TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO EFICIENTE PARA UNA OPERACIÓN Y CONTROL EFECTIVA DE UN TREN DE LAMINACIÓN EN CALIENTE DE BARRAS DE ACERO ESPECIAL CON MANDOS DIGITALES PARA UN ACABADO DIMENSIONAL DE 1/8 DE DIN

TITULACIÓN INTEGRAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTROMECÁNICO

PRESENTA:

FEDERICO MORALES HERNÁNDEZ

NOMBRE DEL ASESOR:

DR. JORGE BEDOLLA HERNÁNDEZ

APIZACO, TLAX., FEBRERO 2024

Apizaco, Tlaxcala, 25/enero/2024.

Oficio No.: MM/054/2024.

ASUNTO: **Liberación de Proyecto para Titulación Integral.**

MARTÍN ROJAS RAMÍREZ
JEFE DEL DEPTO. DE DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para Titulación integral:

Alumno:	FEDERICO MORALES HERNÁNDEZ
Carrera:	INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
No. De Control:	13370368
Nombre del Proyecto:	DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO EFICIENTE PARA UNA OPERACIÓN Y CONTROL EFECTIVA DE UN TREN DE LAMINACIÓN EN CALIENTE DE BARRAS DE ACERO ESPECIAL CON MANDOS DIGITALES PARA UN ACABADO DIMENSIONAL DE 1/8 DE DIN.
Producto:	TITULACIÓN INTEGRAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE METAL MECÁNICA

ENRIQUE ACOLTZI BAUTISTA
JEFE DEL DEPTO. DE METAL-MECÁNICA

JORGE BEDOLLA HERNÁNDEZ **ASESOR**	**MARCOS BEDOLLA HERNÁNDEZ** **REVISOR**	**EFREN SÁNCHEZ FLORES** **REVISOR**

C.p. Oficina de Titulación
C.p Departamento de Servicios Escolares
C.p. Expediente. -Jefe de proyectos de vinculación Metal-Mecánica

EAB*petry.

Apizaco, Tlax., 01/febrero/2024
No. OFICIO: DEP-CT/066/2024

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

FEDERICO MORALES HERNANDEZ
EGRESADO DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
CON NÚMERO DE CONTROL: 13370368
P R E S E N T E

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** cuyo tema es: **"DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO EFICIENTE PARA UNA OPERACIÓN Y CONTROL EFECTIVA DE UN TREN DE LAMINACIÓN EN CALIENTE DE BARRAS DE ACERO ESPECIAL CON MANDOS DIGITALES PARA UN ACABADO DIMENSIONAL DE 1/8 DE DIN"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESION

Debiendo entregar **3** empastados del mismo, apropiadamente encuadernados, a la brevedad, para presentar su acto de recepción profesional.

Sin otro particular por el momento, le envió un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
Excelencia en Educación Tecnológica
Pensar para Servir, Servir para Triunfar

MARTÍN ROJAS RAMÍREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

c.p. archivo

Agradecimientos

Antes que nada, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres: José Mauro Morales Tinoco y María Teresa Hernández Muñoz por haber confiado en mí, por darme la oportunidad de ser una mejor persona y contribuir de manera positiva a la sociedad y por todo el apoyo que siempre me han brindado y muestras de cariño y amor, me han motivado para seguir adelante.

A dios por darme lo más preciado en este mundo, vida, salud y entendimiento para razonar.

Agradezco a mi esposa e hija por todo su apoyo, su motivación, paciencia y sobre todo mi guía, por sus sabios consejos y su amplia sabiduría aprendí a desarrollarme en el ámbito profesional.

Un agradecimiento muy especial al ingeniero Isaac Ponce Dávila y al Dr. Jorge Bedolla Hernández por brindarme su apoyo con el proyecto, por transmitirme su experiencia y conocimiento, los cuales, han sido y serán de suma importancia en el ámbito personal y profesional.

Resumen

Debido a que la empresa Simec internacional cuenta con una planta minimill y esta tiene nueva maquinaria que es de procedencia extranjera y sus operaciones en esta planta son distintas a las ya conocidas por el personal de Simec internacional es necesario el diseño de un procedimiento con la finalidad de mejorar el proceso.

Este proyecto expone a detalle la operación del pulpito principal paso a paso incluyendo como cargar una tabla, hacer una tabla nueva, entendimiento de los mandos digitales que se le pueden dar al equipo para una correcta operación, entendimiento de gráficas con el torque de motores para ajuste de medida libre de tensión y empuje, fallas frecuentes y como se pueden resolver.

Se realiza un análisis en el horno marca Danieli para verificar que la temperatura en la última pared este dentro del rango de acuerdo con la configuración que actualmente tienen las paredes del horno.

Introducción

Las empresas industriales están siempre buscando la manera de aumentar su productividad al menor costo. Los últimos cien años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero en edificios, ya que combina la resistencia mecánica, capacidad de ser trabajado y disponibilidad. Algunas de las propiedades mecánicas pueden ser modificadas para ajustarse a su aplicación final que se le quiere dar al producto como en el área automotriz (flechas, engranes, transmisiones, árboles de levas, cigüeñales, muelles), siendo así es fácil comprender la importancia y el amplio uso de grados de aceros en todos los campos de la ingeniería.

Con la utilización del acero el proceso de laminación en caliente ha adquirido una gran importancia debido a que el proceso es menos costoso que algunos otros y se pueden obtener diferentes productos como cuadros, soleras, hexágonos, varillas, redondos en diferentes diámetros y grados de acero.

Actualmente en la empresa ACEROS ESPECIALES SIMEC TLAXCALA SA. SV. En el tren de laminación en caliente se fabrica barra en rollo y barra recta de diferentes medidas y grados de aceros, la maquinaria con la que se cuenta es muy compleja ya que se controla con mandos digitales desde pulpitos y el equipo acabador en barra recta es un acabador dimensional de 1/8 de DIN, DSD (DRAW SAZING DANIELI) siendo el primer laminador continuo en caliente en el mundo que cuenta con un DSD. El laminador es de marca DANIELI una empresa italiana líder en laminadores.

Es por esto que los procedimientos de operación además de ser un buen apoyo para evitar tiempos muertos, evitar demoras al departamento de operación y con esto tener mayor eficiencia de productividad; son una parte fundamental dentro de la documentación necesaria para el correcto funcionamiento de una línea de producción. Por lo que es de suma importancia tener la documentación correspondiente como apoyo para el trabajador y con esto pueda realizar un buen manejo del equipo.

El presente proyecto describe un análisis en las paredes del horno de acuerdo a sus zonas (precalentamiento, calentamiento y empape) y si la configuración de los refractarios cumple con la temperatura requerida teóricamente y físicamente tomando medidas con un pirómetro, además se describe el procedimiento paso a paso de la correcta operación en el pulpito principal cargando tablas, generando tablas nuevas que estén dentro de los rangos del DSD, operando un intermedio que cuenta con 6 molinos y un DSD con 4, explicando para que sirve cada uno de los parámetros y que puede causar que se coloque un parámetro erróneo, entendimiento y ajuste de medida con gráficas y valores que representan torque. Este proyecto se divide en seis capítulos, capítulo 1 se dan a conocer las generalidades del proyecto, en el capítulo 2 se describe el giro de la empresa SIMEC INTERNACIONAL S.A de C.V., en el capítulo 3 se encuentra la parte teórica utilizada para la elaboración de este proyecto, en cuanto al 4 capítulo se muestran a detalle todos los pasos realizados para la elaboración de este proyecto, en el 5 capítulo se darán a conocer los resultados de este proyecto; y por último en el capítulo seis se darán las conclusiones, competencias desarrolladas, fuentes de información, anexos.

Índice

Agradecimientos 4
Resumen 5
Introducción 6
CAPÍTULO I 15
1.1.- Área donde se desarrollará el proyecto 16
1.2.- Objetivo del proyecto 16
1.3.- Objetivos específicos 16
1.4.- Alcance 16
1.5.- Delimitación 17
1.6.- Justificación 17
CAPÍTULO II 18
2.1.- Información sobre la empresa, organismo o dependencia para la que se desarrollara el proyecto 19
2.2.- Misión y visión 20
2.2.1.- Misión 20
2.2.2.- Visión 21
2.3.- Valores 21
2.4.- Ubicación de las plantas 21
2.5.- Dirección y contacto 22
2.6.- Giro 22
2.7.- Lay out 23
2.8.- Diagrama de flujo 24
CAPÍTULO III 26
3.1.- Marco teórico 27
3.2.- Calor 27
3.3.- Transferencia de calor 27
3.4.- Convección 27
3.5.- Conducción 28
3.6.- Radiación 30

3.7.- Conductividad térmica 30
3.8.- Balance de energía para sistemas de flujo estacionario 30
3.9.- Laminación 31
CAPÍTULO IV 33
4.1.- Desarrollo 34
4.2.- Cálculo de calor necesario para calentar un Bloom 34
4.3.- Cálculo de pérdidas de Calor por paredes en el horno de calentamiento 35
4.3.1.- Pared de horno zona 1 y 2 (precalentamiento). 36
4.3.2.- Pared de horno zona 3 y 4 (calentamiento). 41
4.3.3.-Pared de horno zona 5, 6 y 7 (empape) 47
4.4.- Temperaturas de las diferentes zonas 53
4.5.- Draw sizing danieli (DSD) 54
4.5.1.- Grupo de mando para estante de 2 anillos 55
4.5.2.- Grupo de mando para estante de 4 anillos 56
4.5.3.- Grupo barrón porta-guía 57
4.5.4.- Carros de cambio rápido 57
4.5.5.- Camino de rodillos de entrada y salida 58
4.5.6.- Camino de rodillos de By pass 59
4.6.- Descripción de pestañas de configuración y taller 60
4.6.1.- Configuración 61
4.6.2.- Configuración de parámetros 62
4.6.3.- Área de preparación 62
4.6.4.- Gestión de tabla 63
4.6.5.- Taller 63
4.7.- Descripción de parámetros de rolling mill 64
4.7.1.- Tendencias 65
4.7.2.- Ubicación 65
4.7.3.- Mandos 66
4.7.4.- Unidad hidráulica 66
4.7.5.- Unidad de lubricación 67

