomendada.*

☞ $L = 1 \text{ m}$ *Altura de horno a diseñar.*

Utilizando la siguiente ecuación (9), se determina la temperatura de película.

$$T_f = \frac{(T_s + T_{\infty})}{2} = \frac{313.15 + 291.15}{2} = 302.15 \text{ K}$$

Reemplazando el valor de T_f en la ecuación (8), se obtiene el valor del coeficiente de expansión térmica.

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{302.15} = 0.00331 \text{ K}^{-1}$$

Teniendo el valor de la temperatura de película de 302.15 K; las propiedades del aire a esta temperatura se obtienen según el (*Anexo F*), mediante una interpolación es:

✎ Conductividad Térmica: $k = 26.46 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}$

✎ Viscosidad Cinemática: $\nu = 16.10 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

✎ Difusividad Térmica: $\alpha = 22.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}$

✎ Número de Prandtl: $Pr = 0.707$

✎ Gravedad: $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$

Aplicando la ecuación (11), calculamos el número de Rayleigh.

$$Ra_L = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.00331 K^{-1} * (313.15 - 291.15)K * 1m^3}{22.8 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} * 16.10 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Ra_L = 1.95 \times 10^9 \text{ Flujo en transición a turbulento}$$

Para flujo turbulento utilizamos la ecuación (13), obteniendo el número de Nusselt para placas verticales.

$$\bar{N}_{UL} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 * (1.95 \times 10^9)^{1/6}}{[1 + (0.492/0.707)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 = 151.0$$

Aplicando la ecuación (18), se tiene el coeficiente de convección promedio:

$$\bar{h} = \frac{\bar{N}_{UL} * k}{L} = \frac{151.0 * 26.46 \times 10^{-3} \frac{W}{m * K}}{1m} = 3.99 \frac{W}{m^2 * K}$$

El coeficiente de convección externo promedio es de aproximadamente $4.0 \frac{W}{m^2 * K}$

pero como el taller estará ubicado en una zona donde existe corrientes de viento habrá la necesidad de incrementar este coeficiente de convección externa a.

$$h_{\infty} = 10.0 \frac{W}{m^2 * K}$$

3.10.6.2 Parámetros y cálculo para el coeficiente de convección interno

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. Se estima la temperatura de diseño máxima del piso de 700°C. Y la temperatura en la parte superior del horno se estima igual al ambiente al inicio del proceso de calentamiento del horno.

$$\text{✎ } T_{\infty} = 18^{\circ}\text{C} = 291.15 \text{ K Temperatura ambiente (Villa C.H. San Gabán II).}$$

$$\text{✎ } T_i \approx T_1 \approx 700^{\circ}\text{C} = 973.15 \text{ K Temperatura interior aproximada.}$$

$$\text{✎ } A_i = 3 \times 3 \text{ m}^2 \text{ Área interna del horno.}$$

$$\text{✎ } P = 12 \text{ m Perímetro del interior del horno.}$$

Para el cálculo de la longitud característica, se aplica la ecuación (14):

$$L = \frac{A_i}{P} = \frac{9}{12} = 0.75 \text{ m}$$

Utilizando la ecuación (9), se determina la temperatura de película:

$$T_f = \frac{T_i + T_{\infty}}{2} = \frac{973.15 + 291.15}{2} = 632.15 \text{ K}$$

Reemplazando el valor de T_f en la ecuación (8) se obtiene el valor del coeficiente de expansión térmica.

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{632.15} = 0.00158 \text{ K}^{-1}$$

Teniendo el valor de la temperatura de película de 632.15 K; las propiedades del aire a esta temperatura se obtienen según el (*Anexo F*), mediante una interpolación es:

$$\text{✎ } \textit{Conductividad Térmica: } k = 48.70 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$$

$$\text{✎ } \textit{Viscosidad Cinemática: } \nu = 57.53 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{✎ } \textit{Difusividad Térmica: } \alpha = 83.59 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\text{✎ } \textit{Número de Prandtl: } Pr = 0.688$$

$$\text{✎ } \textit{Gravedad: } g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Aplicando la ecuación (11), tenemos:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_i - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} = \frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.00158 K^{-1} * (973.15 - 291.15)^\circ C * (0.75m)^3}{83.59 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s} * 57.53 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$Ra_L = 9.27 \times 10^8 \text{ Flujo Laminar}$$

Aplicando la ecuación (16):

$$\bar{N}_{UL} = 0.15 * Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{11})$$

$$\bar{N}_{UL} = 0.15 * (9.27 \times 10^8)^{1/3} = 146.28$$

Con la ecuación (18) se tiene:

$$\bar{h} = \frac{\bar{N}_{UL} * k}{L} = \frac{146.28 * 48.70 \times 10^{-3} \frac{W}{m * K}}{0.75m} = 9.50 \frac{W}{m^2 * K}$$

Se utilizará entonces el coeficiente de convección interno de:

$$h_i = 9.50 \frac{W}{m^2 * K}$$

3.10.7 CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE RADIACIÓN

Para el cálculo del coeficiente de radiación, se toma en cuenta los mismos parámetros de diseño utilizados para el coeficiente de convección interno, debido a que la radiación se producirá desde las paredes laterales y el techo hacia el piso del horno. Ya que las resistencias van a estar al descubierto sobre las mantas de fibra cerámica, para el diseño se usará una emisividad de 0.8.

✎ $T_\infty = 18^\circ C = 291.15 K$ Temperatura ambiente (Villa C.H. San Gabán II).

✎ $T_i = T_1 = 700^\circ C = 973.15 K$ Temperatura interna del horno.

✎ $\varepsilon = 0.8$ Emisividad.

✎ $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$ Constante de Stefan - Boltzmann.

Cálculo del coeficiente de radiación se aplica la ecuación (24):

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_i - T_\infty)(T_i^2 + T_\infty^2)$$

$$h_r = 0.8 * 5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} * (973.15 - 291.15)(973.15^2 - 291.15^2)$$

$$h_r = 26.67 \frac{W}{m^2 * ^\circ K}$$

Conforme en las paredes y el techo del horno se vaya elevando la temperatura la radiación disminuirá con el paso del tiempo por lo tanto para el diseño se ha de tomar un promedio.

$$h_r = 13.38 \frac{W}{m^2 * ^\circ K}$$

☞ **Coefficientes de transferencia de calor:**

☞ $h_\infty = 10.0 \frac{W}{m^2 K}$ *Coefficiente de convección externa.*

☞ $h_i = 9.50 \frac{W}{m^2 K}$ *Coefficiente de convección interna.*

☞ $h_r = 13.38 \frac{W}{m^2 K}$ *Coefficiente de radiación.*

☞ $k_1 = 0.6 \frac{BTU-In}{h-ft^2} \approx 0.086 \frac{W}{m K}$ *Coefficiente de conductividad fibra de cerámica.*

☞ $k_2 = 0.038 \frac{W}{m K}$ *Coefficiente de conductividad lana de roca basáltica.*

☞ $k_3 = 46.12 \frac{kcal}{mh ^\circ C} = 53.60 \frac{W}{m K}$ *Coefficiente de conductividad plancha de acero.*

3.10.8 CÁLCULO DE LA PÉRDIDA DE CALOR EN LAS PAREDES

La pérdida de calor se calculó partiendo del principio de la transferencia de calor por convección y radiación, utilizando la siguiente ecuación:

$$q = h_\infty * A_\infty (T_4 - T_\infty) \quad \dots (Ec. 26)$$

Donde:

☞ q : Flujo de calor por convección y radiación.

☞ A_∞ : Área de la plancha de acero en contacto con el ambiente.

Por analogía con el flujo de corriente eléctrica se considera resistencia térmica por convección y radiación la siguiente relación:

$$R = \frac{1}{h_\infty * A_\infty} \quad \dots (Ec. 27)$$

Para poder hallar el área de la pared se necesita asumir espesores de los materiales que servirán para el recubrimiento de la cámara. Los valores asumidos para el cálculo de esta área son los representados en la siguiente gráfica:

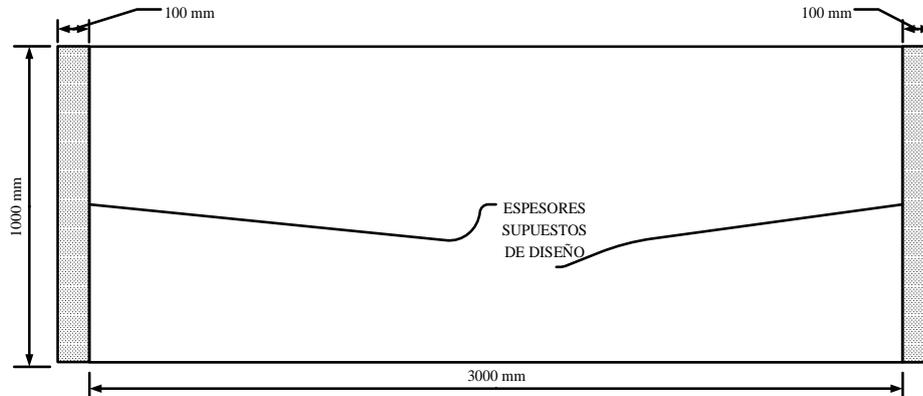


Figura 18: Pared seleccionada para cálculo de espesor

Elaboración: Propia

Calculamos el área:

$$A_{\infty} = (3.0 + 0.2) * 1.0 = 3.2 \text{ m}^2$$

El calor obtenemos reemplazando en la ecuación (26).

$$q = \left(10.0 \frac{W}{m^2 K}\right) * (3.2 \text{ m}^2) * (313.15 - 291.15)K$$

$$q = 704.0 \text{ W}$$

Cabe indicar que los materiales que conforman el horno de tratamiento térmico forman un circuito de resistencias térmicas en serie y paralelo en el interior del horno. Para calcular el espesor total de la pared posterior, utilizamos la ecuación donde el flujo de calor en el sistema será:

$$q = \frac{T_i - T_{\infty}}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5} \quad \dots \text{(Ec. 28)}$$

Las resistencias térmicas de la transferencia de calor por conducción y radiación están dadas por la siguiente expresión:

$$R = \frac{e}{k * A} \quad \dots \text{(Ec. 29)}$$

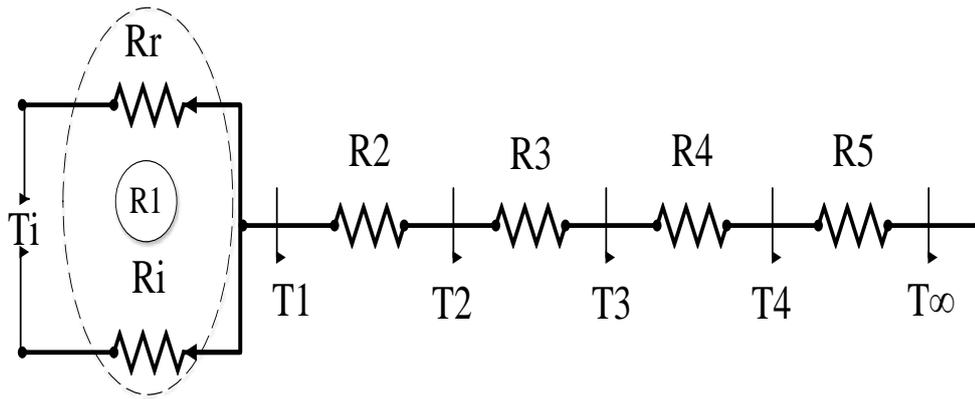


Figura 19: Circuito de resistencias térmicas.

Elaboración: Propia

Donde:

$$R_1 = \left(\frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{1}{h_r \cdot A_i} \right)^{-1} : \text{Resistencia convectivo y radiativo del interior.}$$

$$R_2 = \frac{e_1}{k_1 \cdot A_1} : \text{Resistencia por conducción en la pared de espesor } e_1.$$

$$R_3 = \frac{e_2}{k_2 \cdot A_2} : \text{Resistencia por conducción en la pared de espesor } e_2.$$

$$R_4 = \frac{e_3}{k_3 \cdot A_3} : \text{Resistencia por conducción en la pared de espesor } e_3.$$

$$R_5 = \frac{1}{h_\infty \cdot A_\infty} : \text{Resistencia por el ambiente convectivo exterior.}$$

3.10.9 CÁLCULO DE LOS ESPESORES (e1, e2 y e3) DE LAS PAREDES

Haciendo la analogía entre el flujo de calor y el flujo eléctrico, el ambiente convectivo interno como externo, así como las paredes planas del horno, constituyen las resistencias térmicas del circuito térmico, a través de los cuales el calor fluirá en forma constante.

Tomando el criterio de calor de flujo uniforme de calor a lo largo del circuito térmico, y siendo las temperaturas constantes de valor conocido tanto en el interior y exterior del horno vamos a hacer cálculos y análisis para cada una de las superficies que conforman el horno de tratamiento térmico.

A continuación, se realizará un modelo de ecuaciones generales que regirá para el cálculo de transferencia de calor en las superficies de paredes, techo, puerta y solera que constituyen el horno de tratamiento térmico.

Para encontrar los espesores de los componentes de la pared del horno se procede a realizar el análisis del flujo de calor por partes, es decir los límites de frontera.

3.10.9.1 Fibra de cerámica (e1) en las paredes

El material de la pared interna es fibra de cerámica y sus límites de frontera son T_1 y T_2 , su transferencia de calor por conducción está dado por la siguiente expresión:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_1}{k_1 * A_1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_2} \quad \dots \text{(Ec. 30)}$$

Donde:

- ✎ $A_1 = 3 * 1 = 3 \text{ m}^2$ Área de la pared de la fibra de cerámica.
- ✎ $k_1 = 0.6 \frac{\text{BTU-In}}{\text{h-ft}^2} \approx 0.086 \frac{\text{W}}{\text{mK}}$ Coeficiente de conductividad fibra de cerámica.
- ✎ $T_1 = 700 \text{ }^\circ\text{C} = 973.15 \text{ K}$ Temperatura en la pared interior del horno.
- ✎ $T_2 = 450 \text{ }^\circ\text{C} = 723.15 \text{ K}$ Temperatura de servicio lana de roca basáltica.
- ✎ $e_1 = ?$ Espesor de la fibra de cerámica.

Calculando el espesor:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_1}{k_1 * A_1}} = \frac{973.15 - 723.15}{\frac{e_1}{0.086 * 3}} \rightarrow e_1 = 0.092 \text{ m} = 9.2 \text{ cm} = 3.6 \text{ pulg.}$$

Haciendo referencia en el mercado existen espesores de fibra cerámica de 1" = 2.54cm; y con respecto al valor que se indica en los cálculos, usaremos 04 planchas de 2.54 cm.

3.10.9.2 Lana de roca basáltica (e2) en las paredes

Este espesor sigue a la fibra de cerámica que es la lana de roca basáltica y sus límites de frontera son T_3 y T_2 , su calor está dado por la siguiente expresión:

$$q = \frac{T_2 - T_3}{\frac{e_2}{k_2 * A_2}} = \frac{T_2 - T_3}{R_3} \quad \dots (Ec. 31)$$

Donde:

- ✎ $A_2 = A_1 = 3 * 1 = 3 \text{ m}^2$ Área de la pared de la lana de roca basáltica.
- ✎ $k_2 = 0.038 \frac{W}{m K}$ Coeficiente de conductividad lana de roca basáltica.
- ✎ $T_2 = 450 \text{ }^\circ\text{C} = 723.15 \text{ K}$ Temperatura de servicio lana de roca basáltica.
- ✎ $T_3 \approx 40 \text{ }^\circ\text{C} = 313.15 \text{ K}$ Temperatura aproximada a la pared exterior.
- ✎ $e_2 = ?$ Espesor de la lana de roca basáltica.

Calculando el espesor:

$$q = \frac{T_2 - T_3}{\frac{e_2}{k_2 * A_2}} = \frac{723.15 - 313.15}{\frac{e_2}{0.038 * 3}} \rightarrow e_2 = 0.066 \text{ m} = 6.6 \text{ cm}$$

Los espesores disponibles para la lana de roca basáltica es 5.0 cm., y con respecto al valor que se indica en los cálculos, usaremos $1\frac{1}{2}$ plancha que es 7.5 cm.

3.10.9.3 Plancha de acero (e3) en las paredes

El ultimo espesor corresponde a la plancha de acero que recubrirá el horno, seleccionamos una plancha de acero con 0.2 cm de espesor.

3.10.9.4 Resultados de los espesores en las paredes

Espesor	Espesor calculado	Espesor en el mercado
e1 (fibra de cerámica)	9.2 cm	10.16 cm
e2 (lana de roca basáltica)	6.6 cm	7.5 cm
e3 (plancha de acero)	0.2 cm	0.2 cm
Espesor total	16 cm	17.86 cm

Tabla 24: Espesor total de las paredes del horno.

Elaboración: Propia

3.10.10 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA SOLERA (e_s)

Para el cálculo de la pérdida total de calor, se utilizará solera maciza sin ventilar, ya que el calor es proporcional a la dimensión lineal de la solera más no a la superficie, y una vez que se han alcanzado las condiciones de uniformidad en la temperatura la pérdida de calor es:

$$Q = \frac{S * C * A * (T_i - T_a)}{D} \quad \dots (Ec. 32)$$

Donde:

- ✎ Q : Flujo de calor en W.
- ✎ S : Factor de forma, lo que depende de la geometría de la solera, y se tiene los siguientes valores: 4 para soleras circulares; 4.40 para soleras cuadradas. Varía para soleras rectangulares entre 4,40 y 3,73 cuando son muy alargadas.
- ✎ A : Superficie de la solera en m^2 .
- ✎ C : Conductividad térmica del material de la solera en $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$.
- ✎ T_i : Temperatura interna del horno en K (temperatura de diseño).
- ✎ T_a : Temperatura del aire exterior en K.
- ✎ D : Ancho mínimo de la solera en m.

El ladrillo seleccionado para la solera es WAM-23. Pérdida de calor en la solera:

$$Q = \frac{S * C * A * (T_i - T_a)}{D}$$

Donde:

- ✎ $T_i \approx 700 \text{ }^\circ\text{C} = 973.15 \text{ K}$ Temperatura interior aproximada del horno.
- ✎ $T_a = T_\infty = 18 \text{ }^\circ\text{C} = 291.15 \text{ K}$ Temperatura ambiente (Villa San Gabán II)
- ✎ $D = 3 \text{ m}$ Ancho mínimo de la solera.

$$\Rightarrow A = 3 * 3 = 9 \text{ m}^2 \text{ Superficie de la solera en m}^2.$$

La conductividad térmica del material se calcula para una temperatura de diseño de 700 °C, mediante una interpolación con la ayuda de los valores de la tabla de especificaciones técnicas del ladrillo refractario es:

$$\Rightarrow C = 0.205 \text{ Conductividad térmica del material de la solera en } \left[\frac{W}{m \cdot K} \right].$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$Q = \frac{(4.4) * \left(0.205 \frac{W}{m \cdot K} \right) * (9 \text{ m}^2) * (973.15 - 291.15)K}{3 \text{ m}}$$

$$Q = 1845.49 \text{ W}$$

\Rightarrow **Espesor de la solera (e_s)**

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_s}{k_s * A_s}} \quad \dots \text{ (Ec. 33)}$$

Donde:

$\Rightarrow T_1 \approx 700 \text{ }^\circ\text{C} = 973.15 \text{ K}$ Temperatura interior aproximada del horno.

$\Rightarrow T_2 = 450 \text{ }^\circ\text{C} = 723.15 \text{ K}$ Temperatura de servicio lana de roca basáltica.

$\Rightarrow k_s = C = 0.205$ Conductividad térmica del material de la solera

$\Rightarrow A_s = 3 * 3 = 9 \text{ m}^2$ Área de la solera.

$\Rightarrow e_s = ?$ Espesor de la solera.

Reemplazando valores tenemos:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_s}{k_s * A_s}} = \frac{973.15 - 723.15}{\frac{e_s}{0.205 * 9}} \rightarrow e_s = 0.2499 \text{ m} = 24.99 \text{ cm}$$

De acuerdo al resultado obtenido, tenemos ladrillos refractarios en el mercado según el (*Anexo E.4*) de 9" x 4 $\frac{1}{2}$ " x 2 $\frac{1}{2}$ ", y para ello habrá que colocar 4 ladrillos, para poder llegar a un espesor de 25.4 cm.

3.10.11 CÁLCULO DE LA PERDIDA DE CALOR EN EL TECHO

Para el cálculo de la pérdida de calor en el techo del horno utilizaremos la Ec. (26).

$$q = h_{\infty} * A_{\infty}(T_4 - T_{\infty})$$

Donde:

☞ q : Flujo de calor por convección y radiación.

☞ A_{∞} : Área de la plancha de acero en contacto con el ambiente.

☞ $T_{\infty} = 18^{\circ}\text{C} = 291.15\text{ K}$ Temperatura ambiente (Villa C.H. San Gabán II).

☞ $T_4 = 40^{\circ}\text{C} = 313.15\text{ K}$ Temperatura exterior recomendada para el horno.

El área del techo varía según cálculos anteriores y se muestra en la siguiente figura:

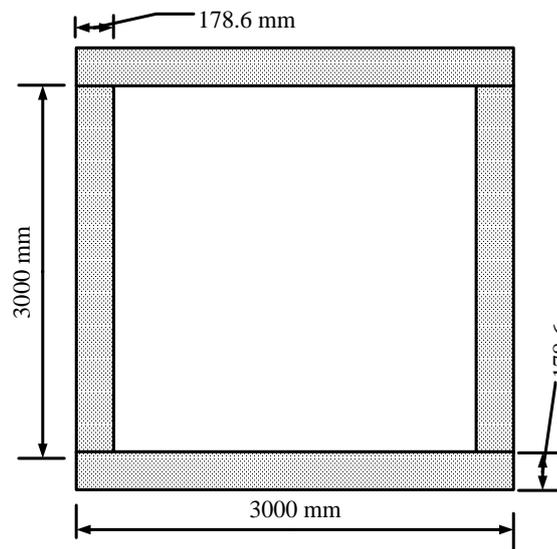


Figura 20: Dimensionado del área del techo.

Elaboración: Propia

Calculamos el área:

$$A_{\infty} = (3.1786) * (3.1786) = 10.10\text{ m}^2$$

El calor que tenemos es:

$$q = \left(10.0 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}\right) * (10.10\text{ m}^2) * (313.15 - 291.15)\text{K}$$

$$q = 2222.0\text{ W}$$

3.10.12 CÁLCULO DE ESPESORES (e1, e2 y e3) DEL TECHO DEL

HORNO

3.10.12.1 Fibra de cerámica (e1) en el techo

El material de la pared interna es fibra de cerámica y sus límites de frontera son T_1 y T_2 , su transferencia de calor por conducción está dado según la ecuación (30).

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_1}{k_1 * A_1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_2}$$

Donde:

$$\text{✎ } A_1 = 3 * 3 = 9 \text{ m}^2 \text{ Área de la pared de la fibra de cerámica.}$$

$$\text{✎ } k_1 = 0.6 \frac{\text{BTU-In}}{\text{h-ft}^2} \approx 0.086 \frac{\text{W}}{\text{mK}} \text{ Coeficiente de conductividad fibra de cerámica.}$$

$$\text{✎ } T_1 = 700 \text{ }^\circ\text{C} = 973.15 \text{ K Temperatura en la pared interior del horno.}$$

$$\text{✎ } T_2 = 450 \text{ }^\circ\text{C} = 723.15 \text{ K Temperatura de servicio lana de roca basáltica.}$$

$$\text{✎ } e_1 = ? \text{ Espesor de la fibra de cerámica.}$$

Calculando el espesor:

$$q = \frac{T_1 - T_2}{\frac{e_1}{k_1 * A_1}} = \frac{973.15 - 723.15}{\frac{e_1}{0.086 * 9}}$$

$$e_1 = 0.087 \text{ m} = 8.71 \text{ cm} = 3.43 \text{ pulg.}$$

Haciendo referencia en el mercado existen espesores de fibra cerámica de 1” =2.54cm; y con respecto al valor que se indica en los cálculos, usaremos 04 planchas de 2.54 cm.

3.10.12.2 Lana de roca basáltica (e2) en el techo

Este espesor sigue a la fibra de cerámica que es la lana de roca basáltica y sus límites de frontera son T_3 y T_2 , su calor está dado por la ecuación (31).

$$q = \frac{T_2 - T_3}{\frac{e_2}{k_2 * A_2}} = \frac{T_2 - T_3}{R_3}$$

Donde:

✎ $A_2 = A_1 = 3 * 3 = 9 \text{ m}^2$ Área de la pared de la lana de roca basáltica.

✎ $k_2 = 0.038 \frac{W}{m K}$ Coeficiente de conductividad lana de roca basáltica.

✎ $T_2 = 450 \text{ }^\circ\text{C} = 723.15 \text{ K}$ Temperatura de servicio lana de roca basáltica.

✎ $T_3 \approx 40 \text{ }^\circ\text{C} = 313.15 \text{ K}$ Temperatura aproximada a la pared exterior.

✎ $e_2 = ?$ Espesor de la lana de roca basáltica.

Calculando el espesor:

$$q = \frac{T_2 - T_3}{\frac{e_2}{k_2 * A_2}} = \frac{723.15 - 313.15}{\frac{e_2}{0.038 * 9}}$$

$$e_2 = 0.021 \text{ m} = 2.1 \text{ cm}$$

Los espesores disponibles para la lana de roca basáltica es 5.0 cm., y con respecto al valor que se indica en los cálculos, usaremos 1 plancha de 5.0 cm.

3.10.12.3 Plancha de acero (e3) en el techo

El ultimo espesor corresponde a la plancha de acero que recubrirá el horno, seleccionamos una plancha de acero con 0.2 cm de espesor.

3.10.12.4 Resultados de los espesores de techo

Espesor	Espesor calculado	Espesor en el mercado
e1 (fibra de cerámica)	8.71 cm	10.16 cm
e2 (lana de roca basáltica)	2.1 cm	5.0 cm
e3 (plancha de acero)	0.2 cm	0.2 cm
Espesor total	11.01 cm	15.36 cm

Tabla 25: Espesor total del techo del horno

Elaboración: Propia

3.10.13 CALOR PERDIDO EN PAREDES, TECHO Y SOLERA DEL HORNO

3.10.13.1 Calor perdido en las paredes laterales del horno

Debido a que el flujo de calor es constante el calor perdido es como sigue:

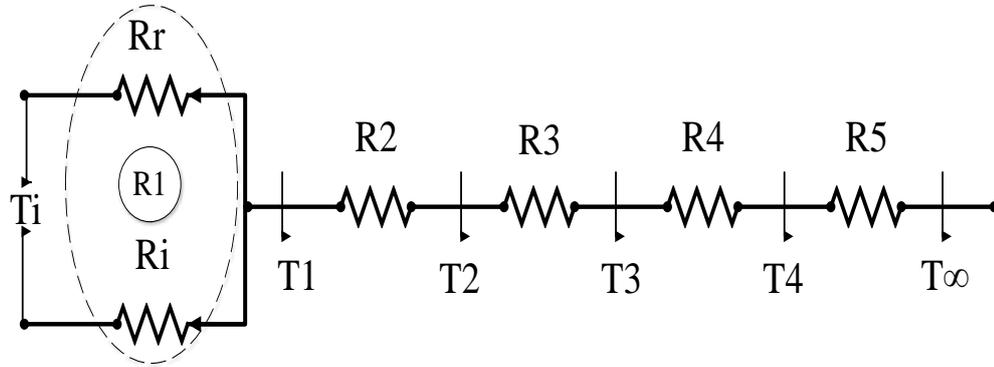


Figura 21: Circuito térmico de las paredes del horno

Elaboración: Propia

$$q = \frac{T_i - T_\infty}{\left(\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{1}{h_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_1}{k_1 * A_1} + \frac{e_2}{k_2 * A_2} + \frac{e_3}{k_3 * A_3} + \frac{1}{h_\infty * A_\infty}} \quad \dots (Ec. 34)$$

Donde:

- ✎ A_i : Área de la superficie interior del horno.
- ✎ A_1 : Área de la superficie más caliente de la fibra de cerámica.
- ✎ A_2 : Área de la superficie más caliente de la lana de roca basáltica.
- ✎ A_3 : Área de la superficie más caliente de la plancha de acero.
- ✎ A_∞ : Área de la plancha de acero en contacto con el ambiente.

$$= \frac{973.15 - 291.15}{\left(\frac{1}{9.5 * 3} + \frac{1}{13.38 * 3}\right)^{-1} + \frac{0.1016}{0.086 * 3} + \frac{0.075}{0.038 * 3.051} + \frac{0.002}{53.6 * 3.088} + \frac{1}{10 * 3.089}}$$

$$q = 41.99 \text{ W} * (4 \text{ paredes}) = 167.97 \text{ W}$$

$$q = 0.1679 \text{ KW}$$

3.10.13.2 Calor perdido en el techo del horno

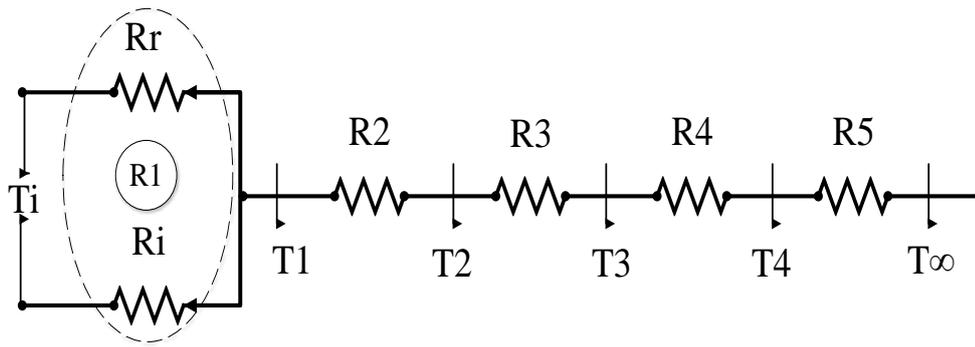


Figura 22: Circuito térmico del techo del horno

Elaboración: Propia

Tomando la ecuación (34).

$$q = \frac{T_i - T_\infty}{\left(\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{1}{h_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_1}{k_1 * A_1} + \frac{e_2}{k_2 * A_2} + \frac{e_3}{k_3 * A_3} + \frac{1}{h_\infty * A_\infty}}$$

$$= \frac{973.15 - 291.15}{\left(\frac{1}{9.5 * 9} + \frac{1}{13.38 * 9}\right)^{-1} + \frac{0.1016}{0.086 * 10.10} + \frac{0.050}{0.038 * 10.10} + \frac{0.002}{53.6 * 10.10} + \frac{1}{10 * 10.10}}$$

$$q = 13.90 \text{ W} = 0.01390 \text{ KW}$$

3.10.13.3 Calor perdido en la solera del horno

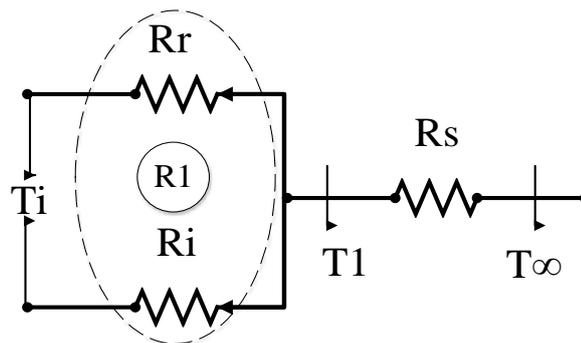


Figura 23: Circuito térmico de la solera del horno

Elaboración: Propia

Según el circuito tenemos la siguiente ecuación:

$$q = \frac{T_i - T_\infty}{R_1 + R_s} \quad \dots \text{(Ec. 35)}$$

$$q = \frac{T_i - T_\infty}{\left(\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{1}{h_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_s}{k_s * A_s}} \quad \dots (Ec. 36)$$

$$q = \frac{973.15 - 291.15}{\left(\frac{1}{9.5 * 9} + \frac{1}{13.38 * 9}\right)^{-1} + \frac{0.254}{0.205 * 10.10}}$$

$$q = 13.76 W = 0.01376 KW$$

3.10.13.4 Calor perdido en las ventanillas del horno

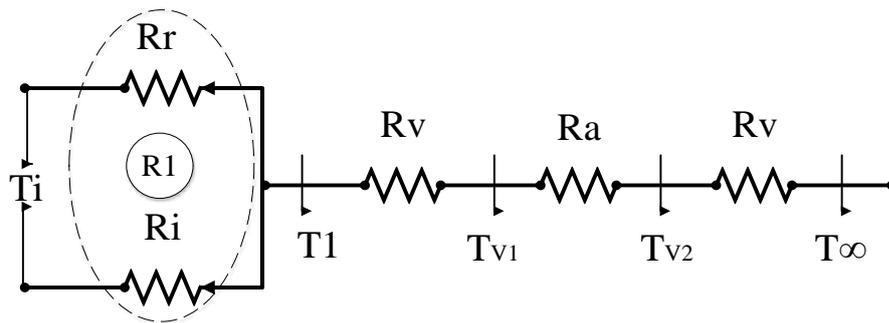


Figura 24: Circuito térmico de las ventanillas del horno

Elaboración: Propia

Según el circuito de la figura tenemos la siguiente ecuación:

$$q = \frac{T_i - T_\infty}{R_1 + R_v + R_a + R_v} \quad \dots (Ec. 37)$$

$$q = \frac{T_i - T_\infty}{\left(\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{1}{h_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_v}{k_v * A_{v1}} + \frac{e_a}{k_a * A_a} + \frac{e_v}{k_v * A_{v2}}} \quad \dots (Ec. 38)$$

Donde:

- ☞ A_i : Área de la superficie interior del horno.
- ☞ A_{v1} : Área de la superficie más caliente del vidrio cerámico neoceram.
- ☞ A_a : Área de la superficie del aire estancado.
- ☞ A_{v2} : Área de la superficie del vidrio en contacto con el ambiente.

$$q = \frac{973.15 - 291.15}{\left(\frac{1}{9.5 * 0.04} + \frac{1}{13.38 * 0.04}\right)^{-1} + \frac{0.005}{0.8653 * 0.04} + \frac{0.1686}{0.026 * 0.04} + \frac{0.005}{0.8653 * 0.04}}$$

$$q = 4.19W * (4 \text{ paredes}) = 16.77 W$$

$$q = 0.01677KW$$

3.10.13.5 Pérdida total de calor

$$Q_T = \sum q \quad \dots \text{(Ec. 39)}$$

Donde:

Q_T : Flujo de calor total en el horno.

q : Flujo de calor en las paredes laterales, techo y solera del horno.

$$Q_T = 167.97 + 13.90 + 13.76 = 195.63 W = 0.1956 KW$$

3.10.14 CALOR PARA CALENTAMIENTO DEL HORNO Y RODETE

3.10.14.1 Calor necesario para el calentamiento del rodete

El calor requerido para calentar el rodete del horno se calcula basado a la siguiente

ecuación:

$$Q_r = m_r * C_c \quad \dots \text{(Ec. 40)}$$

Donde:

☞ Q_r : Calor necesario para calentar el rodete en kcal.

☞ m_r : Masa del rodete en kg.

☞ C_c : Es el contenido de calor del material del rodete en kcal/kg.

El contenido de calor se obtiene según el (*Anexo G*), efecto del porcentaje de carbono sobre el contenido de calor del acero, la cual está en función de la temperatura de inicio T_{∞} y final T_f del calentamiento, siendo así la variación de temperatura:

$$\Delta T = T_f - T_{\infty} \quad \dots \text{(Ec. 41)}$$

Para 600 °C (temperatura de tratamiento térmico del rodete), tenemos 90 kcal/kg y para 18 °C tenemos 4 kcal/kg.

$$Q_r = 5000 \text{ kg} * (90 - 4) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_r = 430000 \text{ kcal} = 499.66 \text{ KWh}$$

3.10.14.2 Calor necesario para el calentamiento de los calzados del rodete

Para el rodete Pelton la cantidad necesaria bajo la llanta son de 6 calces dispuestos a 60° de distancia y calzado bajo cada cangilón, según el (*Anexo D*), ciclo de tratamiento de eliminación de tensiones y el (*Anexo G*), efecto del porcentaje de carbono sobre el contenido de calor del acero se tiene:

$$Q_c = m_c * C_c \quad \dots (\text{Ec. 42})$$

$$m_c = (22 * 4)kg + (6 * 10)kg = 148kg$$

$$Q_c = 148 \text{ kg} * (90 - 4) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_c = 12728 \text{ kcal} = 14.79 \text{ KWh}$$

3.10.14.3 Calor necesario para el calentamiento de la solera

Para los ladrillos refractarios el contenido calorífico lo obtenemos según el (*Anexo H*), contenido calorífico de materiales refractarios. Para 600 °C (temperatura de tratamiento térmico del rodete), tenemos 130.5 kcal/kg y para 18 °C tenemos 4 kcal/kg.

$$Q_{lr} = m_{Tlr} * C_c \quad \dots (\text{Ec. 43})$$

La masa del ladrillo refractario será obtenida a partir de su densidad con la siguiente ecuación.

$$\delta_{lr} = \frac{m_{lr}}{V_{lr}} \quad \dots (\text{Ec. 44})$$

Según la tabla 18, especificaciones técnicas del ladrillo refractario $\delta_{lr} = 580 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$m_{lr} = 580 * (0.2286 * 0.1143 * 0.0635) = 0.96 \text{ kg}$$

$$m_{Tlr} = T * m_{lr} \quad \dots (\text{Ec. 45})$$

$$T = \frac{V_{solera}}{V_{lr}} = \frac{(3 * 3 * 0.254)m^3}{(0.2286 * 0.1143 * 0.0635)m^3} = 1377.78$$

$$m_{Tlr} = 1377.78 * 0.96 = 1322.67 \text{ Kg}$$

$$Q_{lr} = 1322.67 \text{ kg} * (130.5 - 4) \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$Q_{lr} = 167317.76 \text{ kcal} = 194.42 \text{ KWh}$$

3.10.14.4 Calor necesario para el calentamiento de las paredes y techo del horno

☞ Calor necesario para el calentamiento de la fibra de cerámica

$$Q_{fc} = m_{fc} * C_p * \Delta T \quad \dots (\text{Ec. 46})$$

Donde:

☞ C_p : Calor específico.

☞ ΔT : Variación de temperatura.

☞ m : Masa del material aislante.

$$Q_{fc} = \left(128 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (1.26+0.98)m^3\right) * \left(0.27 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) * \left(\frac{700 - 450}{2} - 18\right)^\circ\text{C}$$

$$Q_{fc} = 8288.34 \text{ Kcal} = 9.63 \text{ KWh}$$

☞ Calor necesario para el calentamiento de la lana de roca basáltica

$$Q_{rb} = m_{rb} * C_p * \Delta T \quad \dots (\text{Ec. 47})$$

Donde:

☞ C_p : Calor específico.

☞ ΔT : Variación de temperatura.

☞ m : Masa del material aislante.

$$Q_{rb} = \left(60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * (0.93+0.48)m^3\right) * \left(0.20 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}\right) * \left(\frac{450 - 40}{2} - 18\right)^\circ\text{C}$$

$$Q_{rb} = 3164.04 \text{ Kcal} = 3.68 \text{ KWh}$$

☞ Calor necesario para perdidas no consideradas en el cálculo.

Se considera por seguridad el 10% del consumo total de la energía en el horno de tratamiento térmico.

$$Q_{pnc} = 72.22 \text{ KWh}$$

3.10.14.5 Calor total necesario para calentar el horno de tratamiento térmico

La elevación de temperatura a partir del ambiente es a una velocidad menor de 50°C/h, El tiempo necesario del rodete para llegar a 600°C es de 12 horas más el mantenimiento a esta temperatura durante 2 horas + 1 hora por cada 25 mm de profundidad de la excavación. Entonces el consumo total de calor en el horno es:

$$Q_{Ttt} = \left(\frac{Q_r + Q_c + Q_{lr} + Q_{fc} + Q_{rb} + Q_{pnc}}{h_T} \right) + Q_T \quad \dots \text{(Ec. 48)}$$

$$Q_{Ttt} = \left(\frac{499.66 + 14.79 + 194.42 + 9.63 + 3.68 + 72.22}{14} \right) + 0.1956$$

$$Q_{Ttt} = 56.94 \text{ KW}$$

3.10.15 CÁLCULO DE LA EFICIENCIA (η) DEL HORNO HASTA 700°C

$$\eta = \left(\frac{Q_{Ttt}}{Q_{Ttt} + \left(Q_T + \frac{Q_{pnc}}{14} \right)} \right) * 100 \% \quad \dots \text{(Ec. 49)}$$

$$\eta = \left(\frac{56.94}{56.94 + (0.1956 + 5.16)} \right) * 100 \% = 91.41\%$$

3.10.16 CÁLCULO DE LA POTENCIA DEL HORNO

$$P = \left(\frac{Q_{Ttt}}{\eta} \right) \quad \dots \text{(Ec. 50)}$$

$$P = \frac{56.94}{0.9141} = 62.29 \text{ KW}$$

3.11 DISEÑO MECÁNICO DEL HORNO

3.11.1 CÁLCULO DE LA VIGA PRINCIPAL DEL TECHO DEL HORNO

Para el cálculo se toma en cuenta la carga viva y la carga muerta, para calcular la flecha que se produce en la viga más crítica debido a las cargas que está sometida.

Para el cálculo según el espesor total y peso del techo del horno seleccionamos el perfil IPE 80 la cual se muestra en el (*Anexo I*), perfiles IPE. Del acero tipo ASTM A36 como se muestra en el (*Anexo J*), Acero ASTM A36.

En la siguiente figura se visualiza las cargas que actúan en la estructura principal del horno.

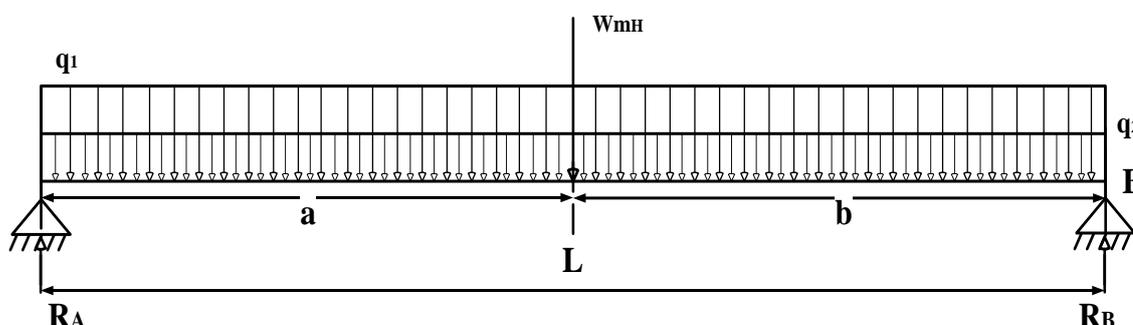


Figura 25: Representación de las fuerzas sobre la viga principal

Elaboración: Propia

Donde:

- ✎ $W_{mH} = 40 \text{ Kg}$: Peso medio de un hombre sobre la viga más crítica.
- ✎ $q_1 = 0.014 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}$: Carga distribuida, representa el peso de los materiales.
- ✎ $q_2 = 0.00189 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}}$: Carga distribuida, representa el peso propio de la viga.
- ✎ $L = 3178.6 \text{ mm}$: Longitud total de la viga.
- ✎ $a = b = 1589.3 \text{ mm}$: distancias entre fuerzas.
- ✎ $R_A, R_b = ?$: Reacciones puntuales.

Para el cálculo de las cargas distribuidas es necesario calcular el peso de los materiales aislantes del horno:

☞ **Carga distribuida que representa el peso de los materiales en el techo**

$$q_1 = \frac{W_{fc} + W_{rb} + W_{pa}}{N_{vigas} * L} \quad \dots (Ec. 51)$$

$$q_1 = \frac{(131.40 + 45.47 + 40.16)Kgf}{6 * 3178.6 \text{ mm}} = 0.014 \frac{Kgf}{mm}$$

☞ **Carga distribuida que representa el peso propio de la viga (Anexo I).**

$$q_2 = \frac{W_V}{L} \quad \dots (Ec. 52)$$

$$q_2 = \frac{6.0 \text{ Kgf}}{3.1786 \text{ m}} = 1.89 \frac{Kgf}{m} = 0.00189 \frac{Kgf}{mm}$$

☞ **Cálculo de reacciones puntuales R_A y R_B**

Para encontrar el valor de las reacciones, se realiza sumatoria de momento en el punto A.

$$\sum M_A = 0 \quad \dots (Ec. 53)$$

$$R_B(L) - W_{mH}(a) - q_1(L)(a) - q_2(L)(a) = 0$$

$$R_B = \frac{((40 * 1589.3) + (0.014 + 0.00189)(3178.6 * 1589.3))Kgfmm}{3178.6 \text{ mm}}$$

$$R_B = 45.25 \text{ kgf}$$

Mediante la ecuación de equilibrio de fuerzas se tiene que:

$$\sum F_Y = 0 \quad \dots (Ec. 54)$$

$$R_B + R_A - W_H - q_1(L) - q_2(L) = 0$$

$$R_A = 40 + (0.014 * 3178.6) + (0.00189 * 3178.6) - 45.25 = 45.25 \text{ kgf}$$

☞ **Cálculo de deformación por el método de la doble integración**

Se calcula la flecha “y”, que es el desplazamiento de la viga estando en posición horizontal hacia un punto “x” luego de ser aplicado una carga.

$$EI_{xy}'' = M_f \quad \dots (Ec. 55)$$

Donde:

✎ $E = 200 \text{ GPa} = 20408.16 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$: Módulo de elasticidad.

✎ $I_X = 80.1 \text{ cm}^4 = 80.1 * 10^4 \text{ mm}^4$: Momento de inercia, (Anexo I).

✎ $M_f = ?$: Momento flector de la viga.

$$EI_{xy}' = \int M_f dx + C$$

$$EI_{xy} = \int dx \int M_f dx + C + D \quad \dots (Ec. 56)$$

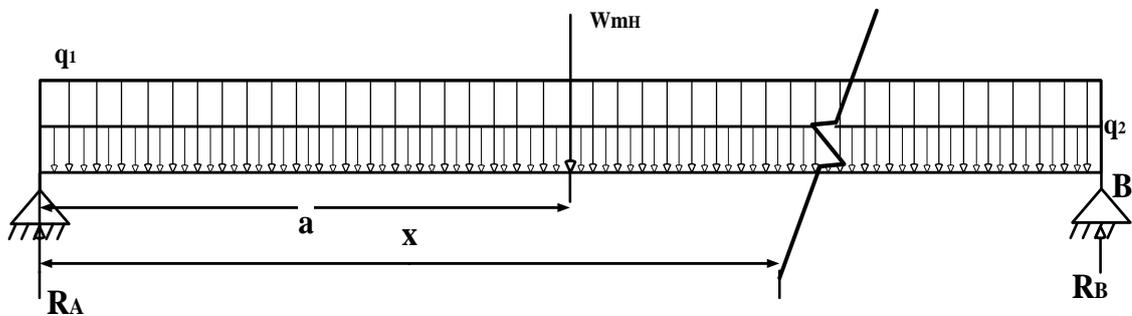


Figura 26: Representación de la viga para análisis de la doble integración

Elaboración: Propia

Para el análisis de la viga a distancia “x” se realiza una sumatoria de momentos.

$$EI_{xy}'' = M_f$$

$$EI_{xy}'' = R_A(x) - W_{mH}(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right) \quad \dots (Ec. 57)$$

$$EI_{xy}' = R_A \left(\frac{x^2}{2}\right) - W_{mH} \frac{(x - a)^2}{2} - q_1 \left(\frac{x^3}{6}\right) - q_2 \left(\frac{x^3}{6}\right) + C$$

$$EI_{xy} = R_A \left(\frac{x^3}{6}\right) - W_{mH} \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24}\right) + Cx + D \quad \dots (Ec. 58)$$

Cálculo para valores “x”.

- a. Para $(x = 0)$, el apoyo es en este punto, por tanto $(y = 0)$.

$$EI_X(0) = R_A \left(\frac{0^3}{6} \right) - W_{mH} \frac{(0 - 1589.3)^3}{6} - q_1 \left(\frac{0^4}{24} \right) - q_2 \left(\frac{0^4}{24} \right) + C(0) + D$$

$$D = 0$$

b. Para $(x = L)$, el apoyo también es en este punto, por tanto $(y = 0)$.

$$EI_X(0) = R_A \left(\frac{L^3}{6} \right) - W_{mH} \frac{(L - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{L^4}{24} \right) - q_2 \left(\frac{L^4}{24} \right) + C(L) + D$$

$$C = -46514840.06$$

Según la teoría en el techo del horno la deformación siempre se presentará en el punto medio, por tanto $(x = 1589.3 \text{ mm})$.

$$EI_X y = R_A \left(\frac{x^3}{6} \right) - W_{mH} \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24} \right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24} \right) + Cx + D$$

$$y = \frac{-4.79 * 10^{10}}{\left(20408.16 \frac{\text{kgf}}{\text{mm}^2} \right) * (80.1 * 10^4 \text{ mm}^4)}$$

$$y = -2.92 \text{ mm}$$

☞ Cálculo del valor de la fuerza cortante y momento flector máximo

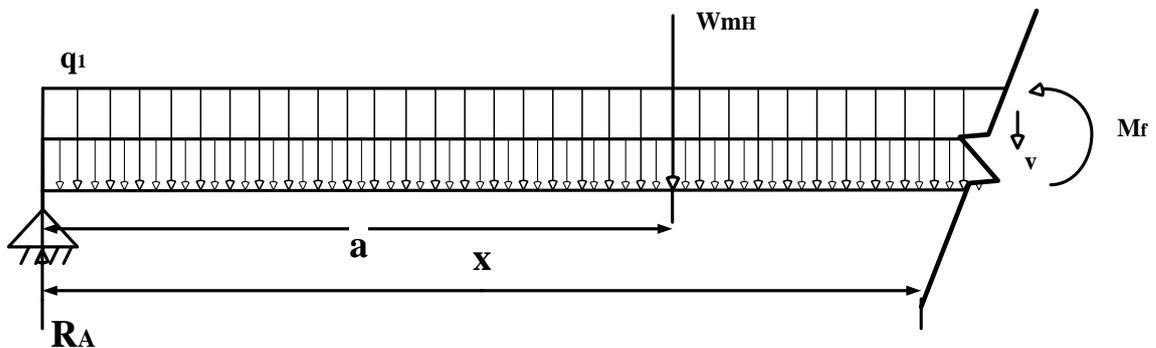


Figura 27: Representación de la viga para fuerza cortante y momento flector

Elaboración: Propia

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A - W_{mH} - q_1(x) - q_2(x) - V = 0$$

$$V = R_A - W_{mH} - q_1(x) - q_2(x)$$

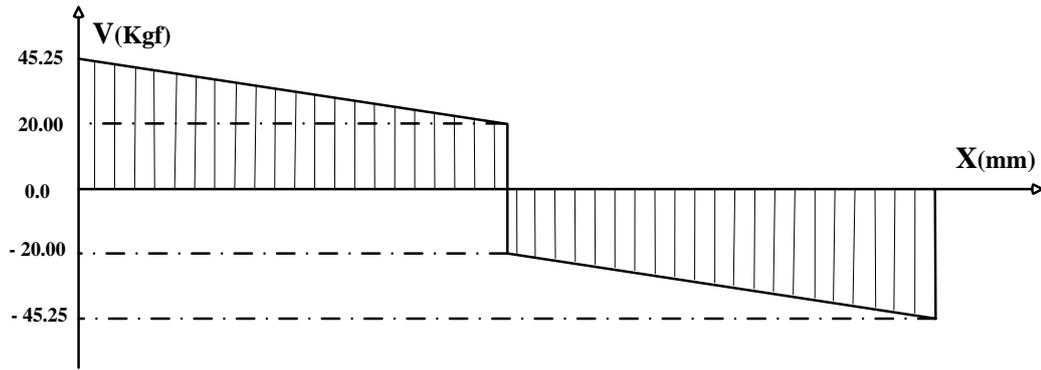


Figura 28: Diagrama de fuerza cortante de la estructura del techo "V"

Elaboración: Propia

$$\sum M_x = 0 \quad \dots (Ec. 59)$$

$$R_A(x) - W_{mH}(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right) - M_f = 0$$

$$M_f = R_A(x) - W_{mH}(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right)$$

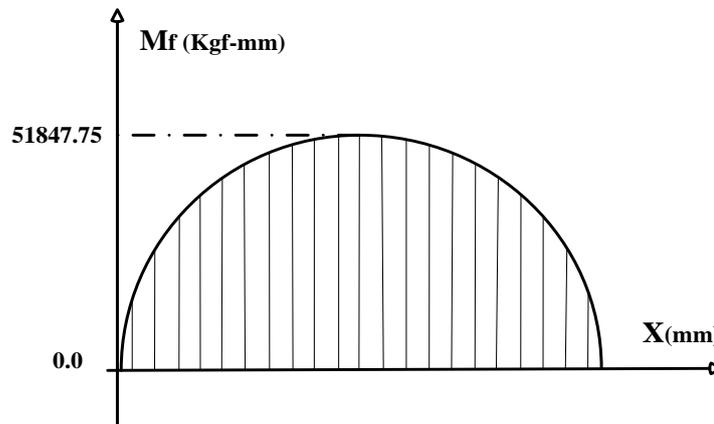


Figura 29: Diagrama de momento flector de la estructura del techo "Mf"

Elaboración: Propia

🔍 **Cálculo del máximo esfuerzo de la viga**

El perfil de la viga utilizado es del tipo IPE 80, cuyas características se presentan en el (Anexo I), perfiles IPE.

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x} * \bar{y}}{I_x} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W_{x \text{ tabulado}}} = \frac{S_y}{n} \quad \dots (Ec. 60)$$

Donde:

✎ $\sigma = ?$: Esfuerzo máximo por flexión.

✎ $M_{\text{máx}} = 51847.75 \text{ Kgf} - \text{mm}$: Momento flector máximo.

✎ $I_X = 80.1 \text{ cm}^4 = 80.1 * 10^4 \text{ mm}^4$: Momento de inercia.

✎ $\bar{y} = 40 \text{ mm}$: Centro de gravedad.

✎ $S_y = 25.50 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$: Límite de fluencia.

✎ $n = ?$: Coeficiente de seguridad.

$$\sigma = \frac{51847.75 \text{ Kgf} - \text{mm} * 40 \text{ mm}}{80.1 * 10^4 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = 2.59 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

✎ Cálculo del coeficiente de seguridad “n”

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{25.50 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}}{2.59 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}} = 9.85$$

3.11.2 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LAS PAREDES LATERALES

El perfil de la columna utilizado en los cálculos es del tipo IPE 80, cuyas características se presentan en el (*Anexo I*), perfiles IPE.

La columna es un miembro esbelto relativamente largo cargado a compresión, son elementos de gran importancia para que todas las paredes permanezcan rígidas para ello debemos garantizar de que no exista pandeo alguno, y esto se mide por lo general con la relación de esbeltez cuya ecuación se muestra a continuación:

$$SR = \frac{KL}{r} = \frac{l_e}{r} \quad \dots \text{ (Ec. 61)}$$

Donde:

✎ $SR = ?$: Relación de esbeltez.

✎ $K = 0.65$: Factor de fijación en los extremos.

✎ $L = 100 \text{ cm}$: Longitud real de la columna entre los puntos de apoyo.

✎ $l_e = KL = ?$: Longitud efectiva.

✎ $r = ?$: Radio de giro mínimo de la sección transversal.

✎ $n = ?$: Coeficiente de seguridad.

✎ **Cálculo del radio de giro mínimo de la sección transversal**

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A}} \quad \dots \text{(Ec. 62)}$$

$$r = \sqrt{\frac{8.49}{7.64}} = 1.05 \text{ cm}$$

✎ **Cálculo de la relación de esbeltez**

Según R. Mott el factor de fijación mide el grado de extremo a extremo a la cual la columna está limitado contra una rotación. El valor teórico es $k = 0.5$, pero en la práctica se recomienda un valor de $k = 0.65$.

$$SR = \frac{0.65 * 100}{1.05} = 61.90$$

✎ **Cálculo de la relación de esbeltez de transición**

Se utiliza para determinar si la columna de diseño es larga o corta, para comparar este valor con el anterior obtenido.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * E}{S_y}} \quad \dots \text{(Ec. 63)}$$

Donde:

✎ $E = 200 \text{ GPa} = 20408.16 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$: Módulo de elasticidad.

✎ $S_y = 250 \text{ MPa}$: Límite de fluencia del material ASTM A36, (Anexo J).

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 200 \text{ GPa}}{250 \text{ MPa}}} = 125.66$$

La siguiente figura muestra la forma de diseño del pórtico:

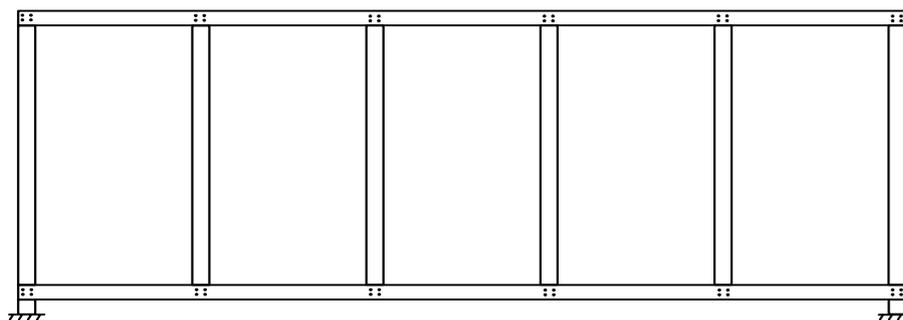


Figura 30: Estructura de las paredes del horno

Elaboración: Propia

El pórtico más cargado de la estructura es la parte baja por lo tanto el cálculo se ha de hacerse de acuerdo a la siguiente figura:

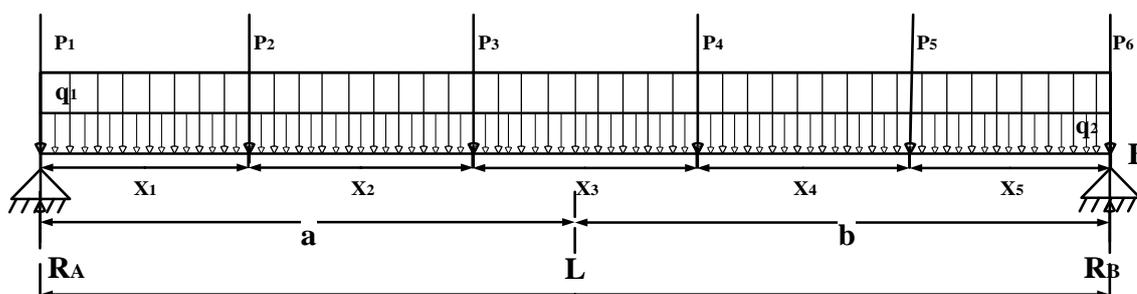


Figura 31: Distribución de cargas en el pórtico más cargado de la pared

Elaboración: Propia

Donde:

✎ $P_1 = P_2 = \dots = P_6 = 57.17 \text{Kgf}$: *Peso promedio del techo del horno más el de un hombre sobre la viga más crítica.*

✎ $q_1 = 0.00393 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}}$: *Carga distribuida, representa el peso de los materiales.*

✎ $q_2 = 0.00189 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}}$: *Carga distribuida, representa el peso propio de la viga.*

✎ $L = 3178.6 \text{ mm}$: *Longitud total de la viga.*

✎ $a = b = 1589.3 \text{ mm}$: *Distancia media de la viga.*

✎ $X_1 = X_2 = \dots = X_5 = 635.72 \text{ mm}$: *distancias entre fuerzas.*

✎ $R_A, R_b = ?$: Reacciones puntuales.

Para el cálculo de las cargas que debe soportar la estructura de las paredes del horno se tomaran en cuenta el peso de la tapa del horno y el peso medio de un hombre sobre él.

✎ **Peso promedio del techo más el de un hombre ($P_1, P_2...P_6$)**

$$P_{...} = \frac{W_{mH}}{N^{\circ} \text{ de Columnas}} + (q_{1\text{-techo}} + q_{2\text{-techo}} * L) \quad \dots (\text{Ec. 64})$$

$$P_{...} = \frac{40Kgf}{6} + \left(0.01589 \frac{Kgf}{mm} * 3178.6 \text{ mm} \right) = 57.17 \text{ Kgf}$$

✎ **Carga distribuida que representa el peso de los materiales en la pared**

$$P_{...} = \frac{W_{mH}}{N^{\circ} \text{ de Columnas}} + (q_{1\text{-techo}} + q_{2\text{-techo}} * L) \quad \dots (\text{Ec. 65})$$

$$q_1 = \frac{(41.34 + 14.30 + 13.38 + 6.0)Kgf}{6 * 3178.6 \text{ mm}} = 0.00393 \frac{Kgf}{mm}$$

✎ **Carga distribuida que representa el peso propio de la viga (*Anexo I*).**

$$q_2 = \frac{W_v}{L}$$

$$q_2 = \frac{6.0 \text{ Kgf}}{3.1786 \text{ m}} = 1.89 \frac{Kgf}{m} = 0.00189 \frac{Kgf}{mm}$$

✎ **Cálculo de reacciones puntuales R_A y R_B**

Para encontrar el valor de las reacciones, se realiza sumatoria de momento en el punto A.

$$\sum M_A = 0$$

$$R_B(L) - P_2(X_1) - P_3(X_2) - P_4(X_3) - P_5(X_4) - P_6(X_5) - q_1(L)(a) - q_2(L)(a) = 0$$

$$R_B = \frac{(((57.17 * 635.72) + \dots) + (0.00393 + 0.00189)(3178.6 * 1589.3))Kgfmm}{3178.6 \text{ mm}}$$

$$R_B = 180.76 \text{ kgf}$$

Mediante la ecuación de equilibrio de fuerzas se tiene que:

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_B + R_A - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - q_1(L) - q_2(L) = 0$$

$$R_A = (57.17 * 6) + ((0.00393 + 0.00189) * 3178.6) - 180.76 = \mathbf{180.76 \text{ kgf}}$$

✎ **Cálculo de deformación por el método de la doble integración**

Se calcula la flecha “y”, que es el desplazamiento de la viga estando en posición horizontal hacia un punto “x” luego de ser aplicado una carga.

$$EI_X y'' = M_f$$

Donde:

✎ $E = 200 \text{ GPa} = 20408.16 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$: *Módulo de elasticidad.*

✎ $I_X = 80.1 \text{ cm}^4 = 80.1 * 10^4 \text{ mm}^4$: *Momento de inercia (Anexo I).*

✎ $M_f = ?$: *Momento flector de la viga.*

$$EI_X y' = \int M_f dx + C$$

$$EI_X y = \int dx \int M_f dx + C + D$$

Para efectos de cálculo las fuerzas ($P_1, P_2, \dots P_6$) lo reemplazaremos con un P_T , que representa un peso total del techo más el peso medio del hombre sobre el techo.

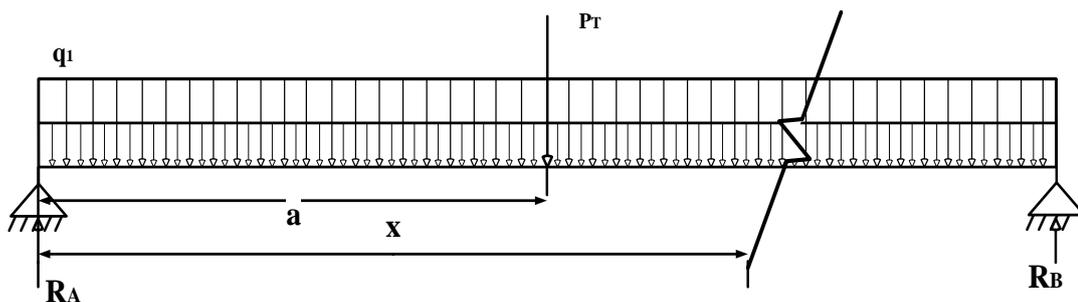


Figura 32: Viga crítica para análisis por doble integración

Elaboración: Propia

Para el análisis de la viga a distancia “x” se realiza una sumatoria de momentos.

$$EI_X y'' = M_f$$

$$EI_x y'' = R_A(x) - P_T(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right)$$

$$EI_x y' = R_A \left(\frac{x^2}{2}\right) - P_T \frac{(x - a)^2}{2} - q_1 \left(\frac{x^3}{6}\right) - q_2 \left(\frac{x^3}{6}\right) + C$$

$$EI_x y = R_A \left(\frac{x^3}{6}\right) - P_T \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24}\right) + Cx + D$$

Cálculo para valores “x”.

- a. Para (x = 0), el apoyo es en este punto, por tanto (y = 0).

$$EI_x(0) = R_A \left(\frac{0^3}{6}\right) - P_T \frac{(0 - 1589.3)^3}{6} - q_1 \left(\frac{0^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{0^4}{24}\right) + C(0) + D$$

$$D = 0$$

- b. Para (x = L), el apoyo también es en este punto, por tanto (y = 0).

$$EI_x(0) = R_A \left(\frac{L^3}{6}\right) - P_T \frac{(L - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{L^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{L^4}{24}\right) + C(L) + D$$

$$C = -224394710.58$$

Según la teoría en el techo del horno la deformación siempre se presentará en el punto medio, por tanto (x = 1589.3 mm).

$$EI_x y = R_A \left(\frac{x^3}{6}\right) - P_T \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24}\right) + Cx + D$$

$$y = \frac{-23.72 * 10^{10}}{\left(20408.16 \frac{kgf}{mm^2}\right) * (80.1 * 10^4 mm^4)}$$

$$y = -14.51 mm$$

El valor de la deformación es demasiado alto por lo tanto se ha de hacer un recálculo para la viga utilizando un perfil IPE 120, según se muestra en el (Anexo I).

☞ **Carga distribuida que representa el peso propio de la viga (Anexo I).**

$$q_2 = \frac{W_v}{L}$$

$$q_2 = \frac{10.4 \text{ Kgf}}{3.1786 \text{ m}} = 3.27 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} = 0.00327 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}}$$

✎ **Cálculo de reacciones puntuales R_A y R_B**

Para encontrar el valor de las reacciones, se realiza sumatoria de momento en el punto A.

$$\sum M_A = 0$$

$$R_B(L) - P_2(X_1) - P_3(X_2) - P_4(X_3) - P_5(X_4) - P_6(X_5) - q_1(L)(a) - q_2(L)(a) = 0$$

$$R_B = \frac{(((57.17 * 635.72) + \dots) + (0.00393 + 0.00327)(3178.6 * 1589.3)) \text{ Kgfmm}}{3178.6 \text{ mm}}$$

$$R_B = 182.95 \text{ kgf}$$

Mediante la ecuación de equilibrio de fuerzas se tiene que:

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_B + R_A - P_1 - P_2 - P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - q_1(L) - q_2(L) = 0$$

$$R_A = (57.17 * 6) + ((0.00393 + 0.00327) * 3178.6) - 182.95 = 182.95 \text{ kgf}$$

✎ **Cálculo de deformación por el método de la doble integración**

Se calcula la flecha “y”, que es el desplazamiento de la viga estando en posición horizontal hacia un punto “x” luego de ser aplicado una carga.

$$EI_X y'' = M_f$$

Donde:

✎ $E = 200 \text{ GPa} = 20408.16 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$: Módulo de elasticidad.

✎ $I_X = 318 \text{ cm}^4 = 318 * 10^4 \text{ mm}^4$: Momento de inercia, (Anexo I).

✎ $M_f = ?$: Momento flector de la viga.

$$EI_X y' = \int M_f dx + C$$

$$EI_X y = \int dx \int M_f dx + C + D$$

Para efectos de cálculo las fuerzas ($P_1, P_2, \dots P_6$) lo reemplazaremos con un P_T , que representa un peso total del techo más el peso medio del hombre sobre el techo.

Para el análisis de la viga a distancia “x” se realiza una sumatoria de momentos.

$$EI_X y'' = M_f$$

$$EI_X y'' = R_A(x) - P_T(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right)$$

$$EI_X y' = R_A \left(\frac{x^2}{2}\right) - P_T \frac{(x - a)^2}{2} - q_1 \left(\frac{x^3}{6}\right) - q_2 \left(\frac{x^3}{6}\right) + C$$

$$EI_X y = R_A \left(\frac{x^3}{6}\right) - P_T \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24}\right) + Cx + D$$

Cálculo para valores “x”.

- a. Para ($x = 0$), el apoyo es en este punto, por tanto ($y = 0$).

$$EI_X(0) = R_A \left(\frac{0^3}{6}\right) - P_T \frac{(0 - 1589.3)^3}{6} - q_1 \left(\frac{0^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{0^4}{24}\right) + C(0) + D$$

$$D = 0$$

- b. Para ($x = L$), el apoyo también es en este punto, por tanto ($y = 0$).

$$EI_X(0) = R_A \left(\frac{L^3}{6}\right) - P_T \frac{(L - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{L^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{L^4}{24}\right) + C(L) + D$$

$$C = -226235876.08$$

Según la teoría en el techo del horno la deformación siempre se presentará en el punto medio, por tanto ($x = 1589.3$ mm).

$$EI_X y = R_A \left(\frac{x^3}{6}\right) - P_T \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24}\right) + Cx + D$$

$$y = \frac{-23.91 * 10^{10}}{\left(20408.16 \frac{kgf}{mm^2}\right) * (318 * 10^4 mm^4)}$$

$$y = -3.68 mm$$

➤ Cálculo del valor de la fuerza cortante y momento flector máximo

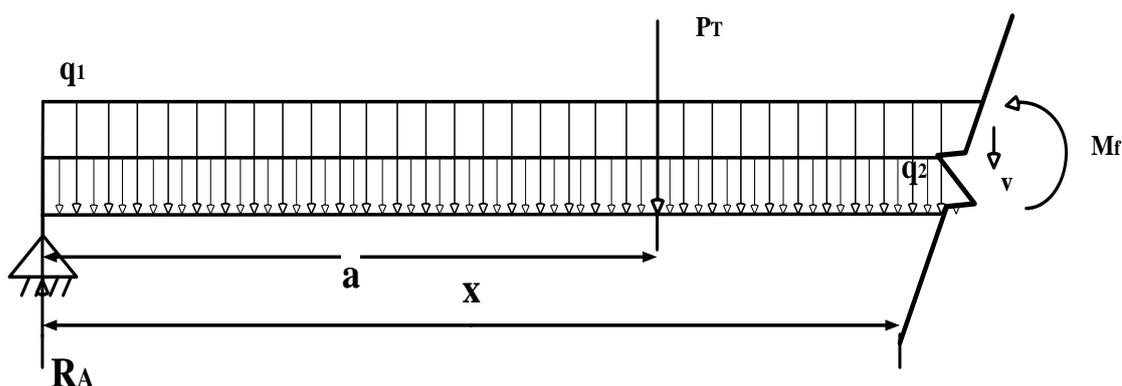


Figura 33: Representación de la viga de la pared para cálculo del “Mf” y “V”

Elaboración: Propia

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A - P_T - q_1(x) - q_2(x) - V = 0$$

$$V = R_A - P_T - q_1(x) - q_2(x)$$

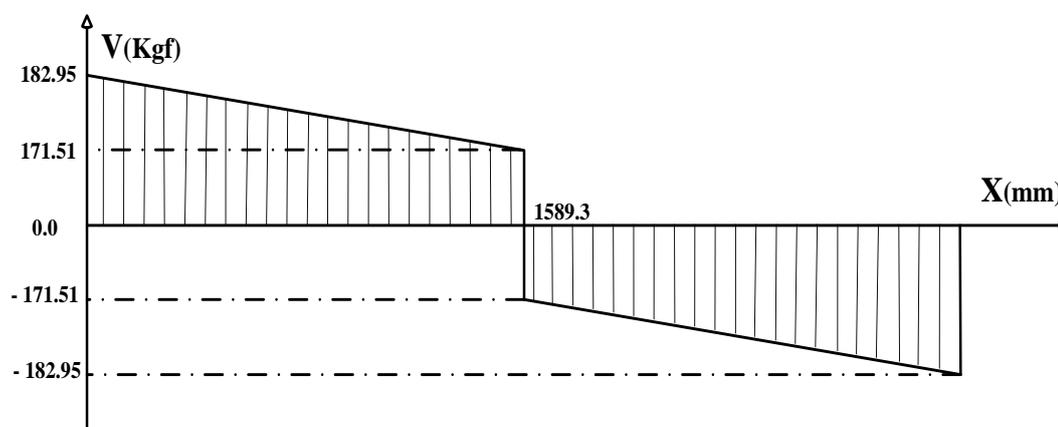


Figura 34: Diagrama de fuerza cortante de la estructura de la pared "V"

Elaboración: Propia

$$\sum M_x = 0$$

$$R_A(x) - P_T(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right) - M_f = 0$$

$$M_f = R_A(x) - P_T(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right)$$

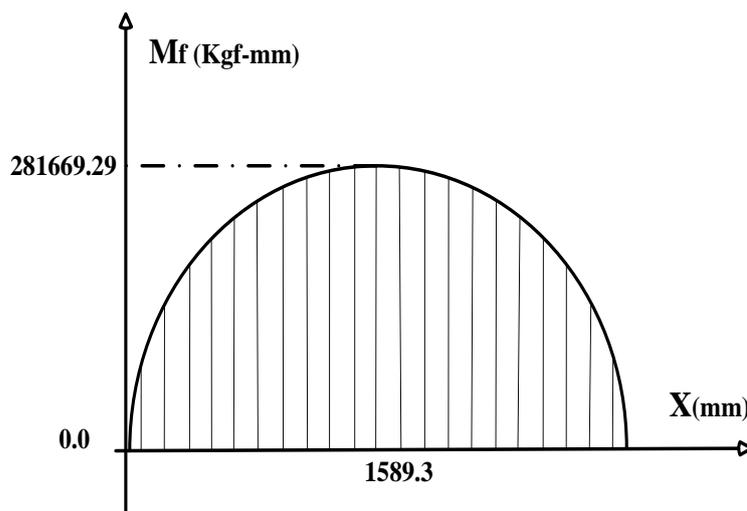


Figura 35: Diagrama de momento flector de la estructura de la pared "Mf"

Elaboración: Propia

✎ **Cálculo del máximo esfuerzo de la viga**

El perfil de la viga utilizado es del tipo IPE 120, cuyas características se presentan en el (*Anexo I*), perfiles IPE.

$$\sigma = \frac{M_{\text{máx}} * \bar{y}}{I_x} = \frac{M_{\text{máx}}}{W_{x \text{ tabulado}}} = \frac{S_y}{n}$$

Donde:

✎ $\sigma = ?$: Esfuerzo máximo por flexión.

✎ $M_{\text{máx}} = 281669.29 \text{ Kg}f - \text{mm}$: Momento flector máximo.

✎ $I_x = 318 \text{ cm}^4 = 318 * 10^4 \text{ mm}^4$: Momento de inercia.

✎ $\bar{y} = 60 \text{ mm}$: Centro de gravedad.

✎ $S_y = 25.50 \frac{\text{Kg}f}{\text{mm}^2}$: Límite de fluencia.

✎ $n = ?$: Coeficiente de seguridad.

$$\sigma = \frac{281669.29 \text{ Kg}f - \text{mm} * 60 \text{ mm}}{318 * 10^4 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = 5.31 \frac{\text{Kg}f}{\text{mm}^2}$$

➤ Cálculo del coeficiente de seguridad “n”

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{25.50 \frac{Kgf}{mm^2}}{5.31 \frac{Kgf}{mm^2}} = 4.80$$

3.11.3 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA DE LA SOLERA MÓVIL

La solera móvil es la que soporta todo el peso del rodete Pelton, para el diseño de la estructura se ha de utilizarse un perfil IPE 120 indicado en el (*Anexo I*).