4.7.6.- Unidad aire/aceite 68
4.7.7.- Unidad grasa 69
4.7.8.- Compensación de desgaste 69
4.7.9.- Confirmación de gap 70
4.8.- Selección de producto 71
4.9.- Cargar en línea datos de taller en TWS 72
4.10.- Preparación de tabla ya existente en TWS. 73
4.10.1.- Actualización de diámetros de intermedio y DSD en tabla laminador. 74
4.11.- Crear tabla para un producto nuevo 75
4.11.1.- Confirmación de luz 78
4.11.2.- Posicionamiento de gap 78
4.12.- Arranque de equipo 79
4.13.- Ajuste de medida 85
CAPÍTULO V 91
5.1.- Resultados 92
5.1.1.- Resultados de mediciones con el calibrador de procesos 92
5.1.2.- Zona 1 del horno. 92
5.1.3.- Zona 2 del horno. 93
5.1.4.- Zona 3 del horno 95
5.1.5.- Zona 4 del horno 96
5.1.6.- Zona 5 del horno 98
5.1.7.- Zona 6 del horno 99
5.1.8.- Zona 7 del horno 100
5.2.- Resultados del manual de procedimiento. 102
CAPÍTULO VI 106
6.1.- Conclusión 107
6.2.-Anexos 108
6.2.1.- Cálculos con la configuración que tiene actualmente las paredes del horno 108
6.2.2.- Pared de horno zona 1 y 2 (precalentamiento). 108
6.2.3.- Pared de horno zona 3 y 4 (calentamiento). 116

6.2.4.- Pared de horno zona 5, 6 y 7 (empape) 124
6.3.- Propuesta de nueva configuración en las paredes del horno. 132
6.3.1.- Pared de horno zona 1 y 2 (precalentamiento). 132
6.3.2.- Pared de horno zona 3 y 4 (calentamiento). 140
6.3.3.- Pared de horno zona 5, 6 y 7 (empape) 148
6.4.- Competencias desarrolladas 156
6.5.- Fuentes de información 156
6.6.- Definiciones 157

Índice de imágenes

Imagen 1: *Atorón por tensión y empuje* 32
Imagen 2: *Ángulo de Toma* 32
Imagen 3: Pared del horno zona 1 y 2. 36
Imagen 4: Medidas del ancho de cada refractario. 36
Imagen 5: Se observa cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos. 38
Imagen 6: Circuito térmico 39
Imagen 7: Temperatura número 6 medida con pirómetro. 41
Imagen 8: Pared de la zona 3 y 4. 42
Imagen 9: Ancho de los refractarios. 42
Imagen 10: Se muestran cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos en la pared de la zona 3 y 4. 44
Imagen 11: Circuito térmico de la zona 3 y 4. 45
Imagen 12: Temperatura número 6 medida con un pirómetro. 47
Imagen 13: Pared de la zona 5, 6 y 7. 48
Imagen 14: Temperatura interior y exterior y medidas del ancho de los refractarios zona 5, 6 y 7. 48
Imagen 15: Se muestran cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades se tienen en la pared de la zona 5, 6 y 7. 50
Imagen 16: Circuito térmico de la zona 5, 6 y 7. 50
Imagen 17: Temperatura número 6 de la pared de la zona 5, 6 y 7 medida con un pirómetro. 53
Imagen 18: Composición del DSD 55
Imagen 19: Carros de cambio rápidos 58
Imagen 20: Camino de rodillos entrada y salida 59
Imagen 21: Camino de rodillos de by pass 60
Imagen 22: Página principal TWS, pestañas configuración y taller 60
Imagen 23: *Configuración* 61
Imagen 24: *Parámetros de tabla configuración* 61

Imagen 25: *Pestañas del equipo organizadas del tren de laminación* 62
Imagen 26: *Área de preparación* 63
Imagen 27: *Pestañas de gestión de tabla* 63
Imagen 28:*Tablas existentes de taller* 64
Imagen 29: *Pestañas de tren laminador* 64
Imagen 30: *Torques de los estantes del intermedio* 65
Imagen 31: *Ubicación y control local en áreas del tren de laminación* 66
Imagen 32: *Áreas divididas y control para el arranque de los equipos* 66
Imagen 33: *Diagrama de unidad hidráulica* 67
Imagen 34: Unidad de lubricación RM 68
Imagen 35: Unidad aire aceite RM 68
Imagen 36: Unidad de grasa 69
Imagen 37: Tabla para ajuste de gaps de estantes de DSD y guías 70
Imagen 38: Tabla para la confirmación del gap que manda taller de guías y rodillos 70
Imagen 39: Programa de producción del laminador planta 2 71
Imagen 40: HMI del pulpito principal (TWS) 72
Imagen 41: Parámetros de control de barra para la medida de 6 pulgadas. 72
Imagen 42: Cedula de armado 73
Imagen 43: Pestaña donde se encuentran las tablas existentes 74
Imagen 44: Tabla donde se tienen que llenar los parámetros para crear una nueva tabla 75
Imagen 45: Pestaña para generar un nuevo modelo. 76
Imagen 46: Árbol de laminación para barra 76
Imagen 47: Tabla modelo 77
Imagen 48: Se observan los valores del modelo generado 77
Imagen 49: Confirmación de luz 78
Imagen 50: Tabla para posicionar gaps del DSD, guías y ajustar según la medida. 79
Imagen 51: Unidad hidráulica SHS arranque 79
Imagen 52: Unidad de lubricación SHS arranque 80
Imagen 53: Unidad aire aceite SHS arranque 80
Imagen 54: Unidad de grasa SHS arranque 81
Imagen 55: Bombas sumergibles de sótano DSD 81
Imagen 56: Pestaña para encender los DC-LINCK 82
Imagen 57: Pestaña comandos para encender por área el drive del motor 83
Imagen 58: Pestaña para girar motores 83
Imagen 59: Semáforo 84
Imagen 60: Listado de alarmas activas y solucionadas 84
Imagen 61: Prueba fantasma 85
Imagen 62: Torques de motores del SHS 86
Imagen 63: Atorón 86
Imagen 64: Tensión y empuje en SHS 87

Imagen 65: Tensión y empuje en SHS 87
Imagen 66: Torques de SHS sin tensión ni empuje 88
Imagen 67: Torques del DSD con tensión y empuje 89
Imagen 68: Torques del DSD con empuje 89
Imagen 69: Torques del DSD ajustado sin empuje ni tensión 90
Imagen 70: Hi-profile 90
Imagen 71: HMI del horno zona 1 92
Imagen 72: Temperaturas del termopar 1 y 2 medidas con un calibrador de procesos. 93
Imagen 73: Diagrama eléctrico identificando termopar 1 y 2 de la zona 1. 93
Imagen 74: HMI del horno zona 2 94
Imagen 75: Temperatura del termopar 1 y 2 de la zona 2 medida con un calibrador de procesos. 94
Imagen 76: Diagrama eléctrico de la zona 2 identificando termopar 1 y 2 95
Imagen 77: HMI del horno zona 3 95
Imagen 78: Temperaturas del termopar 1 y 2 de la zona 3 medidos con un calibrador de procesos. 96
Imagen 79: Diagrama eléctrico de la zona 3 identificando los termopares 1 y 2. 96
Imagen 80: HMI del horno zona 4 97
Imagen 81: Temperaturas del termopar 1 y 2 de la zona 4 medidas con un calibrador de procesos. 97
Imagen 82: Diagrama eléctrico de la zona 4 identificando los termopares 1 y 2. 98
Imagen 83: HMI del horno zona 5 98
Imagen 84: Diagrama eléctrico de la zona 5 identificando los termopares 1 y 2. 99
Imagen 85: HMI del horno zona 6 99
Imagen 86: Temperaturas del termopar 1 y 2 de la zona 6 medidas con un calibrador de procesos. 100
Imagen 87: Diagrama eléctrico de la zona 6 identificando los termopares 1 y 2. 100
Imagen 88: HMI del horno zona 7 101
Imagen 89: Temperaturas del termopar 1 y 2 de la zona 7. 101
Imagen 90: Diagrama eléctrico de la zona 7 identificando los termopares 1 y 2. 102
Imagen 91: Demoras en ajuste de medida 103
Imagen 92: Demoras en ajuste de medida 103
Imagen 93: Demoras en ajuste de medida 104
Imagen 94: Producto no conforme 104
Imagen 95: Menor demora en ajuste 105
Imagen 96: Material conforme 105
Imagen 97: Pared del horno zona 1 y 2. 108
Imagen 98: Medidas del ancho de cada refractario. 109
Imagen 99: Se observa cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos. . 110
Imagen 100: Circuito térmico 111
Imagen 101: Pared de la zona 3 y 4. 116
Imagen 102: Ancho de los refractarios. 117
Imagen 103: Se muestran cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos en la pared de la zona 3 y 4. 118

Imagen 104: Circuito térmico..... 119
Imagen 105: Pared de la zona 5, 6 y 7 124
Imagen 106: Espesor de los refractarios..... 125
Imagen 107: Se muestran cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos en la pared de la zona 5, 6 y 7. 126
Imagen 108: Circuito térmico zona 5, 6 y 7. 127
Imagen 109: Pared de la zona de precalentamiento. 132
Imagen 110: Espesor de los refractarios. 133
Imagen 111: Conductividades térmicas y temperaturas que influyen en la transferencia de calor en la pared de la zona de precalentamiento. 134
Imagen 112: Circuito térmico de la pared de precalentamiento. 135
Imagen 113: Pared de la zona de calentamiento. 140
Imagen 114: Espesor de los refractarios..... 141
Imagen 115: Conductividades térmicas y temperaturas que influyen en la transferencia de calor en la pared de la zona de calentamiento. 142
Imagen 116: Circuito térmico..... 143
Imagen 117: Pared de la zona de empape. 148
Imagen 118: Espesores de los refractarios de la pared de la zona de empape. 149
Imagen 119: Conductividades térmicas y temperaturas que influyen en la transferencia de calor en la pared de la zona de empape. 150
Imagen 120: Circuito térmico de la pared de la zona de empape. 151

Índice de tablas

Tabla 1: Temperaturas obtenidas con el calibrador de procesos y el HMI del horno. 54

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.- Área donde se desarrollará el proyecto

El presente proyecto se desarrolló realizando las actividades de ingeniero de procesos como apoyo al departamento de operación del área de laminación planta 2 en la empresa SIMEC INTERNATIONAL S.A de C.V.

Este departamento se encarga de diversas actividades que son: el inventario de material a laminar, manejo de las operaciones de la maquinaria, el control de actividades del personal del tren laminador, realizar las pruebas del equipo, producir en base al programa de producción.

1.2.- Objetivo del proyecto

Establecer los pasos y lineamientos necesarios dentro del procedimiento de trabajo que pueda seguir personal que trabaja en ACEROS ESPECIALES SIMEC TLAXCALA SA. SV. mecánicos, eléctricos, operadores, supervisores de operación laminadores de manera eficiente, garantizando una operación efectiva con la finalidad de que supervisores de laminación, operadores y laminadores puedan entender los mandos digitales que se tiene que dar a maquinaria para poder laminar; mecánicos y eléctricos puedan dar mantenimiento a equipos sin necesidad que tenga que estar el operador de pulpito principal.

1.3.- Objetivos específicos

1) Disminuir daños en maquinaria
2) Menos reclamaciones internas y externas
3) Disminuir tiempos muertos
4) Buena operación de maquinaria
5) Aumentar la productividad
6) Disminuir tiempo para ajuste de medida

1.4.- Alcance

El presente proyecto está dirigido a todo el personal que está relacionado con la maquinaria del tren de laminación en caliente que se opera dentro del pulpito principal

con la finalidad de que al aplicar este procedimiento se asegura la correcta puesta en marcha y mantenimiento sin poner en riesgo la vida de personal y sin dañar el equipo.