La viga más cargada de la estructura es la parte baja por lo tanto el cálculo se ha de hacerse de acuerdo a la siguiente figura:

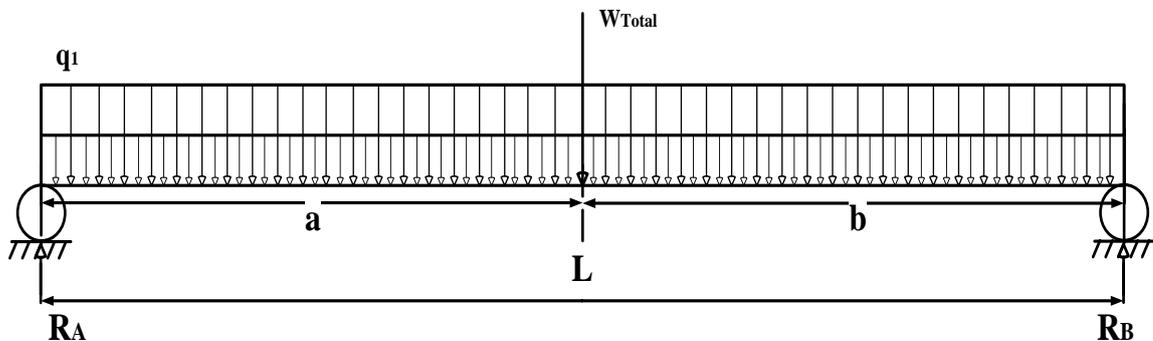


Figura 36: Distribución de cargas en la viga más cargada de la solera móvil

Elaboración: Propia

Donde:

- $W_{Total} = 5148 \text{ Kgf}$: Peso total sobre la solera móvil (rodete y calzados).
- $q_1 = 0.0849 \frac{Kgf}{mm}$: Carga distribuida, representa el peso de los materiales.
- $q_2 = 0.00346 \frac{Kgf}{mm}$: Carga distribuida, representa el peso propio de la viga.
- $L = 3000 \text{ mm}$: Longitud total de la viga.
- $a = b = 1500 \text{ mm}$: Distancia media de la viga.
- $R_A, R_b = ?$: Reacciones puntuales.

Para el cálculo de las cargas que debe soportar la estructura de las paredes del horno se tomaran en cuenta el peso de la tapa del horno y el peso medio de un hombre sobre él.

✎ **Peso total sobre la solera móvil (W_{Total})**

$$W_{Total} = W_{Rodete} + W_{Calzados} \quad \dots (Ec. 66)$$

$$W_{Total} = 5000 + 148 = 5148 \text{ Kgf}$$

✎ **Carga distribuida que representa el peso de los materiales en la pared**

$$q_1 = \frac{W_{Tlr} + W_{Tmr} + W_{Vigas}}{N_{Vigas} * L} \quad \dots (Ec. 67)$$

$$q_1 = \frac{(1322.67 + 200 + 6.0) \text{ Kgf}}{6 * 3000 \text{ mm}} = 0.0849 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}}$$

✎ **Carga distribuida que representa el peso propio de la viga (Anexo I).**

$$q_2 = \frac{W_V}{L}$$

$$q_2 = \frac{10.4 \text{ Kgf}}{3000 \text{ m}} = 3.47 \frac{\text{Kgf}}{\text{m}} = 0.00346 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}}$$

✎ **Cálculo de reacciones puntuales R_A y R_B**

Para encontrar el valor de las reacciones, se realiza sumatoria de momento en el punto A.

$$\sum M_A = 0$$

$$R_B(L) - W_{Total}(a) - q_1(L)(a) - q_2(L)(a) = 0$$

$$R_B = \frac{((5148 * 1500) + (0.0849 + 0.00346)(3000 * 1500)) \text{ Kgfmm}}{3000 \text{ mm}}$$

$$R_B = 2706.54 \text{ kgf}$$

Mediante la ecuación de equilibrio de fuerzas se tiene que:

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_B + R_A - W_{Total} - q_1(L) - q_2(L) = 0$$

$$R_A = 5148 + (0.0849 * 3000) + (0.00346 * 3000) - 2706.54 = 2706.54 \text{ kgf}$$

$$R_A = 2706.54 \text{ kgf}$$

➤ **Cálculo de deformación por el método de la doble integración**

Se calcula la flecha “y”, que es el desplazamiento de la viga estando en posición horizontal hacia un punto “x” luego de ser aplicado una carga.

$$EI_X y'' = M_f$$

➤ $E = 200 \text{ GPa} = 20408.16 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$: Módulo de elasticidad.

➤ $I_X = 318 \text{ cm}^4 = 318 * 10^4 \text{ mm}^4$: Momento de inercia, (Anexo I).

➤ $M_f = ?$: Momento flector de la viga.

$$EI_X y' = \int M_f dx + C$$

$$EI_X y = \int dx \int M_f dx + C + D$$

Para el análisis de la viga a distancia “x” se realiza una sumatoria de momentos.

$$EI_X y'' = M_f$$

$$EI_X y'' = R_A(x) - W_{Total}(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right)$$

$$EI_X y' = R_A \left(\frac{x^2}{2}\right) - W_{Total} \frac{(x - a)^2}{2} - q_1 \left(\frac{x^3}{6}\right) - q_2 \left(\frac{x^3}{6}\right) + C$$

$$EI_X y = R_A \left(\frac{x^3}{6}\right) - W_{Total} \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24}\right) + Cx + D$$

Cálculo para valores “x”.

a. Para (x = 0), el apoyo es en este punto, por tanto (y = 0).

$$EI_X(0) = R_A \left(\frac{0^3}{6}\right) - W_{Total} \frac{(0 - 1500)^3}{6} - q_1 \left(\frac{0^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{0^4}{24}\right) + C(0) + D$$

$$D = 0$$

b. Para (x = L), el apoyo también es en este punto, por tanto (y = 0).

$$EI_X(0) = R_A \left(\frac{L^3}{6}\right) - W_{Total} \frac{(L - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{L^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{L^4}{24}\right) + C(L) + D$$

$$C = -2995492500$$

Según la teoría en el techo del horno la deformación siempre se presentará en el punto medio, por tanto ($x = 1500$ mm).

$$EI_{xy} = R_A \left(\frac{x^3}{6} \right) - W_{Total} \frac{(x-a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24} \right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24} \right) + Cx + D$$

$$y = \frac{-2.989 * 10^{12}}{\left(20408.16 \frac{kgf}{mm^2} \right) * (318 * 10^4 mm^4)}$$

$$y = -46.06 mm$$

El valor de la deformación es demasiado alto por lo tanto se ha de hacer un recálculo para la viga utilizando un perfil IPE 200, según se muestra en el (*Anexo I*).

✎ **Carga distribuida que representa el peso propio de la viga.**

$$q_2 = \frac{W_V}{L}$$

$$q_2 = \frac{22.4 Kgf}{3000 m} = 7.47 \frac{Kgf}{m} = 0.00747 \frac{Kgf}{mm}$$

✎ **Cálculo de reacciones puntuales R_A y R_B**

Para encontrar el valor de las reacciones, se realiza sumatoria de momento en el punto A.

$$\sum M_A = 0$$

$$R_B(L) - W_{Total}(a) - q_1(L)(a) - q_2(L)(a) = 0$$

$$R_B = \frac{((5148 * 1500) + (0.0849 + 0.00747)(3000 * 1500)) Kgfmm}{3000 mm}$$

$$R_B = 2712.55 kgf$$

Mediante la ecuación de equilibrio de fuerzas se tiene que:

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_B + R_A - W_{Total} - q_1(L) - q_2(L) = 0$$

$$R_A = 5148 + (0.0849 * 3000) + (0.00747 * 3000) - 2712.55 = 2712.55 kgf$$

➤ **Cálculo de deformación por el método de la doble integración**

Se calcula la flecha “y”, que es el desplazamiento de la viga estando en posición horizontal hacia un punto “x” luego de ser aplicado una carga.

$$EI_X y'' = M_f$$

Donde:

➤ $E = 200 \text{ GPa} = 20408.16 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$: Módulo de elasticidad.

➤ $I_X = 1940 \text{ cm}^4 = 1940 * 10^4 \text{ mm}^4$: Momento de inercia, (Anexo I).

➤ $M_f = ?$: Momento flector de la viga.

$$EI_X y' = \int M_f dx + C$$

$$EI_X y = \int dx \int M_f dx + C + D$$

Para el análisis de la viga a distancia “x” se realiza una sumatoria de momentos.

$$EI_X y'' = R_A(x) - W_{Total}(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right)$$

$$EI_X y' = R_A \left(\frac{x^2}{2}\right) - W_{Total} \frac{(x - a)^2}{2} - q_1 \left(\frac{x^3}{6}\right) - q_2 \left(\frac{x^3}{6}\right) + C$$

$$EI_X y = R_A \left(\frac{x^3}{6}\right) - W_{Total} \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24}\right) + Cx + D$$

Cálculo para valores “x”.

- a. Para (x = 0), el apoyo es en este punto, por tanto (y = 0).

$$EI_X(0) = R_A \left(\frac{0^3}{6}\right) - W_{Total} \frac{(0 - 1500)^3}{6} - q_1 \left(\frac{0^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{0^4}{24}\right) + C(0) + D$$

$$D = 0$$

- b. Para (x = L), el apoyo también es en este punto, por tanto (y = 0).

$$EI_X(0) = R_A \left(\frac{L^3}{6}\right) - W_{Total} \frac{(L - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{L^4}{24}\right) - q_2 \left(\frac{L^4}{24}\right) + C(L) + D$$

$$C = -2999658750$$

Según la teoría en el techo del horno la deformación siempre se presentará en el punto medio, por tanto ($x = 1500$ mm).

$$EI_{xy} = R_A \left(\frac{x^3}{6} \right) - W_{Total} \frac{(x - a)^3}{6} - q_1 \left(\frac{x^4}{24} \right) - q_2 \left(\frac{x^4}{24} \right) + Cx + D$$

$$y = \frac{-2.99 * 10^{12}}{\left(20408.16 \frac{kgf}{mm^2} \right) * (1940 * 10^4 mm^4)}$$

$$y = -7.56 mm$$

🔍 **Cálculo del valor de la fuerza cortante y momento flector máximo**

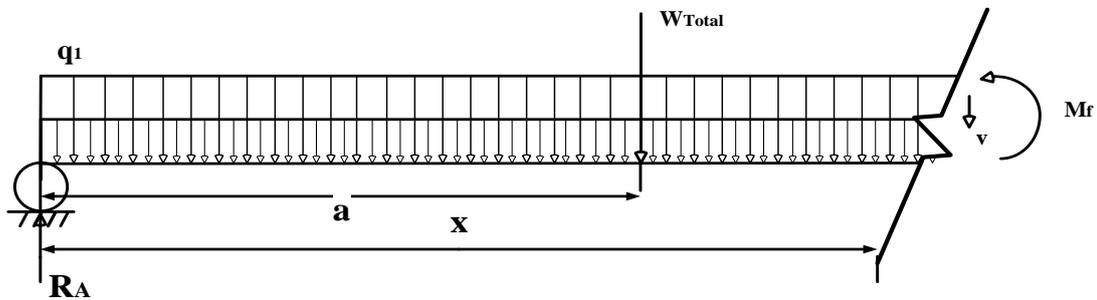


Figura 37: Representación de la viga de la solera móvil para cálculo del “Mr” y “V”

Elaboración: Propia

$$\sum F_Y = 0$$

$$R_A - W_{Total} - q_1(x) - q_2(x) - V = 0$$

$$V = R_A - W_{Total} - q_1(x) - q_2(x)$$

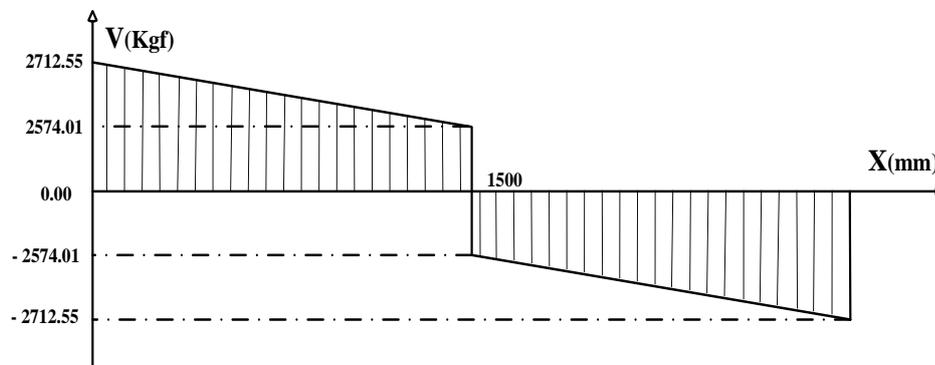


Figura 38: Diagrama de fuerza cortante de la estructura de la solera móvil "V"

Elaboración: Propia

$$\sum M_x = 0$$

$$R_A(x) - W_{Total}(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right) - M_f = 0$$

$$M_f = R_A(x) - W_{Total}(x - a) - q_1(x) \left(\frac{x}{2}\right) - q_2(x) \left(\frac{x}{2}\right)$$

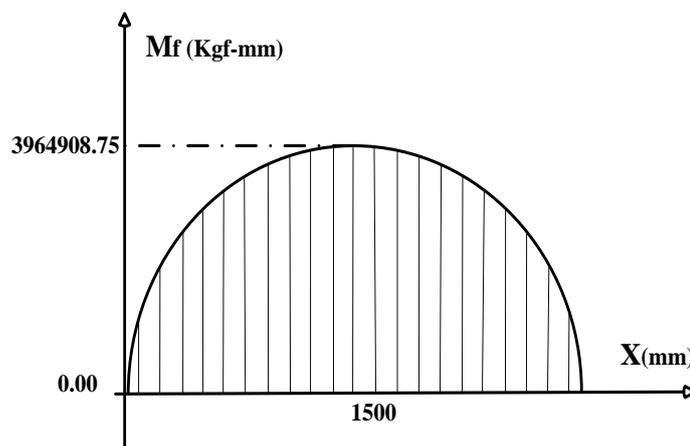


Figura 39: Diagrama de momento flector de la estructura de la solera móvil "Mf"

Elaboración: Propia

✎ Cálculo del máximo esfuerzo de la viga

El perfil de la viga utilizado es del tipo IPE 200, cuyas características se presentan en el (*Anexo I*), perfiles IPE.

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x} * \bar{y}}{I_x} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{W_{x \text{ tabulado}}} = \frac{S_y}{n}$$

Donde:

- ✎ $\sigma = ?$: Esfuerzo máximo por flexión.
- ✎ $M_{m\acute{a}x} = 3964908.75 \text{ Kgf} - \text{mm}$: Momento flector máximo.
- ✎ $I_x = 1940 \text{ cm}^4 = 1940 * 10^4 \text{ mm}^4$: Momento de inercia.
- ✎ $\bar{y} = 100 \text{ mm}$: Centro de gravedad.
- ✎ $S_y = 25.50 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$: Límite de fluencia.
- ✎ $n = ?$: Coeficiente de seguridad.

$$\sigma = \frac{3964908.75 \text{ Kgf} - \text{mm} * 100 \text{ mm}}{1940 * 10^4 \text{ mm}^4}$$

$$\sigma = 20.44 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$$

✎ **Cálculo del coeficiente de seguridad “n”**

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{25.50 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}}{20.44 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}} = 1.25$$

3.11.4 CÁLCULO DEL MOTORREDUCTOR PARA LA SOLERA MÓVIL

A través de un acople mecánico (eje), se adaptará el motor a un rodillo de la viga principal de traslado de la solera. La velocidad es de 0.135 m/s ya que con esta velocidad no permitirá que la carga se sacuda y pueda provocar algún tipo de accidente. Cuando el rodillo haya tocado el final de la carrera de la viga, este lo activara generando así una señal de entrada al contactor que enviara la orden de paro al motor. Con el mismo criterio se diseñará el control del movimiento de retroceso. Los componentes serán seleccionados de acuerdo a sus características técnicas, disponibilidad y el costo de los materiales en el mercado. A continuación, se muestran los datos más importantes para los cálculos:

✎ **$W_{Total} = 6727.47 \text{ Kgf}$** : *Peso total de la viga más la carga máxima.*

✎ **$\omega_{motor} = 1150 \text{ rpm}$** : *Velocidad angular del motor, (Anexo K).*

✎ **$D_{rodillo} = 100 \text{ mm}$** : *Diámetro del rodillo.*

✎ **$V_{desplaz.} = 0.135 \text{ m/s}$** : *Velocidad de desplazamiento.*

Realizando un diagrama de fuerzas.

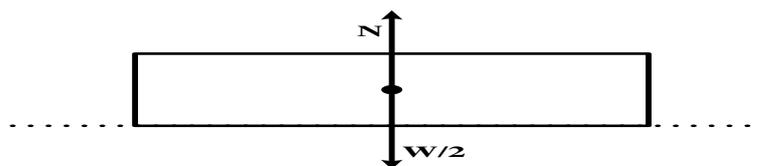


Fig. 1 Diagrama de fuerzas

Elaboración: Propia

☞ Cálculo de la fuerza normal “N”

$$N = \frac{W_{Total}}{2} * F_c \quad \dots (Ec. 68)$$

Donde:

☞ $N = ?$: Fuerza normal.

☞ $F_c = 1.15$: Factor de carga.

$$N = \frac{6727.47}{2} * 1.15 = 3868.30 * 9.8 = 37909.30 \text{ N}$$

☞ Cálculo de la fuerza de fricción

$$F_f = \mu_s * N \quad \dots (Ec. 69)$$

Donde:

☞ $\mu_s = 0.5$: Fricción estática acero con acero.

Seleccionando de la siguiente tabla.

COEFICIENTES DE FRICCIÓN		
Materiales	Coefficiente de fricción estática [μ_s]	Coefficiente de fricción dinámica [μ_k]
Acero – Acero	0.15	0.09
Articulaciones humanas	0.02	0.003
Aluminio – Acero	0.61	0.47
Cobre – Acero	0.53	0.36
Latón – Acero	0.51	0.44
Cinc – Hierro colado	0.85	0.21
Caucho – Concreto	1.0	0.8
Madera – Madera	0.25 – 0.5	0.2

Continúa ...

Vidrio – Vidrio	0.94	0.4
Cobre – Vidrio	0.68	0.53
Hielo – Hielo	0.2	0.03
Teflón – Teflón	0.04	0.04
Teflón - Acero	0.04	0.04

Tabla 26: Coeficientes de fricción

Fuente: Serway. Physics for Scientists and Engineers – Sears, Z & Y. Física

Universitaria

$$F_f = \mu_s * N = 0.15 * 37909.30 = 5686.395 N$$

✎ **Cálculo de la potencia del motor**

$$P_{motor} = F_f * V_{desplaz.} \quad \dots (Ec. 70)$$

$$P_{motor} = 5686.395 * 0.135 = 767.66 W * \frac{1Hp}{746 W} = 1.029 Hp$$

✎ **Cálculo de la potencia efectiva del motor**

$$P_{efect.motor} = \frac{P_{motor}}{\eta_{motor}} \quad \dots (Ec. 71)$$

$$P_{efect.motor} = \frac{1.029}{0.656} = 1.57 Hp$$

✎ **Cálculo del torque necesario a la salida del reductor**

$$T = F_f * r \quad \dots (Ec. 72)$$

$$T = 5686.395 N * 0.05m = 284.32 Nm$$

✎ **Cálculo de las rpm del rodillo**

$$V_{desplaz.} = \omega_{rodillo} * \frac{\phi_{rodillo}}{2} \quad \dots (Ec. 73)$$

$$\omega_{rodillo} = \frac{2 * V_{desplaz.}}{\phi_{rodillo}} = \frac{2 * 0.135}{0.1} = 2.7 \frac{rad}{s} * \frac{60s}{1m} * \frac{1rev}{2\pi rad} = 25.78 rpm$$

✎ Cálculo de la relación de transmisión

$$i = \frac{\omega_{motor}}{\omega_{rodillo}} \quad \dots (Ec. 74)$$

$$i = \frac{1150}{25.78} = 44.61$$

✎ Cálculo del torque requerido por el motor

$$T_{motor} = \frac{T_{reductor}}{i} \quad \dots (Ec. 75)$$

$$T_{motor} = \frac{102.758}{44.61} = 2.30 \text{ Nm}$$

3.12 DISEÑO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Para poder seleccionar el sistema más adecuado se tomaron en cuenta ciertos parámetros como son:

- ✎ Control simple y preciso de la temperatura, mediante elementos de regulación de bajo costo.
- ✎ Temperatura aproximadamente constante y uniforme al interior del horno.
- ✎ Mínima influencia de la temperatura ambiente sobre el interior del horno.
- ✎ Facilidad para construcción y mantenimiento, debido a la forma de la cámara.
- ✎ Permite conocer de forma aproximada sobre el consumo útil de energía en el horno.

En el caso de los hornos eléctricos de resistencia, la potencia eléctrica absorbida por los elementos que conforman el horno, es disipada en forma de calor hacia el interior del horno (cámara), esta transformación de energía eléctrica en energía calorífica se basa en el efecto Joule.

La corriente eléctrica que circula en un conductor produce una disipación de calor. El equivalente térmico en KW de los elementos es similar al consumo calorífico del horno.

Los datos de diseño calculados son los siguientes:

✎ $P = 62.29 \text{ KW}$: Potencia del horno.

✎ $V = 380 \text{ Vac}$: Tensión de alimentación trifásica.

La disposición de las resistencias en el interior de la cámara será en el techo y las paredes laterales, la conexión trifásica de las resistencias se realizará en estrella.

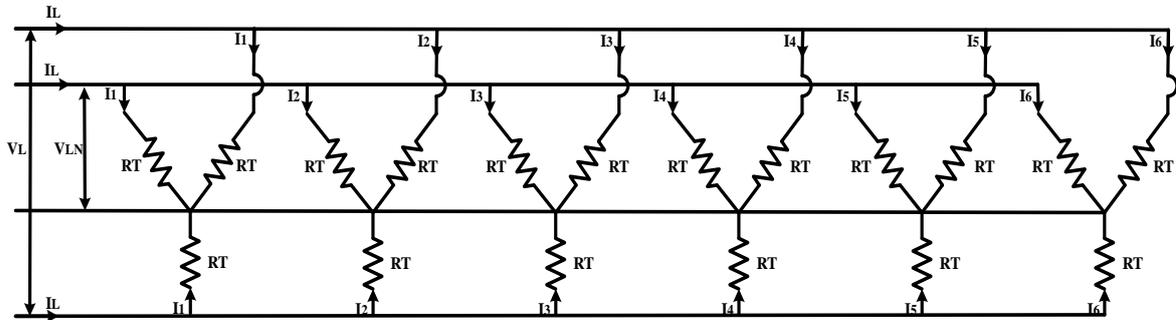


Figura 40: Representación de las resistencias de calentamiento

Elaboración: Propia

✎ **Cálculo de la potencia de las resistencias**

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos\phi \quad \dots (\text{Ec. 76})$$

Donde:

✎ $P = 62.29 \text{ KW}$: Potencia real del horno.

✎ $V_L = 380 \text{ Vac}$: Tensión de alimentación de línea a línea.

✎ $I_L = ?$: Corriente de alimentación de línea.

✎ $\phi = 0$: Ángulo de fase. Es igual a "0" porque entre la corriente y la resistencia no existe ángulo de desfase.

✎ **Cálculo de la tensión línea a neutro "V_{LN}"**

$$V_{LN} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.39 \text{ Vac}$$

✎ **Cálculo de la corriente de línea "I_L"**

$$I_L = \frac{P}{V_L * \sqrt{3}} = \frac{62.29}{380 * \sqrt{3}} = 94.64 \text{ Amp}$$

✎ Cálculo de la corriente para cada conexión en estrella “IRT”

$$I_{RT} = I_1 = I_2 = \dots = I_6 = \frac{I_L}{6} = \frac{94.64}{6} = 15.77 \text{ Amp}$$

✎ Cálculo de la corriente para cada resistencia “IR1, IR2, IR3”

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{R3} = \frac{I_{RT}}{3} = \frac{15.77}{3} = 5.26 \text{ Amp}$$

✎ Cálculo del valor de la resistencia “RT”

$$RT = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{V_{LN}}{I_{RT}} = \frac{219.39}{15.77} = 13.91 \Omega$$

✎ Cálculo de la potencia de cada resistencia “PR1, PR2, PR3”

$$P_{R1} = P_{R2} = P_{R3} = V_{R1} * I_{R1} = 219.39 * 5.26 = 1153.99 \text{ W}$$

✎ Cálculo del valor de cada resistencia individual “R1, R2, R3”

$$R_1 = R_2 = R_3 = \frac{P_{R1}}{I_{R1}^2} = \frac{1153.99}{5.26^2} = 41.71 \Omega$$

En seguida se calcula el diámetro de la resistencia:

✎ Resistencias eléctricas a 20°C de longitud 1 cm.

$$R_{20} = \rho * \frac{4L}{\pi d^2} \quad \dots \text{ (Ec. 77)}$$

Donde: $\rho = 112 \mu\Omega\text{cm}$: Resistividad eléctrica, (Anexo L.1).

✎ Resistencia eléctrica a una temperatura “T°C”.

$$R_T = C_t * R_{20} \quad \dots \text{ (Ec. 78)}$$

Donde: $C_t = 1.018$: Coeficiente de resistividad, (Anexo L.1).

✎ Superficie radiante de las resistencias.

$$A_c = \pi * d * L \quad \dots \text{ (Ec. 79)}$$

✎ Carga específica.

$$P = A_c * p \quad \dots \text{ (Ec. 80)}$$

Según el (*Anexo L.3*), la carga específica máxima para un alambre enrollado sobre tubos cerámicos a una temperatura máx. de diseño de 700°C es: $p = 5 \text{ W/cm}^2$.

✎ **Diámetro de la resistencia.**

$$P = \frac{\pi d^2 V^2}{4LC_t \rho} = \frac{\pi d^2 V^2}{4C_t \rho \frac{P}{\pi p d}} = \frac{p d^3 \pi^2 V^2}{4C_t \rho P} \quad \dots (\text{Ec. 81})$$

Donde:

✎ $d = ?$: Es el diámetro del alambre.

$$d^3 = \frac{4C_t \rho P^2}{p \pi^2 V^2} \quad \dots (\text{Ec. 82})$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 * 1.018 * (112 * 10^{-6}) * 1153.99^2}{5 * \pi^2 * 219.39^2}} = 0.0634 \text{ cm} = 0.634 \text{ mm}$$

Tomando en cuenta la resistencia por unidad de longitud que tiene el alambre, se incrementa hasta un $d \approx 1 \text{ mm} \approx 0.1 \text{ cm}$.

✎ **Longitud del alambre**

$$P = A_c * p = (\pi * d * L) * p \quad \dots (\text{Ec. 83})$$

$$L = \frac{P}{(\pi * d) * p} \quad \dots (\text{Ec. 84})$$

$$L = \frac{1153.99}{(\pi * 0.1) * 5} = 734.65 \text{ cm} = 7.34 \text{ m}$$

✎ **Diámetro de la espiral**

Se considera que, para hornos con temperaturas menores a 1000 °C, la relación:

$$\frac{D}{d} = 5 \text{ a } 6 \quad \dots (\text{Ec. 85})$$

Donde:

✎ $D = ?$: Es el diámetro externo del tubo cerámico.

✎ $d = ?$: Es el diámetro del alambre.

$$D = 6 * d = 6 * 1mm = 6mm$$

✎ Número de espiras

$$N = \frac{L}{\pi * (D + d)} \quad \dots (Ec. 86)$$

$$N = \frac{734.65 \text{ cm}}{\pi * (0.6 + 0.1) \text{ cm}} = 1049.5$$

✎ Paso de las espiras

Se considera que, el paso S debe ser por lo general el doble del diámetro del alambre, según la relación:

$$\frac{S}{d} = 2 \text{ a } 4 \quad \dots (Ec. 87)$$

Donde:

✎ $S = ?$: Es el paso de las espiras.

$$S = 3 * d = 3 * 1mm = 3mm$$

3.13 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA

3.13.1 DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

La ubicación de las resistencias, en el interior, puede tener distintos arreglos. Para este estudio, se tiene una distribución uniforme en las paredes laterales y el techo del horno. Este arreglo es práctico porque se logra una distribución uniforme de la temperatura interna que se traduce en un menor consumo de energía.

Para la determinación de la función de transferencia son necesarios los siguientes datos:

✎ $T_1 \approx 600 \text{ }^\circ\text{C}$: Temperatura de la carga.

✎ $T_2 = 18 \text{ }^\circ\text{C}$: Temperatura ambiente (Villa C.H. San Gabán II).

✎ $T_3 = ?$: Temperatura de las resistencias.

✎ $T_4 = 700 \text{ }^\circ\text{C}$: Temperatura de diseño máximo.

✎ $R_{t1} = ?$: Resistencia térmica entre paredes, techo, solera y la carga.

- ✎ $R_{t2} = ?$: Resistencia térmica entre paredes, techo, solera y exteriores.
- ✎ $Q_1 = \frac{I^2}{R} = ?$: Calor generado por las resistencias.
- ✎ $Q_2 = ?$: Flujo de calor desde las paredes, techo y solera hacia la carga.
- ✎ $Q_3 = ?$: Pérdidas de calor a través de las paredes, techo y solera del horno.
- ✎ $C_1 = ?$: Capacidad térmica de la carga.
- ✎ $C_2 = ?$: Capacidad térmica de elementos de calentamiento.
- ✎ $C_3 = ?$: Capacidad térmica de las paredes, techo y solera del horno.

Teniendo las variables procedemos a calcular:

- ✎ **El calor hacia la carga es:**

$$Q_1 - (Q_2 + Q_3) = \frac{C_2 dT_3}{dt} \quad \dots \text{(Ec. 88)}$$

Considerando la conductividad térmica de la carga:

$$Q_2 = \frac{T_3 - T_2}{R_{t2}} = \frac{C_1 dT_1}{dt} \quad \dots \text{(Ec. 89)}$$

- ✎ **El flujo de calor a través de las paredes hacia el medio ambiente es:**

$$Q_3 = \frac{T_3 - T_2}{R_{t2}} \quad \dots \text{(Ec. 90)}$$

Si la conductividad térmica de la pared es elevada:

$$Q_3 = \frac{C_3 dT_4}{dt} \quad \dots \text{(Ec. 91)}$$

Sustituyendo las (91) y (89) en (88), se obtiene:

$$\frac{U^2}{R} = \frac{C_1 dT_1}{dt} = \frac{C_3 dT_4}{dt} = \frac{C_2 dT_3}{dt} \quad \dots \text{(Ec. 92)}$$

Suponiendo que la T_3 y T_4 , tienen valores cercanos en la temperatura de diseño máximo:

$$\frac{U^2}{R} = \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{dT_4}{dt} \quad \dots \text{(Ec. 93)}$$

De la ecuación (89) se tiene:

$$T_4 = C_1 R_{t1} \frac{dT_1}{dt} + T_1 \quad \dots (Ec. 94)$$

Reemplazando (94) en (93) se obtiene:

$$\frac{U^2}{R} = \frac{C_1 dT_1}{dt} = (C_2 + C_3) \frac{d \left[C_1 R_{t1} \frac{dT_1}{dt} + T_1 \right]}{dt} \quad \dots (Ec. 95)$$

En la ecuación $C_1 R_{t1} = \tau$, lo cual es una constante del tiempo. Reemplazando y simplificando (95).

$$\tau \frac{d^2 T_1}{dt^2} + \frac{[C_1 + C_2 + C_3] dT_1}{(C_2 + C_3) dt} = \frac{U^2}{R(C_2 + C_3)} \quad \dots (Ec. 96)$$

La ecuación representa la función teórica que muestra el comportamiento de la temperatura interna en función en el tiempo cuando se le aplica una potencia eléctrica.

✎ **Capacitancia térmica de la carga C_1 .**

$$C_1 = m * c_1 \quad \dots (Ec. 97)$$

Donde:

$$\text{✎ } c_1 = 90 \frac{kCal}{kg} = 376.812 \frac{kJ}{kg K}: \text{ Es el calor específico del producto.}$$

$$C_1 = 5148 \text{ Kg} * 376.812 \frac{kJ}{kg K} = 1939828.18 \frac{kJ}{K}$$

✎ **Capacitancia térmica de los elementos de calentamiento C_2 (resistencias).**

Es la capacitancia del volumen de aire caliente que se encuentra en contacto con el rodete.

Para lo cual, de la tabla de propiedades del aire seco para una temperatura de diseño de 700°C, (*Anexo F*), obtenemos los siguientes datos:

$$C_2 = m * c_p \quad \dots (Ec. 98)$$

Donde:

$$\text{✎ } c_p = 1.135 \frac{kJ}{kg K}: \text{ Es el calor específico del aire.}$$

Para obtener la masa del aire se utilizará la siguiente ecuación:

$$m = \rho * V$$

... (Ec. 99)

Donde:

$$\rho = 0.3268 \frac{kg}{m^3}: \text{Densidad del aire a } 700^\circ C, (\text{Anexo F}).$$

$$V = 9 m^3: \text{Volumen de la cámara interna de calentamiento.}$$

$$C_2 = (0.3268 * 9) * 1.135 \frac{kJ}{kg K} = 3.338 \frac{kJ}{K}$$

Capacitancia térmica de las paredes, techo y solera C_3 .

El calor específico se toma de la fibra de cerámica, ya que este está en directo contacto con la temperatura máxima de calentamiento.

$$C_2 = (m_{Tfc} * c_{p-fc}) + (m_{Trb} * c_{p-rb}) + (m_{Tr} * c_{p-tr})$$

Donde:

$$c_{p-fc} = 1.130 \frac{kJ}{kg K}: \text{Calor específico de la fibra de cerámica.}$$

$$c_{p-rb} = 0.837 \frac{kJ}{kg K}: \text{Calor específico de la roca basáltica.}$$

$$c_{p-tr} = 0.83736 \frac{kJ}{kg K}: \text{Calor específico del ladrillo refractario.}$$

Procedemos a calcular las masas de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$m_f = \delta_{fc} * V_{fc}$$

$$m_{Tfc} = 128 \frac{kg}{m^3} * (1.26+0.98)m^3 = 286.72 kg$$

$$m_{Trb} = 60 \frac{kg}{m^3} * (0.93+0.48)m^3 = 84.6 kg$$

$$m_{Tr} = 1377.78 * 0.96 = 1322.67 Kg$$

$$C_2 = (286.72 * 1.130) + (84.6 * 0.837) + (1322.67 * 0.83736) = 1502.35 \frac{kJ}{K}$$

Sabemos que $V = 380 VAC$ entonces según la ecuación:

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{V^2}{R} = 380 * i$$

Donde “*i*” es la corriente eléctrica; la cual es la variación de la carga “*q*” en la unidad del tiempo:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \dots (Ec. 100)$$

Reemplazando los valores de las capacitancias y la potencia, en la ecuación (96), se obtiene:

$$\tau \frac{d^2T_1}{dt^2} + \frac{[C_1 + C_2 + C_3]dT_1}{(C_2 + C_3)dt} = \frac{Vi}{(C_2 + C_3)}$$

$$\tau \frac{d^2T_1}{dt^2} + \frac{[1939828.18 + 3.338 + 1502.35]dT_1}{(3.338 + 1502.35)dt} = \frac{380}{(3.338 + 1502.35)} \frac{dq}{dt}$$

$$\tau \frac{d^2T_1}{dt^2} + 1289.33 \frac{dT_1}{dt} = 0.2524 \frac{dq}{dt} \quad \dots (Ec. 101)$$

Aplicando la transformada de Laplace y reduciendo la expresión anterior se obtiene la función de transferencia teórica del horno de tratamiento térmico ó planta.

Utilizando la siguiente formula:

$$\mathcal{L}[F^n] = S^n f(S) - S^{n-1}f(0) - S^{n-2}f'(S) - S^n f'(0) \dots S f^{n-2}(0) \quad \dots (Ec. 102)$$

$$\frac{T(s)}{q(s)} = G(s) = \frac{0.2524}{\tau s + 1289.33} \quad \dots (Ec. 103)$$

✎ Cálculo de la temperatura sin controlador

En este cálculo se basa en ver el tiempo de establecimiento de nuestra planta y si tiene ó no tiene impulso, primero se determinará los parámetros de la planta a un escalón unitario.

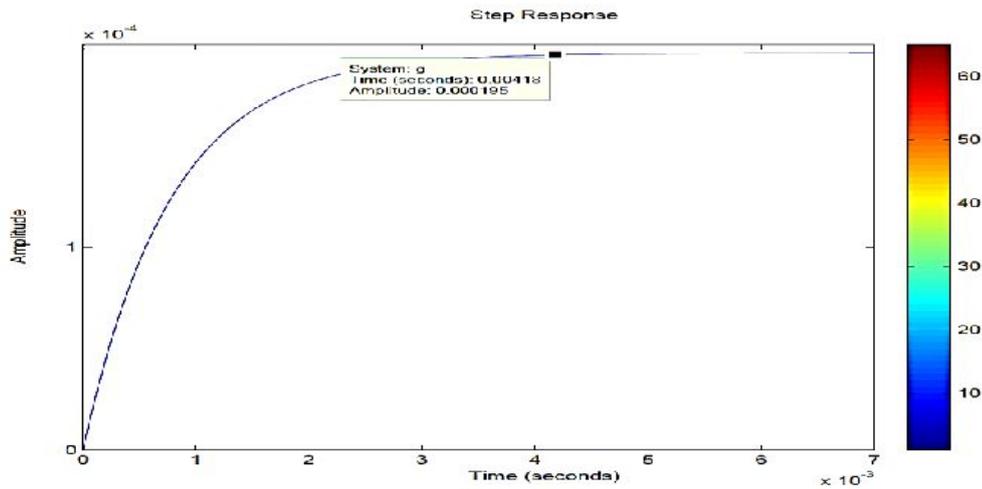


Figura 41: Respuesta de la planta a un impulso unitario sin controlador

Elaboración: Propia

Según estos parámetros definimos los siguientes datos:

☼ $T_S = 0.001 \text{ seg}$: Tiempo de establecimiento.

☼ $M_P = 20 \%$: Máximo sobre impulso.

🔗 **Diseño del controlador PID por el LGR (Lugar geométrico de raíces).**

Se ha de diseñar por este método, ya que los métodos de sintonización no son factibles por el motivo de que la respuesta a un escalón unitario de la planta no tiene de S.

🔗 **Cálculo según el overshoot.**

$$\%M_P = e^{-\left(\frac{\xi * \pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)} \quad \dots \text{(Ec. 104)}$$

$$\text{Ln}(M_P) = \text{Ln}\left(e^{-\left(\frac{\xi * \pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)}\right)$$

$$\text{Ln}(0.2) = \frac{\xi * \pi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

$$(\text{Ln}(0.2))^2 = \left(\frac{\xi * \pi}{\sqrt{1-\xi^2}}\right)^2$$

$$2.59 - 2.59\xi^2 = 9.87\xi^2$$

$$\xi = 0.46$$

✎ Cálculo de la frecuencia natural ω_n .

$$T_s = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{\pi}{\omega_n * \sqrt{1 - \xi^2}} = 0.001 \text{ seg.} \quad \dots (\text{Ec. } 105)$$

$$\omega_n = \frac{\pi}{0.001 * \sqrt{1 - 0.46^2}} = 3583.15 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

✎ Cálculo del polo dominante deseado.

$$s = \xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{1 - \xi^2}j \quad \dots (\text{Ec. } 106)$$

$$s = -0.46 * 3583.15 \pm 3583.15\sqrt{1 - 0.46^2}j$$

$$s = -1648.25 \pm 3181.55j$$

✎ Cálculo del controlador PID.

$$G_c(s) = \frac{K(s + a)(s + b)}{s} \quad \dots (\text{Ec. } 107)$$

Suponiendo que $a = 0.25$.

$$G(s) = \frac{0.2524}{s + 1289.33}$$

$$FDT = \frac{0.2524K(s + 0.25)(s + b)}{s(s + 1289.33)} \quad s = -1648.25 + 3181.55j$$

$$FDT = \frac{0.2524K((-1648.25 + 3181.55j) + 0.25)((-1648.25 + 3181.55j) + b)}{(-1648.25 + 3181.55j)((-1648.25 \pm 3181.55j) + 1289.33)}$$

$$FDT = \frac{0.2524K(-1648 + 3181.55j)(-1648.25 + 3181.55j + b)}{(-1648.25 + 3181.55j)(-358.92 + 3181.55j)}$$

✎ Cálculo de la condición de fase:

$$\theta_1 = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{3181.55}{-1648.25}\right) = 242.61^\circ$$

$$\theta_2 = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{3181.55}{-358.92}\right) = 263.56^\circ$$

$$\phi_1 = 180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{3181.55}{-1648}\right) = 242.61^\circ$$

$$\sum p_i - \sum z_i = 180^\circ \quad \dots (Ec. 108)$$

$$\theta_1 + \theta_2 - \phi_1 - \phi_2 = 180^\circ$$

$$\phi_2 = 242.61^\circ + 263.56^\circ - 242.61^\circ - 180^\circ$$

$$\phi_2 = 83.56^\circ$$

$$\phi_2 = \tan^{-1}\left(\frac{3181.55}{b - 1648.25}\right)$$

$$\tan(83.56) = \frac{3181.55}{b - 1648.25}$$

$$8.86b - 14602.44 = 3181.55$$

$$b = 2007.22$$

✎ **Cálculo de la condición de magnitud.**

$$|G(s)H(s)| = 1 \quad \dots (Ec. 109)$$

$$\left| \frac{0.2524K(\sqrt{1648^2 + 3181.55^2})(\sqrt{358.97^2 + 3181.55^2})}{(\sqrt{1648.25^2 + 3181.55^2})(\sqrt{358.92^2 + 3181.55^2})} \right| = 1$$

$$\left| \frac{K(2895519.36)}{11472294.83} \right| = 1$$

$$K = 3.96$$

Según la regla de sintonía de Ziegler – Nichols basada en la respuesta escalón de la planta, de datos evaluados en *Matlab* y *Simulink* se tienen los siguientes:

Tipo de controlador	Proporcional [K _p]	Integral [T _i]	Derivativo [T _d]
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	2 L	0.5 L

Tabla 27: Tipo de controlador

Fuente: K. Ogata

➤ Respuesta a un control "P".

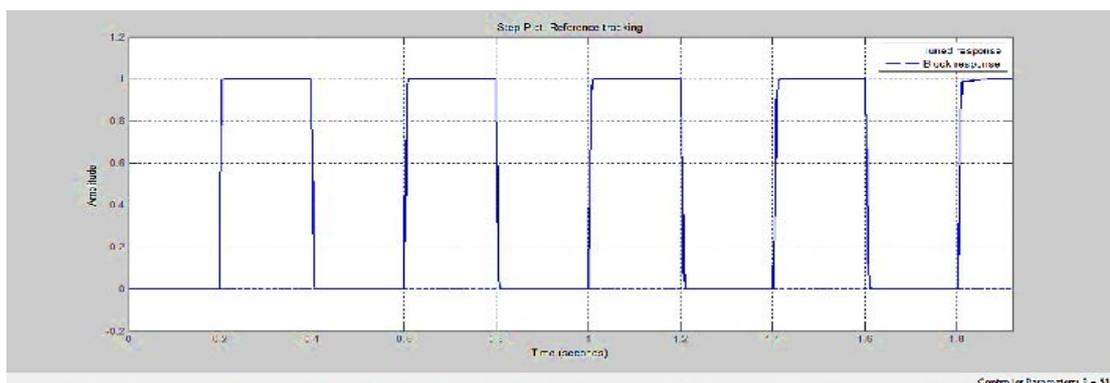


Figura 42: Respuesta a un control "P"

Elaboración: Propia

➤ Respuesta a un control "PI".

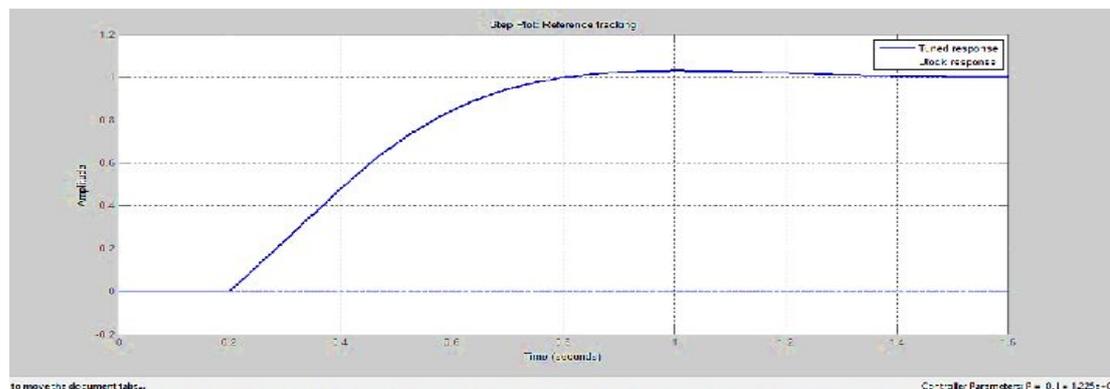


Figura 43: Respuesta a un control "PI"

Elaboración: Propia

➤ Respuesta a un control "PID".

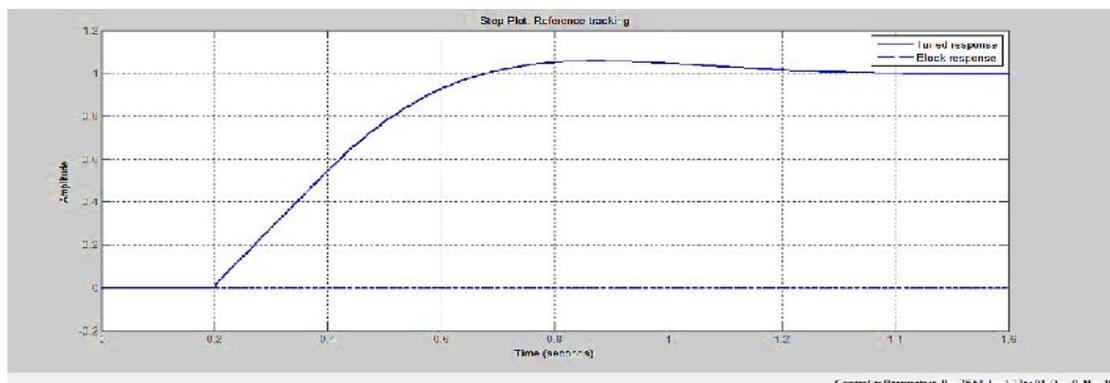


Figura 44: Respuesta a un control "PID"

Elaboración: Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DEL DISEÑO DEL HORNO

La elaboración del presente trabajo de tesis obedece lo expuesto en el Capítulo III, en donde se expone la necesidad de diseñar y construir un horno de tratamiento térmico, consta todos los cálculos correspondientes para la construcción.

4.1.1 RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE CÁLCULO DE ESPESORES

Partes del horno	Perdida de calor Q (W)	Fibra de cerámica e_1 (cm)	Lana de roca basáltica e_2 (cm)	Plancha de acero e_3 (cm)	Espesor total e_t (cm)
Paredes	704.0	10.16	7.5	0.2	17.86
Solera	1845.49	0.0	0.0	0.0	25.4
Techo	2222.0	10.16	5.0	0.2	15.36

Tabla 28: Resumen total de espesores del horno

Elaboración: Propia

4.1.2 COMPROBACIÓN DE TEMPERATURAS EXTERNAS DEL HORNO.

☒ **Comprobación de la temperatura externa en las paredes**

Para comprobar que la temperatura externa del horno T_{sal} este en el rango permitido, realizamos un balance de energía de la siguiente manera:

$$\dot{E}_E = \dot{E}_s \quad \dots \text{(Ec. 110)}$$

$$q_E = q_S$$

$$\frac{T_{Sal} - T_{\infty}}{\frac{1}{h_{\infty} * A_{\infty}}} = \frac{T_i - T_{Sal}}{\left(\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{1}{h_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_1}{k_1 * A_1} + \frac{e_2}{k_2 * A_2} + \frac{e_3}{k_3 * A_3}}$$

$$\frac{T_{Sal} - 291.15}{\frac{1}{10 * 3}} = \frac{973.15 - T_{Sal}}{\left(\frac{1}{9.50 * 3} + \frac{1}{13.38 * 3}\right)^{-1} + \frac{0.1016}{0.086 * 3} + \frac{0.075}{0.038 * 3} + \frac{0.002}{53.60 * 3}}$$

$$T_{Sal} = 292.43K = 19.28^{\circ}C$$

La temperatura a la salida se encuentra en el rango de $18^{\circ}C \leq T_{Sal} \leq 45^{\circ}C$.

☞ Comprobación de la temperatura externa en el techo

$$q_E = q_S$$

$$\frac{T_{Sal} - T_{\infty}}{\frac{1}{h_{\infty} * A_{\infty}}} = \frac{T_i - T_{Sal}}{\left(\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{1}{h_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_1}{k_1 * A_1} + \frac{e_2}{k_2 * A_2} + \frac{e_3}{k_3 * A_3}}$$

$$\frac{T_{Sal} - 291.15}{\frac{1}{10 * 9}} = \frac{973.15 - T_{Sal}}{\left(\frac{1}{9.50 * 9} + \frac{1}{13.38 * 9}\right)^{-1} + \frac{0.1016}{0.086 * 9} + \frac{0.05}{0.038 * 9} + \frac{0.002}{53.60 * 9}}$$

$$T_{Sal} = 291.3K = 18.15^{\circ}C$$

La temperatura a la salida se encuentra en el rango de $18^{\circ}C \leq T_{Sal} \leq 45^{\circ}C$.

☞ Comprobación de la temperatura externa en la solera

$$q_E = q_S$$

$$\frac{T_{Sal} - T_{\infty}}{\frac{1}{h_{\infty} * A_{\infty}}} = \frac{T_i - T_{Sal}}{\left(\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{1}{h_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_s}{k_s * A_s}}$$

$$\frac{T_{Sal} - 291.15}{\frac{1}{10 * 9}} = \frac{973.15 - T_{Sal}}{\left(\frac{1}{9.50 * 9} + \frac{1}{13.38 * 9}\right)^{-1} + \frac{0.254}{0.205 * 9}}$$

$$T_{Sal} = 291.3K = 18.15^{\circ}C$$

La temperatura a la salida se encuentra en el rango de $18^{\circ}C \leq T_{Sal} \leq 45^{\circ}C$.

☞ **Comprobación de la temperatura externa en las ventanillas**

$$\dot{E}_E = \dot{E}_S$$

$$q_E = q_S$$

$$\frac{T_{Sal} - T_{\infty}}{\frac{1}{h_{\infty} * A_{\infty}}} = \frac{T_i - T_{Sal}}{\left(\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{1}{h_r * A_i}\right)^{-1} + \frac{e_v}{k_v * A_{v1}} + \frac{e_a}{k_a * A_a} + \frac{e_v}{k_v * A_{v2}}}$$

$$\frac{T_{Sal} - 291.15}{\frac{1}{10 * 0.04}} = \text{Continua ...}$$

$$\frac{973.15 - T_{Sal}}{\left(\frac{1}{9.5 * 0.04} + \frac{1}{13.38 * 0.04}\right)^{-1} + \frac{0.005}{0.8653 * 0.04} + \frac{0.1686}{0.026 * 0.04} + \frac{0.005}{0.8653 * 0.04}}$$

$$T_{Sal} = 301.48K = 28.33^{\circ}C$$

La temperatura a la salida se encuentra en el rango de $18^{\circ}C \leq T_{Sal} \leq 45^{\circ}C$.

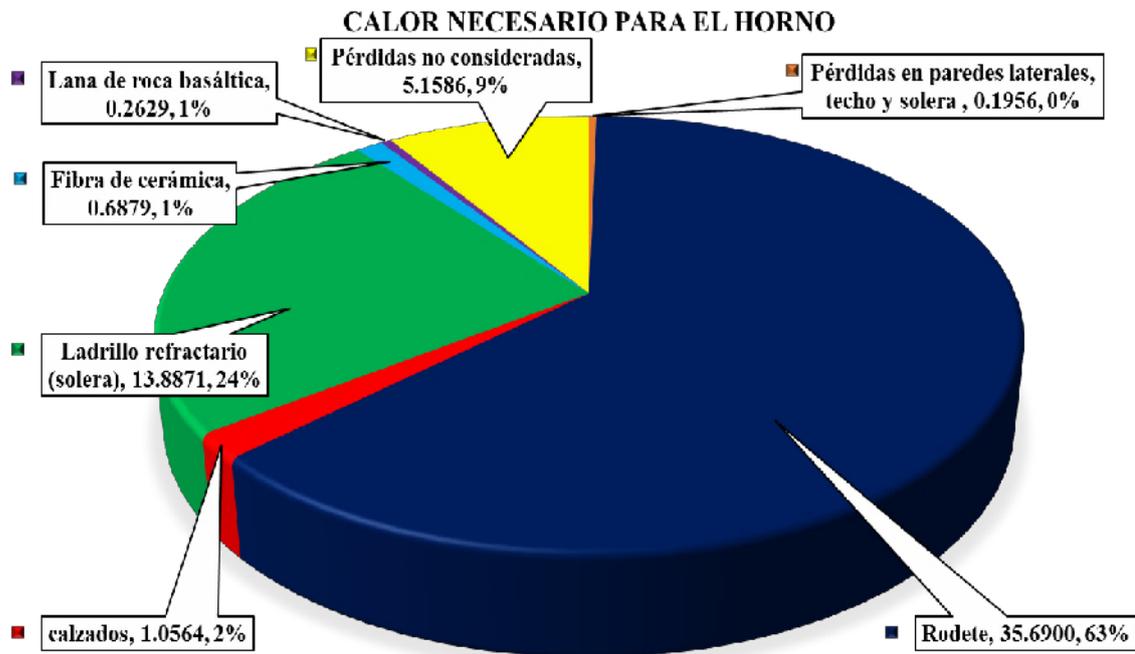


Figura 45: Cantidad de calor necesario para el horno

Elaboración: Propia

4.1.3 RESUMEN DE MATERIALES EN EL DISEÑO TÉRMICO

☞ **Fibra de cerámica**

Estará formada por mantas de fibra cerámica “Nutec Ibar HP 8-1”, seleccionada según el (*Anexo E.1*) del catálogo de productos de Aísla Perú S.A.C. Haciendo referencia en el mercado existen espesores de fibra cerámica de 1” =2.54cm; y con respecto al valor que se indica en cálculos, usaremos en paredes y techo 08 mantas, según las dimensiones y los espesores mostrados en el (*Anexo E.1*), se utilizarán un total de 12 mantas.

☞ **Lana de roca basáltica**

La segunda capa de las paredes, puerta y techo del horno estará formada por el aislamiento térmico de Lana de roca basáltica seleccionada según el (*Anexo E.2*) del catálogo de productos de hyn S.A.C. Usaremos en las paredes y el techo $2\frac{1}{2}$ mantas, que suman 12.5 cm. Según las dimensiones y los espesores mostrados en el (*Anexo E.2*), se utilizarán un total de 28 mantas.

☞ **Plancha de acero**

La tercera capa del horno de tratamiento térmico lo conformará el recubrimiento externo del horno, cuyo material corresponderá a la plancha de acero, como se puede apreciar en el (*Anexo E.3*). Seleccionamos una plancha de acero con 0.2 cm de espesor. Según las dimensiones y los espesores mostrados en el (*Anexo E.3*), se utilizarán un total de 15 planchas de acero.

☞ **Ladrillo refractario**

Para la solera el material que se ha seleccionado es el ladrillo refractario aislante WAM-23 según el (*Anexo E.4*). De acuerdo al resultado obtenido, tenemos ladrillos refractarios en el mercado según el (*Anexo E.4*) de 9" x 4 $\frac{1}{2}$ " x 2 $\frac{1}{2}$ ", y para ello habrá que colocar 4 ladrillos, para poder llegar a un espesor de 25.4 cm. Según las dimensiones y los espesores mostrados se utilizarán aproximadamente un total de 1000 ladrillos.

☞ Mortero refractario

Para ubicar los ladrillos refractarios se necesita un mortero refractario sílico aluminoso, según el (*Anexo E.5*), Según el rendimiento se utilizarán 04 bolsas de 40 Kg.

☞ Vidrio cerámico neoceram

Neoceram es un vidrio cerámico transparente, por su alta resistencia al choque térmico, alta fuerza mecánica y excelentes características eléctricas, ya que soportan hasta los 700°C, se utilizará 08 unidades de 20x20x0.4cm.

4.1.4 POTENCIA NECESARIA DEL HORNO

La potencia necesaria que utilizara el horno es de **62.29 KW**; para poder cumplir con la etapa de tratamiento térmico para la eliminación de tensiones internas.

4.1.5 SELECCIÓN DE VIGAS EN EL HORNO.

☞ Viga principal del techo

Seleccionamos el perfil IPE 80 la cual se muestra en el (*Anexo I*), perfiles IPE. Del acero tipo ASTM A36 como se muestra en el (*Anexo J*), Acero ASTM A36. La elongación máxima en las condiciones de máximo esfuerzo es del valor de $y = -2.92 \text{ mm}$, teniendo un máximo esfuerzo de la viga de $\sigma = 2.59 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$.

☞ Viga principal de las paredes

El perfil de la columna utilizado en los cálculos es del tipo IPE 120, cuyas características se presentan en el (*Anexo I*), perfiles IPE. La elongación máxima en las condiciones de máximo esfuerzo es del valor de $y = -3.68 \text{ mm}$, teniendo un máximo esfuerzo de la viga de $\sigma = 5.31 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$.

☞ Viga principal de la solera móvil

La solera móvil es la que soporta todo el peso del rodete Pelton, para el diseño de la estructura se ha de utilizarse un perfil IPE 200 indicado en el (*Anexo I*). La elongación

máxima en las condiciones de máximo esfuerzo es del valor de $y = -6.56 \text{ mm}$,
teniendo un máximo esfuerzo de la viga de $\sigma = 20.44 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$.

4.1.6 SELECCIÓN DEL MOTOR PARA MOVIMIENTO DE LA SOLERA

La potencia efectiva calculada del motor es de 1.57 Hp, por factor de estabilidad de la solera móvil se ha de utilizarse 2 motores eléctricos de 0.75 Hp cada uno, cuyas características se muestran en el (*Anexo K*).

4.1.7 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

El tipo de resistencia seleccionada que se dispondrá en las paredes laterales y en techo del horno son de alambre metálico y el material empleado en su fabricación es la aleación de base Ni-Cr. Cuyas características se muestran en los (*Anexos L.1, L.2 y L.3*). El tipo Austenítica de 80 Ni-20 Cr. Su temperatura máxima de utilización es 1200 °C. Tiene una gran resistencia a la oxidación en caliente y son muy buenas sus características mecánicas a temperaturas elevadas. Permite grandes variaciones de temperatura y de atmósfera, tanto oxidante como reductora, hasta temperaturas de 1150 °C. La disposición de las resistencias de alambre estará arrollada en espiral sobre tubos cerámicos, la cual permite una radiación térmica bastante libre de las resistencias lo que, para la misma carga específica, supone un menor gradiente de temperatura entre resistencias y horno.

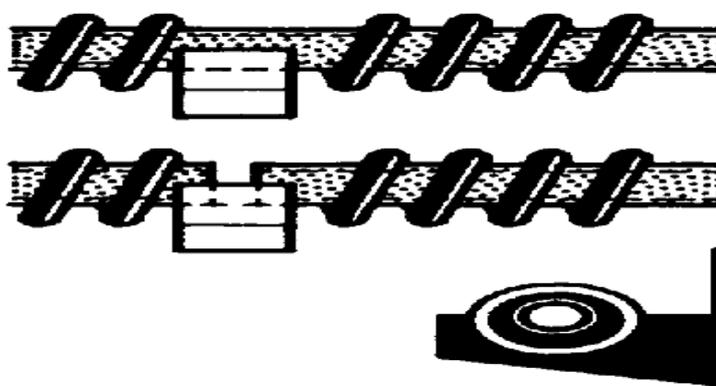


Figura 46: Alambre en espiral sobre tubos

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion11.HornosResistencia.pdf>

Las resistencias arrolladas sobre tubos cerámicos pueden disponerse en bóveda, paredes laterales o solera; sobre aislamientos de mantas de fibra cerámica, placas o módulos al vacío de fibra cerámica, mantas de fibra plegada en acordeón o sobre ladrillos cerámicos, siendo fácil su adaptación a diferentes potencias y zonas de regulación, de acuerdo al (*Anexo L.4*).

En seguida se elabora la siguiente tabla de datos más importantes según graficas anteriores a una respuesta a un control P, PI y PID:

Tipo de controlador	Proporcional [K_p]	Integral [T_i]	Derivativo [T_d]
P	5108.45	0	0
PI	0.1	12251.21	0
PID	76.608	13701.85	0.01
DATOS OBTENIDOS DE LAS GRÁFICAS			
Ítem	[P]	[PI]	[PID]
Time rise (seg)	0.000714	0.408	0.345
Settling time (seg)	-	1.2	1.18
Overshoot (%)	102	2.93	5.64
Peak	1.01	1.03	1.06

Tabla 29: Datos obtenidos para control "P", "PI" y "PID"

Elaboración: Propia

4.1.8 SELECCIÓN DE ELEMENTOS SOBRESALIENTES DE CONTROL

El sistema de control se ha de hacerse directamente desde un computador portátil, debidamente instalado el software correspondiente y compatible con el módulo de digitalización, el programa controla la temperatura que se desea en el horno tanto en los

tres periodos de calentamiento, constante y enfriamiento. Lo ejecuta mediante la comparación de datos de temperatura que se toma mediante las 8 termocuplas ó termopares, que están distribuidas en la cámara interna del horno.

🔗 **Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)**

El módulo de digitalización seleccionado es el NI USB – 6008, este dispone de 08 entradas analógicas y 02 salidas analógicas; Compatible con los sistemas operativos de Windows de 32 y 64 bits, Mac, Linux, etc. El software recomendado para su control y programación es labVIEW en todas sus versiones, todos los datos técnicos se pueden ver en el (*Anexo M*).

🔗 **Controlador de ángulo trifásico digital**

Generalmente este instrumento es un regulador de tensión trifásica en lo cual seccionamos de referencia SVTA 4690 que soporta una corriente de 125 A. mayor a nuestro cálculo de corriente de línea, que se controla mediante una señal de 0 – 10 V. sus características lo encontramos en el (*Anexo N*).

🔗 **Termopar o termocupla tipo “K”**

Un termopar es un transductor formado por la unión de dos metales distintos que produce una diferencia de potencial muy pequeña. El termopar seleccionado es del tipo “K” (cromel/alumel) con una amplia variedad de aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. El cromel es una aleación de Ni-Cr, y el alumel es una aleación de Ni-Al. Tienen un rango de temperatura de -200 °C a +1372 °C y una sensibilidad de 41uV/°C aproximadamente. Posee buena resistencia a la oxidación. (*Anexo W*).

4.2 COSTOS DEL PROYECTO

4.2.1 COSTOS DIRECTOS DE CONTRUCCIÓN DEL HORNO

☞ Materiales y accesorios directos

Ítem	Denominación	Especificaciones Técnicas	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
1	<u>DISEÑO TÉRMICO</u>					<u>7,163.70</u>
1.1	Fibra de cerámica Nutec Ibar HP 8-1	0.61x7.62x0.025m Densidad 128Kg/m2	Und	12.00	64.00	768.00
1.2	Lana de roca basáltica	1.20x0.60x0.05m Densidad 70 Kg/m2	Und	28.00	72.00	2016.00
1.3	Plancha de acero ASTM A36	1.2x2.4x0.02m L. Flu. 2550kg/cm2	Und	15.00	56.50	847.50
1.4	Ladrillo refractario aislante WAM-23	9"x4.5"x2.12" Temperatura 1400°C	Und	1000.00	1.97	1970.00
1.5	Mortero refractario sílico aluminoso	40 kg/bolsa Temperatura 1400°C	Und	4.00	88.00	352.00
1.6	Vidrio cerámico neoceram	20x20x0.4cm Temperatura 740°C	Und	8.00	56.00	448.00
1.7	Electrodo E6011	1/8 x 14" 80 – 125 Amp.	kg	20.00	13.11	262.20
1.8	Kit de pernos - cincado (Incluye arandela plana y presión, y tuerca)	3/8" x 1 1/2" M20	Kit	200.00	2.50	500.00
2	<u>DISEÑO MECÁNICO</u>					<u>4,581.05</u>
2.1	Perfil de acero IPE 80 ASTM A36 laminado en caliente	80x46x3.8x5.2 y 6000mm	Und	6.00	90.00	540.00
2.2	Perfil de acero IPE 120 ASTM A36 laminado en caliente	120x64x4.4x6.3 y 6000mm	Und	6.00	180.00	1080.00
2.3	Perfil de acero IPE 200 ASTM A36 laminado en caliente	200x100x5.6x8.5 y 6000mm	Und	1.00	230.00	230.00
2.4	Perfil estructural ángulo L laminado en caliente	80x46 y 6000mm	Und	4.00	78.00	312.00
2.5	Perfil estructural ángulo L laminado en caliente	120x64 y 6000mm	Und	4.00	105.00	420.00
2.6	Perfil estructural ángulo L laminado en caliente	200x100 y 6000mm	Und	1.00	140.00	140.00

Continúa ...

2.7	Cáncamo con tuerca M24	1 1/2" con orificio de diám. Int. 40 mm	Und	4.00	36.00	144.00
2.8	Cilindro neumático de doble efecto	carrera 1000 mm embolo 100mm	Und	2.00	225.00	450.00
2.9	Manguera de para aire comprimido	1/4" diámetro 10 Mpa	mts	10.00	28.00	280.00
2.10	Unidad de mantenimiento para aire comprimido	conectores de 1/4" 10 Mpa	Und	1.00	165.00	165.00
2.11	Válvula 3/2 accionada manualmente por palanca.	conectores de 1/4" 10 Mpa	Und	1.00	250.00	250.00
2.12	Kit de pernos - cincado (Incluye arandela plana y presión, y tuerca)	1/2"x1 1/2" M20	Kit	32.00	6.00	192.00
2.13	Electrodo E-7018	1/8 x 14" 80 – 125 Amp.	kg	10.00	18.14	181.40
2.14	Electrodo E-6011	1/8 x 14" 80 – 125 Amp.	kg	15.00	13.11	196.65
3	<u>DISEÑO ELÉCTRICO</u>					<u>2,577.35</u>
3.1	Conductor Unipolar NYY	1x35mm ² , 7 hilos 421 Kg/km	mts	22.00	9.40	206.80
3.2	Conductor AWG	2.5 mm ²	mts	30.00	3.46	103.80
3.3	Contactador trifásico	400 VAC 3x100 Amp	Und	1.00	120.00	120.00
3.4	Contactador trifásico	400 VAC 3x20 Amp	Und	1.00	90.00	90.00
3.5	Fusible y portafusible	100 Amp	Und	3.00	45.00	135.00
3.6	Fusible y portafusible	20 Amp	Und	3.00	25.00	75.00
3.7	Interruptor térmico	3x100 Amp	Und	1.00	120.00	120.00
3.8	Interruptor térmico	3x20 Amp	Und	1.00	75.00	75.00
3.9	Interruptor automático	3Ø de 100A/640/0.46 Kv/40kA	Und	1.00	190.00	190.00
3.10	Interruptor automático	3Ø de 20A/240/0.10 Kv/0.5kA	Und	1.00	98.00	98.00
3.11	Interruptor termomagnético bipolar	2x25A/230V/5kA	Und	1.00	78.67	78.67
3.12	Pulsador de color	10 Amp. IP 65 660 VAC - VCC	Und	8.00	25.00	200.00

Continúa ...

3.13	Lampara señalizadora	10 Amp. IP 65 660 VAC - VCC	Und	8.00	15.00	120.00
3.14	Bornera tipo tornillo universal	1000V/100A de 2.5 mm ²	Und	36.00	2.98	107.28
3.15	Bornera tipo tornillo para tierra de protección	1000V/100A de 2.5 mm ²	Und	20.00	3.14	62.80
3.16	Canaletas ranuradas	40x60 mm Material PVC - gris	mts	8.00	15.00	120.00
3.17	Canaletas ranuradas	60x60 mm Material PVC - gris	mts	6.00	25.00	150.00
3.18	Tablero auto soportado de 1 cuerpo (incluye accesorios)	600mm X 600mm X 225mm	Und	1.00	380.00	380.00
3.19	Conductor	NY Y 1x2.5 mm 7 h. 43 Kg/km	mts	20.00	3.25	65.00
3.20	Conductor	NY Y 1x4 mm 7 hilos 56 Kg/km	mts	16.00	5.00	80.00
4	<u>CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN</u>					<u>14,670.00</u>
4.1	Termopar o termocupla	tipo "K" Acero Inox. 1250 °C	Und	8.00	135.00	1080.00
4.2	Motor trifásico	0.75 Hp y 1150 rpm 220 VAC, 3.77 A	Und	2.00	220.00	440.00
4.3	Motorreductor	2.30 Nm	Und	2.00	160.00	320.00
4.4	Rodillo deslizante (rueda)	100 mm de diámetro 5 – 20 toneladas	Und	4.00	110.00	440.00
4.5	Resistencia eléctrica	80Ni-20Cr Potencia 1153.99 W	Und	54.00	105.00	5670.00
4.6	Controlador de ángulo trifásico SVTA 4690	(0 - 10 V) 125 Amp	Und	6.00	320.00	1920.00
4.7	Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)	12 bits, 8 input, 2 output (Analog.)	Und	3.00	1600.00	4800.00
<u>TOTAL</u>					<u>S/. 28,992.10</u>	

Tabla 30: Costo de materiales y accesorios directos de construcción

Elaboración: Propia

☞ Costos por mano de obra directa

Se toma como referencia la tabla de salarios y beneficios sociales (CAPECO) y salarios según el D. Leg. 728 en la empresa.

N°	Denominación	Cant.	N° de horas	Costo S./h	Costo Parcial
01	Operario Albañil	1	48.00	2.64	126.72
02	Oficial Albañil	1	48.00	2.77	132.96
03	Técnico Soldador tipo III	1	48.00	12.67	608.16
04	Técnico Mecánico tipo II	1	96.00	6.43	617.28
05	Técnico Mecánico tipo I	1	96.00	4.91	471.36
06	Pintor tipo II	1	12.00	4.45	53.40
07	Técnico Eléctrico Tipo III	1	72.00	13.66	983.52
08	Técnico Eléctrico Tipo II	1	72.00	6.43	462.96
09	Técnico Electrónico Tipo III	1	48.00	14.50	696.00
<u>TOTAL</u>					<u>S/. 4,152.36</u>

Tabla 31: Costo por mano de obra directa calificada

Elaboración: Propia

✎ Costos por equipos utilizados

N°	Denominación	Características	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
01	Computadora de escritorio	TOSHIBA	1	1500.00	1500.00
02	Impresora	HP	1	150.00	150.00
<u>TOTAL</u>					<u>S/. 1,650.00</u>

Tabla 32: Costo de equipos

Elaboración: Propia

4.2.2 COSTOS INDIRECTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO

✎ Costos de materiales y accesorios indirectos

N°	Denominación	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Costo Parcial
01	Pintura Anticorrosiva, color blanco	Galón	1	30.50	30.50
02	Thiñer	Galón	2	15.50	31.00
<u>TOTAL</u>					<u>S/. 61.50</u>

Tabla 33: Costo de materiales y accesorios indirectos de construcción

Elaboración: Propia

✎ Costos por mano de obra indirecta

Se toma como referencia la tabla de salarios y beneficios sociales (CAPECO) y salarios según el D. Leg. 728 en la empresa.

N°	Denominación	Cant.	N° de horas	Costo S./h	Costo Parcial
01	Jefe de producción	1	8	26.45	211.6
02	Supervisor	1	18	20.78	374.04
03	Asistente técnico de archivo	1	96	5.78	554.88
04	Transportista	1	96	5.22	501.12
05	Limpieza	1	48	3.45	165.6
<u>TOTAL</u>					<u>S/. 1,807.24</u>

Tabla 34: Costo por mano de obra indirecta

Elaboración: Propia

✎ Costos por alquiler de maquinaria y equipos utilizados

N°	Denominación	Cantidad	horas	Costo Unitario	Costo Parcial
01	Soldadura eléctrica	1	40	12.00	480.00
02	Soldadura Tig	1	40	15.00	600.00

Continúa ...

03	Cortadora Plasma	1	18	8.00	144.00
04	Taladro	2	60	3.00	360.00
05	Esmeril	2	60	3.00	360.00
06	Pulidora/ Amoladora	2	60	3.00	360.00
07	Compresor	1	60	12.00	720.00
08	Otros Equipos	10	3	10.00	300.00
<u>TOTAL</u>					<u>S/. 3,324.00</u>

Tabla 35: Costos por alquiler de maquinaria y equipos

Elaboración: Propia

4.2.3 COSTOS TOTALES DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO

N°	Denominación	Costo Parcial N°1	Costo Parcial N°2	Costo Parcial N°3
1	<u>COSTOS DIRECTOS</u>			<u>S/. 36,294.46</u>
1.1	Materiales y accesorios		S/. 28,992.10	
1.1.1	Diseño térmico	S/. 7,163.70		
1.1.2	Diseño mecánico	S/. 4,581.05		
1.1.3	Diseño eléctrico	S/. 2,577.35		
1.1.4	Control y automatización	S/. 14,670.00		
1.1.5	Obras civiles	S/. 1500.00	S/. 1500.00	
1.2	Mano de obra	S/. 4,152.36	S/. 4,152.36	
1.3	Equipos	S/. 1,650.00	S/. 1,650.00	
2	<u>COSTOS INDIRECTOS</u>			<u>S/. 5,192.74</u>
2.1	Materiales y accesorios	S/. 61.50	S/. 61.50	

Continúa ...

2.2	Mano de obra	S/. 1,807.24	S/. 1,807.24	
2.3	Maquinaria y equipos	S/. 3,324.00	S/. 3,324.00	
3	<u>COSTO SUBTOTAL</u>			<u>S/. 41,487.20</u>
4	Imprevistos (10% CD)			S/. 3,629.45
<u>TOTAL</u>				<u>S/. 45,116.65</u>

Tabla 36: Costo total de construcción del horno de tratamiento térmico

Elaboración: Propia

4.3 ESTUDIO FINANCIERO

4.3.1 INVERSIONES DEL PROYECTO

☞ **Inversión fija:** Son todos los recurso tangibles y no tangibles necesarios para la realización del proyecto.

☞ **Capital de trabajo:** Recursos económicos y no económicos con las que cuenta la empresa para iniciar cualquier actividad.

☞ **Ingresos y gastos:** Evaluación anual de ingresos y gastos.

ESTADO DE RESULTADOS (En Millones S/.) – PROYECCIÓN													
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Ingresos por ventas	69.92	115.98	149.90	160.90	126.00	131.40	138.62	145.30	151.98	158.66	165.34	172.02	178.70
Costo de producción	41.09	76.38	84.00	90.60	57.00	64.90	63.87	63.35	62.83	62.32	61.80	61.29	60.77
Utilidad bruta	28.83	39.60	65.90	70.30	69.00	66.50	74.75	81.95	89.14	96.34	103.53	110.73	117.92
Gastos de venta y administración	6.14	10.71	7.90	12.30	10.10	8.20	9.46	9.60	9.74	9.88	10.02	10.16	10.30
Otros ingresos y gastos	6.96	3.90	1.70	3.60	4.00	10.10	10.43	11.28	12.13	12.99	13.84	14.69	15.54
Utilidad operativa	29.65	32.79	59.70	61.60	62.90	68.40	75.72	83.63	91.53	99.44	107.35	115.26	123.16

Continúa ...

Ingresos y gastos financieros	4.60	5.18	4.70	3.30	0.30	2.70	2.10	2.50	2.80	2.40	1.90	1.90	1.80
Resultado neto	34.25	37.97	64.40	64.90	63.20	71.10	77.82	86.13	94.33	101.84	109.25	117.16	124.96
Part. De trab. e Imp. a la renta	5.60	11.04	14.60	14.90	17.20	20.70	23.01	25.53	28.05	30.57	33.08	35.60	38.12
Resultado neto	28.65	26.93	49.80	50.00	46.00	50.40	54.81	60.60	66.29	71.27	76.16	81.55	86.84

Tabla 37: Proyección de ingresos y gastos anuales

Fuente: San Gabán S.A.