1.5.- Delimitación

Documentar el procedimiento para la operación del tren de laminación SHS Y DSD desde el pulpito principal.

1.6.- Justificación

El presente proyecto se elabora debido a la mala operación que se tiene debido a que la capacitación inicial fue realizada solo de manera practica por personal técnico del fabricante del equipo ocasionando con el pasar de los años perdida de dinero con atorones, rodillos rotos, tiempos muertos, equipo dañado, excesivo rechazo, reclamaciones de cliente y falta de mantenimiento en equipos que solo los mecánicos y eléctricos pueden dar con la ayuda de personal que tiene conocimiento en la operación del pulpito principal. Por este motivo se necesita un procedimiento establecido para la correcta operación del pulpito principal basada en la experiencia adquirida por el operador.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES DE LA EMPRESA

2.1.- Información sobre la empresa, organismo o dependencia para la que se desarrollara el proyecto

Las operaciones de Grupo Simec en el campo del acero se iniciaron en 1969 cuando un grupo de familias jaliscienses formaron la Compañía Siderúrgica de Guadalajara, S.A. de C.V. En 1990 Compañía Siderúrgica de Guadalajara, S.A. de C.V. consolidó sus operaciones industriales en una empresa independiente: Grupo Simec, cuya principal área de negocio es el acero.

En 1993 se incrementó la capacidad de producción al iniciarse las operaciones de Compañía Siderúrgica de California, S.A. de C.V. en la ciudad de Mexicali, B.C. Hoy en día, Grupo Simec es el mayor productor mexicano de perfiles estructurales de acero. Los productos de Grupo Simec están dirigidos a las industrias de la construcción, aeroespacial, minera, naval, del transporte y automotriz.

En 2004, Simec adquirió los activos en México de Grupo Sidenor: dos plantas ubicadas en Apizaco, Tlaxcala, y Cholula, Puebla, dedicadas a la fabricación de aceros especiales, perfiles comerciales y varilla. Con esta operación, se incrementaron en forma significativa la capacidad instalada y las ventas, y consolidó su posición líder como fabricante de aceros especiales en México.

En 2008, Simec adquiere Corporación Aceros DM, S.A. de C.V. y ciertas afiliadas (Grupo San), productor de aceros largos y uno de los productores de varilla corrugada más importantes de la República Mexicana, ubicado en San Luis Potosí. Con ello, ICH y Simec se posicionan como el segundo productor de varilla dentro del país y como el principal productor mexicano de acero.

En 2011, Republic adquirió los activos de Bluff City (BCS Industries), los cuales constan de plantas para tratamiento térmico y estirado en frío de barras de acero, ubicadas en Cleveland, Ohio, y Memphis, Tennessee, en Estados Unidos. Con dicha adquisición, Republic aumenta y complementa su capacidad de producción para aceros especiales (SBQ, por sus siglas en inglés), proporcionando mayor valor agregado.

En términos de su capacidad de producción y por su volumen de embarques y ventas netas, Grupo SIMEC ha sido una de las compañías siderúrgicas mexicanas con mayor crecimiento en los últimos años. Hoy por hoy, continúa encaminando sus esfuerzos a mejorar su posición líder como productora y procesadora de aceros especiales y de productos de aceros comerciales, además de identificar las oportunidades que le permitan mejorar su posición en el mercado de América y seguir diversificando su línea de productos.

SIMEC ha buscado tener un perfil financiero conservador, reinvirtiendo el 100% de sus utilidades en proyectos relacionados a la industria siderúrgica, de bajo endeudamiento y de expansión agresiva, que le confiere a la compañía una sana situación financiera y sólida posición. Desde el año 2001 a la fecha ha adquirido empresas que han logrado posicionarla como líder productor de aceros especiales en México y Estados Unidos, así como en los ramos de perfiles comerciales.

La proximidad de sus plantas a sus clientes y a la materia prima, permite a SIMEC y a sus clientes reducir considerablemente los costos de distribución.

Como consecuencia de su liquidez, así como los volúmenes y las compras centralizadas, SIMEC puede adquirir la materia prima en condiciones favorables.

A diferencia de la mayoría de sus competidores, tanto nacionales como internacionales, SIMEC no cuenta con pasivos históricos significativos, incluyendo planes o fondos de pensiones para la jubilación de empleados o contingencias ambientales relacionadas con plantas fuera de uso.

Con la globalización actual, el mercado se ha vuelto altamente competitivo, por lo que SIMEC sigue una política de ubicarse en nichos de alto valor agregado con inversiones en nuevas líneas de productos.

2.2.- Misión y visión

2.2.1.- Misión

Satisfacer en forma rentable, confiable y permanente, las necesidades de productos de aceros largos, tomando ventaja de nuestra localización geográfica y aprovechando las oportunidades que presenta el sector.

2.2.2.- Visión

Ser la compañía líder en la fabricación y ventas de productos siderúrgicos en América y una referencia del mercado a nivel global con la mejor calidad.

2.3.- Valores

• Esfuerzo

• Orden

• Honestidad

• Austeridad

2.4.- Ubicación de las plantas

Los procesos de Grupo SIMEC están enfocadas a atender tanto el mercado doméstico como el de exportación, y para tal efecto cuenta con una ventaja competitiva que le otorga la ubicación estratégica de sus 12 plantas de producción y procesamiento de acero, así como cuatro procesadoras de chatarra en el país, más ocho plantas en Estados Unidos y Canadá, ubicadas cerca de las fuentes de materia prima y de los mercados que atienden.

Ubicaciones de plantas en México Guadalajara, Jalisco Grupo Simec, acería dedicada a fabricar perfiles estructurales, perfiles comerciales y aceros especiales (Compañía Siderúrgica de Guadalajara).

Grupo Simec, dos acerías (Aceros San Luis y Aceros DM) y una planta procesadora (Malla San) productoras de aceros largos y uno de los productores de varilla corrugada más importantes del país. También hay una planta procesadora de chatarra (Abastecedora Siderúrgica).

Apizaco, Tlaxcala

Grupo Simec, acería dedicada a la fabricación de aceros especiales, barra, alambrón comercial.

Apizaco, Tlaxcala

Planta de Grupo Simec (principal subsidiaria de ICH), dedicada a la fabricación de aceros especiales, varilla y perfiles comerciales. Esta planta cuenta con hornos de fundición y trenes de laminación para barras. Fabrica barra redonda laminada en caliente, hexágono laminado en caliente, barra cuadrada laminada en caliente, solera muelle, redondo comercial, solera comercial y rollo. Capacidad instalada de producción: 500,000 toneladas de acero líquido y 450,000 toneladas de laminación.

2.5.- Dirección y contacto

Carretera-Federal-México-Texcoco-Veracruz-km_123,

Col.San_Cosme_Xalostoc,

C.P._90460,

Apizaco Tlaxcala.

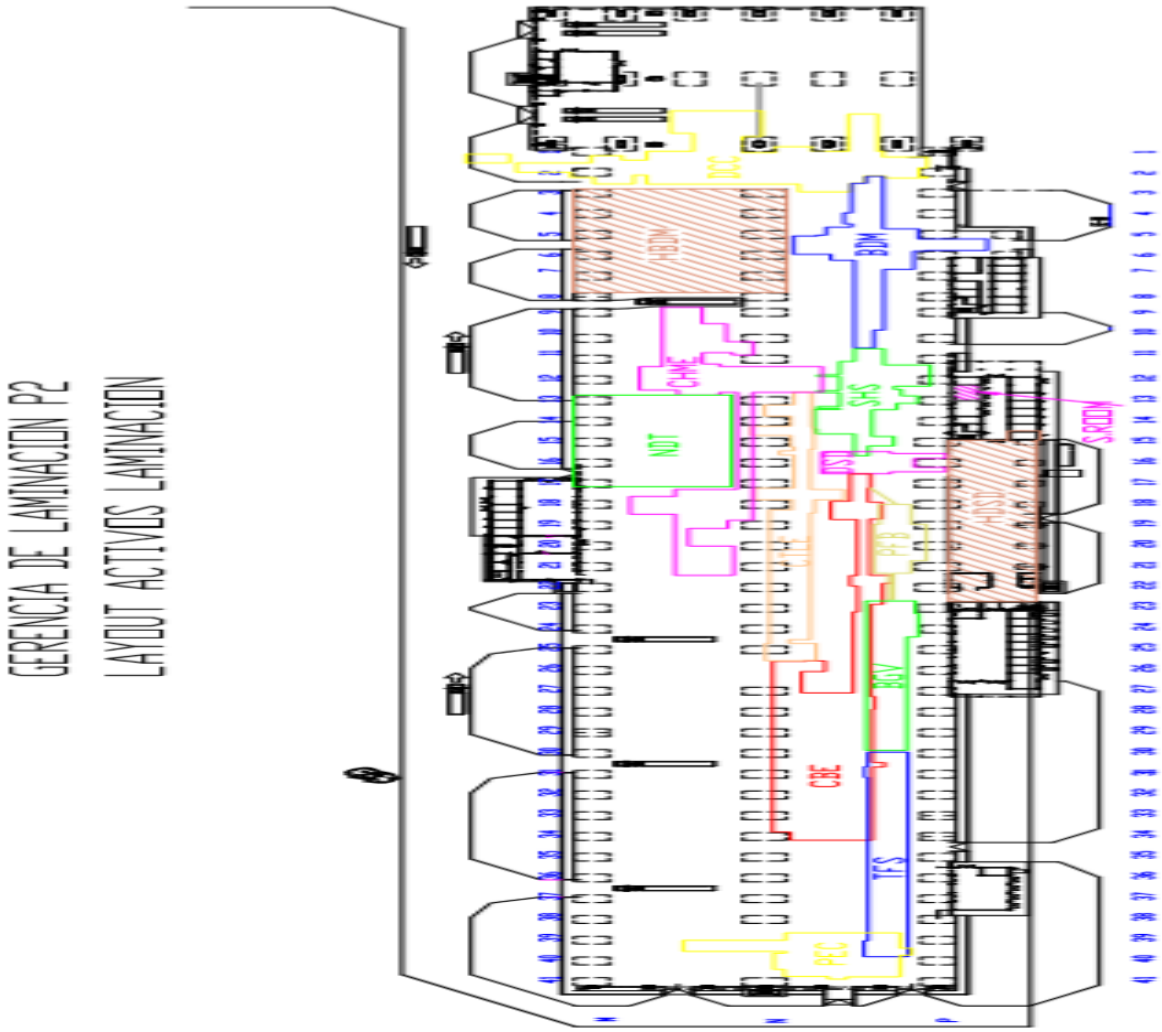
Tel.018006678219,

2.6.- Giro

Metalúrgico

2.7.- Lay out

El siguiente lay-out es una representación gráfica de la distribución de planta e infraestructura con un proceso de laminación muy estandarizado.



2.8.- Diagrama de flujo

El diagrama de flujo muestra el proceso productivo general del proceso laminación.

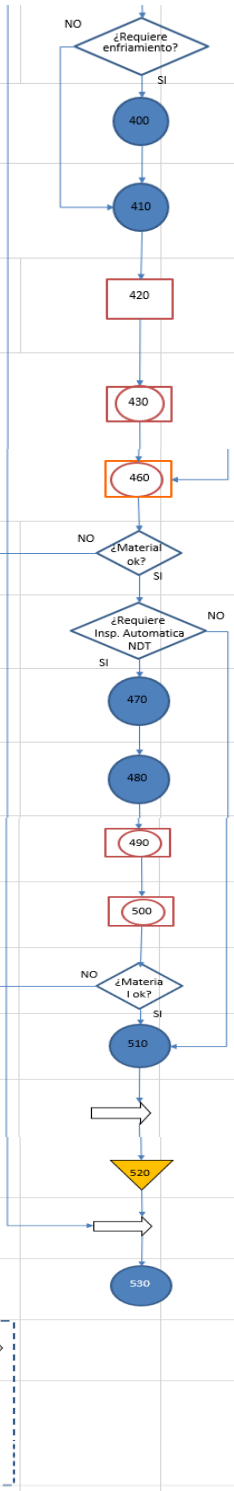
SIMEC INTERNATIONAL

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO E INSPECCIÓN (FLOW PROCESS AND INSPECTION CHART)

Nombre del Proceso (Process Name):	Laminación (Rolling) P2	**Fecha de emisión (Issue Date):**	16/10/2018
Nombre de la organización (Supplier Name):	SIMEC International, S. A. de C.V.	**Nombre de la Parte (Part Name):**	Al ser enviada al cliente
Localidad del proveedor (Supplier Location):	Km. 123 Carr. Fed. Méx-Tex-Ver S/N Int. B San Cosme Xalostoc, Tlaxcala. México C.P. 90460	**Numero de Parte (Part Number):**	Al ser enviada al cliente

Cliente	Al ser enviada al cliente	Responsabilidad del proceso:	**Nezahualcoyotl Meneses**	Identificacion del proceso	Diagrama de flujo de Laminación (Rolling) P2		
		Nivel:	A	Preparado por	Dante Mora C.		
		Acero	(al ser enviado a Cliente)	Fecha (Original)	01/10/2018	Fecha (Revisada)	01/10/2018

Nùmero de operación / Breve Descripciòn	Fuentes de variaciòn de entrada	Diagrama de flujo del proceso	Caracteristicas del producto (Entregables)	Caracteristicas del proceso
Recibir Bloom	Cantidad de piezas	300	Longitud, secciòn, grado de acero,nùmero de piezas.	N/A
Transporte de almacen de aceria a almacen de laminación				
Alotar Bloom en almacen de Blooms Laminación	Número de piezas	310	Separación Por colada y Grado de Acero.	N/A
Transporte de almacen de palanquillas a parrilla de carga	Grúa			
		NO Para Laminado? SI		
Cargar Bloom a la parrilla de carga	Identificación	320	N/A	Operación de Parrilla de Carga de Vigas Galopantes.
Cargar Bloom a la parrilla de carga	Identificación	320	N/A	Operación de Parrilla de Carga de Vigas Galopantes.
Alimentar bloom al horno de recalentamiento	Identificación	330	Identifiaciòn legible en cara de Bloom	Validar Job en Nivel2
Calentar Blooms en horno de recalentamiento	Temperatura	340	N/A	Temperatura por grados de acero.
		SI Material sacado en mesa de emergencia? NO		
Desescamador	Presiòn del desescamador	350	Incrustaciòn de cascarilla confrome a NI	Presión del descamador



Utilizar caja de agua	Temperatura		Propiedades mecànicas conforme a NI	Presión y flujo de agua
Cama de enfriamiento	Número de espacios entre OF, Coladas y cambios de medida		Material por Orden de Fabricación	Seguimiento Trackin conforme a Nivel 2
Inspeccionar en proceso la calidad dimensional de barras	LSC/LIC		Conforme a NI	Mediciòn Laser
Inspeccionar en proceso la calidad superficial y dimensional de barras	Instrumentos de medición/ Inspector Proceso		Calidad superficial, dimensional conforme a NI	Instrumentos de mediciòn (vernier, micrometro)
Cortar barras	Longitud de corte		Calidad y Longitud de corte según NI	Velocidad de corte, flexometro, Inspector proceso
Piedras esmeril	Velocidad de la piedra e identificación		Conforme a NI	Matar filo en barras
Identificar barras automaticamente	Informaciòn nivel 2		Conforme a NI	CalibraciÒn de la pistola
Inspeccionar material por NDT	Defectos Internos y superficiales		Conforme a NI	Equipos de Inspección
Inspeccion por Calidad	Calibraciòn de Equipos		Producto liberado Conforme a NI	Equipos de laboratorio calibrados
Identificar Paquete	Datos en Etiqueta (Data in the Tag)		Paquete identificado conforme a N.I.	Programa de producción
Transporte a almacen de PT	Grùa			
Almacenar paquetes en APT	Grados de aceros		Barra laminada en caliente conforme a NI	Forma de estibamiento en base a instructivo
Transporte a camiòn				
Embarques	Orden embarque		Número de paquetes de acuerdo a orden de embarque	Embarcar en base a orden de embarque
Transporte	Grùa / Camiòn			
Alotar Material No Conforme	Número de paquetes		Material Identificado	Material Alotado en Patio MNC. En espera de destino final.
Transporte a camiòn				

Simbologia

Símbolo	Significado
	Operación
	Inspección
	Transporte
	Operación/ Inspección
	Almacén
	Característica crítica

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO				

Simbologia basada en el manual de AMEF 4a Edición

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1.- Marco teórico

En este capítulo se dan a conocer diferentes temas muy importantes para el entendimiento del proceso de laminación que se tiene en la empresa donde se realizara el proyecto, la mirada central en este capítulo está en conceptos básicos de transferencia de calor, laminación y análisis del equipo.

3.2.- Calor

Es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esa transferencia es la transferencia de calor

3.3.- Transferencia de calor

El requisito básico para la transferencia de calor es la presencia de una diferencia de temperatura. No puede haber transferencia neta de calor entre dos medios que están a la misma temperatura. La diferencia de temperatura es la fuerza impulsora para la transferencia de calor.

La velocidad de la transferencia de calor en cierta dirección depende de la magnitud del gradiente de temperatura (la diferencia de temperatura por unidad de longitud o la razón de cambio de la temperatura en esa dirección). A mayor gradiente de temperatura, mayor es la razón de la transferencia de calor.

3.4.- Convección

La convección es el modo de transferencia de calor entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento, y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia.

La convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido.

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como

$$\boldsymbol{Q_{cov} = hAs(T_s - T_\infty)}$$

en donde

h= es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en W/m2 · °C o Btu/h·ft2 · °F,

As= es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección

Ts= es la temperatura de la superficie

T= es la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

El coeficiente de transferencia de calor por convección h no es una propiedad del fluido. Es un parámetro que se determina en forma experimental y cuyo valor depende de todas las variables que influyen sobre la convección, como la configuración geométrica de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, las propiedades de éste y la velocidad masiva del mismo.

3.5.- Conducción

La conducción es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones

entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En los gases y líquidos la conducción se debe a las colisiones y a la difusión de las moléculas durante su movimiento aleatorio. En los sólidos se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas en una retícula y al transporte de energía por parte de los electrones libres.

Los experimentos han demostrado que la razón de la transferencia de calor (Q), a través de la pared se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura ΔT de uno a otro lado de ella, o bien, se duplica el área A perpendicular a la dirección de la transferencia de calor; pero se reduce a la mitad cuando se duplica el espesor L de la pared. Por tanto, se concluye que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir,

Razón de conducción de calor $\propto = \frac{(Area)(Diferencia\ de\ temperatura}{Espesor}$

o bien,

$$Q_{cond} = kA\frac{T_1 - T_2}{\Delta T} = -KA\frac{\Delta T}{\Delta X}$$

en donde la constante de proporcionalidad **k** es la conductividad térmica del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso límite de $\Delta X \rightarrow \mathbf{0}$, la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial

$$Q_{cond} = -KA\frac{dT}{dX}$$

la cual se llama ley de Fourier de la conducción del calor, en honor de J. Fourier, quien la expresó por primera vez en su texto sobre transferencia de calor en 1822. Aquí**,** $\frac{dT}{dX}$ es el gradiente de temperatura, el cual es la pendiente de la curva de temperatura en un diagrama **T-x** (la razón de cambio de T con respecto a x), en la ubicación x. La relación

antes dada indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección.

3.6.- Radiación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interventor. De hecho, la transferencia de calor por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en un vacío. Ésta es la manera en la que la energía del Sol llega a la Tierra.

3.7.- Conductividad térmica

Se ha visto que los diferentes materiales almacenan calor en forma diferente y se ha definido la propiedad de calor específico **Cp** como una medida de la capacidad de un material para almacenar energía térmica.

La conductividad térmica **k** es una medida de la capacidad de un material para conducir calor, un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor del calor y un valor bajo indica que es un mal conductor o que es un aislante.

3.8.- Balance de energía para sistemas de flujo estacionario

Un gran número de aparatos de ingeniería, como los calentadores de agua y los radiadores de los automóviles, implica flujo de masa, hacia adentro y hacia afuera de un sistema, y se consideran como volúmenes de control. La mayor parte de los volúmenes de control se analizan en condiciones estacionarias de operación. El término estacionario significa ningún cambio con el tiempo en una ubicación específica. Lo opuesto a estacionario es no estacionario o transitorio. Asimismo, el término uniforme implica ningún cambio con la posición en toda una superficie o región en un tiempo específico. Estos significados son coherentes con su uso cotidiano [novia estable (estacionaria), distribución uniforme, etcétera]. El contenido total de energía de un volumen de control durante un proceso de flujo estacionario permanece constante (E_{VC}= constante). Es decir,

el cambio en la energía total del volumen de control durante un proceso de este tipo es cero ($\Delta E_{VC} = 0$). Por tanto, la cantidad de energía que entra en un volumen de control en todas las formas (calor, trabajo, transferencia de masa) para un proceso de flujo estacionario debe ser igual a la cantidad de energía que sale de él.

3.9.- Laminación

La laminación es un proceso metalúrgico en el que la sección de una barra se reduce en pasos sucesivos. En su forma más elemental, un laminador está constituido por dos o más cilindros que giran en sentidos contrarios entre sí. La distancia entre las superficies cilíndricas enfrentadas es siempre menor que el espesor inicial del Bloom, por lo que éste, al pasar entre los dos cilindros se aplasta y se alarga proporcionalmente a la reducción de sección.