☞ **Inversión del proyecto:** Es una sumatoria de las inversiones fijas más la capital de trabajo teniendo una inversión total de **S/. 45,116.65.**

4.3.2 FINANCIAMIENTO

☞ **Fuentes de financiamiento:** El financiamiento para este proyecto será pagado por la empresa, a continuación, se presenta la información y el procedimiento para el financiamiento de este proyecto:

☞ **Capital:** S/. 45,116.65.

☞ **Interés:** 15%.

☞ **Años de plazo:** 5 años.

☞ **Forma de pago:** Anual.

☞ **Tipo de renta:** Fija.

☞ **Amortización**

Se calcula siguiendo las siguientes ecuaciones:

$$R = \frac{A * i}{1 - (1 + i)^{-n}} \quad \dots (Ec. 111)$$

$$Renta = Interés + Amortización \quad \dots (Ec. 112)$$

TABLA DE AMORTIZACIÓN					
AÑOS	DEUDA	INTERÉS	AMORTIZACIÓN	RENTA	SALDO
0					45,116.65
1	45,116.65	6,767.50	6,691.50	13,459.00	38,425.14
2	38,425.14	5,763.77	7,695.23	13,459.00	30,729.92
3	30,729.92	4,609.49	8,849.51	13,459.00	21,880.41
4	21,880.41	3,282.06	10,176.94	13,459.00	11,703.47
5	11,703.47	1,755.52	11,703.48	13,459.00	0.00
TOTAL	147,855.59	22,178.34	45,116.65	67,294.99	102,738.94

Tabla 38: Amortización del proyecto

Elaboración: Propia

4.4 EVALUACIÓN DEL PROYECTO

4.4.1 EVALUACIÓN FINANCIERA

El flujo de efectivo son las entradas y salidas de dinero del proyecto. Según proyección de ingresos y gastos anuales de la empresa, el área de tratamiento térmico es de un valor aproximado de 0.016% del resultado neto.

$$\text{Valor Depreciación} = \frac{\text{Costo} - \text{Valor residual}}{\text{Número de años}} \quad \dots (\text{Ec. 113})$$

CÁLCULO DEL FLUJO DE EFECTIVO				
AÑOS	INVERSIÓN	UTILIDAD NETA	DEPRECIACIÓN	FLUJO DE EFECTIVO (Vt)
0	45,116.65			
1		9,696.00	1,015.12	10,711.12
2		10,606.40	1,015.12	11,621.52

Continúa ...

3		11,403.20	1,015.12	12,418.32
4		13,048.00	1,015.12	14,063.12
5		13,894.40	1,015.12	14,909.52
TOTAL	45,116.65	58,648.00	5,075.62	63,723.62

Tabla 39: Flujo de efectivo

Elaboración: Propia

4.4.2 TASA MÍNIMA ATRACTIVA DE RETORNO (TMAR)

Para que cualquier inversión sea rentable, el inversionista (corporación o individuo) debe espera recibir más dinero de la suma invertida. En otras palabras, debe ser posible obtener una tasa de retorno o un retorno sobre la inversión. El valor final se determina con el trabajo del proyectista. Esta tasa sirve como instrumento para evaluación económica financiera de los proyectos productivos los mismos que analizan variables como son el VAN y TIR.

$$TMAR = 2.2\% \Rightarrow \text{Inflación}$$

$$4.16\% \Rightarrow \text{Tasa bancaria pasiva}$$

$$TMAR = 6.45\% \Rightarrow \text{Fijada por el proyectista}$$

4.4.3 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. Sirve para determinar la viabilidad de un proyecto. Su cálculo solo requiere de operaciones simples aplicando la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad \dots \text{(Ec. 114)}$$

Donde:

$$V_t = \dots: \text{Flujo de caja en cada periodo.}$$

✎ $i = 6.45\%$: Tasa de interés.

✎ $n = 5$: Número de años considerado.

✎ $I_0 = S/. 45,116.65$: Desembolso inicial de la inversión.

CÁLCULO DEL VALOR ACTUAL NETO				
AÑOS	INVERSIÓN	UTILIDAD NETA	FLUJO DE EFECTIVO (Vt)	FLUJO DE EFECTIVO ACTUALIZADO $\frac{V_t}{(1+i)^t}$
0	45,116.65			
1		9,696.00	10,711.12	10,062.12
2		10,606.40	11,621.52	10,255.85
3		11,403.20	12,418.32	10,294.99
4		13,048.00	14,063.12	10,952.14
5		13,894.40	14,909.52	10,907.76
TOTAL	45,116.65	58,648.00	63,723.62	52,472.86
$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_0$				7,356.22

Tabla 40: Valor Actual Neto (VAN)

Elaboración: Propia

✎ **Interpretación**

- ✓ **VAN > 0**: La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida. **(El proyecto puede aceptarse).**
- ✓ **VAN < 0**: La inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida. **(El proyecto debería rechazarse).**
- ✓ **VAN = 0**: La inversión no produciría ganancias ni pérdidas.

El VAN es mayor que cero “0”, es decir **7,356.22**. Entonces el **proyecto es viable**.

4.4.4 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o perdidas que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto. La TIR es la tasa de descuento que iguala, en el momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, generando un VAN igual a cero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 - TIR)^t} - I_0 = 0 \quad \dots (Ec. 115)$$

Donde:

✎ $V_t = \dots$: Flujo de caja en cada periodo.

✎ $n = 5$: Número de años considerado.

✎ $I_0 = S/. 45, 116. 65$: Desembolso inicial de la inversión.

CÁLCULO DE LA TASA INTERNA DE RETORNO												
AÑO	INVERSIÓN	FLUJO DE EFECTIVO (Vt)	PORCENTAJE									
			0%	2%	4%	6%	8%	10%	11.96%	12%	15%	20%
0	45,116.65											
1		10,711.12	10,711.12	10,501.10	10,299.16	10,062.12	9,917.71	9,737.39	9,567.25	9,563.50	9,314.02	8,925.94
2		11,621.52	11,621.52	11,170.25	10,744.75	10,255.85	9,963.58	9,604.57	9,271.87	9,264.61	8,787.54	8,070.50
3		12,418.32	12,418.32	11,702.06	11,039.85	10,294.99	9,858.07	9,330.07	8,849.51	8,839.12	8,165.25	7,186.53
4		14,063.12	14,063.12	12,992.15	12,021.22	10,952.14	10,336.82	9,605.30	8,951.38	8,937.37	8,040.64	6,781.99
5		14,909.52	14,909.52	13,504.02	12,254.54	10,907.76	10,147.17	9,257.64	8,476.65	8,460.06	7,412.67	5,991.80
		Σ	63,723.62	59,869.58	56,359.52	52,472.86	50,223.35	47,534.97	45,116.65	45,064.66	41,720.12	36,956.76
		VAN	18,606.98	14,752.94	11,242.87	7,356.22	5,106.70	2,418.32	0.00	-51.98	-3,396.53	-8,159.89

Tabla 41: Tasa interna de retorno (TIR)

Elaboración: Propia

Interpretación

- ✓ **$VAN \geq r$:** La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida. (Se aceptará el proyecto).
- ✓ **$VAN < r$:** La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida. (Se rechazará el proyecto).

Siendo **TIR > TMAR, 6.5%** es menor que el nivel máximo de endeudamiento de **11.96%**. Entonces de acuerdo al criterio del VAN y el TIR el *proyecto es factible*.

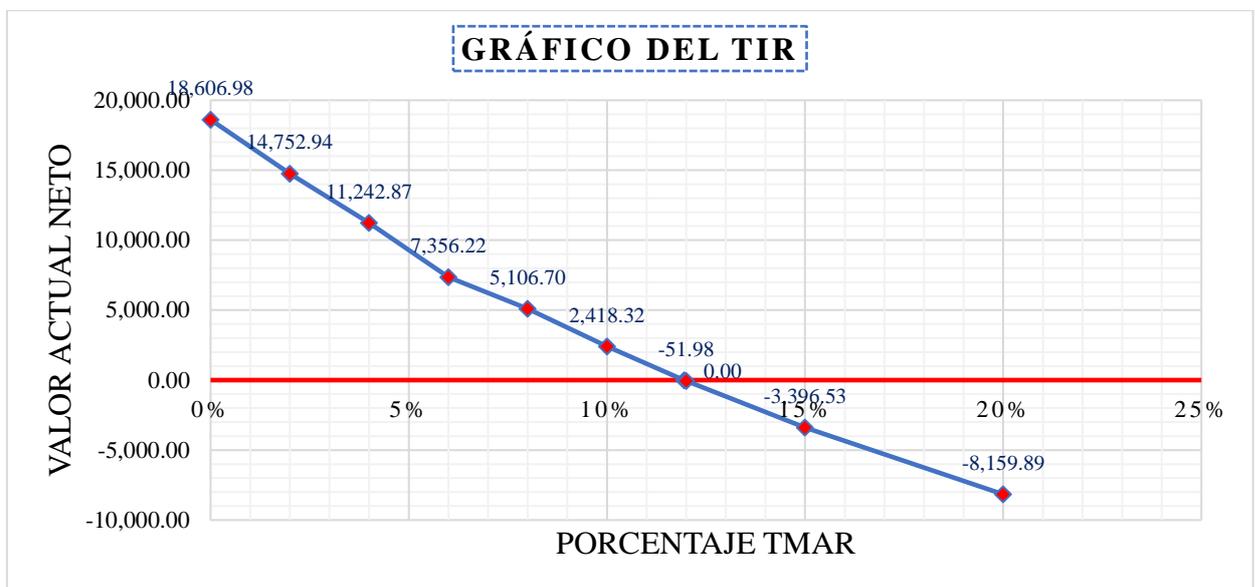


Figura 47: Visualización grafica del TIR

Elaboración: Propia

4.4.5 PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Mide en cuanto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente, es decir, nos revela la fecha en la cual se cubre la inversión puede ser en años, meses y días.

CÁLCULO PARA EL PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN						
AÑOS	INVERSIÓN	FLUJO DE EFECTIVO (Vt)	VAN (6.45%)	PRI		
				(A) INVERSIÓN	(B) VAN 6.45%	C=(A+B)

Continúa ...

0	45,116.65					
1		10,711.12	10,062.12	45,116.65	10,062.12	55,178.76
2		11,621.52	10,255.85	35,054.53	10,255.85	45,310.38
3		12,418.32	10,294.99	24,798.68	10,294.99	35,093.67
4		14,063.12	10,952.14	14,503.68	10,952.14	25,455.83
5		14,909.52	10,907.76	3,551.54	10,907.76	14,459.30
6		15,996.24	11,210.84	-7,356.22	11,210.84	3,854.63
7		17,080.08	11,449.60	-18,567.06	11,449.60	-7,117.46
8		18,163.92	11,688.36	-30,016.66	11,688.36	-18,328.30
9		19,247.76	11,927.12	-41,705.02	11,927.12	-29,777.91
10		20,331.60	12,165.87	-53,632.14	12,165.87	-41,466.26

Tabla 42: Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Elaboración: Propia

El capital que se invertirá en el proyecto será recuperado en el transcurso del *quinto año* aproximadamente, después de empezar el horno de tratamiento térmico.

CONCLUSIONES

PRIMERO: De los resultados obtenidos, podemos afirmar que el diseño propuesto de un horno de tratamiento térmico hasta 700°C para turbinas Pelton de la central hidroeléctrica San Gabán II, cumple con todas las condiciones de cálculos propuestos.

SEGUNDO: Las dimensiones internas de la cámara interna del horno son de 3.0 x 3.0 m. Siendo la altura de 1.0 m. de forma cuadrada con solera móvil, la capa interna por mantas de fibra de cerámica, la segunda por lana de roca basáltica y finalmente el recubrimiento con planchas de acero, donde la temperatura de servicio de la primera y segunda capa son de 700 °C y 450 °C respectivamente, haciendo las pérdidas de calor en las paredes laterales, techo, solera móvil y ventanillas de supervisión un total de 0.1956 KW, el horno consta de un rendimiento de 91.41 % , con una potencia de diseño de 62.29 KW, cumpliendo con el diseño estructural según las normas ASTM, DIN. Etc, para soportar más de 5 toneladas de peso, La temperatura en la etapa de calentamiento debe ser de 50 °C/h, la permanencia mínima de 2 h. más 1 h. por cada 25 mm de profundidad de la excavación, la temperatura en la etapa de enfriamiento debe ser menor a 50°C/h.

TERCERO: Se determinó el modelo matemático del horno según capacitancia térmicas de las paredes, techo y solera móvil, donde el centro de los circuitos de control y potencia son la disposición de las resistencias en el interior de la cámara la cual será en el techo y las paredes laterales, cuya conexión se realiza en estrella. Controlado por control PID, diseñado por el método de LGR (lugar geométrico de raíces).

CUARTO: La construcción del horno es posible según el estudio técnico económico, siendo los costos directos, indirectos y totales para su construcción de S/. 45,116.65, con indicadores económicos de VAN, para una tasa de descuento de 6.45%, de S/. 7,356.22 y TIR de 11.96%. siendo PRI dentro del quinto año.

RECOMENDACIONES

PRIMERO: La inmediata construcción y su respectiva implementación el horno de tratamiento térmico, por tratarse de una inversión con recuperación a corto plazo.

SEGUNDO: Las resistencias deben de conectarse en estrella, ya que asegura un voltaje constante sin importar que alguna resistencia de fase se desequilibre y la etapa de sintonización de las ganancias del controlador debe de realizarse cuando esté debidamente instalado el horno.

TERCERO: Realizar un manual de operación y mantenimiento siguiendo las hojas técnicas y catálogos de los equipos y materiales adquiridos para su construcción. El cual debe de estar incluido en el plan anual de mantenimiento de equipos y materiales del área de mantenimiento mecánico.

CUARTO: Brindar capacitaciones y/o motivaciones a los trabajadores para que estos se vayan familiarizando en temas de reconstrucción, soldadura, esmerilado, tratamiento térmico, normas pertinentes, para después ejecutar por primera vez la reconstrucción en las instalaciones de la central hidroeléctrica.

QUINTO: A futuro se sugiere realizar estudios para cada procedimiento principal de reparación, y reconstrucción de rodets Pelton; también incluye el tema de inyectores, deflectores, boquillas, agujas, Etc.

REFERENCIAS

- ANDRITZ Hydro. (2014). *Turbinas Pelton pruebas de aceptación de campo y procedimiento de pruebas termodinámicas*.
- ANDRITZ Hydro. (2015). *Informe instalación de dos rodetes Pelton de la central san Gabán II*.
- Arguedas Romero, J. (2010). *Sistema de control automático para un horno industrial*. Available at: <https://repositoriotec.ac.cr/handle/2238/2613> [Accessed 1 Jul 2017].
- Ayner, H. (1988). *Introducción a la Metalurgia Física*. (McGraw-Hill) (segunda). México.
- Baca Urbina, G. (2007). *Fundamentos de ingeniería económica*. (McGraw-Hill Companies, ed.) (cuarta). México.
- Castillo Rodríguez, F. & Reyes Solís, A. (2012). *Aceros, estructuras y tratamientos térmicos*. Available at: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m6/aceros%20estructuras%20y%20tratamientos%20termicos.pdf [Accessed 1 Jul 2017].
- CEGELEC & Asociación Accidental – Mecánica Pesada ALSTOM NEYRPIC. (1989). *Nota sobre la vigilancia y el mantenimiento de los rodetes Pelton en servicio*.
- Cengel Yunus, A. (2011). *Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones*. (McGraw-Hill Companies, ed.) (cuarta). México.
- Cortez Berroeta, G. (2003). *Propuesta para el diseño y construcción de un horno a gas para tratamientos térmicos en el área de mantenimiento de la empresa de acero galvanizado P & M. C.A*. Available at: <https://es.scribd.com/document/224579507/propuesta-para-el-diseno-de-un-horno-a-gas-para-tratamiento-termico> [Accessed 1 Jul 2017].
- De la vega Pardo, W. & Enríquez lozano, S. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de control automático para seis hornos del laboratorio de tratamientos térmicos de la escuela politécnica nacional*. Available at: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11521/CD-6501.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].

- Estévez, J. (1988). *Hornos de resistencias*. Available at: <https://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Lección11.HornosResistencia.RESISTENCIAS.CALENTAMIENTO.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].
- Gash Salvador, M. & Gash Molina, I. *Cálculo estructural*. (Universidad Politécnica de Valencia, ed.)
- Gonzales Echeverría R. & Salvador Rugamas, J. (2013). *Diseño y fabricación de horno a gas propano para tratamientos térmicos en aceros herramientas*. Available at: <https://es.scribd.com/doc/238780163/disen-y-fabricacion-de-horno-a-gas-propano-para-tratamientos-termicos-en-aceros-herramientas-pdf> [Accessed 1 Jul 2017].
- Herrera, L. & Vásquez, E. (2011). *Diseño, Programación e Instalación de un Sistema de Control de Supervisión y Adquisición de Datos de un Horno Lindberg para el Laboratorio de Tratamientos Térmicos*. Available at: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3993/1/CD-3765.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].
- Huanca Butron, F. (2016). *Diseño de intercambiador de calor de tubo y coraza para ampliación de capacidad de producción de cal hidratada – Cal & Cemento Sur S.A. UNA Puno*. Available At: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3319>. [Accessed 1 Jul 2017].
- Industrias I. *Hornos industriales*. Available at: [https://es.scribd.com/mobile/document/98067385/15-apunte-Hornos industriales](https://es.scribd.com/mobile/document/98067385/15-apunte-Hornos-industriales) [Accessed 1 Jul 2017].
- INCROPERA, F. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor*. (Prentice Hall, Ed.) (cuarta). México.
- Kalpakjian, S. & Schmid, S. (2008). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. (Pearson educación, ed.) (quinta). México.
- López Pérez, V. & Ramírez Montes de oca, W. (2011). *Diseño de un horno de tratamiento térmico del rodete de la turbina Francis (Celeg Unidad de Negocio Hidroagoyán)*. Available at: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1398/1/15T00845.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].
- Luna Álvarez, J. (2005). *Cementación sólida de aceros*. Available at: <http://eprints.uanl.mx/5557/1/1020150661.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].

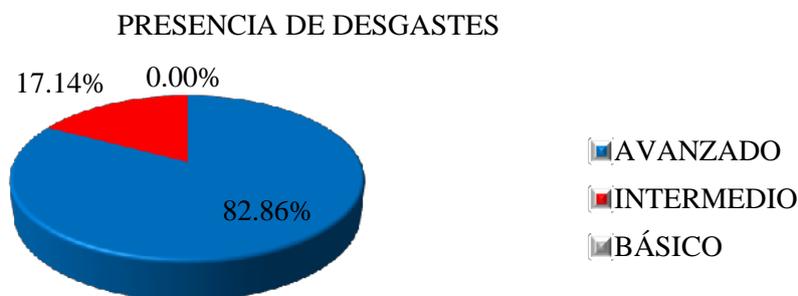
- Monteros Vizcaino, I. (2015). *Diseño y construcción de un horno mufla para la realización de tratamientos térmicos en aceros*. Available at: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4592/1/04%2520mec%252077%2520tesis.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. (Pearson Educación, Ed.) (séptima). Madrid.
- Pérez Patiño, J. (1996). *Tratamientos térmicos de los aceros*. Available at: <http://eprints.uanl.mx/435/1/1020115008.PDF> [Accessed 1 Jul 2017].
- Sánchez Robalino, C. (2011). *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*. Available at: <http://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1233/1/Tesis%2520I.%2520M.%2520123%2520-%2520S%2520C3%2520A1nchez%2520Robalino%2520Carlos.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].
- Sagñay Castañeda, B. & Pilamunga Morales I. (2012). *Estudio de factibilidad para el diseño de una planta industrial de mecanizado para la reconstrucción de turbinas Francis y Pelton de generación eléctrica para la empresa CELEC E.P.* Available at: <https://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2439/1/85t00216.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].
- San Gabán S.A. (2017). *Memorias anuales*. Available at: https://www.sangaban.com.pe/pgw_externos/pgw_memoriaanual.aspx [Accessed 1 Jul 2017].
- Tapia Fernández, A. (2000). *La Investigación Científica*. UCSM. Arequipa, Perú.
- Tam Málaga, J., Vera, G. & Oliveros Ramos, R. (2008). *Tipos, métodos y estrategias de investigación científica*. Available at: http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf. [Accessed 1 Jul 2017].
- Torres, E. (2004). *Apuntes acerca del tratamiento térmico y la clasificación general de los aceros*. Available at: <http://monografias.umcc.cu/monos/2004/QuiMec/um04QM02.pdf> [Accessed 1 Jul 2017].
- Uscamayta Gutiérrez, A. & Velita Vélez, M. (2005). *Optimización del ajuste de las protecciones de los grupos generadores de la central hidroeléctrica San Gabán II*. UNA Puno.

ANEXOS

ANEXO A: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ENCUESTAS Y ENTREVISTAS

1) RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

📄 **CUESTIONARIO N° 01:** *¿Con que frecuencia se presenta el desgaste o falla en los cangilones de las turbinas?*



Elaboración: Propia

📄 **CUESTIONARIO N° 02:** *¿Con que frecuencia se realiza la reconstrucción de las cucharas de las turbinas?*



Elaboración: Propia

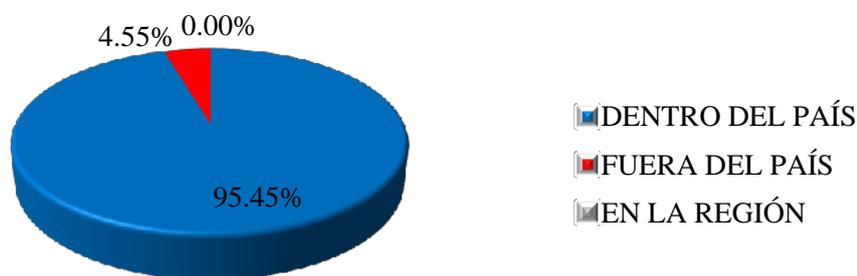
📄 **CUESTIONARIO N° 03:** *¿Conoce el tema de los tratamientos térmicos?*



Elaboración: Propia

📄 **CUESTIONARIO N° 04:** *¿Lugar donde se realiza tratamientos térmicos?*

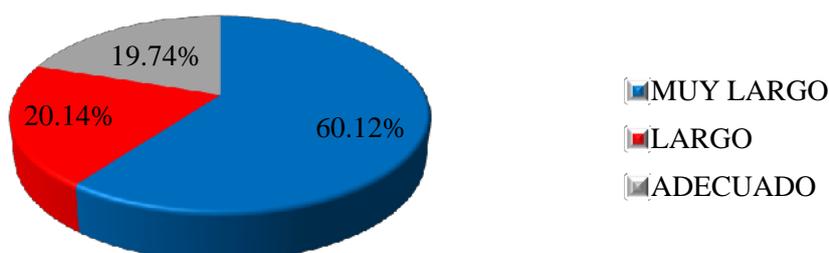
LUGAR DE REALIZACION DE TRATAMIENTO



Elaboración: Propia

📄 **CUESTIONARIO N° 05:** *¿En que tiempo se entrega el servicio requerido?*

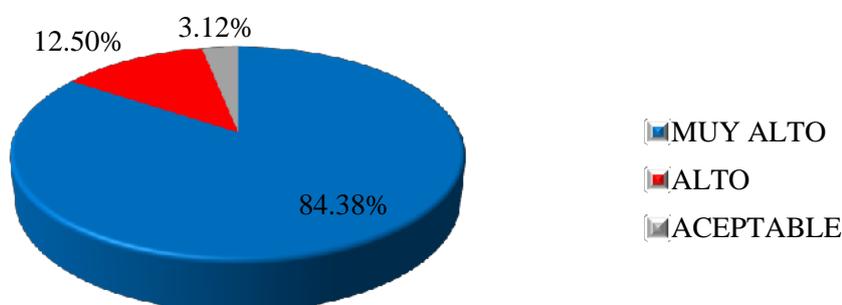
TIEMPO DE ENTREGA DEL SERVICIO REQUERIDO



Elaboración: Propia

📄 **CUESTIONARIO N° 06:** *¿Cómo Ud. Estima el costo de los tratamientos térmicos que se realizan después de una reconstrucción?*

COSTO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS



Elaboración: Propia

🦋 **CUESTIONARIO N° 07:** *¿Cree Ud. que es necesario la adquisición de un horno de tratamiento térmico para las turbinas?*



Elaboración: Propia

🦋 **CUESTIONARIO N° 08:** *¿Cree Ud. que se pueda realizar el tratamiento térmico dentro de las instalaciones de la central?*



Elaboración: Propia

🦋 **CUESTIONARIO N° 09:** *¿Cree Ud. que teniendo un diseño adecuado de la construcción de un horno de tratamiento sería capaz de construirlo?*



Elaboración: Propia

2) RESULTADOS DE LAS ENTREVISTA

🦋 CUESTIONARIO N° 01: *¿Cuál es la temperatura adecuada para realizar tratamientos térmicos de acuerdo al material?*

Según manuales de operación y mantenimiento de los fabricantes para el acero inoxidable 13.4 para el alivio de tensiones la temperatura adecuada es de 600°C.

🦋 CUESTIONARIO N° 02: *¿En qué tiempo se alcanzan las condiciones necesarias?*

El tratamiento térmico de alivio de tensiones se efectúa respetando el manual del fabricante, a su vez este cumple con las normas DIN-ASME para el acero inoxidable 13.4 (X5CrNi13.4 ó ASTM A 743 CA 6NM) y se realiza de la siguiente manera:

- 🌀 Velocidad de calentamiento menor de 50°C/h.
- 🌀 Tratamiento de eliminación de tensiones del rodete es a 600°C.
- 🌀 El tiempo de permanencia varia, para un tratamiento térmico es necesario 2 horas a 600°C y más una hora por cada 25 mm de profundidad de la excavación.
- 🌀 Enfriamiento de 600 a 200 °C a una velocidad menor de 50 °C/h.
- 🌀 Temperatura de la pieza al abrir el horno debe ser menor de 200°C.

🦋 CUESTIONARIO N° 03: *¿Cuáles son las condiciones necesarias de la atmósfera para un tratamiento óptimo?*

Para las condiciones necesarias no se requiere ninguna atmosfera especial, ya que las características deseadas se pueden tener en la atmosfera local con una variación de temperatura ambiente de 18°C a 45°C.

🦋 CUESTIONARIO N° 04: *¿Qué características mecánicas y térmicas 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 aporte de soldadura.

🦋 **CUESTIONARIO N° 05: ¿Qué materiales se utilizan en la reparación y tratamientos térmicos?**

Para la reparación de los elementos se utilizan los materiales de pulido y rectificación; para la soldadura el material de aporte que se utiliza es el electrodo Chroma weld 309 MOL.

🦋 **CUESTIONARIO N° 06: ¿Cuál es el costo total de la reparación de los rodetes?**

El costo de reparación varía según el daño que este tenga, por ejemplo, según antecedentes el servicio de reparación celebrada con mecánica tamariz S.R. LTDA fue por US\$ 159,999.00 (Ciento Cincuenta y nueve Mil Novecientos noventa y nueve con 00/100 Dólares de los Estados Unidos de América) incluidos los impuestos de ley.

🦋 **CUESTIONARIO N° 07: ¿Qué fallas se presentan en las turbinas?**

El permanente contacto con el agua que impulsa la rotación de las turbinas se producen dos fenómenos principales, la erosión y cavitación, que son los primordiales problemas para el desgaste del rodete.

🦋 **CUESTIONARIO N° 08: ¿Qué tipo de pruebas se realizan en la inspección del rodete?**

En las inspecciones visuales básicamente se realizan las siguientes inspecciones:

- ☼ Inspección por partículas magnéticas (MT).
- ☼ Inspección por tintes penetrantes (PT).

🦋 **CUESTIONARIO N° 09: ¿Con qué frecuencia se da el mantenimiento correctivo de los rodetes?**

Los mantenimientos a las turbinas hidráulicas se realizan mensualmente, trimestralmente, semestralmente y anualmente; según los planes adoptados en la central según la gestión ISO.

3) ANÁLISIS GENERAL

Las respuestas tanto de las encuestas y entrevistas realizadas que se consiguieron fueron satisfactorias ya que objeto de estas encuestas y entrevistas es el de respaldar la investigación de trabajo de grado a través de su objetivo principal que es el de *Diseñar un horno de tratamiento térmico hasta 700°C para turbinas Pelton de la central hidroeléctrica San Gabán II.*

ANEXO B.1: INSPECCIÓN POR PARTICULAS MAGNÉTICAS (MT)

La prueba por partículas magnéticas sirve para evaluar la continuidad superficial y subsuperficiales del material en determinadas zonas (cercanas y el mismo cuello, así como el pico de las cucharas) y así descartar o detectar/verificar la existencia de defectos de fundición o de servicio indicando su ubicación y tipo para determinar si los resultados obtenidos se encuentran dentro de un tipo de clase y cumplen los criterios de aceptación de la norma en uso **sección 6 – Acceptance Criteria / CCH MT 70-3**.

B.1.1 Preparación de la Superficie

Se utiliza trapo industrial con solvente para la eliminación de partículas extrañas adherida a la superficie a inspeccionar para tener una mejor sensibilidad para la detección de defectos.

B.1.2 Equipo Usado

Para la inspección se utilizaron partículas magnéticas fluorescentes:

- ☒ Equipo de Partículas Magnéticas, Yugo marca MAGNAFLUX, modelo Y – 8 de patas articulables, tipo de corriente DC.
- ☒ Lámpara de luz negra modelo ZB 100F marca MAGNAFLUX
- ☒ Partículas de hierro fluorescentes 14AM en aerosol diluidas en solvente marca MAGNAFLUX.

B.1.3 Procedimiento

El método utilizado para la inspección de las zonas indicadas por el cliente es magnetización con el empleo de yugo magnético, indicado en sección **3.2 MAGNETIZATION THROUGH THE PASSAGE OF MAGNETIC FLUX, 3.2.1 Magnetization by electromagnet (yoke technique)** de especificaciones **CCH MT 70 – 3**.

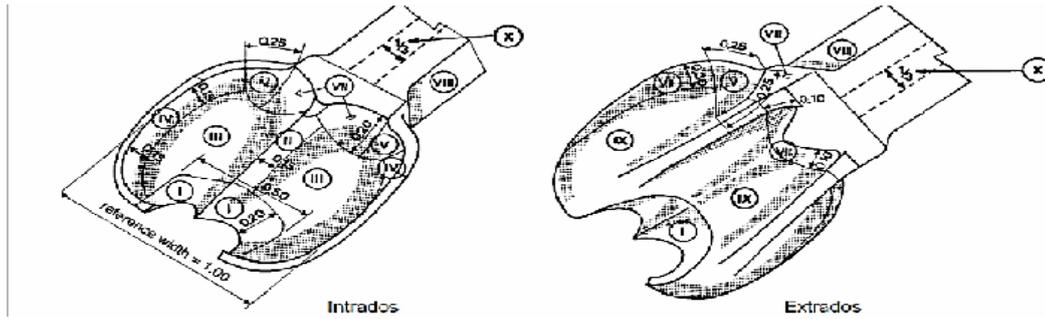
- ☒ El procedimiento de inspección es el dado por la Norma ASTM. Vol.03.03 - Nondestructive Testing, E-709; Magnetic Particle Examination para lo cual se utiliza un equipo de Partículas Magnéticas portátil de yugo de corriente alterna y continua para poder detectar discontinuidades superficiales y/o subsuperficiales. Para su visualización se usa partículas magnéticas fluorescentes 14AM visualizadas con una lámpara de luz negra.
- ☒ El método es el húmedo y continuo empleándose un campo magnético multidireccional, para detectar fisuras y/o microfisuras en las zonas que sean

necesarias inspeccionar, tal como indica la norma para dar su ubicación, orientación y longitud.

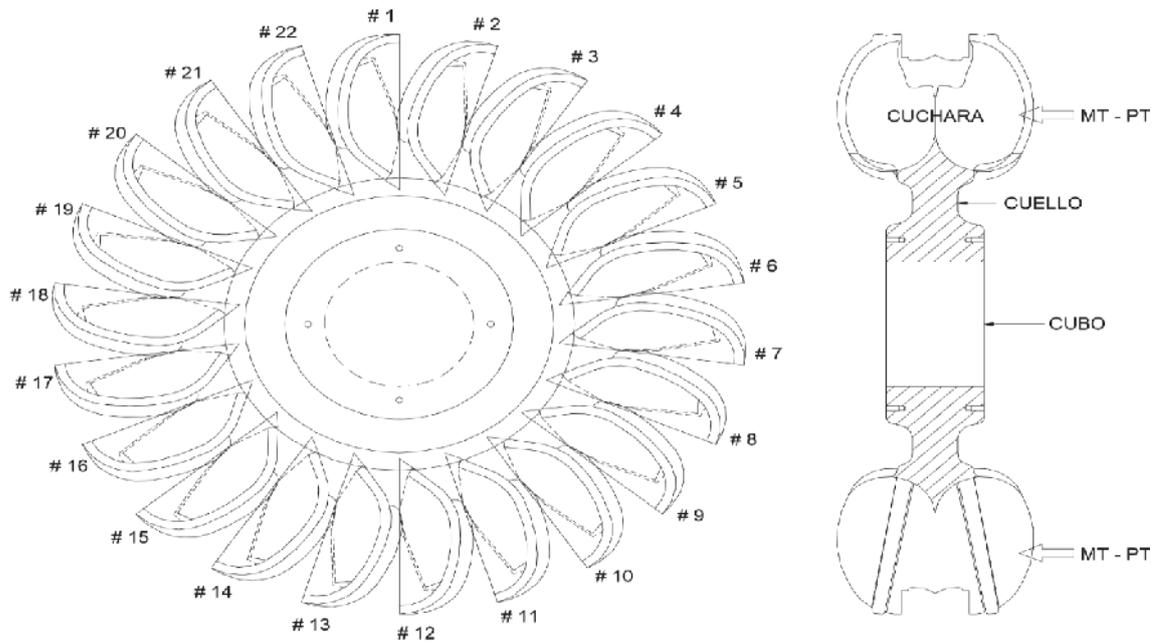
- ✗ Los defectos encontrados son marcados en sitio.
- ✗ No es necesaria la desmagnetización de la pieza.

B.1.4 Zonas inspeccionadas.

Las zonas inspeccionadas se encuentran indicadas en las siguientes ilustraciones, basándose como referencia las indicaciones que se presenta de manera visual.



Fuente: San Gabán S.A.



Fuente: San Gabán S.A.

B.1.5 Criterios de aceptación.

La pieza es evaluada tomando en consideración los criterios de aceptación de las especificaciones de evaluación de la tabla de la **sección MT 70 – 3, art. 6 Acceptance Criteria** así como lo indicado en las tablas de la norma **ASTM E 125 Standard Reference Photographs for Magnetic Particle Indications on Ferrous Casting**.

Se evalúa la pieza teniendo en cuenta la posible naturaleza de clase en cada zona evaluada y deberá ser comparada con las especificaciones técnicas del fabricante y/o Cliente.

ANEXO B.2: INSPECCIÓN POR TINTES PENETRANTES (PT)

La prueba por tintes penetrantes sirve para observar con más detalle y de forma complementaria a la inspección visual la presencia de los defectos abiertos que presenta el material del rodete a fin de evaluarlos y poder clasificarlos y determinar si cumplen las exigencias de calidad exigidas por la norma **PT / CCH 70-3**.

B.2.1 Técnica Aplicada.

Por el tipo de material a inspeccionar y uso, se emplea el método B, Tipo 1; Líquidos Penetrantes coloreados, lavables con agua y aplicados en aerosol en las zonas que no haya acceso.

B.2.2 Preparación de la Superficie

Se utiliza trapo industrial con solvente a presión para la eliminación de partículas extrañas (grasa, polvo, pintura u otro residuo) adherida a la superficie a inspeccionar para tener una mejor sensibilidad para la detección de defectos.

B.2.3 Material utilizado.

Líquidos Penetrantes marca “MAGNAFLUX” no clorinados de las siguientes características:

1. Penetrante : SKL – WP
2. Revelador : SKD – S2
3. Limpiador : Agua

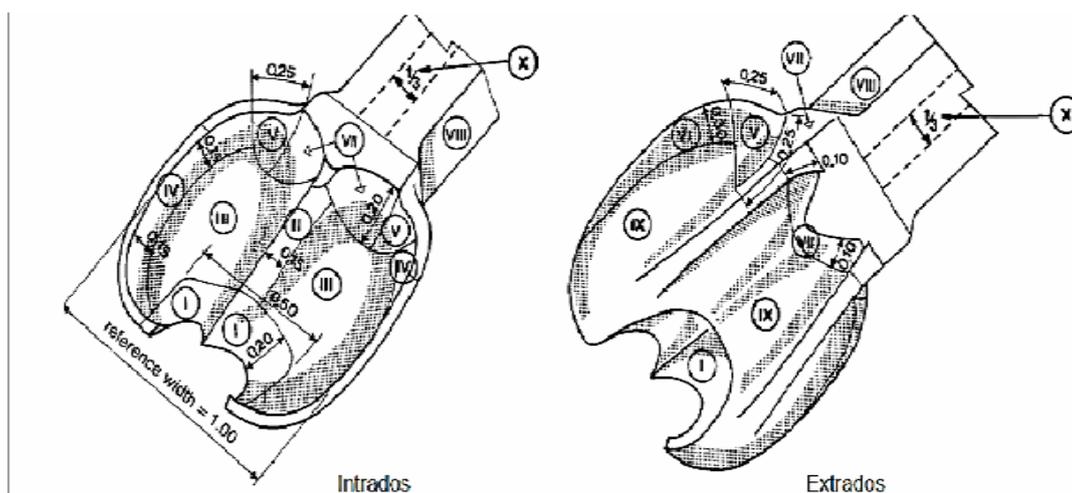
B.2.4 Procedimiento.