En la actualidad la mayor parte de los trenes de laminación son continuos, es decir el caudal de hierro que atraviesa cada una de las cajas de laminación debe ser constante de la misma manera que una corriente de agua se desplaza por una tubería cuya sección va reduciéndose paulatinamente.

El control de velocidad es muy importante porque si esta aumentara, en una determinada caja del tren respecto de las demás, se formaría un bucle en la siguiente pasada y, al contrario, si disminuyera, aparecería un tiro que estiraría la barra. (Véase imagen 1).

Presión: Es el término empleado para expresar la reducción de sección del material únicamente como diferencia de alturas entre la sección de entrada y la de salida a la pasada de laminación. Ángulo de contacto o de toma: El ángulo de contacto es el generado por el primer punto de contacto con el cilindro y el eje de centros de cilindros (eje de la pasada), es una función directa de la presión y del diámetro de los cilindros y debe mantenerse por debajo de los 30º con un valor normal de aproximadamente 22º para que no se produzcan incidentes de laminación. En la imagen 1, se observa un atorón en intermedio que fue ocasionado por exceso de tensión y empuje en la barra por lo que al liberar la tensión provoco una onda entre los estantes que el operador no pudo ajustar.

Imagen 1: *Atorón por tensión y empuje*

En la imagen número 2, se muestra el ángulo de toma, el Ángulo de toma es el formado por el punto de contacto de la barra de entrada con el cilindro y el eje de centros de cilindros. Se considera 30º como el máximo, y 22º como el valor normal y el Arco de Contacto es el formado por la barra sobre el cilindro desde el punto de toma al eje del canal.

Imagen 2: *Ángulo de Toma*

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

4.1.- Desarrollo

En base al problema con el ajuste de medida consideramos un problema importante el calentamiento de los blooms en el horno ya que en el hi-profile cuando pasa una barra del lado A y B hay diferencia de temperaturas considerable ocasionando que la medida se comporte diferente.

La temperatura del horno en las zonas que lo componen es diferente por lo que se van a analizar si las temperaturas que marcan en el HMI del horno coinciden con la real o si existe una pérdida de calor considerable en las paredes del horno, así que se toma en cuenta la transferencia de calor por conducción y convección en un sistema estacionario.

4.2.- Cálculo de calor necesario para calentar un Bloom

Para este cálculo es necesario tener los siguientes datos:

• Material: Acero 1045

• Masa del Bloom: 2500 Kg

• Calor especifico del acero: 0.109 kcal/Kg °C

• Temperatura inicial: 84°C (357.15°K)

• Temperatura final: 1250°C (1523.15° K)

El calor sensible de los blooms se evalúa en función de la ecuación:

$$\mathbf{Q_C = (m)(cp)(AT°)}$$

Donde:

•Q_C: Calor necesario para el calentamiento del Bloom.

• m: masa del Bloom

• Cp: Calor especifico del acero

• ΔT°: Diferencia de temperaturas cuando entra el Bloom al horno y a la que se quiere llegar para su laminación.

Sustituimos valores.

$$Q_c = (2500\ \text{Kg})(0.109\frac{\text{kcal}}{\text{kg °C}})(1250°\text{C} - 84°\text{C})$$

$$Q_c = 317{,}735\ \text{Kcal.}$$

317735 kcal es el calor que debe recibir un Bloom para calentarse desde 84°C hasta 1250°C, para las condiciones de trabajo del horno de la empresa simec.

4.3.- Cálculo de pérdidas de Calor por paredes en el horno de calentamiento

El horno de calentamiento marca Danieli está conformado por 7 zonas, la zona 1 y 2 forman la zona de precalentamiento, la zona 3 y 4 forman la zona de calentamiento y por último las zonas 5, 6 y 7 la de empape.

Zona de precalentamiento: Esta zona sirve para empezar a calentar el Bloom y llevarlo de 84°C a 1100°C.

Zona de calentamiento: Esta zona sirve para calentar uniformemente al Bloom y aumentar su temperatura de 1100°C a 1180°C.

Zona de empape: Esta zona se encarga de calentar el Bloom hasta el núcleo y llevarlo de 1180°C a 1250°C que es a la temperatura de cristalización del material donde ya se puede laminar el acero.

En cada una de las zonas de precalentamiento, calentamiento y empape se presentan perdidas diferentes, puesto que todas son de longitudes diferentes, las pérdidas de calor en cada una de las zonas dependerán de muchos factores y medidas las cuales se muestran a continuación y para ver el análisis completo se puede ver en el anexo

4.3.1.- Pared de horno zona 1 y 2 (precalentamiento).

En la imagen 3 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 1 y 2. Para ver todos los cálculos necesarios para llegar a la temperatura número 6 vea anexo 6.2.2.

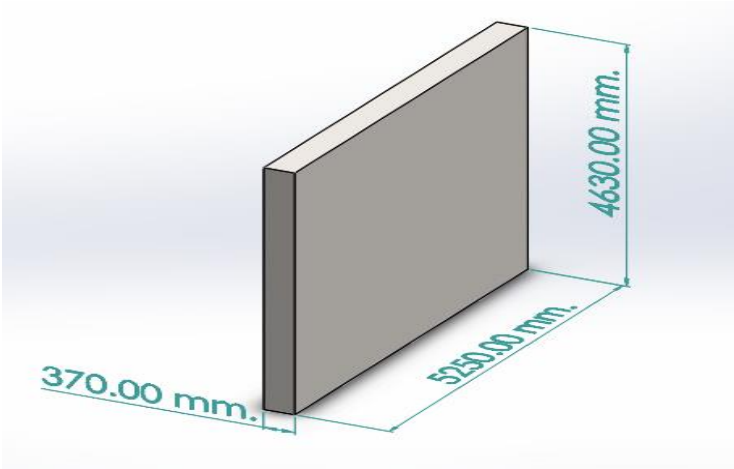


Imagen 3: *Pared del horno zona 1 y 2.*

En la imagen 4 se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 1 y 2.

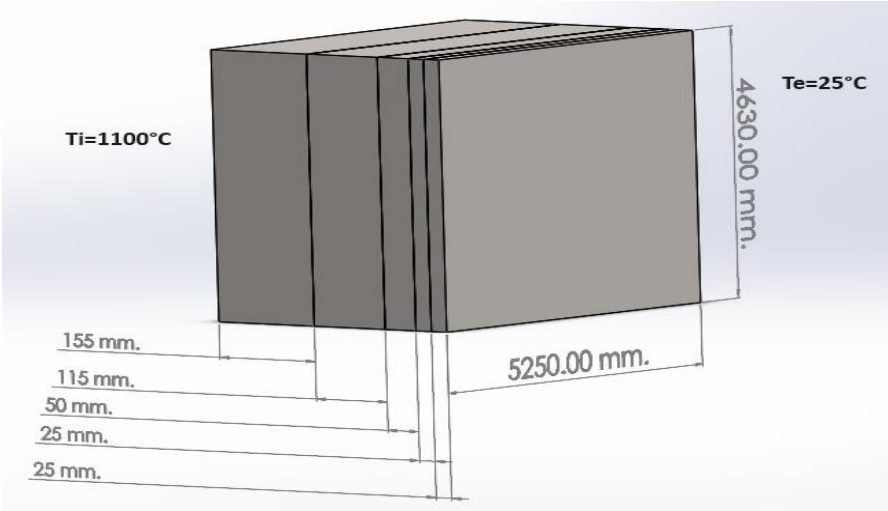


Imagen 4: *Medidas del ancho de cada refractario.*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2 k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1100°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 155 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 5.

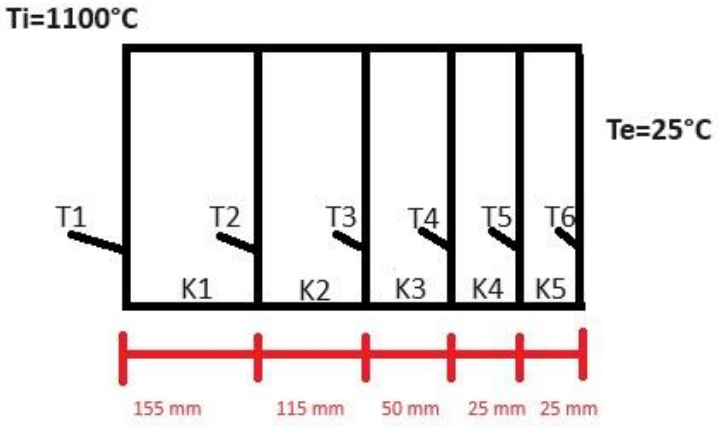


Imagen 5: *Se observa cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q=\frac{T_I-T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 6, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se está oponiendo al paso de la temperatura.

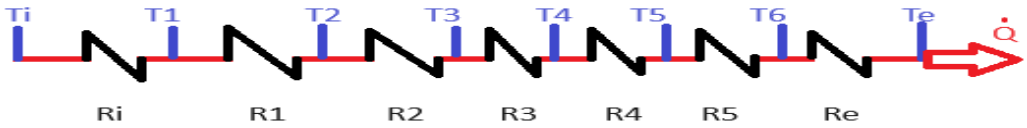


Imagen 6: *Circuito térmico.*

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\ A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{k\ A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

$$R_T = 0.00027 + 0.0031 + 0.015 + 0.013 + 0.0065 + 0.0038 + 0.0030$$

$$\mathbf{R_T = 0.044 \frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\, T_E}{R_T} = \frac{1373.15°K\ - 298.15°K}{0.044 \frac{W}{K}}$$

Q = <u>24431.8 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 24431.8\ W = \frac{447.79°K\ -\ T_6}{0.0038 \frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 447.79°K\ - 24431.8\ W \left(0.0038\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{354.9°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 354.9°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{81.75°C}}$$

Con la ayuda de un pirómetro marca fluke se tomó la temperatura de la pared del horno para verificar que sea igual a la temperatura 6 calculada, ya que, si es igual la temperatura la configuración de las paredes del horno estarán trabajando en las condiciones de trabajo establecidas y si es más alta la temperatura medida a la calculada no será con las condiciones de trabajo que se tenía previsto trabajar el horno y se tendría que cambiar la configuración del horno en su próximo mantenimiento correctivo.. Vea imagen 7.

Imagen 7: *Temperatura número 6 medida con pirómetro.*

4.3.2.- Pared de horno zona 3 y 4 (calentamiento).

En la imagen número 8 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 3 y 4. Para ver todos los cálculos necesarios para llegar a la temperatura número 6 vea anexo 6.2.3

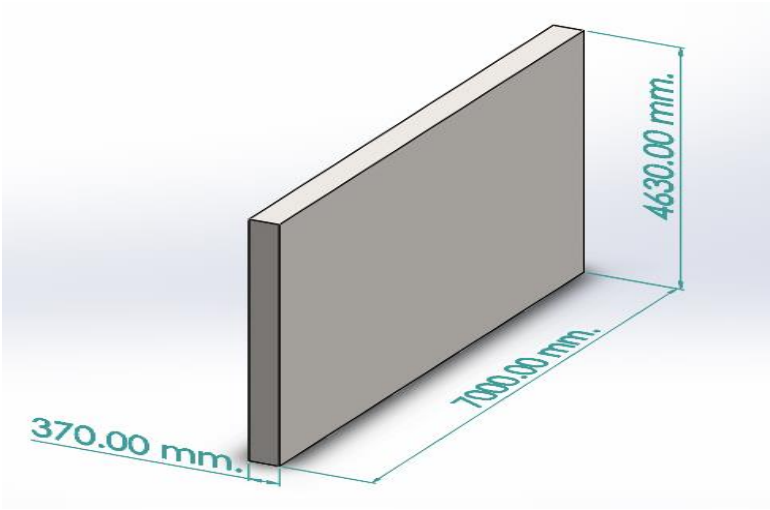


Imagen 8: *Pared de la zona 3 y 4.*

En la imagen 9, se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 3 y 4.

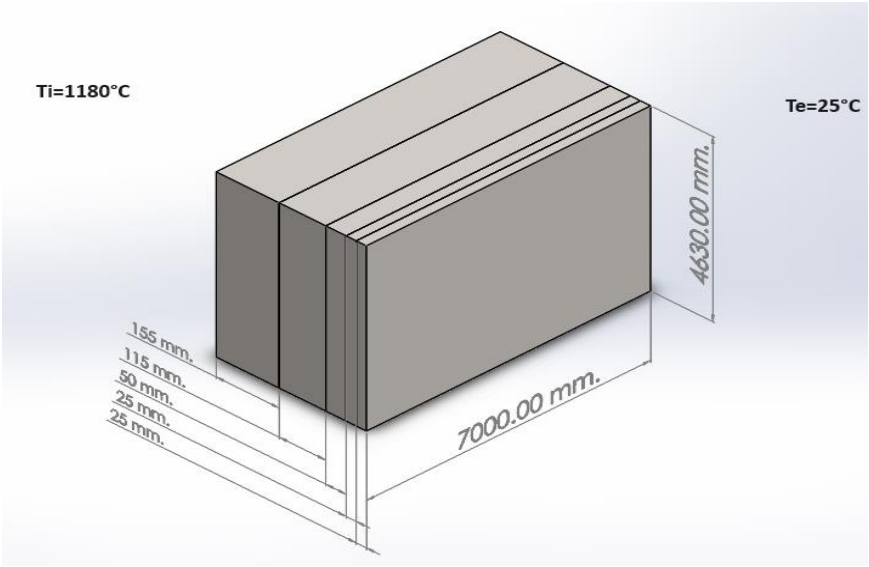


Imagen 9: *Ancho de los refractarios.*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1180°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 155 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 10.

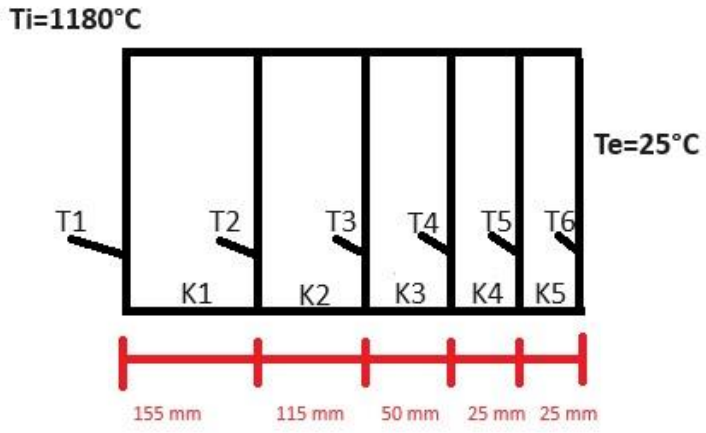


Imagen 10: *Se muestran cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos en la pared de la zona 3 y 4.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q=\frac{T_I-T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 11, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se están oponiendo al paso de la temperatura.

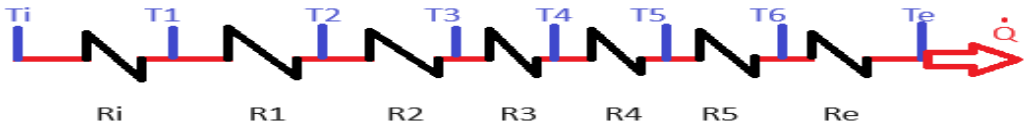


Imagen 11: *Circuito térmico de la zona 3 y 4.*

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\,A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{k\,A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_e}$$

$$R_T = 0.00020 + 0.0023 + 0.011 + 0.009 + 0.0048 + 0.0028 + 0.0022$$

$$\mathbf{R_T = 0.0323 \frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\, T_E}{R_T} = \frac{1453.15°K - 298.15°K}{0.0323 \frac{W}{K}}$$

Q = <u>35758.51 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 35758.51\ W = \frac{476.88°K - T_6}{0.0028 \frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 476.88°K - 35758.51\ W \left(0.0028\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{376.75°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 376.75°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{103.6°C}}$$

Con la ayuda de un pirómetro marca fluke se tomó la temperatura de la pared del horno para verificar que sea igual a la temperatura 6 calculada, ya que, si es igual la temperatura la configuración de las paredes del horno estarán trabajando en las condiciones de trabajo establecidas y si es más alta la temperatura medida a la calculada no será con las condiciones de trabajo que se tenía previsto trabajar el horno y se tendría que cambiar la configuración del horno en su próximo mantenimiento correctivo.. Vea imagen 12.

Imagen 12: *Temperatura número 6 medida con un pirómetro.*

4.3.3.-Pared de horno zona 5, 6 y 7 (empape)

En la imagen 13 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 5, 6 y 7. Para ver todos los cálculos necesarios para llegar a la temperatura numero 6 vea anexo 6.2.4

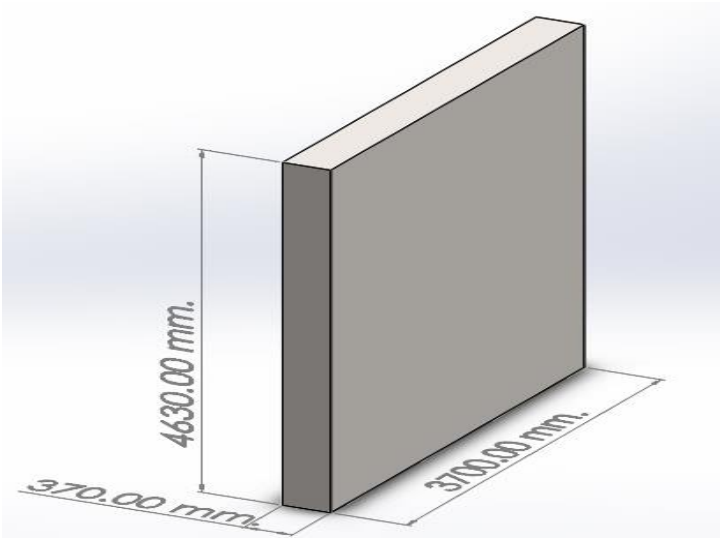


Imagen 13: *Pared de la zona 5, 6 y 7.*

En la imagen 14 se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 5, 6, y 7

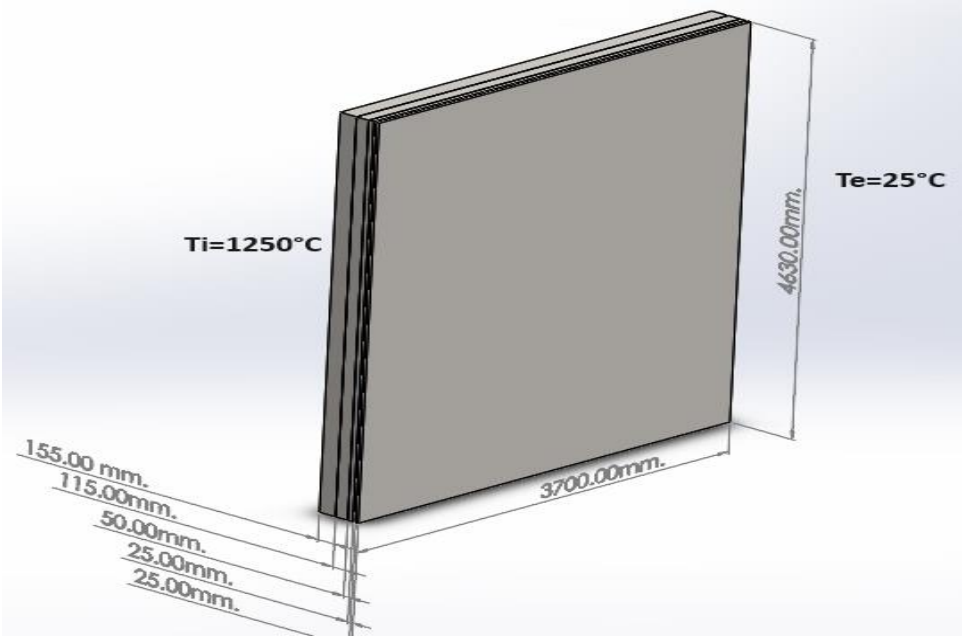


Imagen 14: *Temperatura interior y exterior y medidas del ancho de los refractarios zona 5, 6 y 7.*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1250°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 155 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 15.

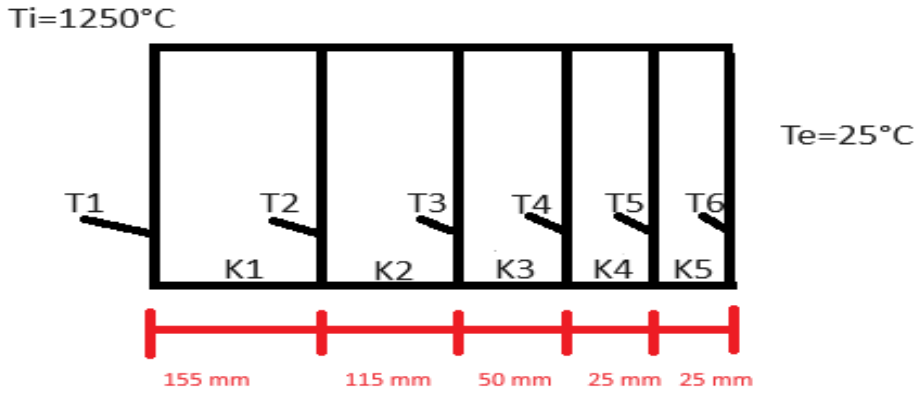


Imagen 15: *Se muestran cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades se tienen en la pared de la zona 5, 6 y 7.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q=\frac{T_I-T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 16, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se están oponiendo al paso de la temperatura.