El procedimiento es la que se describe a continuación:

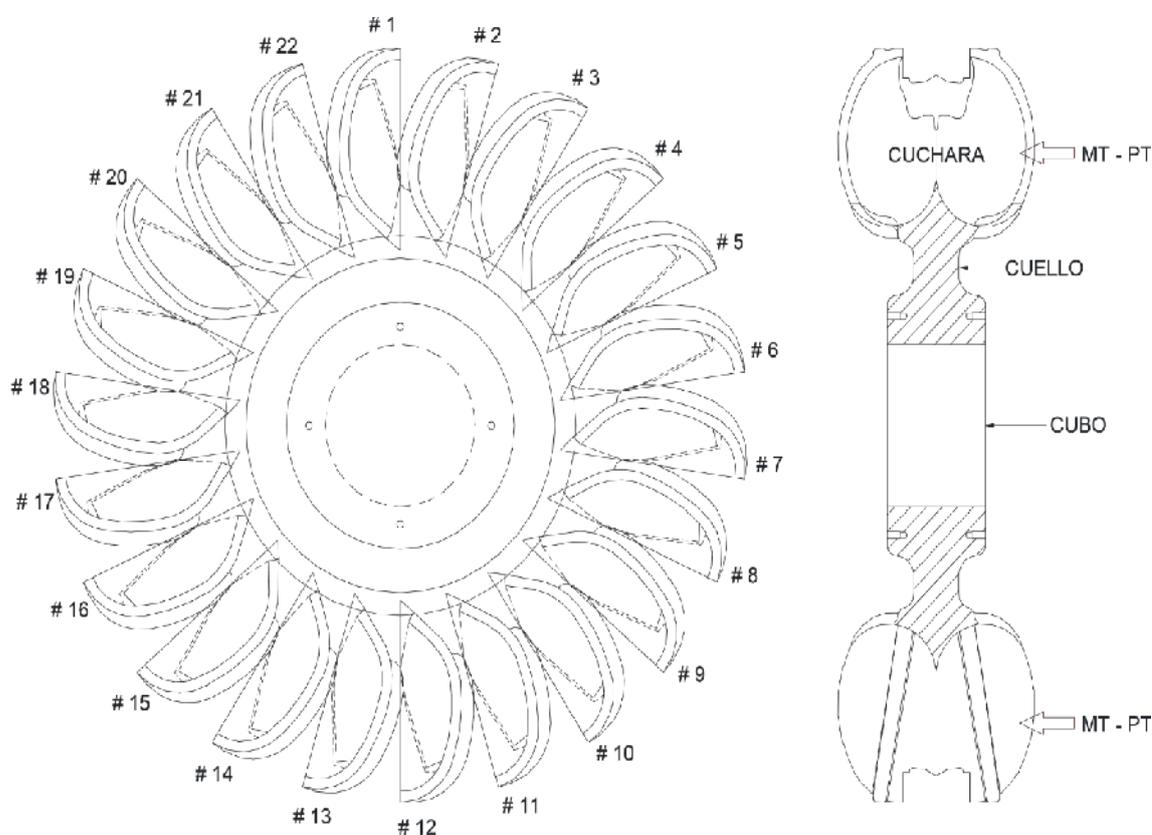
- 1.- Limpieza : Por medios manuales a fin de eliminar toda clase de suciedad en la superficie.
- 2.- Aplicación penetrante : Aplicación de líquido penetrante SKL-WP en aerosol o brocha. Tiempo de penetración: 20 minutos.
- 3.- Limpieza penetrante : Eliminación del exceso de penetrante con trapo industrial humedecido en agua y secado a la brevedad.
- 4.- Aplicación revelador : Aplicación de una capa fina y continua del revelador en aerosol SKD-S2.
- 5.- Observación : Después de 5 minutos de aplicado el revelador se ubican, interpretan y registran las discontinuidades presentes para su aceptación o rechazo.

B.2.5 Zonas inspeccionadas.

Las zonas inspeccionadas se encuentran indicadas en las siguientes ilustraciones.



Fuente: San Gabán S.A.



Fuente: San Gabán S.A.

B.2.6 Criterios de aceptación.

La pieza es evaluada tomando en consideración los criterios de aceptación de las especificaciones de evaluación de la tabla de la **sección 4.3 Acceptance Criteria T 70 – 3**.

Se evalúa la pieza teniendo en cuenta la posible naturaleza de clase en cada zona evaluada y deberá ser comparada con las especificaciones técnicas de la empresa y/o cliente.

ANEXO C: TEMPERATURAS DE CALENTAMIENTO DE MATERIALES

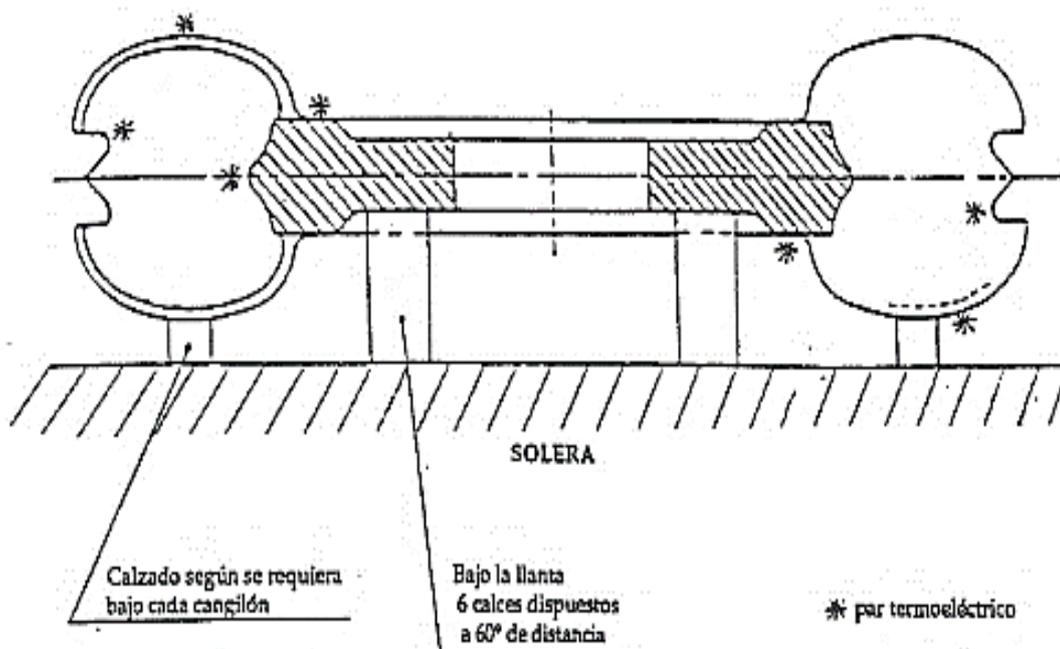
Proceso de calentamiento u operación subsiguiente	Temperatura a la que se calienta el material, °C (temperatura más elevada durante el proceso de calentamiento)
Secado de alambre de acero	149
Secado de lacas	149
Laqueado	82 – 232
Estufado de macos de piezas moldeadas en hierro fundido	149 – 232
Pavonado	260
Estañado en baño caliente	260
Revenido en aceite	260
Revenido de aceros rápidos	332
Recocido de aluminio	398
“Cracking” del petróleo bruto	398
Calentamiento del aluminio para laminación	454
Nitruración del acero	510
Recocido del latón	538
Recocido del vidrio	621
Recocido del cobre	621
Recocido de alpaca	649
Esmaltado, proceso en húmedo	649
Normalizado	649 – 704
Recocido de bandas laminadas en frío	676 – 760
Aporcelanado para decoración	760
Calentamiento para laminación de latones	787
Recocido de chapas y alambres de níquel o monel	799
Recocido de los aceros con elevado contenido en carbono	815
Tratamiento térmico del acero medio en carbono (0.3%)	843
Temple isotérmico (patenting) de alambre	871
Recocido en cajas de chapas de acero	871
Calentamiento del cobre para laminar	871
Forja del titanio comercialmente puro	871
Recocido de piezas moldeadas de acero	899
Normalizado de tuberías de acero	899
Calorización (impregnación de una superficie metálica con aluminio en polvo)	926
Calentamiento de llantas para chapa fina (llantones)	926
Normalizado de chapas finas de acero	954
Cementación	954
Calentamiento en paquetes de chapa fina de acero	954
Recocido de ciclo corto de fundición maleable	954
Cianuración	982
Vitrificado de la porcelana	999
Esmaltado vítreo (de piezas fundidas)	1010
Calentamiento de barras y paquetes de acero inoxidable	1037
Normalizado de acero inoxidable	926 – 1093
Laminación del acero inoxidable	954 – 1232
Forja de las aleaciones del titanio	871 – 1065
Recocido de piezas fundidas de acero al manganeso	1037
Calentamiento para laminación de los aceros de herramientas	1037
Calentamiento para estampación de chapa de acero	1049
Calentamiento para la laminación del acero para muelles	1093
Cocción de vidriado de la porcelana	1121
Temple del acero rápido	1204
Calentamiento de bizcocho de porcelana	1232
Calentamiento para la laminación de lingotes y palanquillas de hacer	1246
Calentamiento del acero para forja libre o en estampa	1299
Soldadura de tubos de acero a partir del fleje previamente conformado	1399
Calcinación del ladrillo refractario	1315 – 1482
Calcinación del cemento portland	1426
Fusión del vidrio	1426
Fusión del acero	1676
Fusión del acero al cromo	1787

Fuente: <http://www.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.HornosIndustriales.2006.pdf>

ANEXO D: CICLO DEL TRATAMIENTO DE ELIMINACIÓN DE TENSIONES

RODETE PELTON - Acero INOX 13.4 - CICLO DEL TRATAMIENTO DE ELIMINACION DE TENSIONES

Elevación de temperatura		Mantenimiento de la temperatura		Enfriamiento	
* Diferencias en °C entre espesores máximos y mínimos	Velocidad en °C/h	Temperatura	Tiempo	Velocidad en °C/h	Temperatura de extracción del horno
80°C	50°C	600°C mín.	6 horas	50°C	≤ 200°C



- * Cuando esté indicado el gradiente térmico, la regulación del horno se hará tomando en cuenta únicamente este gradiente.

Fuente: CEGELEC – San Gabán S.A.

ANEXO E.1: FIBRA DE CERÁMICA



(+511) 431-81

Inicio | Área de cliente | Intranet | Web

Menu

- INICIO
- LA EMPRESA
- PRODUCTOS
- SERVICIOS
- VIDEOS
- AREA DE ACTIVIDAD
- CONTACTENOS

Detalles de Productos Caliente

Manta Fibra Cerámica (HP 8-1) 1315° C "Nutec Ibar"



Descripción del Producto:
La Manta de Fibra Cerámica "Nutec Ibar HP 8-1" está compuesta de fibras flexibles entrelazadas. Son fabricadas por un proceso que proporciona una manta fuerte, ligera, durable y con un coeficiente de aislamiento térmico.

Principales Aplicaciones:
En refinerías y petroquímicas
En la siderurgia
En la industria cerámica
En la generación de energía eléctrica

Composición Química (%):
Al₂O₃ 44-50
SiO₂ 50-56
Fe₂O₃ 0,1-0,2
TiO₂ 0,1-0,2

Presentación:
CERAMIC FIBER BLANKET HP 8-1 / 1315° C
Ancho: 0,61 Mts.
Longitud: 7,62 Mts.
Espesor: 1" esp.
Densidad: 128 Kg/m³

Si requiere información adicional, envíenos un mensaje con sus datos a ventas@aisla-peru.com

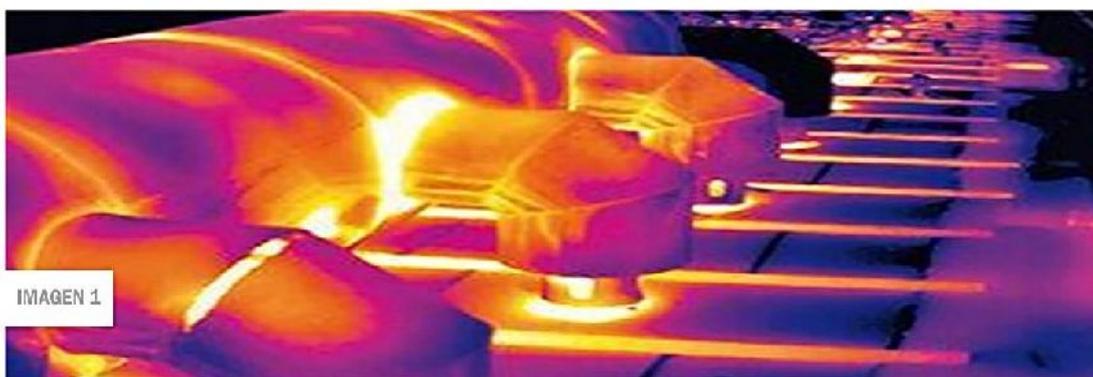


IMAGEN 1

100% CALIDAD QUE MARCAN LA DIFERENCIA

ANEXO E.2: LANA DE ROCA BASÁLTICA

Inicio	Empresa	Productos	Polylon	Caucho para pisos	Copolíester	Videos	Contacto
--------	---------	-----------	---------	-------------------	-------------	--------	----------



HyN Empaquetaduras E Importaciones SAC
Aislamientos Térmicos y Acústicos.
 Soluciones para calor, frío y sonido:

Paneles y Mantas de Lana de Roca Basáltica



¿Qué es y para qué se utiliza el panel de lana de roca?

La lana de roca está compuesto en un 98 %, de roca de origen volcánico (basalto) y un 2% de ganta orgánico. Los productos de lana de roca no retienen el agua, poseen una estructura no capilar, además de ofrecer una fuerte permeabilidad al vapor de agua y además, gracias a su disposición multidireccional, aporta a los elementos constructivos una notable capacidad de aumentar el nivel de aislamiento acústico.

Características generales:

- Aislamiento térmico: Por su estructura multidireccional, la lana de roca contiene aire seco en su interior que constituye una barrera al flujo de calor.
- Aislamiento acústico: La lana de roca volcánica frena el movimiento de las partículas de aire, disipando la energía sonora. Mejora en gran medida el aislamiento acústico de las soluciones constructivas.
- Protección contra el fuego:
- Es un mineral no orgánico e incombustible (A1) y no genera gases ni humos tóxicos (F0).
- Es termoestable y contribuye a la resistencia al fuego de los sistemas constructivos.



Panel de Lana de roca en Sistema Termo Acústico

Presentación: 1.20 mt x 0.60 mt.
Espesor: 50mm.

Densidad: 40, 70, 100 y 175 Kg/m³ de densidad.
Temperatura de Trabajo: < 750°C ASTM C411
Reacción al Fuego: No Combustible Clase A1 GB8624.

- Características:**
- Excelentes prestaciones de aislamiento térmico, acústico y prevención contra el fuego
 - Resistencia a altas temperaturas
 - No hidrófilo
 - Fácilidad de montaje
 - Químicamente inerte
 - Libre de CFC y HCFC, respetuoso con el medio ambiente



CONDUCTIVIDAD TÉRMICA:

DENSIDAD (KG/M3)	ESPESOR(MM)	DIMENSIONES (M)	Conductividad Térmica w/m.k.
40	50	0.6*1.2	0.041
70	50	0.6*1.2	0.038
100	50	0.6*1.2	0.038
175	50	0.6*1.2	0.038



COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA.

Densidad	Frecuencias						NRC
	125	250	500	1000	2000	4000	
40 Kg/m ³	0.25	0.68	1.05	1.09	1.05	1.07	0.87
70 Kg/m ³	0.22	0.64	0.90	1.00	1.00	0.98	0.79
100Kg/m ³	0.24	0.81	0.98	1.04	1.02	1.09	0.86

ANEXO E.3: PLANCHA DE ACERO

ACEROS AREQUIPA

Elige Seguridad

PERÚ
CORPORACIÓN ACEROS AREQUIPA S.A.

Lima: Av. Enrique Meiggs 297, Parque de la Industria, Callao. Tel. (51-01) 517 1800.
 Piase: Panamericana Sur Km. 240, Ica. Tel. (51-056) 58 0830.
 Arequipa: Jacinto Ibañez 111, Parque Industrial. Tel. (51-054) 23 2430.

productos planos

Planchas y Bobinas Laminadas en Caliente

Planchas y Bobinas LAC



DIMENSIONES NOMINALES	
PLANCHAS LAC Calidad Estructural PDLAC A36 (mm)	BOBINAS LAC Calidad ASTM A36 (mm)
1.5 x 1,200 x 2,400	1.8 x 1,200
1.8 x 1,200 x 2,400	1.9 x 1,200
1.9 x 1,200 x 2,400	2.0 x 1,200
2.0 x 1,200 x 2,400	2.2 x 1,200
2.2 x 1,200 x 2,400	
2.3 x 1,200 x 2,400	
2.5 x 1,200 x 2,400	
2.8 x 1,200 x 2,400	
2.9 x 1,200 x 2,400	
4.0 x 1,200 x 2,400	
4.4 x 1,200 x 2,400	
4.5 x 1,200 x 2,400	
5.9 x 1,200 x 2,400	

NORMAS TÉCNICAS:
Estructural: ASTM A36

PRESENTACIÓN:
Planchas: Las planchas vienen enzunchadas sin ninguna protección en paquetes de 8.0t como máximo.

Bobinas: Se presentan en calidad estructural. Las bobinas se entregan con peso máximo de 5 TM aproximadamente, enzunchadas longitudinalmente y transversalmente.

USOS:
Se use en la fabricación de tubos y perfiles plegados. Asimismo, luego de su corte en planchas, se emplea en la construcción de silos, carrocerías y construcción en general.

PROPIEDADES MECÁNICAS:
Estructural
 Límite de Fluencia mínimo = 2,550 kg/cm²
 Resistencia a Tracción = 4,080 - 5,610 kg/cm²
 Alargamiento en 50 mm = 20.0 % mínimo
 Doblado = a 180° (opcional).
 Diámetro Pin = Se. Sentido Laminación

Planchas Estriadas LAC



DIMENSIONES NOMINALES
PLACF A36
2.8 x 1,200 x 2,400 mm
2.9 x 1,200 x 2,400 mm
4.4 x 1,200 x 2,400 mm
5.9 x 1,200 x 2,400 mm

NORMA TÉCNICA:
ASTM A786 1 A786M
Adicionalmente, estos productos cumplen con las exigencias de la norma estructural respectiva, como A36

PRESENTACIÓN:
Las planchas vienen estriadas en función del espesor en paquetes de 2.0 TM mínimo.

USOS:
En la construcción de plataformas, pisos, escaleras, equipamiento de transporte y circulación, y estructuras en general.

PROPIEDADES MECÁNICAS:
Límite de Fluencia mínimo = 2,110 - 3,510 kg/cm²
 Alargamiento = 25 % mín.
 Doblado al frío = Sin fisura

ANEXO E.4: LADRILLO REFRACTARIO



Telefax 4520343

REFRACTARIOS RIVARA S.A.

ventas@refractariosrivara.com
www.refractariosrivara.com

Av. Argentina 2529 LIMA 1 - PERÚ

LADRILLO REFRACTARIO			
PRODUCTO	Ladrillo de arcilla refractaria		
CLASIFICACION	Sílico Aluminoso (ácido)		
APLICACIÓN	En paredes y bóvedas de hornos cerámicos, cámara de combustión, incineradores, calderas, hornos de recalentamiento, recocido, tratamiento térmico, hornos para calcinación de minerales, hornos para tina de galvanizado, etc.		
CARACTERÍSTICAS	Buena resistencia al choque térmico, resistente a la abrasión e impacto.		
ANÁLISIS QUÍMICO	COMPONENTES	FORMULA	% PESO
	Sílice	SiO ₂	63.1
	Alúmina	Al ₂ O ₃	33.5
	Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	02.0
	Magnesita	MgO	00.1
	Cal	CaO	00.6
Alcalis	Na ₂ O + K ₂ O	00.7	
PROPIEDADES FÍSICAS	Refractariedad	28 C.P.E	
	Temperatura de servicio	1400°C	
	Densidad	2.0 – 2.1 gr/cc	
	Resistencia a la compresión	240 Kg/cm ²	
RENDIMIENTO	Depende del formato del ladrillo. El ladrillo Recto en posición de cabeza 138 unidades / m ² , en soga, 69 unidades / m ² , de canto 38 unidades / m ²		
PRESENTACION	Formatos: Recto, Recto Partido, Dividido, Arco 1, Arco 2, Arco 3, Bisel de Canto, Cuña IX, Cuña 1, Cuña 2, Cuello, Arranque 60°, Planchas, Bloques, Piezas especiales.		

Quality Insulation Bricks (WAM-23)



Characteristic: Long Time Materials
Type: Heat-Resistant Material
Trademark: WAM
Origin: China
Product Description

Insulating bricks characteristics and advantages:

1. Insulating bricks has Lower content of iron, alkaline and impurities, good high temperature properties.
2. Insulating bricks has Homogeneous structure, light weight, energy saving because lower heat storage in the furnace during cooling cycles.
3. Insulating bricks has High strength, good thermal shock resistance under high temperature.
4. Insulating bricks has Precise sizes due to grinding and shaping after firing, which meets the requirement of construction.

Physical and Chemical Properties of insulating brick								
Index /brand		WAM-20	WAM-23	WAM-25	WAM-26	WAM-28	WAM-30	WAM-32
Classification temperature °C		1230	1260	1350	1430	1540	1650	1760
F		2246	2300	2462	2606	2804	3002	3200
Bulk density kg/m ³		520	580	800	800	890	1030	1250
Ib/ft ³		32	36	50	50	55.5	64	78
Modulus of rupture MPa		0.7	0.9	1.4	1.5	1.6	1.7	2
Ib/in ²		102	131	203	218	232	247	290
Cold crushing strength MPa		1.2	1.2	2.0	2.0	2.6	2.8	3.4
Ib/in ²		174	174	363	348	377	406	493
Permanent Liner Change %		-0.1	-0.1	-0.5	-0.5	-0.8	-0.9	-0.9
α C x hour		1230X24	1230X24	1350X24	1400x24	1510x24	1620x24	1730x24
Thermal conductivity (W/m. k)	400 °C	0.17	0.17	0.24	0.24	0.30	0.40	0.49
	600 °C	0.19	0.19	0.28	0.27	0.32	0.42	0.50
	800 °C	0.22	0.22	0.32	0.30	0.35	0.44	0.51
	1000 °C	0.24	0.25	0.37	0.32	0.38	0.45	0.53
	1200 °C	--	--	--	0.35	0.39	0.47	0.55
Al ₂ O ₃ %		45	45	45	55	65	72	76
Fe ₂ O ₃ %		0.7	0.7	0.65	0.6	0.3	0.3	0.3
SiO ₂ %		50	50	50	42	33	26	22
TiO ₂ %		1.3	1.2	1.3	1.1	0.9	0.5	0.3
CaO+ MgO %		0.5	0.7	0.6	0.3	0.2	0.3	0.2
K ₂ O+ Na ₂ O %		1.0	1.3	1.1	1.1	0.8	0.2	0.1

The above datas are subject to normal manufacturing variations and change without notice. Results should not be used for specification purpose.

ANEXO E.5: MORTERO REFRACTARIO



Telefax 4520343

REFRACTARIOS RIVARA S.A.

ventas@refractariosrivara.com

Av. Argentina 2529 LIMA 1 - PERÚ

www.refractariosrivara.com

MORTERO REFRACTARIO			
PRODUCTO	Mortero Refractario de fragua cerámica (al calor)		
CLASIFICACION	Silico Aluminoso (ácido)		
APLICACIÓN	Asentado de ladrillos refractarios silico aluminosos (arcilla refractaria), para lograr juntas de mínimo espesor entre ladrillos. Aplicable para formar hornos variados con ladrillos aplicados en paredes rectas, paredes cilíndricas, pórticos o techos abovedados.		
CARACTERÍSTICAS	Forma uniones fuertes y estables a la temperatura en que se hace la liga cerámica, mínima contracción, impermeabiliza la zona de unión. El efecto ligante se produce a una temperatura de 1050°C, consolidándose la fragua a 1250°C.		
ANÁLISIS QUÍMICO	COMPONENTES	FORMULA	% PESO
	Sílice	SiO ₂	63.4
	Alúmina	Al ₂ O ₃	32.2
	Óxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	01.9
	Magnesita	MgO	00.1
	Cal	CaO	00.7
	Álcalis	Na ₂ O + K ₂ O	00.7
PROPIEDADES FÍSICAS	Refractariedad	28 C.P.F.	
	Temperatura de servicio	1400 °C	
	Densidad	2.0 – 2.1 gr/cc	
	Granulometría	100% Menor de 0.833 mm. (-20M) 90% Menor de 0.295mm. (-48M)	
INSTRUCCIONES	Mezclar con 50% en peso de agua para obtener una masa de consistencia trabajable; si desea instalar por inmersión, preparar una pulpa de buena fluidez. Asentar los ladrillos con juntas mínimas, recomendable menores a 2mm. Dejar secar 24 horas con ventilación natural, luego puede provocar el secado con ventilación forzada o generando calor lentamente producido por combustión de leña u otra fuente. La primera operación debe seguir un procedimiento de secado incrementando 100°C/hora hasta llegar a los 300°C previniendo el riesgo de fisuras. El efecto ligante se produce a una temperatura de 1050°C, consolidándose a los 1250°C.		
RENDIMIENTO	Varía según el formato. Para el ladrillo Recto con juntas de hasta 2mm rinde aproximadamente 200 unidades en posición sogá, 164 en posición Cabeza y 300 en posición Canto.		
PRESENTACION	Bolsa de papel de 40 Kg.		

ANEXO F: PROPIEDADES DEL AIRE SECO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de Transmisión de Calor

Tabla 4.4.1: Propiedades del aire seco a presión atmosférica (cont.)

T (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^6$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^5$ (m ² /s)	Pr
310	0.6054	1.047	29.68	49.03	44.79	70.70	0.6934
320	0.5951	1.049	30.01	50.43	45.40	72.73	0.6934
330	0.5853	1.051	30.35	51.85	46.01	74.77	0.6935
340	0.5757	1.054	30.68	53.29	46.61	76.83	0.6936
350	0.5665	1.056	31.01	54.73	47.21	78.90	0.6937
360	0.5576	1.059	31.33	56.19	47.81	80.99	0.6938
370	0.5489	1.061	31.65	57.67	48.40	83.09	0.6940
380	0.5405	1.064	31.97	59.16	48.99	85.21	0.6943
390	0.5323	1.066	32.29	60.66	49.57	87.34	0.6945
400	0.5244	1.069	32.61	62.18	50.15	89.49	0.6948
410	0.5167	1.071	32.92	63.71	50.72	91.65	0.6951
420	0.5093	1.073	33.23	65.25	51.29	93.83	0.6954
430	0.5020	1.076	33.54	66.80	51.86	96.02	0.6957
440	0.4950	1.078	33.84	68.37	52.42	98.22	0.6961
450	0.4882	1.081	34.15	69.95	52.98	100.4	0.6965
460	0.4815	1.083	34.45	71.54	53.54	102.7	0.6969
470	0.4750	1.085	34.75	73.15	54.09	104.9	0.6973
480	0.4687	1.088	35.04	74.77	54.64	107.2	0.6977
490	0.4626	1.090	35.34	76.40	55.18	109.4	0.6982
500	0.4566	1.093	35.63	78.04	55.72	111.7	0.6986
550	0.4289	1.104	37.07	86.44	58.37	123.3	0.7011
600	0.4043	1.115	38.46	95.12	60.93	135.2	0.7037
650	0.3824	1.125	39.81	104.1	63.41	147.4	0.7064
700	0.3628	1.135	41.11	113.3	65.81	159.8	0.7092
750	0.3450	1.145	42.39	122.8	68.12	172.5	0.7121
800	0.3290	1.153	43.62	132.6	70.37	185.5	0.7149
850	0.3143	1.162	44.83	142.6	72.54	198.7	0.7178
900	0.3009	1.169	46.00	152.9	74.65	212.2	0.7206
950	0.2886	1.177	47.15	163.4	76.70	225.8	0.7233
1000	0.2773	1.184	48.26	174.1	78.68	239.8	0.7260
1100	0.2571	1.196	50.42	196.1	82.48	268.2	0.7312
1200	0.2396	1.207	52.48	219.0	86.09	297.6	0.7360
1400	0.2110	1.226	56.35	267.1	92.81	358.8	0.7444
1600	0.1885	1.241	59.92	317.9	99.08	423.6	0.7506
1800	0.1703	1.253	63.22	371.3	105.10	492.5	0.7539
2000	0.1553	1.264	66.30	426.9	111.10	566.2	0.7539

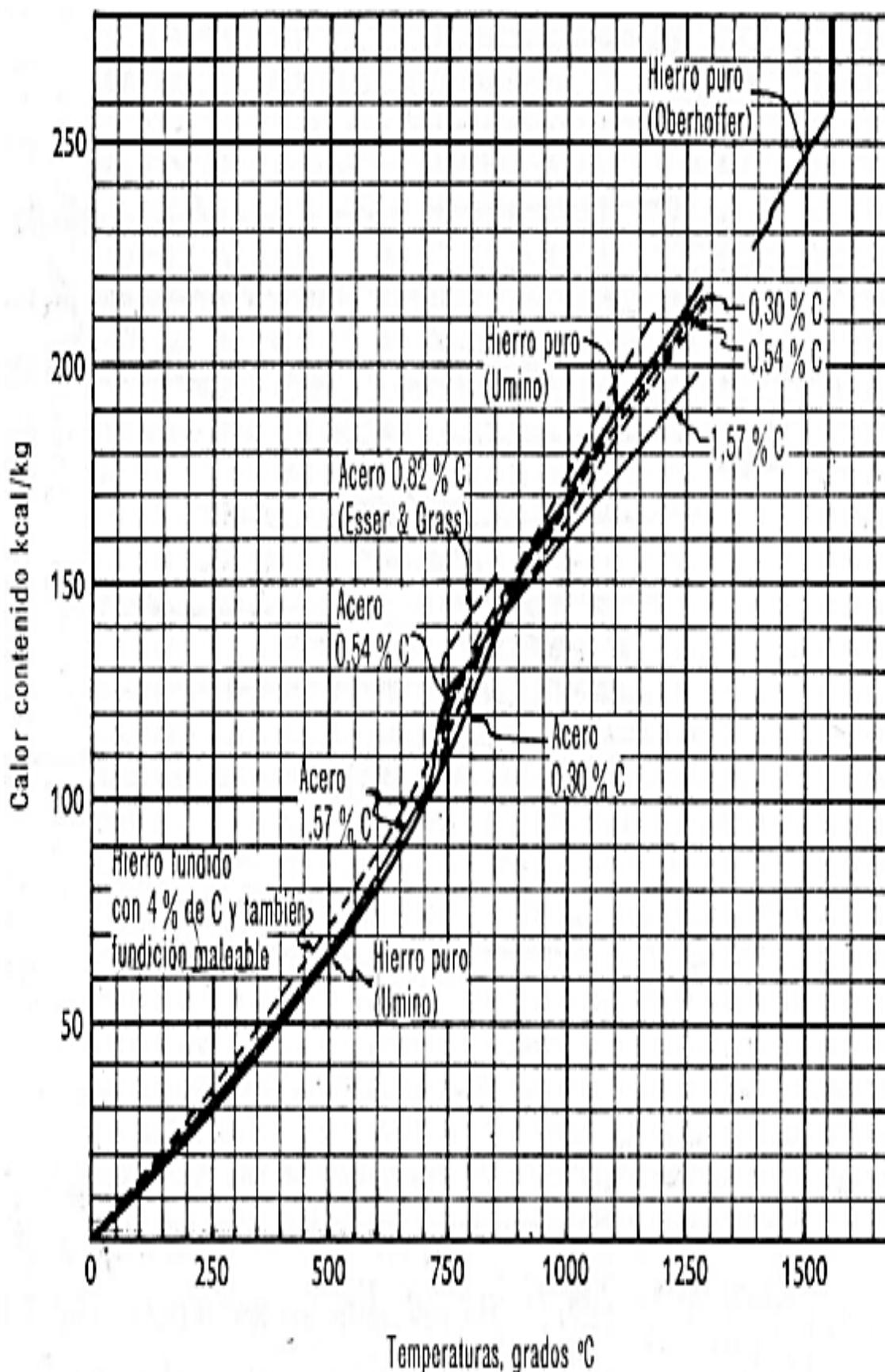
Fuente: Todas las propiedades de Keenan, Chao, Keyes, "Gas Tables", Wiley, 1985.

Excepto:

Conductividad de Y.S. Touloukian, P.E. Liley, S.C. Saxena "Thermophysical Properties of Matter - Vol 3", IFI/Plenum, NY, 1970

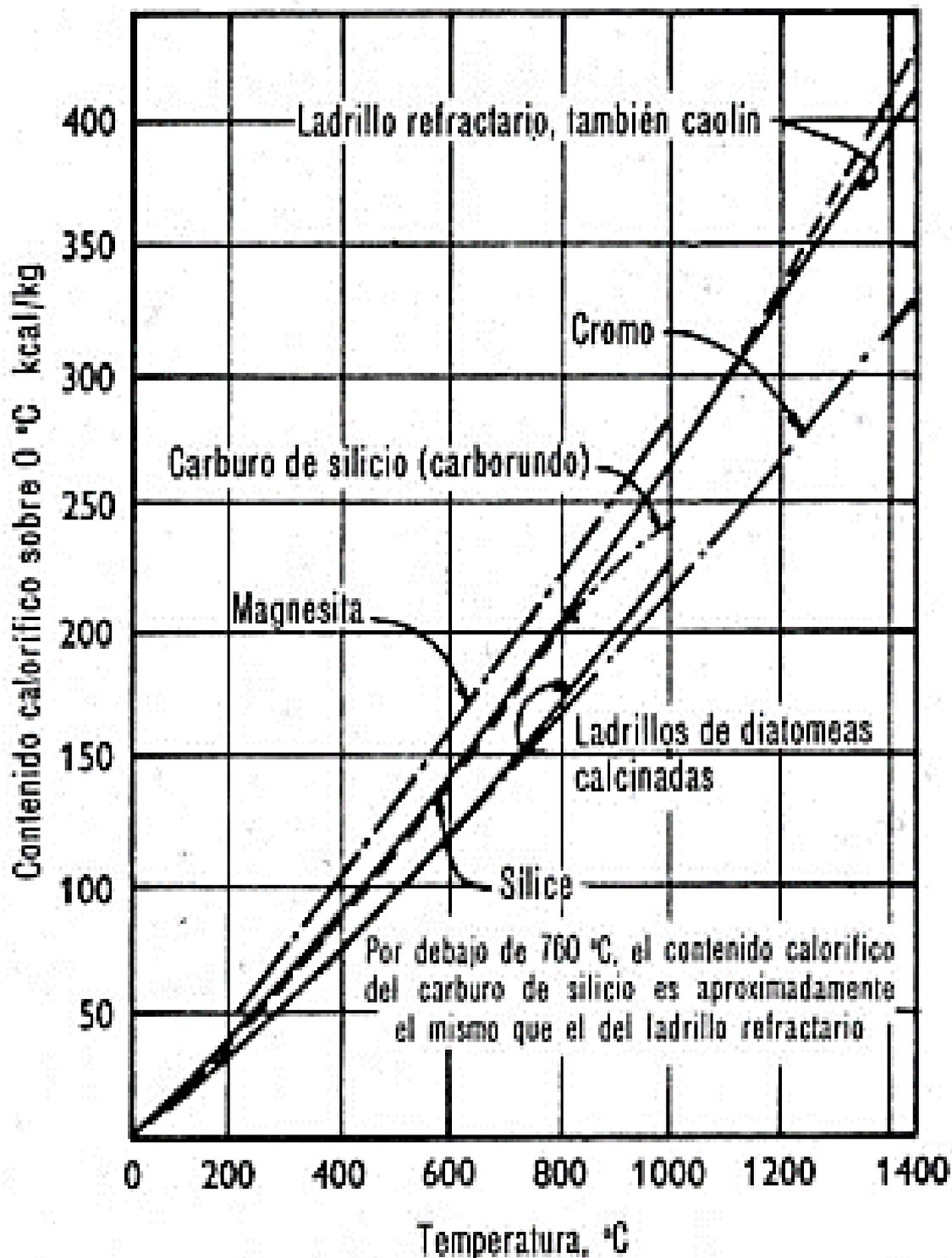
Viscosidad de Y.S. Touloukian, S.C. Saxena, and P. Hestermans "Thermophysical Properties of Matter - Vol 11", IFI/Plenum, NY, 1970

ANEXO G: PORCENTAJE DE CARBONO SOBRE CONTENIDO DE ACERO



Fuente: López Pérez, V. & Ramírez Montes de oca, W. (2011).

ANEXO H: CONTENIDO CALORÍFICO DE MATERIALES REFRACTARIOS

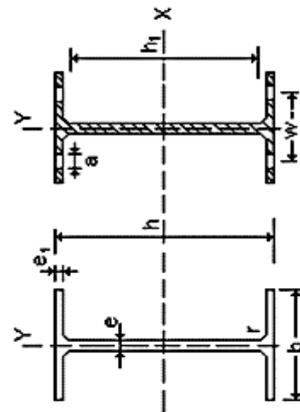


Fuente: López Pérez, V. & Ramírez Montes de oca, W. (2011).

ANEXO I: PERFILES IPE

Perfiles IPE

Perfil	Dimensiones										Términos de la sección										Agujeros		Peso P kp/m
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r mm	h ₁ mm	u mm	A cm ²	S _x cm ⁴	I _x cm ⁴	W _x cm ³	I _x cm	W _x cm ³	I _y cm ⁴	I _y cm	W _y cm ³	I _k cm ⁴	I _a cm ⁶	w mm	a mm	e _z mm		
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	-	-	-	3,8	6,00	
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,3	19,7	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	1,140	351	-	-	-	4,1	8,10	
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,2	30,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	1,770	890	35	-	-	4,4	10,4	
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,4	44,2	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	2,630	1981	40	11	-	4,7	12,9	
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,1	61,9	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	3,640	3959	44	13	-	5	15,8	
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,9	83,2	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	5,060	7431	48	13	-	5,3	18,8	
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,5	110	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	6,670	12990	52	13	-	5,6	22,4	
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,4	143	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,150	22670	58	17	-	5,9	26,2	
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,1	183	3690	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37390	65	17	-	6,2	30,7	
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1040	45,9	242	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	15,40	70580	72	21	-	6,6	36,1	
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1160	53,8	314	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	20,10	125900	80	23	-	7,1	42,2	
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	271	1250	62,6	402	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	26,50	199100	85	25	-	7,5	49,1	
IPE 360	360	170	8,0	12,7	18	299	1350	72,7	510	16270	904	15,0	1040	123	3,79	37,30	313600	90	25	-	8	57,1	
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	331	1470	84,5	654	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	48,30	490000	95	28	-	8,6	66,3	
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	379	1610	98,8	851	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	65,90	791000	100	28	-	9,4	77,6	
IPE 500	500	200	10,2	16,0	21	426	1740	116	1100	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	91,80	1249000	110	28	-	10,2	90,7	
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	468	1880	134	1390	67120	2440	22,3	2670	254	4,45	122,0	1884000	115	28	-	11,1	106	
IPE 600	600	220	12,0	19,0	24	514	2010	155	1760	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	172,0	2846000	120	28	-	12,0	122	



A = Área de la de la sección
 S_x = Momento estático de media sección, respecto a X.
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.
 W_x = 2I_x : h. Módulo resistente de la sección, respecto a X.
 i_x = (I_x : A)^{1/2}. Radio de giro de la sección, respecto a X.
 I_y = Momento de inercia de la sección, respecto a Y.
 W_y = 2I_y : b. Módulo resistente de la sección, respecto a Y.
 i_y = (I_y : A)^{1/2}. Radio de giro de la sección, respecto a Y.
 I_t = Módulo de torsión de la sección.
 I_k = Módulo de alabro de la sección.
 u = Perímetro de la sección.
 a = Diámetro del agujero del roblón normal.
 w = Gramil, distancia entre ejes de agujeros.
 h₁ = Altura de la parte plana del alma.
 p = Peso por metro.

Fuente: https://www.ugr.es/~grus/docencia/aei/download/tabla_perfiles.pdf

ANEXO J: CARACTERÍSTICAS DEL ACERO ASTM A36

El acero ASTM A36, es un acero estructural al carbono, utilizado en construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, torres para comunicación y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas, herrajes eléctricos y señalización.

Composición química de la colada.

Carbono (C)	0.26 % máx.
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0.04 % máx.
Azufre (S)	0.05 % máx.
Silicio (Si)	0.40 % máx.
* Cobre (Cu)	0.20 % mínimo.

* Cuando se especifique

Propiedades

Como la mayoría de los aceros, el A36, tiene una densidad de 7850 kg/m^3 (0.28 lb/in^3). El acero A36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulg (203.2 mm) tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPa (36ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 Mpa (58Ksi). Las planchas con espesores de 8 pulg. (203.2 mm) tienen un límite de fluencia mínimo de 220 Mpa (32 ksi), el mismo límite de rotura.

Propiedades Mecánicas

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
MPa	Psi	Psi		MPa	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.
250	36000	58000	80000	400	550

Formas

El acero A36 se produce en una amplia variedad de formas, que incluyen: Planchas, Perfiles estructurales, Tubos, Láminas.

Métodos de unión

Las piezas hechas a partir de acero A36 son fácilmente unidas mediante casi todos los procesos de soldadura. Los más comúnmente usados para el A36 son los menos costosos y rápidos como la Soldadura por arco metálico protegido (SMAW, Shield metal arc welding), Soldadura por arco metálico y gas (GMAW, Gas metal arc welding), y soldadura oxiacetilénica. El acero A36 es también comúnmente atornillado y remachado en las aplicaciones estructurales. edificio, puentes, torres, etc.

Fuente: <https://www.es.scrib.com/mobile/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>

ANEXO L.1: RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS ALEACIONES Ni – Cr

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Resistividad eléctrica $\mu\Omega\text{cm}$						
20°C	112	119	113	105	104	95
100°C	113	120	114	108	107	99
200°C	113	122	116	111	111	103
300°C	114	123	118	114	114	107
400°C	115	124	120	117	117	111
500°C	116	125	122	120	120	115
600°C	115	124	121	122	122	118
700°C	114	124	121	124	124	120
800°C	114	124	122	126	126	122
900°C	114	124	123	128	128	124
1000°C	115	124	124	130	130	126
1100°C	116	125	125	132	132	126
1200°C	117	126	---	---	---	---
Coefficiente de resistividad						
20°C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
100°C	1,009	1,009	1,009	1,028	1,029	1,042
200°C	1,009	1,025	1,027	1,057	1,067	1,084
300°C	1,018	1,034	1,044	1,086	1,096	1,126
400°C	1,027	1,042	1,062	1,114	1,125	1,168
500°C	1,036	1,050	1,080	1,143	1,154	1,210
600°C	1,027	1,042	1,071	1,162	1,173	1,242
700°C	1,018	1,042	1,071	1,12	1,192	1,263
800°C	1,018	1,042	1,080	1,200	1,211	1,284
900°C	1,018	1,042	1,089	1,2019	1,231	1,305
1000°C	1,027	1,042	1,097	1,238	1,250	1,326
1100°C	1,036	1,050	1,115	1,257	1,269	---
1200°C	1,045	1,050	---	---	---	---

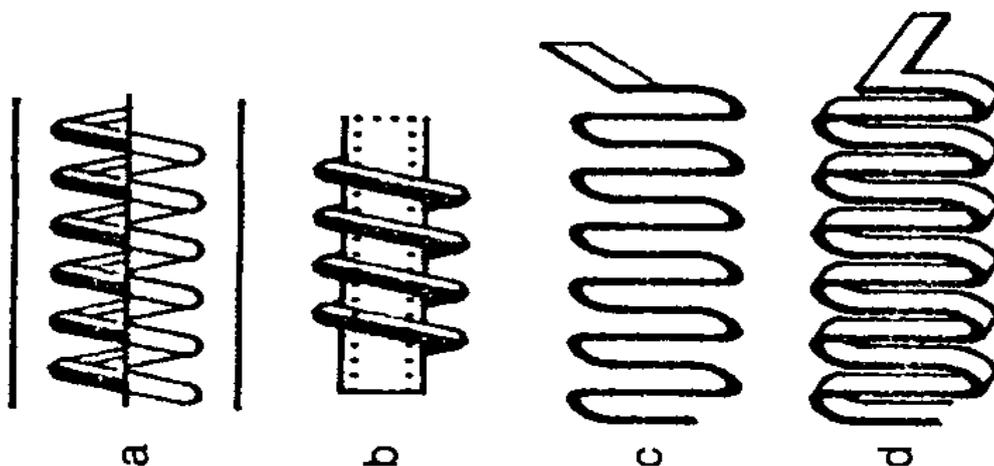
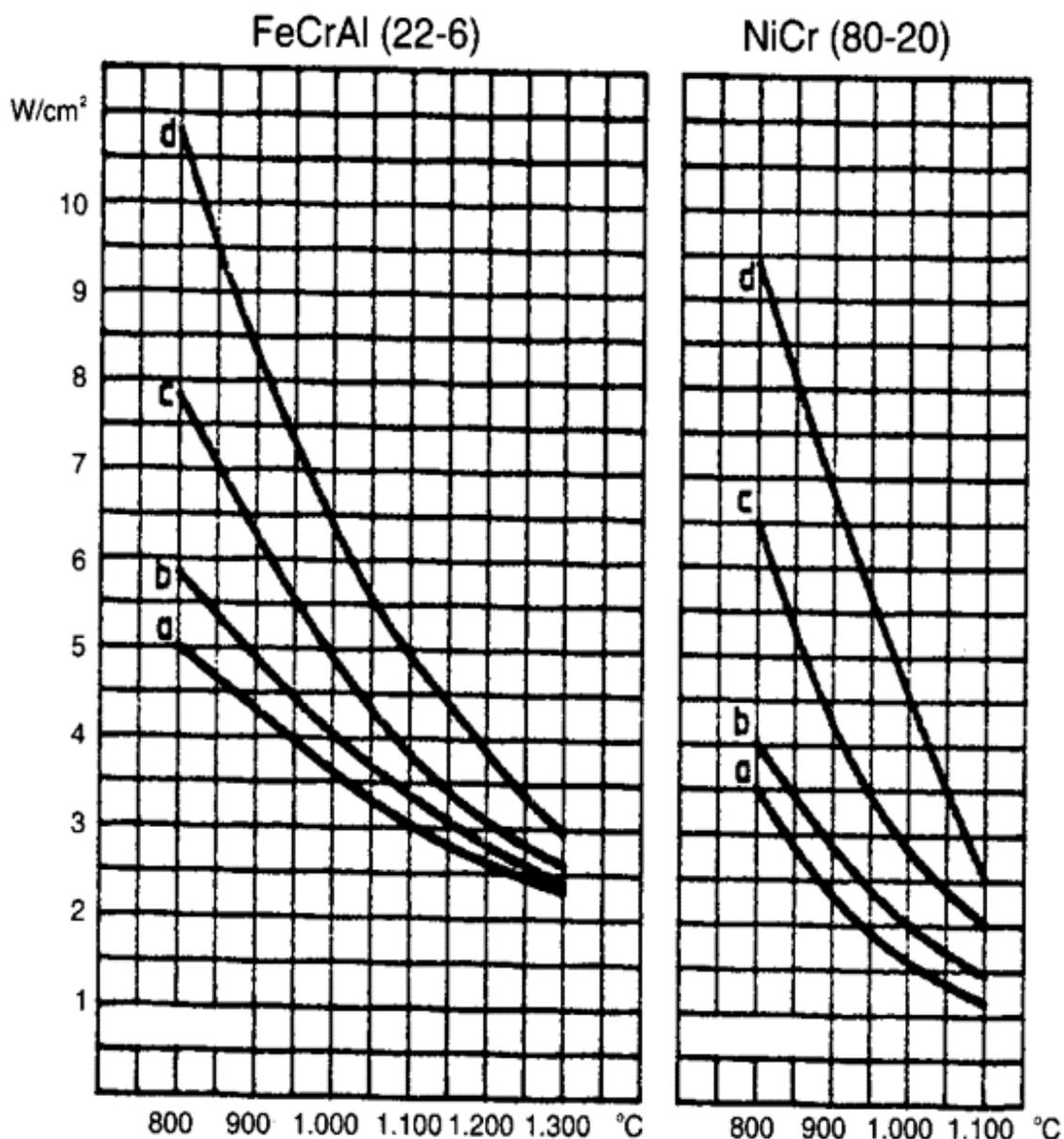
Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

ANEXO L.2: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE ALEACIONES Ni – Cr

Aleación Ni-Cr	80-20	70-30	60-15	40-20	30-20	20-25
Composición aproximada						
Ni %	80	70	60	37	30	20
Cr %	20	30	15	18	20	25
Fe %	<1	<1	20	40	45	50
Densidad kg/m^3	8.300	8.100	8.200	7.900	7.900	7.800
Temperatura de fusión °C	1.400	1.380	1.390	1.390	1.390	1.380
Temperatura máxima de utilización °C	1.200	1.250	1.150	1.100	1.100	1.050
Calor específico a 20 °C $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	0,45	0,45	0,45	0,46	0,50	0,50
Conductividad térmica W/mk a 20 °C	15	14	13	13	13	13
Coefficiente dilatación lineal 20-1.000 °C/°C ⁻¹	18	18	17	19	19	19
Resistencia a la rotura 20°C N/mm^2	700	800	700	700	700	700
900 °C N/mm^2	100	100	100	120	120	120
Resistencia al creep 800 °C N/mm^2	15	15	15	20	20	20
1000 °C N/mm^2	4	4	4	4	4	4

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

ANEXO L.3: CARGA ESPECÍFICA MÁXIMA DE LAS RESISTENCIAS



Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

ANEXO L.4: DISPOSICIONES DE ESPIRALES SOBRE TUBOS

	Solera	Pared	Bóveda
Ladrillos			
Manta en acordeón			
Módulos al vacío			
Mantas de fibra			

Fuente: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion2.Hornos.RESISTENCIAS.2006.pdf>

ANEXO M: BUS POWERED MULTIFUNCTION DAQ for USB

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB – 12- or 14-Bit, up to 48 kS/s, 8 Analog Inputs

NI USB-6008, NI USB-6009

- 8 analog inputs at 12 or 14 bits, up to 48 kS/s
- 2 analog outputs at 12 bits, software-timed
- 12 TTL/CMOS digital I/O lines
- 32-bit, 5 MHz counter
- Digital triggering
- Bus-powered
- 1-year warranty

Operating Systems

- Windows Vista (32- and 64-bit)/XINTEL
- Mac OS X¹
- Linux²
- Windows Mobile³
- Windows CE⁴

Recommended Software

- LabVIEW
- LabVIEW SignalExpress
- LabWindows/CVI
- Measurement Studio

Other Compatible Software

- C#, Visual Basic .NET
- ANSI C/C++

Measurement Services Software (included)

- NI-DAQmx driver software
- Measurement & Automation Explorer configuration utility
- LabVIEW SignalExpress LE

¹You need to download NI-DAQmx Base for these operating systems.



Product	Bus	Analog Inputs ¹	Input Resolution (bits)	Max Sampling Rate (kS/s)	Input Range (V)	Analog Outputs	Output Resolution (bits)	Output Rate (Hz)	Output Range (V)	Digital I/O Lines	32-Bit Counter	Trigger
USB-6008	USB	8 SE/4 DI	12	48	+1 to +20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital
USB-6009	USB	8 SE/4 DI	14	10	±1 to ±20	2	12	150	0 to 5	12	1	Digital

SE = single-ended; DI = differential; ¹Software-selectable

Specifications

Typical at 25 °C unless otherwise noted.

Analog Input

Absolute accuracy, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±10	14.7	30

Absolute accuracy at full scale, differential¹

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum (0 to 55 °C) (mV)
±20	14.7	158
±10	7.38	84.8
±5	4.20	50.4
±4	3.50	55.1
±2.5	2.56	45.1
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.0
±1	1.53	37.5

Number of channels..... 8 single-ended/4 differential
 Type of ADC..... Successive approximation

ADC resolution (bits)

Module	Differential	Single-Ended
USB-6008	12	11
USB-6009	14	13

Maximum sampling rate (system dependent)

Module	Maximum Sampling Rate (kS/s)
USB-6008	10
USB-6009	48

Input range, single-ended..... ±11 V
 Input range, differential..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
 Maximum working voltage..... ±13 V
 Overvoltage protection..... ±35 V
 FIFO buffer size..... 512 B
 Timing resolution..... 41.87 ns (24 MHz timebase)
 Timing accuracy..... 10.3 ppm of actual sample rate
 Input impedance..... 144 kΩ
 Trigger source..... Software or external digital trigger
 System noise..... 5 mV_{rms} (±10 V range)

Analog Output

Absolute accuracy (no load)..... 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
 Number of channels..... 2
 Type of DAC..... Successive approximation
 DAC resolution..... 12 bits
 Maximum update rate..... 153 Hz, software-timed

Output range..... 0 to +5 V
 Output impedance..... 50 Ω
 Output current drive..... 5 mA
 Power-on state..... 0 V
 Slew rate..... 1 V/μs
 Short-circuit current..... 50 mA

Digital I/O

Number of channels..... 12 total
 8 (P0 <0..7>)
 4 (P1 <0..3>)
 Direction control..... Each channel individually programmable as input or output
 Output driver type
 USB-6009..... Open-drain
 USB-6008..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain
 Compatibility..... CMOS, TTL, LVTTL
 Internal pull-up resistor..... 4.7 kΩ to +5 V
 Power-on state..... Input (high impedance)
 Absolute maximum voltage range..... -0.5 to +5.8 V

Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.5	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	-	50	μA
Output low voltage (I _O = 8.5 mA)	-	0.8	V
Output high voltage (push-pull, I _O = 4.5 mA)	2.0	3.5	V
Output high voltage (open-drain, I _O = 0.6 mA, normal)	2.0	5.0	V
Output high voltage (open-drain, I _O = 8.5 mA, with external pull-up resistor)	2.0	-	V

Counter

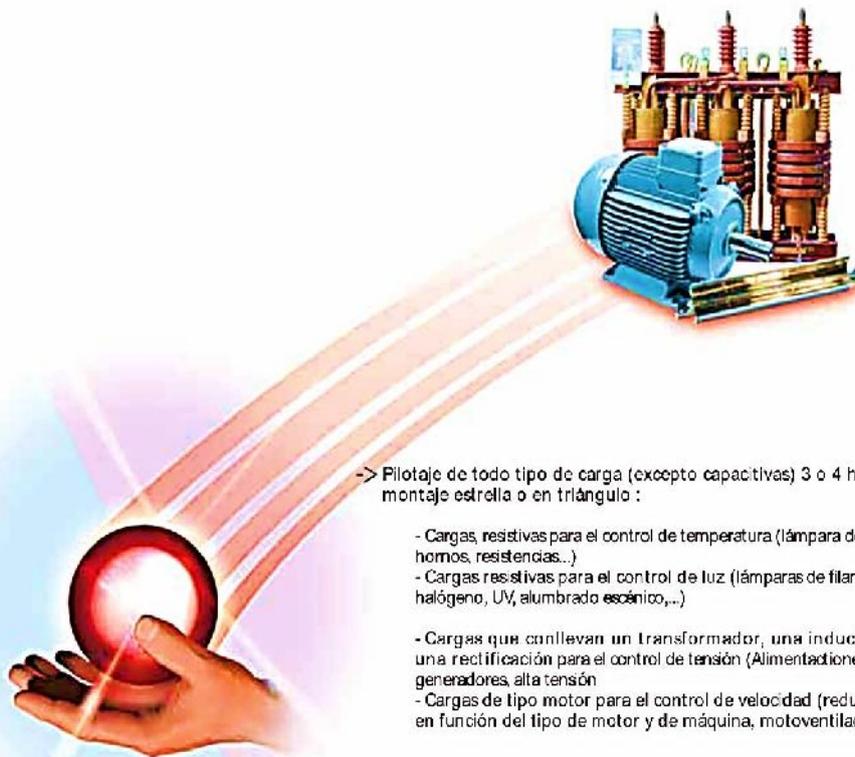
Number of counters..... 1
 Resolution..... 32 bits
 Counter measurements..... Edge counting (falling edge)
 Pull-up resistor..... 4.7 kΩ to 5 V
 Maximum input frequency..... 5 MHz
 Minimum high pulse width..... 100 ns
 Minimum low pulse width..... 100 ns
 Input high voltage..... 2.0 V
 Input low voltage..... 0.8 V

Power available at I/O connector

+5 V output (200 mA maximum)..... +5 V typical
 +4.85 V minimum
 +2.5 V output (1 mA maximum)..... +2.5 V typical
 +2.5 V output accuracy..... 0.25% max
 Voltage reference temperature drift..... 50 ppm/°C max

ANEXO N: CONTROLADOR DE ÁNGULO DE FASE TRIFÁSICO

CONTROLADOR DE ÁNGULO DE FASE TRIFÁSICO DIGITAL



-> Pilotaje de todo tipo de carga (excepto capacitivas) 3 o 4 hilos (neutro), montaje estrella o en triángulo :

- Cargas resistivas para el control de temperatura (lámpara de infrarrojos, hornos, resistencias...)
- Cargas resistivas para el control de luz (lámparas de filamentos, de halógeno, UV, alumbrado escénico,...)
- Cargas que conlleven un transformador, una inductancia o una rectificación para el control de tensión (Alimentaciones rectificadas, generadores, alta tensión)
- Cargas de tipo motor para el control de velocidad (reducción posible en función del tipo de motor y de máquina, motoventiladores,

- > Controlador de ángulo de fase trifásico de mando proporcional seis tiristores (corrientes equilibradas en las fases, menos armónicas, ...)
- > Rampas de arranque y de parada (aumento del tiempo de vida del conjunto)
- > Funciones de diagnóstico
- > Caja compacta

Gama SVTA - SWTA



LISTO PARA USAR. VALORES DADOS PARA UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 25°C

REFERENCIA PRODUCTO	Corriente max. AC 51	Corriente max. AC 53a	Control	Dimensiones mm	Fig nº
SWTA4610	7A	7A	0-10V	83x110x74	1
SWTA4620	22A	16A	0-10V	83x10x55	2
SWTA4630			0-10V		
SWTA4631	32A	25A	Potenciómetro 4-20mA	110x10x60	3
SWTA4634					
SWTA4650					
SWTA46501 (*)	50A	33A	0-10V	110x141x80	4

* Ventilador 24 VDC

A MONTAR SOBRE UN DISIPADOR DE TEMPERATURA

REFERENCIA PRODUCTO	Corriente max. AC 51	Corriente max. AC 53a	Control	Dimensiones mm	Fig nº
SVTA4650	90A	16A	0-10V	100x76x89,5	5
SVTA4651			Potenciómetro		
SVTA4684	95A(**)	25A	0-20mA		
SVTA4690	125A(**)	33A	0-10V		
SVTA4691	125A(**)	33A	Potenciómetro		
SVTA4694	125A(**)	33A	0-20mA		

** Intensidad máxima, sección max. = 100 mm², duplicar los hilos o utilizar los adaptadores especiales para las corrientes-pica por favor véase las instrucciones de montaje de disipador.

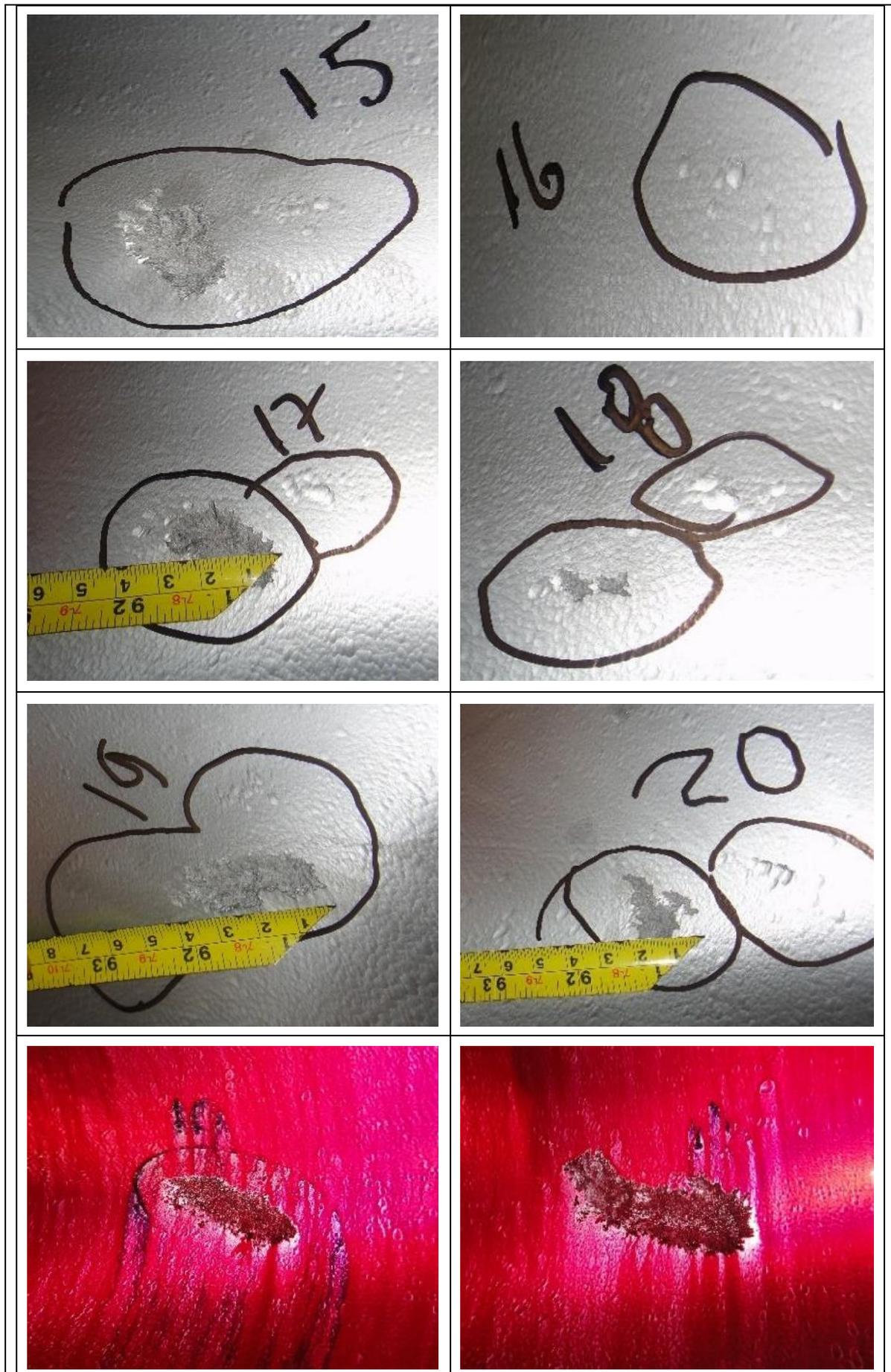
ANEXO O.1: INSPECCIONES A RODETES PELTON DENTRO DEL RECINTO

NOMBRE DEL EJECUTOR:			SAN GABAN S.A.			FOLIOS:	1	
AREA:	Mantenimiento Mecánico	SIST EMA:	C.H. San Gaban II	FECHA INICIO ACTIVIDAD	18.01.2017	FECHA CIERRE ACTIVIDAD	18.01.2017	
Marcar con un ASPA la actividad a realizar								
OTM	CORRECTIVO <input type="checkbox"/> PREVENTIVO <input type="checkbox"/>	PLANES PREVENTIVOS <input checked="" type="checkbox"/>	PROYECTOS <input type="checkbox"/>	ANÁLISIS DE FALLA <input type="checkbox"/>	ESTUDIO PRUEBAS <input type="checkbox"/>	CAPACITACIÓN <input type="checkbox"/>	SUPERVISIÓN O AUDITORÍA <input type="checkbox"/>	COMPRAS <input type="checkbox"/>
Resumen de Actividad: Mantenimiento plan – 1 Gr. DOS								
Nombre del Solicitador OTM:				Fecha/Hora OTM:				
CONDICIÓN:			EMERGENCIA <input type="checkbox"/>	URGENTE <input type="checkbox"/>	NECESARIA <input checked="" type="checkbox"/>	DESEABLE <input type="checkbox"/>	PRORROGABLE <input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD								
<p>1. Inspección de Rodete de 13200 horas de servicio con la presencia de Andritz Sr. Jose Garcia. 2.- Inspección de regulador de velocidad. 3.- Inspección de Válvula de Admisión.</p>								
RESULTADOS:								
<p>1.- Inspección con liquido penetrante de los cangilones. 2.- Inspección con partículas magnéticas, zonas críticas cuello de los cangilones.</p>								
								
								

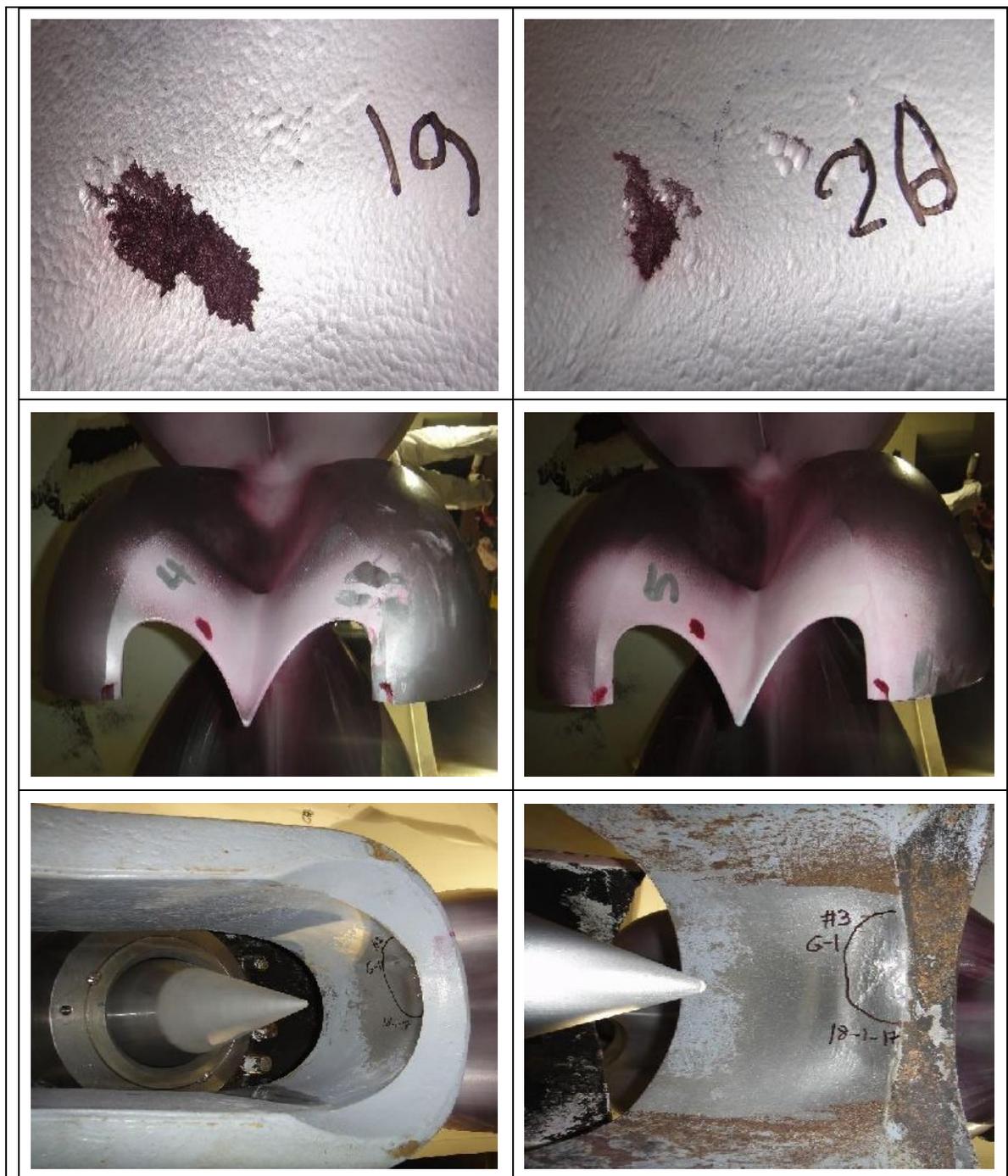
Continúa ...



Continúa ...



Continúa ...



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Los cangilones presentan desgastes fuera de lo normal cavitaciones profundas.
- Desgaste en las embocaduras
- cavitación en las zonas posteriores de la embocaduras
- Se recomienda la reparación lo más pronto posible

Nota: El personal de mantenimiento antes de salir de descanso programado deberá marcar con un ASPA en el estado que esta dejando la actividad.

ACTIVIDAD PENDIENTE	<input type="checkbox"/>
----------------------------	--------------------------

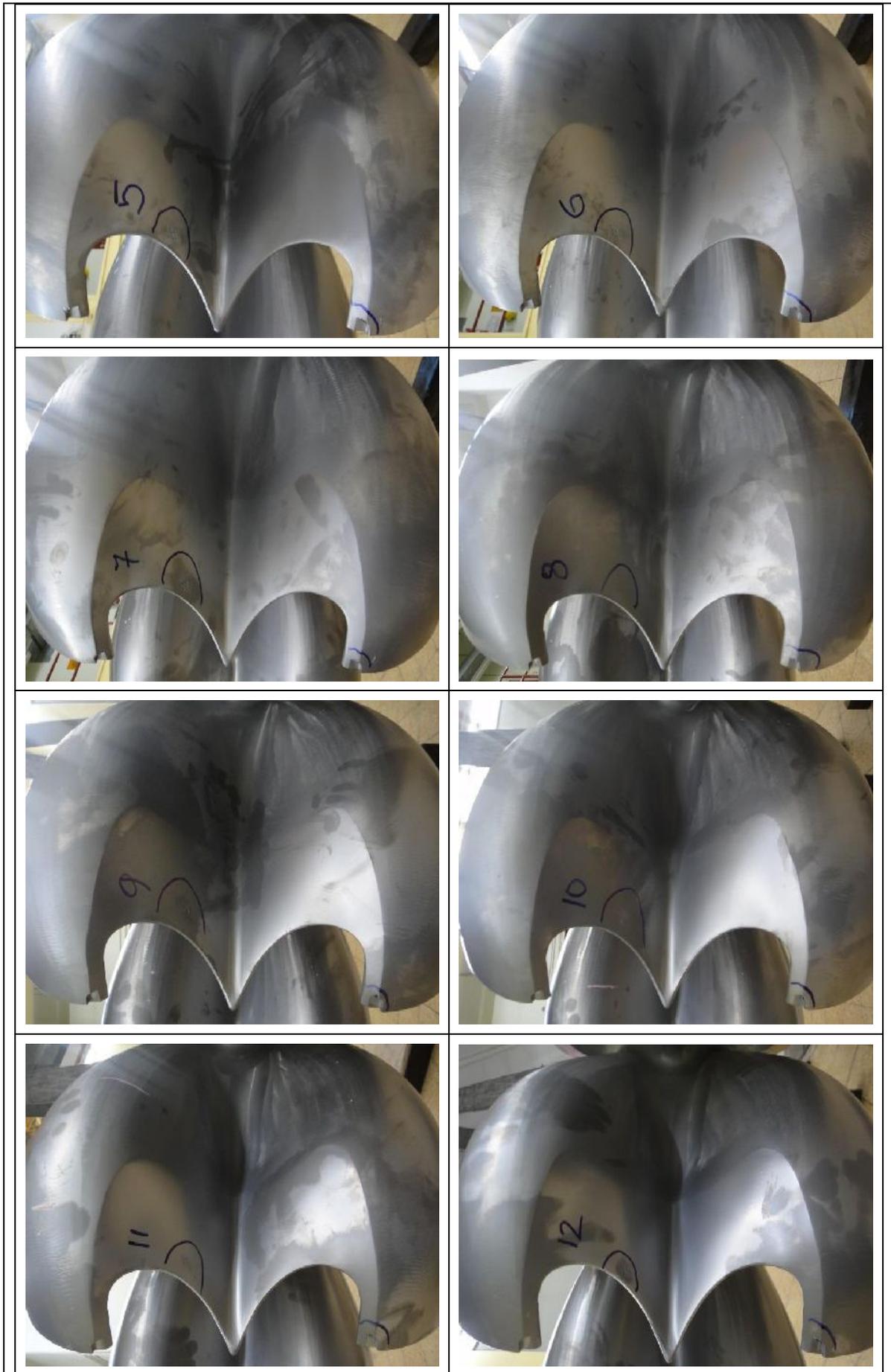
ACTIVIDAD CONCLUIDA	<input checked="" type="checkbox"/>
----------------------------	-------------------------------------

1. La solicitud de OTM será derivada a la Jefatura de Mantenimiento.
2. La Jefatura de Mantenimiento y los Responsables de Área programarán la atención de los trabajos de mantenimiento de acuerdo a la evaluación de la prioridad.
3. Se puede generar una OTM por vía telefónica, o por correo electrónico.

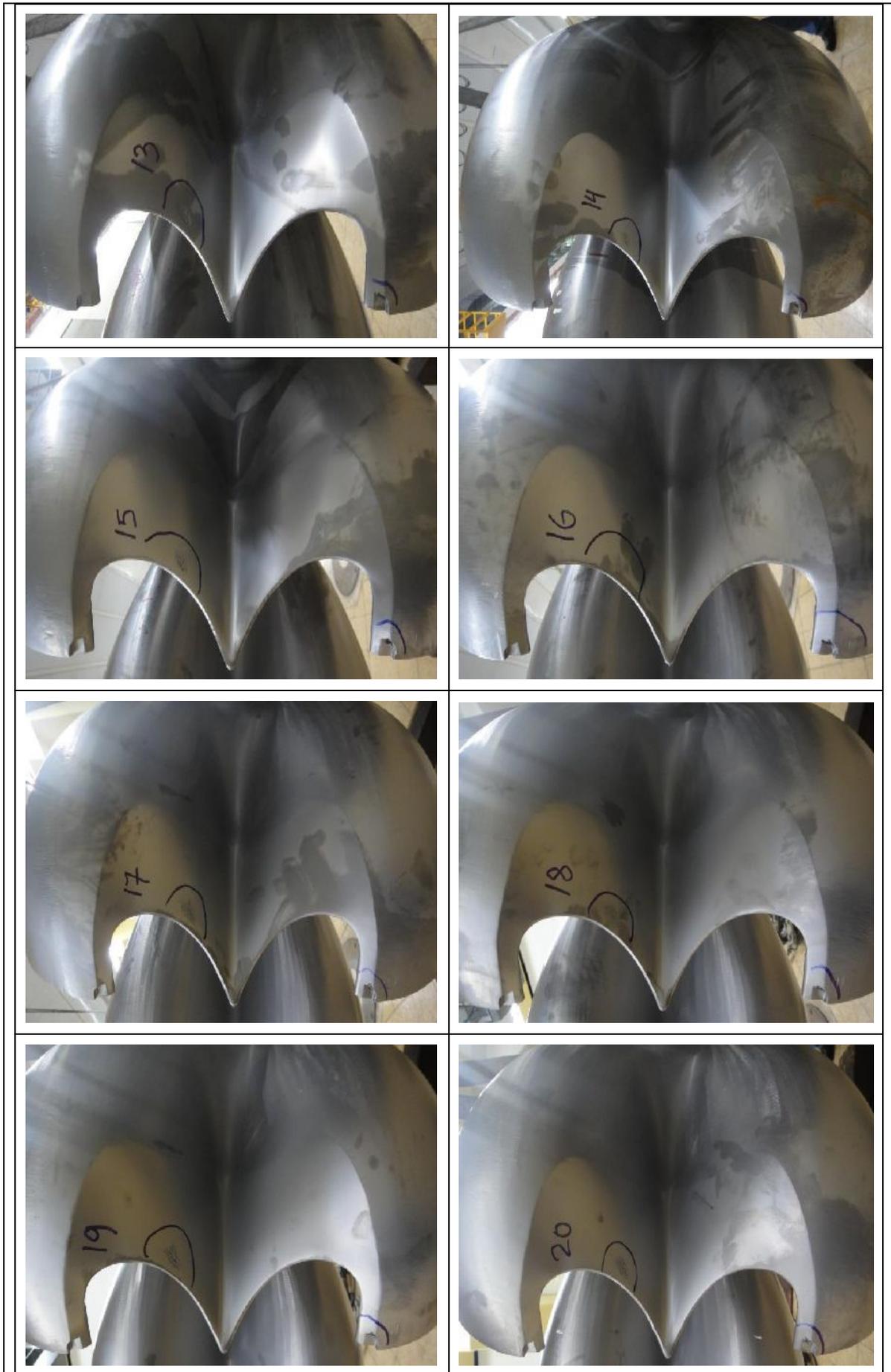
ANEXO O.2: INSPECCIONES A RODETES PELTON FUERA DEL RECINTO

NOMBRE DEL EJECUTOR:			SAN GABAN S.A.			FOLIOS:	1	
AREA:	Mantenimiento Mecánico	SISTEMA:	C.H. San Gaban II	FECHA INICIO ACTIVIDAD	02.03.2017	FECHA CIERRE ACTIVIDAD	02.03.2017	
Marcar con un ASPA la actividad a realizar								
OTM	CORRECTIVO <input type="checkbox"/> PREVENTIVO <input type="checkbox"/>	PLANES PREVENTIVOS <input checked="" type="checkbox"/>	PROYECTOS <input type="checkbox"/>	ANÁLISIS DE FALLA <input type="checkbox"/>	ESTUDIO PRUEBAS <input type="checkbox"/>	CAPACITACIÓN <input type="checkbox"/>	SUPERVISIÓN O AUDITORÍA <input type="checkbox"/>	COMPRAS <input type="checkbox"/>
Observaciones del rodete 16829701 B								
Nombre del Solicitador OTM:				Fecha/Hora OTM:				
CONDICIÓN:			EMERGENCIA <input type="checkbox"/>	URGENTE <input type="checkbox"/>	NECESARIA <input checked="" type="checkbox"/>	DESEABLE <input type="checkbox"/>	PRORROGABLE <input type="checkbox"/>	
DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD								
Inspección del rodete Pelton								
RESULTADOS:								
1.- Inspección con liquido penetrante de los cangilones. 2.- Inspección con partículas magnéticas, zonas críticas cuello de los cangilones.								