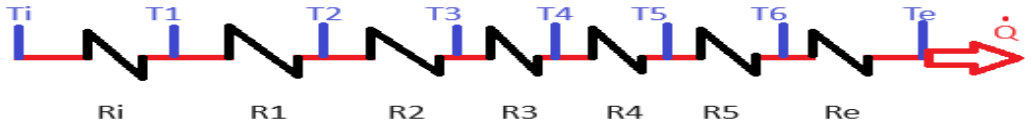


Imagen 16: *Circuito térmico de la zona 5, 6 y 7.*

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\,A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{k\,A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_e}$$

$$R_T = 0.000389 + 0.00452 + 0.021 + 0.018 + 0.00925 + 0.00541 + 0.00429$$

$$\mathbf{R_T = 0.062859 \frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\,T_E}{R_T} = \frac{1523{,}15°K\ - 298{,}15°K}{0.062859\,\frac{W}{K}}$$

Q = <u>19488.06 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 19488.06\ W = \frac{487.16°K\ -\ T_6}{0.00541\,\frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 487.16°K\ - 19488.06\ W\left(0.00541\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{381.72°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 381.72\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{108.57°C}}$$

Con la ayuda de un pirómetro marca FLUKE 62 MAX se tomó la temperatura de la pared del horno para verificar que sea igual a la temperatura 6 calculada, ya que, si es igual la temperatura la configuración de las paredes del horno estarán trabajando en las condiciones de trabajo establecidas y si es más alta la temperatura medida a la calculada no será con las condiciones de trabajo que se tenía previsto trabajar el horno y se tendría que cambiar la configuración del horno en su próximo mantenimiento correctivo. Vea imagen 17.

Imagen 17: *Temperatura número 6 de la pared de la zona 5, 6 y 7 medida con un pirómetro.*

4.4.- Temperaturas de las diferentes zonas

Con la ayuda de un calibrador de procesos marca fluke 754 tomamos las temperaturas de los termopares tipo s que se encuentran distribuidos por las diferentes zonas del horno y con el tag asignado a cada termopar se buscaron en los diagramas eléctricos para poder saber en la zona del horno que nos encontrábamos y poder verificar si los termopares están en buenas condiciones ya que si no estuvieran en buenas condiciones de trabajo esto afectaría a la temperatura interna del horno para el calentamiento de los blooms, a continuación, se muestra una tabla detalla con los valores tabla 1. Para ver

todo el proceso de recaudación de datos vea anexo 5.1.1, 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4, 5.1.5, 5.1.6, 5.1.7 y 5.1.8.

N° zona	Tag de termopar	Milivolts	Temperatura de horno °C	Temperatura de calibrador de procesos °C
1	TT 010101	11.47	1123	1162.6
	TT 010102	11.72	1090	1188.0
2	TT 010201	11.07	1114	1138.0
	TT 010202	11.33	1080	1163.3
3	TT 010301	11.87	1167	1206.5
	TT 010302	11.69	1195	1190.8
4	TT 010401	12.15	1218	1230.8
	TT 010402	11.67	1182	1188.9
5	TT 010501	By pass	1207	By pass
	TT 010502	By pass	1207	By pass
6	TT 010601	12.04	1206	1219.4
	TT 010602	12.03	1204	1222.3
7	TT 010701	12.55	1213	1263.6
	TT 010701	11.89	1213	1209.1

Tabla 1: *Temperaturas obtenidas con el calibrador de procesos y el HMI del horno.*

4.5.- Draw sizing danieli (DSD)

La máquina tratada en el presente reporte se utiliza para mejorar la calidad de las barras producidas, mejorando de esta manera la tolerancia dimensional final para que esté comprendida dentro de 1/8 DIN EN 10060.

La gama de productos laminados con esta máquina va desde el redondo Ø 50.8 mm hasta el Ø152.4 mm.

La máquina está compuesta por cuatro módulos acoplados entre ellos:

1. Los primeros dos estantes, cada uno equipado con dos cilindros dispuestos alternativamente en horizontal “H” y vertical “V”, están diseñados y estructurados para resistir las cargas elevadas debidas a la reducción de sección de la barra laminada, haciendo que ésta tenga las dimensiones comerciales requeridas.
2. Los dos estantes siguientes, con 4 cilindros cada uno, están dispuestos alternativamente en configuración “+” y “x” a 45°, asegurando de este modo que el material laminado se encuentre dentro de las tolerancias.

En función de la posición de los cilindros, los 4 módulos se llaman respectivamente: 1er estante “H”, 2do estante “V”, 3er estante “+”, 4to estante “x”. Vea imagen 18. Composición del DSD)

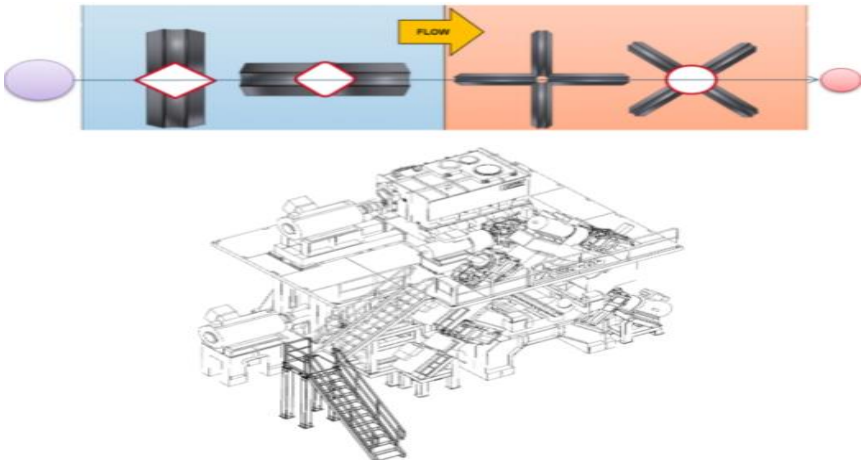


Imagen 18: *Composición del DSD*

4.5.1.- Grupo de mando para estante de 2 anillos

La unidad está compuesta por:

1. Un motor eléctrico para cada caja, montado en una base dotada de un transductor de velocidad giratorio, ventilación de aire forzada.

2. Un embrague de dientes para cada motor, entre el motor y la caja de piñones del reductor. Este acoplamiento está equipado con un limitador de par tipo SAFESET para la protección contra las sobrecargas.
3. Un embrague de dientes con una protección fija.
4. Una caja piñones para cada caja de laminación, que se compone de una estructura metálica formada por dos secciones de chapa soldadas, acopladas entre ellas con pernos de centraje y tornillos de fijación.

La caja de piñones contiene los engranajes para la transmisión del movimiento al árbol porta anillos a través de los embragues de dientes móviles.

Todas las superficies de conexión están selladas herméticamente, con juntas de tipo laberinto en las entradas/salidas de los árboles porta-anillos.

Para permitir la inspección de los engranajes y de los rociadores de aceite, el cuerpo está provisto de varias puertecillas de acceso.

La lubricación por aceite de los mecanismos y de los rodamientos es de tipo forzado, suministrada por la unidad central de lubricación.

La caja de piñones está provista de un sistema con doble relación de transmisión, que puede conectarse o desconectarse automáticamente por medio de cilindros hidráulicos en función de lo que se quiere producir.

Hay dos fines de carrera que reconocen la posición de los cilindros y consecuentemente la relación de transmisión.

1. Las dos alargaderas pueden extenderse y, en el lado de la caja de cartucho, están equipadas con manguitos de acople rápido para conectarse al cuello del árbol porta-anillos.

En el lado de la caja piñones, la conexión se efectúa por medio de tornillos.

4.5.2.- Grupo de mando para estante de 4 anillos

Cada uno de los 4 anillos del estante tiene accionamiento independiente, y cada unidad está compuesta por:

2. Un motor eléctrico montado sobre una base dotada de un transductor de velocidad giratorio, ventilación de aire forzada.
3. Un embrague de dientes entre el motor y la caja piñones del reductor. El acoplamiento está equipado con un limitador de par de tipo SAFESET para la protección contra las sobrecargas. El embrague de dientes tiene una protección fija.
4. Una caja piñones que consiste en una estructura metálica formada por dos secciones de chapa soldadas, acopladas entre ellas con pernos de centraje y tornillos de fijación. La caja contiene los engranajes para la transmisión del movimiento al árbol porta-anillos a través de un sistema de acoplamiento móvil. Todas las superficies de conexión están selladas herméticamente, con juntas de tipo laberinto en las entradas/salidas de los árboles porta-anillos. Para permitir la inspección de los engranajes y de los rociadores de aceite, el cuerpo está provisto de varias puertecillas de acceso. La lubricación de aceite de los mecanismos y de los rodamientos es de tipo forzado, suministrada por la unidad central de lubricación.
5. Ocho acoplamientos móviles para la conexión entre la caja de piñones y los anillos, con objeto de liberar el módulo y sustituirlo en función de la producción requerida.

   El árbol móvil se acopla y desacopla del cuello del cilindro deslizándose en el interior de la caja piñones sobre un casquillo ranura do; el desplazamiento en sentido longitudinal se realiza mediante un cilindro hidráulico.

4.5.3.- Grupo barrón porta-guía

El barrón sirve para sostener las guías de laminación tanto a la entrada como a la salida de la caja de laminación; sirve también para dar rigidez al módulo.

4.5.4.- Carros de cambio rápido

Hay dos carros de cambio rápido, uno en cada lado del DSD., vea imagen 19

Cada carro tiene dos posiciones:

1. Una libre para recibir los módulos desgastados.
2. Otra con los módulos que se van a emplear en la campaña siguiente. Cada carro se mantiene en posición (posición de recibo módulos gastados o inserción módulos nuevos) mediante un cilindro hidráulico.

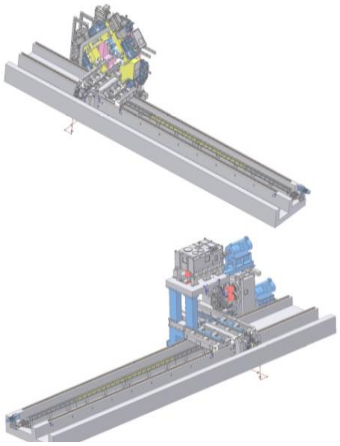


Imagen 19: *Carros de cambio rápidos*

El desplazamiento de cada carro se realiza mediante una cadena accionada por un motor eléctrico. La extracción del módulo de la maquina se realiza con un gancho que se desplaza con una cadena accionada por un motor eléctrico. El gancho de arrastre del carro se libera por la acción de un cilindro hidráulico que empuja un perno.

4.5.5.- Camino de rodillos de entrada y salida

A la entrada y a la salida de la máquina se encuentran dos caminos de rodillos motorizados móviles, cuya función es soportar el material que se dirige hacia la máquina y hacia la salida y evacuarlo. (Imagen 20.)

Durante las operaciones de cambio módulos, los caminos de rodillos, gracias a sus ruedas y motorreductores, se desplazan sobre los rieles de los carros de cambio hasta llegar a la posición de estacionamiento. Esto porque durante las operaciones de cambio módulo, en el espacio ocupado por el camino de rodillos, se posicionan los carros de cambio módulos.