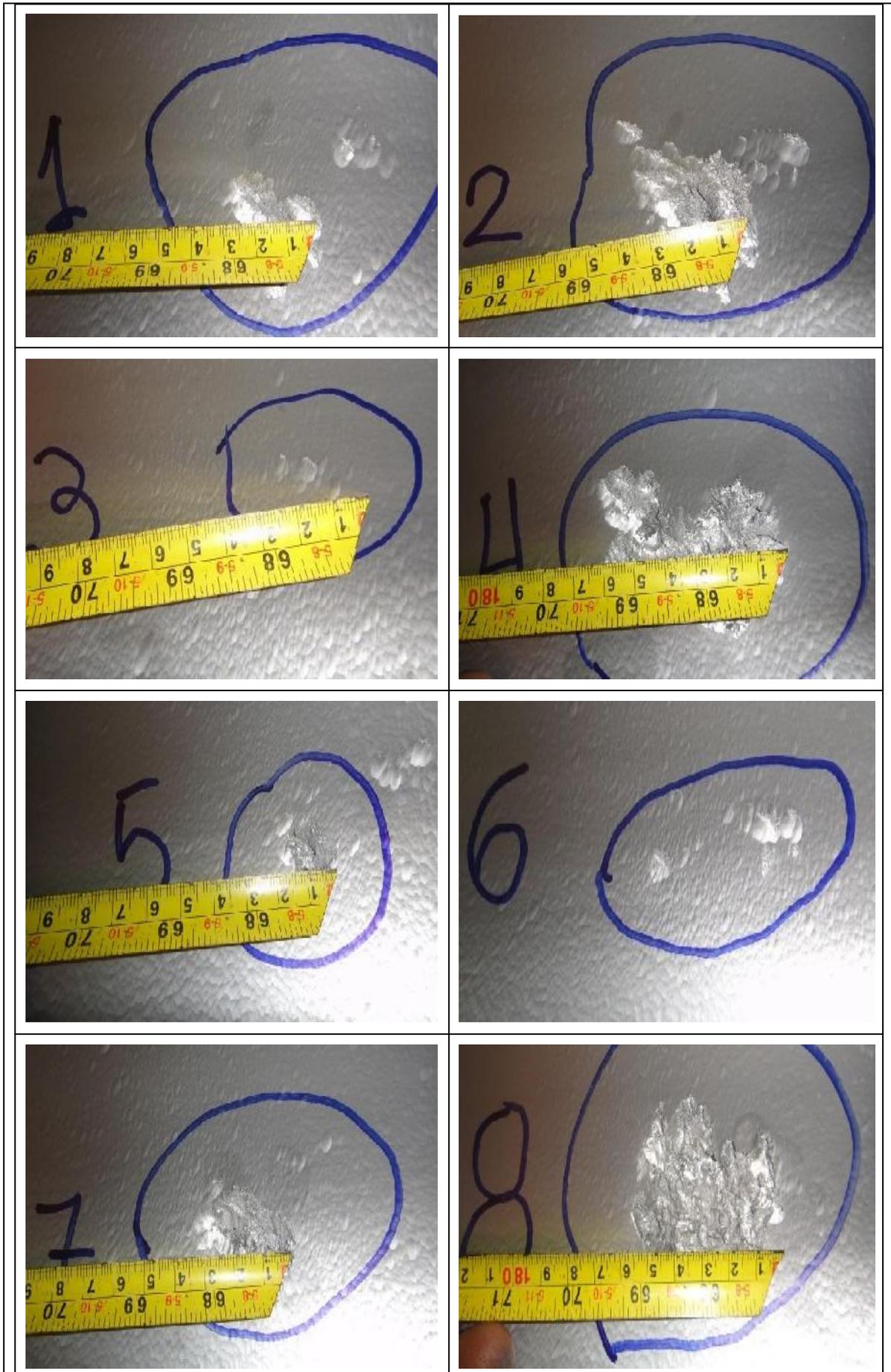
Continúa ...



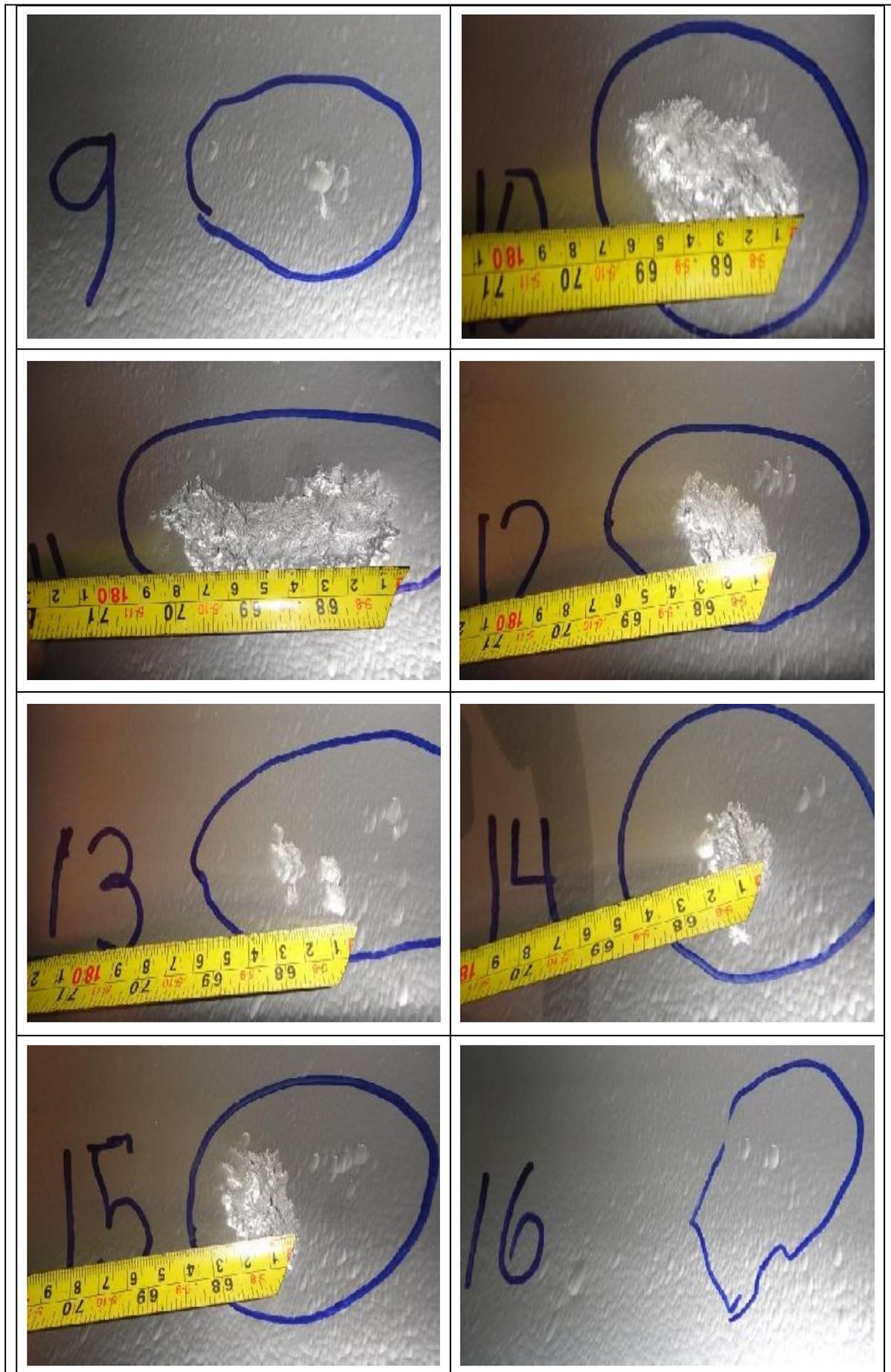
Continúa ...



Continúa ...



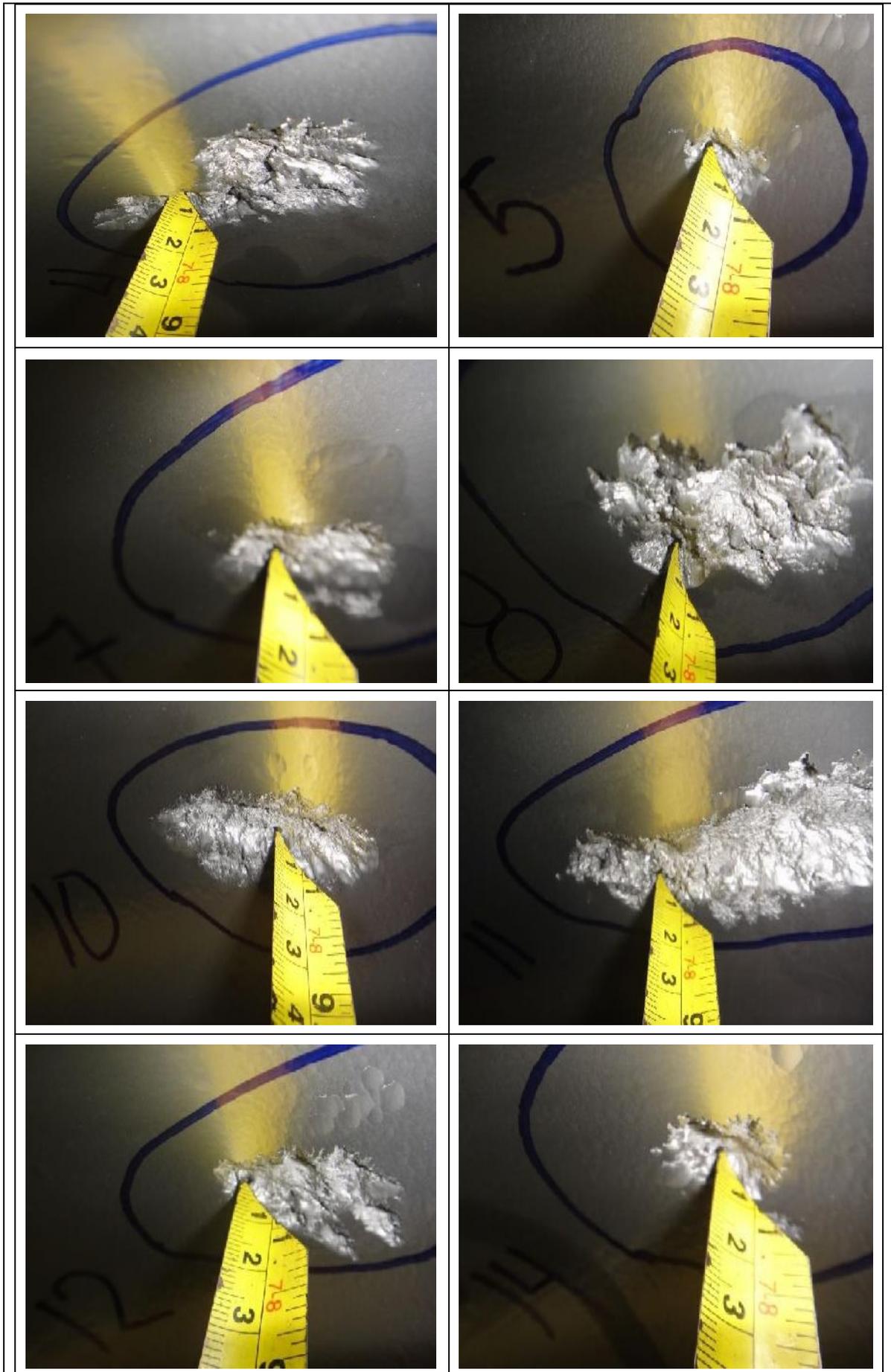
Continúa ...



Continúa ...



Continúa ...



Continúa ...



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

Rodete N 16B29701 B - reparar cavitaciones.

Nota: El personal de mantenimiento antes de salir de descanso programado deberá marcar con un ASPA en el estado que esta dejando la actividad.

ACTIVIDAD PENDIENTE	<input type="checkbox"/>	ACTIVIDAD CONCLUIDA	<input checked="" type="checkbox"/>
----------------------------	--------------------------	----------------------------	-------------------------------------

4. La solicitud de OTM será derivada a la Jefatura de Mantenimiento.
5. La Jefatura de Mantenimiento y los Responsables de Área programarán la atención de los trabajos de mantenimiento de acuerdo a la evaluación de la prioridad.
6. Se puede generar una OTM por vía telefónica, o por correo electrónico.

Ejecutor

Jefe de Área

ANEXO P: VIDRIO CERÁMICO NEOCERAM

NEOCERAM

contenga el fuego pero no lo esconda

Qué es Neoceram?

Es una VITROCERAMICA de características excepcionales, capaz de soportar los mayores esfuerzos térmicos, manteniendo el aspecto y la transparencia de un vidrio normal.

Es un producto creado y producido por NIPPON ELECTRIC GLASS Co. -OSAKA -Japón.

Es la solución definitiva para mantener el fuego donde debe estar.

NEOCERAM se suministra habitualmente cortado a medida, con las aristas abatidas, listo para su colocación.

Puede también ser adquirido en forma de placas enteras y cortado por medios usuales de cristalería.

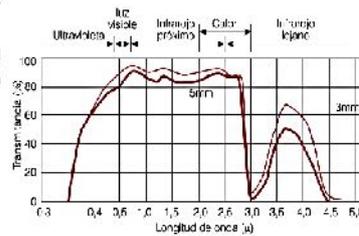
Espesor normalizado: 4mm
Dimensiones máximas: 1100 x 2000mm

No es ningún secreto que las estufas obtienen mejor aprovechamiento calorífico de la leña que las chimeneas, ya que en éstas, una parte del aire caldeado de la habitación es arrastrado por el tiro.

La búsqueda de una solución que permitiera aproximar el rendimiento de una chimenea al de una estufa ha conducido al concepto de "chimenea cerrada", complementado con la utilización de los recuperadores de calor que permiten distribuir calefacción al resto de la vivienda.

Tan sólo el vidrio permite cerrar una chimenea conservando la posibilidad de contemplar las llamas.

Una placa de vidrio constituye el mejor salva-chispas y la chimenea cerrada no precisa alimentación ni vigilancia durante muchas horas.



Montaje del Neoceram?

Es aconsejable utilizar algún elemento elástico entre el vidrio y el metal del marco.

Los puntos de apoyo deberán estar libres de rebabas, soldaduras, etc.

El marco deberá ser lo más rígido posible. No debemos olvidar que **NEOCERAM** no dilata, pero un marco mal diseñado si experimentará contracciones que pueden llegar a romper el vidrio.

Principales ventajas

Inalterable al calor. Soporta el choque térmico hasta 800 °C.

Transparencia completa. Limpieza fácil. Un paño húmedo basta para eliminar los restos de hollín o ceniza, aún con el vidrio caliente.

NEOCERAM no conoce más límites que los propios de la fabricación. Cualquier tamaño de ventana es posible en una sola pieza.

Características	valor	unidades
Coefficiente de dilatación entre 30 y 800 °C	-1 a -3	$\times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$
Conductividad Térmica a 25 °C	1,18	Kcal/m.h. °C
Temperatura máxima de utilización: continua cortos periodos	740 800	°C °C
Choque térmico admisible	800	°C
Densidad	2,51	g cm ³
Resistencia al impacto por caída de bola (535 gr.) sobre una placa de 300 x 300 x 3,8 mm.	60 / 70	cm



Formas

PLANO: dimensiones +/- 1,0 mm. Aristas abatidas

CURVADO: Consultar dimensiones. Cantos pulidos

PANORÁMICO: Uno o dos laterales en ángulo. Cantos pulidos. Consultar dimensiones disponibles.

Otras formas bajo pedido.

IMPORTANTE:

la vitrocerámica funde a muy alta temperatura. No debe mezclarse con otros vidrios para reciclar.

ANEXO Q: ELECTRODO E6011



ECA E 6011

NORMA: ASME SFA 5.1 E 6011
AWS A 5.1 E 6011
A 5.1 M E 4311

DESCRIPCIÓN

Electrodo celulósico de alta penetración estabilizado con potasio para funcionar en todas posiciones incluyendo la vertical descendente, con corriente alterna (CA) y corriente directa con polaridad invertida (electrodo al positivo +), (CDPI). Su arco estable de fácil encendido lo hace el electrodo adecuado para trabajos en los que la resistencia y el acabado sean lo más importante.

APLICACIONES

En el sector naval es usado en la construcción de embarcaciones, reparación y mantenimiento de equipos, partes y componentes de acero al carbono donde la penetración de la soldadura sea requisito indispensable. Dentro de la industria petrolera, es empleado como sustituto de electrodos tipo 6010 en el tendido de líneas de tuberías de conducción de gas amargo, L.P., natural, petróleo líquido, recipientes de alta y baja presión, etc.

En la paila de tanques para almacenamiento, recipientes a cielo abierto, extractores y ductos de humos y vapores, etc.

Ampliamente utilizado en la construcción de puentes, edificios, vagones de ferrocarril, y estructuras en general que requieran altas propiedades mecánicas desde el primer cordón.

En el ramo metal-mecánico es usado en la fabricación de maquinaria, componentes de acero al bajo carbono, calderas, recipientes a presión, grúas, etc.

Es utilizado inclusive en pequeños talleres de herrería e industria metal-mecánica ligera, por la versatilidad del electrodo y los bajos amperajes empleados aún en materiales de pared delgada y por la facilidad con la que se remueve la escoria.

VENTAJAS

Electrodo de arco estable aún funcionando con CA gracias a su contenido de potasio en el recubrimiento, sus depósitos tienen características mecánicas muy superiores a electrodos de su tipo. Buena tenacidad a temperaturas bajo cero. La fórmula especial del revestimiento produce un arco de gran fuerza con una rápida solidificación, lo que facilita la operación en posición vertical y sobrecabeza. La escoria es mínima, por lo que la limpieza se lleva a cabo de forma rápida.

PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN A.W.S.

Resistencia a la Tensión	430 MPa (60 000 psi)
Límite Elástico	330 Mpa (48 000 psi)
Elongación	22 %
Impacto a -30 °C en probetas Charpy V – Notch	27 Joules

COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN AWS

	% Máximo		% Máximo
Carbono	0,20	Cromo	0,20
Manganeso	1,20	Molibdeno	0,30
Azufre	N.E.	Vanadio	0,08
Silicio	1,00	Fósforo	N.E.
Níquel	0,30		

TÉCNICA DE SOLDEO

Limpie perfectamente las piezas a soldar de grasas, aceites, pinturas y contaminantes en general, encienda el arco por el método de raspado o de contacto y mantenga el arco corto, inclinándolo ligeramente el electrodo en dirección del avance. Quite la escoria entre pasos y utilice CA (Corriente Alterna) o bien CDPI (electrodo al positivo). Cepille manualmente ó utilizando carda de acero.

MEDIDAS DISPONIBLES

Milímetros	Pulgadas	Amperes
2,4 x 356	3/32 x 14	50 – 85
3,2 x 356	1/8 x 14	80 – 125
4,0 x 356	5/32 x 14	120 – 165

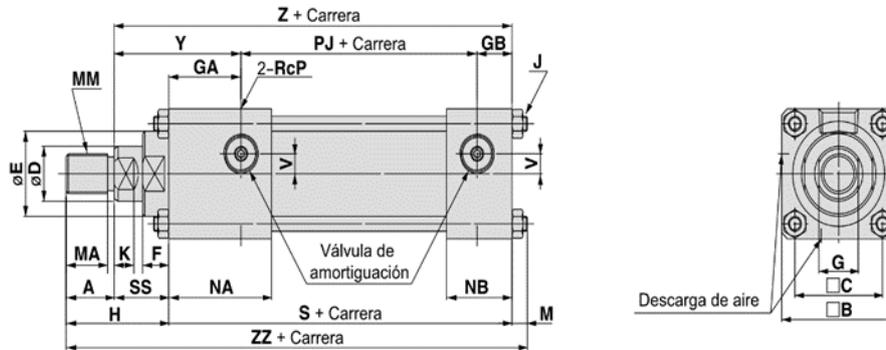
EMPAQUE

Caja de 44 libras con 4 bolsas de 11 libras cada una.

ANEXO R: CILINDRO NEUMÁTICO

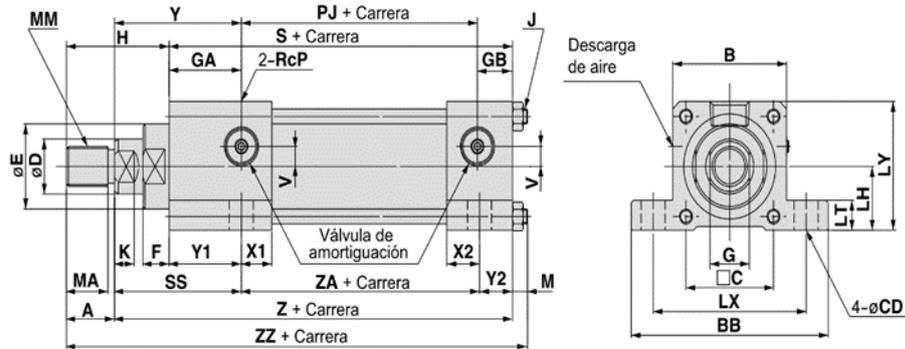
Dimensiones

Básico / CHSDB



Diámetro (mm)	Rango de carrera	A	B	C	D	E	F	G	GA	GB	H	J	K	M	MA	MM	NA	NB	P	PJ	S	SS	V	Y	Z	ZZ
40	25 a 800	22	52	40	22	34	12	19	33	16	47	M6	8	7.5	19	M16 x 1.5	46	29	3/8	58	107	25	6.5	58	132	161.5
50	25 a 800	28	65	50	28	42	15	24	34	16	59	M8 x 1	11	9	25	M20 x 1.5	46.5	28.5	3/8	58	108	31	8	65	139	176
63	25 a 800	36	77	58	36	50	19	30	31	18	74	M8 x 1	13	9	32	M27 x 2	46	33	1/2	66	115	38	12	69	153	198
80	25 a 800	45	96	75	45	60	13	41	42	17	80	M10 x 1.25	17	10.5	41	M33 x 2	57	32	1/2	74	133	35	15	77	168	223.5
100	25 a 1000	56	115	90	56	72	16	50	38	22	97	M14 x 1.5	19	14.5	52	M42 x 2	58	42	3/4	86	146	41	15	79	187	257.5

Modelo escuadra transaxial / CHSDLA



Diámetro (mm)	Rango de carrera	A	B	BB	C	CD	D	E	F	G	GA	GB	H	J	K	LH	LT	LX	LY	M	MA	MM	P	PJ	S	SS
40	25 a 800	22	52	90	40	11	22	34	12	19	33	16	47	M6	8	25.5	12	70	51.5	7.5	19	M16 x 1.5	3/8	58	107	58
50	25 a 800	28	65	103	50	11	28	42	15	24	34	16	59	M8 x 1	11	32	12	83	64.5	9	25	M20 x 1.5	3/8	58	108	65
63	25 a 800	36	77	115	58	11	36	50	19	30	31	18	74	M8 x 1	13	38	12	95	76.5	9	32	M27 x 2	1/2	66	115	68
80	25 a 800	45	96	147	75	14	45	60	13	41	42	17	80	M10 x 1.25	17	47.5	18	121	95.5	10.5	41	M33 x 2	1/2	74	133	77
100	25 a 1000	56	115	179	90	18	56	72	16	50	38	22	97	M14 x 1.5	19	57	25	145	114.5	14.5	52	M42 x 2	3/4	86	146	79

Diámetro (mm)	V	X1	X2	Y1	Y2	ZA	Z	ZZ
40	6.5	13	14	33	15	59	132	161.5
50	8	12.5	13.5	34	15	59	139	176
63	12	16	16	30	17	68	153	198
80	15	15	15	42	17	74	168	223.5
100	15	20	20	38	22	86	187	257.5

Fuente: SMC.com

ANEXO S: UNIDAD DE MANTENIMIENTO DE AIRE

Unidades de mantenimiento FRC/FRCS, serie D, ejecución metálica



Hoja de datos

Dimensiones Datos CAD disponibles en → www.festo.com

Mini/Midi/Maxi

Con llave

1 Boquilla enchufable para tubo flexible PUN(H)-8x1,25
 2 Funda metálica de protección
 3 Medidas de instalación
 4 Segunda conexión para manómetro
 5 Tornillo para purga aire del depósito de aceite
 6 Tornillo de regulación del aceite

→ Sentido del flujo

Purga manual giratoria
Purga del condensado

Purga automática
Purga del condensado

Tipo	B1	B2	B3	B4	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Mini										
FRC/FRCS-1/8-D-MINI	104	92	40	76	G1/8	31	M4	M36x1.5	41	38
FRC/FRCS-1/4-D-MINI					G1/4					
FRC/FRCS-3/8-D-MINI					G3/8					
Midi										
FRC/FRCS-1/4-D-MIDI	140	125	55	95	G1/4	50	M5	M52x1.5	50	52
FRC/FRCS-3/8-D-MIDI					G3/8					
FRC/FRCS-1/2-D-MIDI					G1/2					
FRC/FRCS-3/4-D-MIDI					G3/4					
Maxi										
FRC/FRCS-1/2-D-MAXI	162	146	66	107	G1/2	31	M5	M36x1.5	50	65
FRC/FRCS-1/2-D-DI-MAXI						49		M52x1.5		
FRC/FRCS-3/4-D-MAXI					G3/4	31		M36x1.5		
FRC/FRCS-3/4-D-DI-MAXI						49		M52x1.5		
FRC/FRCS-1-D-MAXI	182	157			G1	31	M36x1.5			
FRC/FRCS-1-D-DI-MAXI						49	M52x1.5			

Importante: Este producto cumple con los estándares ISO 1179-1 e ISO 228-1

ANEXO T: CONDUCTOR ELÉCTRICO NYF

1. DESCRIPCION:

- 1. Conductor de cobre electrolítico temple suave.
 - Sólido para secciones hasta 10 mm².
 - Cuerda redonda compacta para secciones mayores de 10 mm².
- 2. Aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC/A) color natural.
- 3. Cubierta exterior de cloruro de polivinilo (PVC ST1) en color negro.

2. MAXIMA TENSION DE OPERACION:

1200 Voltios entre fases.

3. TEMPERATURA MAXIMA EN EL CONDUCTOR:

En operación normal 80°C
 En condiciones de emergencia 95°C
 En condiciones de cortocircuito 160°C

4. NORMA DE FABRICACION:

NTP-IEC 60502-1



CARACTERISTICAS DIMENSIONALES:

Sección Nominal (mm ²)	Número de Hilos por Conductor	Espesor Nominal (mm)		Diámetro Exterior mm	Peso Total (Kg/Km)
		Aislante	Cubierta		
2,5	1	0,8	1,4	6,5	64
4	1	1,0	1,4	7,5	88
6	1	1,0	1,4	8,0	113
10	1	1,0	1,4	9,0	156
16	7	1,0	1,4	10,0	222
25	7	1,2	1,4	12,0	327
35	7	1,2	1,4	13,0	421
50	19	1,4	1,4	14,5	558
70	19	1,4	1,4	16,5	762
95	19	1,6	1,5	18,5	1057
120	37	1,6	1,5	20,0	1280
150	37	1,8	1,6	22,5	1601
185	37	2,0	1,7	24,5	1974
240	61	2,2	1,8	27,5	2535
300	61	2,4	1,9	30,5	3180
400	61	2,6	2,0	34,0	3950
500	61	2,8	2,1	37,5	5052

Datos sujetos a tolerancias normales de manufactura.

CARACTERISTICAS ELECTRICAS:

Sección Nominal (mm ²)	Resistencia Conductor (Ohm/Km)		Reactancia Inductiva Ohm/Km a 60 Hz	Capacidad de Corriente (Amp)	
	c.c. a 20°C	c.a. a 80°C		Aire Libre 30°C	Enterrado Temp=20°C 100°C-cm/W
2,5	7,41	9,16	0,182	31	43
4	4,61	5,73	0,173	41	56
6	3,08	3,83	0,164	52	70
10	1,83	2,27	0,152	71	94
16	1,15	1,43	0,143	94	121
25	0,727	0,903	0,138	126	156
35	0,524	0,651	0,132	156	187
50	0,387	0,481	0,128	192	222
70	0,268	0,334	0,124	241	272
95	0,193	0,241	0,122	300	325
120	0,153	0,192	0,119	349	370
150	0,124	0,156	0,119	402	415
185	0,0991	0,126	0,118	464	467
240	0,0754	0,097	0,117	553	540
300	0,0601	0,079	0,116	636	606
400	0,0470	0,064	0,114	742	686
500	0,0366	0,053	0,113	851	768

Fuente: CEPER CABLES.com

ANEXO U: CANALETA RANURADA

Especificaciones técnicas y de calidad para canaleta ranurada

R2.ET.025 V.02 Vigente desde el 09-01-09

I. Identificación del producto	
Grupo	Canaletas ranuradas
Referencia	3CAR*25X25, 3CAR*25X40, 3CAR*40X40, 3CAR*60X40, 3CAR*25X60, 3CAR*40X60, 3CAR*60X60, 3CAR*80X60, 3CAR*120X60, 3CAR*60X80, 3CAR*80X80, 3CAR*100X100.
Características generales	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Apropriadas para alambrear tableros de control ✓ Los cables se pueden colocar y retirar con facilidad ✓ Temperatura de servicio -40°C. → + 85°C. ✓ Auto-extinguibles ✓ Con sistema antideslizante que evita deslizamientos de la tapa. ✓ Dientes con restricción que retienen los cables

Presentación gráfica del producto



Especificaciones técnicas	
Material	PVC
Color	Gris y negro
Dimensiones	Planos de dimensiones críticas anexos.

Referencia	Descripción	Dimensiones		Colores disponibles	
		Base	Altura	Gris	Negro
3CAR*25X25	Canaleta ranurada de 25x25	25	25	X	NA
3CAR*25X40	Canaleta ranurada de 25x40	25	40	X	NA
3CAR*25X60	Canaleta ranurada de 25x60	25	60	X	NA
3CAR*40X40	Canaleta ranurada de 40x40	40	40	X	X
3CAR*40X60	Canaleta ranurada de 40x60	40	60	X	X
3CAR*60X40	Canaleta ranurada de 60x40	60	40	X	NA
3CAR*60X60	Canaleta ranurada de 60x60	60	60	X	NA
3CAR*60X80	Canaleta ranurada de 60x80	60	80	X	X
3CAR*80X60	Canaleta ranurada de 80x60	80	60	X	NA
3CAR*80X80	Canaleta ranurada de 80x80	80	80	X	X
3CAR*100X100	Canaleta ranurada de 100x100	100	100	X	X
3CAR*120X60	Canaleta ranurada de 120x60	120	60	X	NA

Referencia	Referencia del empaque de	Tipo de caja para empaque	Unidad de empaque para venta	Cantidad de cables que pueden ser ubicados dentro de las canaletas				
				12 AWG	14 AWG	16 AWG	18 AWG	22 AWG
3CAR*25X25	1CACJP	Pequeña	25	19	25	31	37	116
3CAR*25X40	1CACJP	Pequeña	20	30	38	48	60	175
3CAR*25X60	1CACJP	Pequeña	12	43	60	70	65	250
3CAR*40X40	1CACJM	Mediana	20	47	60	74	96	270
3CAR*40X60	1CACJM	Mediana	12	86	110	134	168	472
3CAR*60X40	1CACJM	Mediana	14	86	110	134	168	472
3CAR*60X60	1CACJG*	Grande	24	128	165	201	252	715
3CAR*60X80	1CACJM	Mediana	8	162	210	258	320	912
3CAR*80X60	1CACJM	Mediana	8	162	210	258	320	912
3CAR*80X80	1CACJG*	Grande	12	216	271	326	351	1328
3CAR*100X100	1CACJG*	Grande	8	358	458	558	687	1780
3CAR*120X60	1CACJG*	Grande	10	252	325	398	495	1356

Fuente: DEXON ELECTRIC SAS

ANEXO V: BOTONES PULADORES Y LÁMPARAS INDICADORAS

BOTONES PULADORES Y LÁMPARAS INDICADORAS, TIPO 3SB1 22MM

Especificaciones técnicas	
Botón pulsador	Botón con llave
Botón manija	Lámparas
Normas de construcción	DIN VDE 0660 e IEC 947-5-1
Tensión de aislamiento	660 V c.a./c.c.
Tensión nominal de servicio	660 V c.a.
Tensión de prueba aplicada	2.5 kV c.a.
Corriente nominal AC12	10 A
Corriente térmica Ith 2/AC12	10 A
Máxima tensión de operación en c.d.	660 V c.c.
Vida útil mecánica	10 x 10 ⁶ maniobras
Vida útil eléctrica AC15 en combinación de maniobra con contactores 3TH8, 3TH40 y 3TB44.	10 x 10 ⁶ maniobras
Tipo de protección en gabinete.	IP65
Temperatura admisible.	-20 hasta +60°C
Desconexión Ie/AC15 con 220V/230V.	5 x 10 ⁹ operaciones
Frecuencia de maniobra	1000 maniobras por hora
Protección contra cortocircuito. Fusible Diazed	10 Amp.
Conductor máximo aceptable.	2 x 1.... 2.5 mm ²

Fuente: SIEMENS.com

ANEXO W: SENSOR DE TEMPERATURA TERMOPAR



(http://tienda.logicbus.com.mx/Termopares_c_1195.html)

STOCK

Un termopar es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

En Instrumentación industrial, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferiores a un grado Celsius son difíciles de obtener.

Aplicaciones:

- Inyección de plástico
- Procesos alimenticios
- Procesos industriales
- Equipo de empaque
- Equipos de refrigeración
- Hornos

Preguntas y Respuestas Frecuentes (FAQ): RTDs y Termopares (pdf/30/FAQ_RTDS_Termopares.pdf)

Especificaciones técnicas	
Tipo	K
Rango de temperatura	0°C ~ 1250 °C
Exactitud	± 2.2°C o ±0.75%
Diámetro del tubing	3/16
Longitud del tubing	1
Material del tubing	Acero inoxidable
Tipo de unión	Aislado
Composición química	Cromel (+), Alumel (-)
Ambiente de trabajo	Satisface atmósferas oxidantes
Aislante	
Material de la extensión	PVC
Rango de temperatura	-30°C ~ 105°C
Longitud de la extensión	2 m / 5 m
Número de hilos	2 hilos
Resistencia a la abrasión	Muy buena
Resistencia a la humedad	Muy buena
Resistencia a la producción del petróleo	Muy buena
Código de orden	
Termopar con 2 metros de aislante	LB-30102-213-21-1PLG-1-A2m-0
Termopar con 5 metros de aislante	LB-30102-213-21-1PLG-1-A5m-0

Fuente: LOGICBUS.com

ANEXO X: PLANOS DE CONSTRUCCIÓN DEL HORNO

PLANO N°	DENOMINACIÓN
01	: SISTEMA GENERAL 3D HORNO COMPLETO DE TRATAMIENTO TÉRMICO.
02	: SISTEMA ESTRUCTURAL DEL TECHO DEL HORNO.
03	: SISTEMA ESTRUCTURAL DE LAS PAREDES LATERALES DEL HORNO.
04	: SISTEMA ESTRUCTURAL DE LA PUERTA.
05	: SISTEMA ESTRUCTURAL DE LA SOLERA MÓVIL.
06	: SISTEMA DE TRASLACIÓN.
07	: LADRILLO REFRACTARIO DE SOLERA MÓVIL.
08	: SISTEMA DE AISLAMIENTO DE LA PUERTA.
09	: SISTEMA DE AISLAMIENTO DE LAS PAREDES LATERALES.
10	: SISTEMA DE AISLAMIENTO DEL TECHO.
11	: SISTEMA DE LEVANTAMIENTO DE LA PUERTA.
12	: SISTEMA DE CALENTAMIENTO DEL HORNO.
13	: TABLERO GENERAL DE CONTROL Y LLEGADA DE ENERGÍA.
14	: DESMONTAJE DEL RODETE PELTON.