El camino de rodillos se bloquea en posición de trabajo por medio de los mismos cilindros que mantienen bloqueados los carros de cambio cuando éstos lleguen a la posición deseada.

Todos los rodillos del camino son motorizados y accionados por motorreductores conectados mediante acoplamiento de dientes a los ejes de los rodillos.

Solo el camino de rodillos de entrada está dotado de un cilindro de basculamiento en la parte inicial, para favorecer la introducción del material.

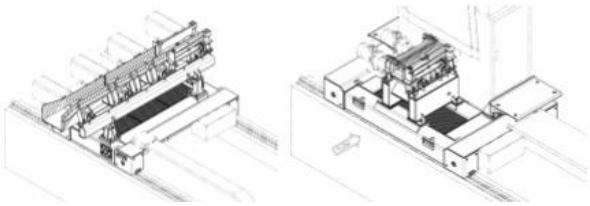


Imagen 20: *Camino de rodillos entrada y salida*

4.5.6.- Camino de rodillos de By pass

Si no se requiere el DSD es posible instalar, en lugar de los módulos unos caminos de rodillos de bypass (imagen 21), instalados sobre la máquina siguiendo la misma secuencia utilizada para la introducción de los módulos, y dotados de rodillos motorizados. La máquina también permite soslayar solo los módulos de calibrado “+” y “x”, dejando en servicio los primeros dos módulos “H” y “V”.

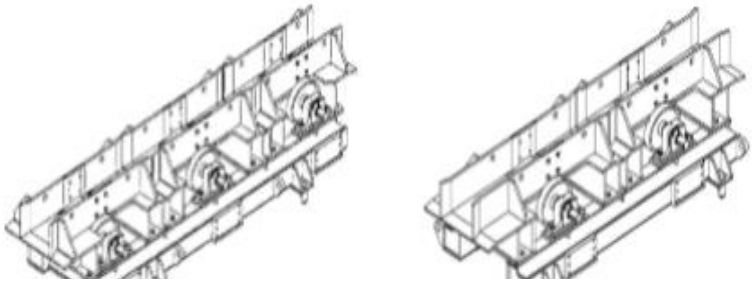


Imagen 21: *Camino de rodillos de by pass*

4.6.- Descripción de pestañas de configuración y taller

En la siguiente imagen se muestra la página principal TWS donde se cargan tablas, se crean tablas y se cambian los parámetros digitales para hacer un ajuste a la maquinaria que se opera en el pulpito principal vea (imagen 22). Se describirán a continuación las pestañas más importantes para un mejor entendimiento, en el lado izquierdo superior se tiene pestañas las cuales son como Configuración y Taller.

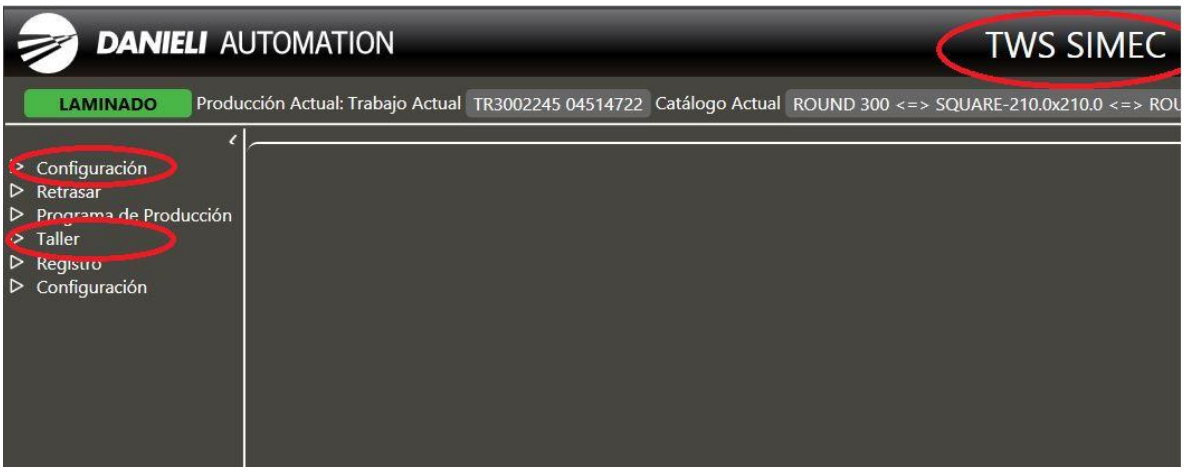


Imagen 22: *Página principal TWS, pestañas configuración y taller*

Configuración: En esta pestaña cuando se da clic salen otras pestañas como **CONFIGURACIÓN, ÁREA DE PREPARACIÓN Y GESTIÓN DE TABLA,** vea imagen 23.

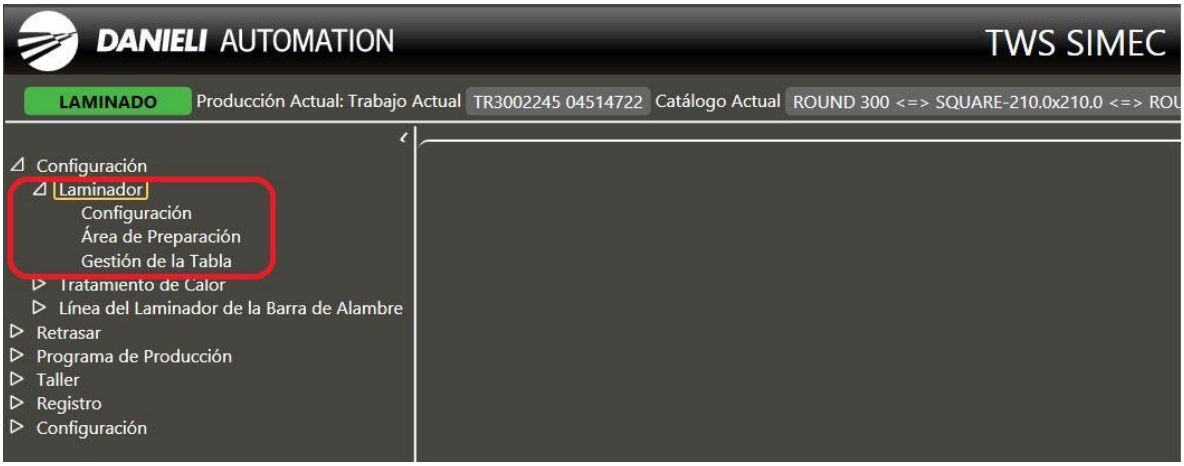


Imagen 23: *Configuración*

4.6.1.- Configuración

En esta pestaña se muestra los valores del perfil de entrada al estante 2, sección a la que va a salir del intermedio, perfil de salida o también conocido como rango y diámetro objetivo que es el diámetro nominal que pide el cliente. En la pestaña **RM** se tiene el número de estantes que están habilitados, la elongación de cada estante, Groove factor, velocidad de cada estante y velocidad de laminador, diámetro de rodillos que tiene cada estante y gap. En la parte superior están varias opciones donde podrás cargar otra tabla, capturar los valores reales con los valores de la tabla y guardar la tabla tanto como imprimir para que se quede registrada si es como lo requieres, (imagen 24).

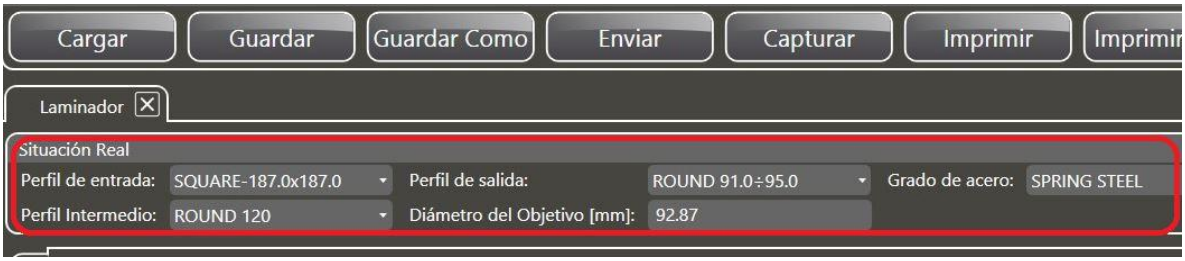


Imagen 24: *Parámetros de tabla configuración*

Nota: los valores mencionados anteriormente dependen de la configuración de la cedula de laminación y armado de taller.

4.6.2.- Configuración de parámetros

En esta pestaña la seleccionamos y en esta podremos ver que está organizada de acuerdo como está el equipo montado físicamente en el tren de laminación de igual forma se pueden ajustar parámetros dependiendo como lo requiera el equipo y dependiendo del rango mínimo y máximo que te permita modificar el programa, (vea imagen 25).

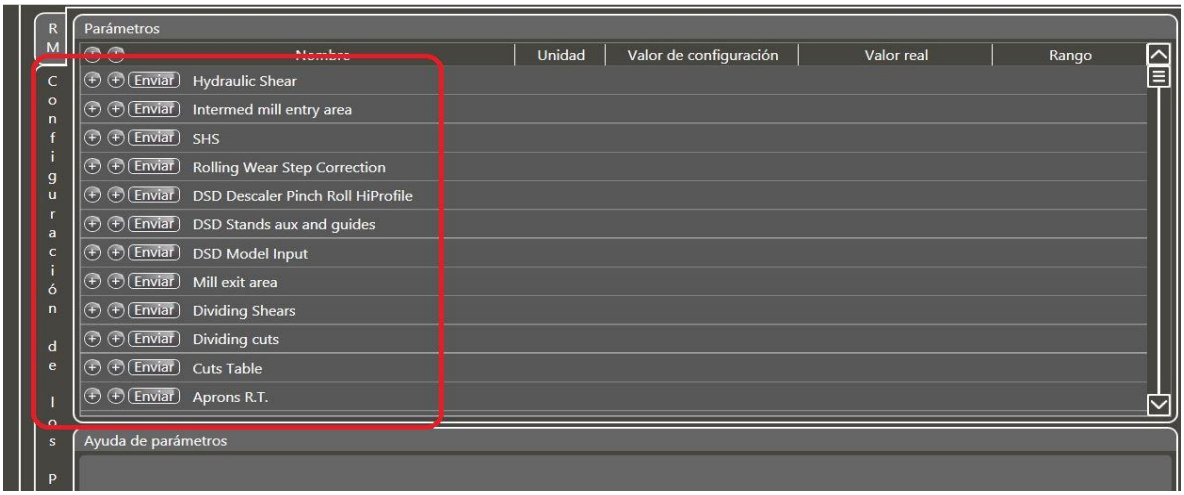


Imagen 25: *Pestañas del equipo organizadas del tren de laminación*

4.6.3.- Área de preparación

En esta pestaña se puede cargar otra tabla sin afectar la que esta enviada en configuración y ser modificada, vea imagen 26.

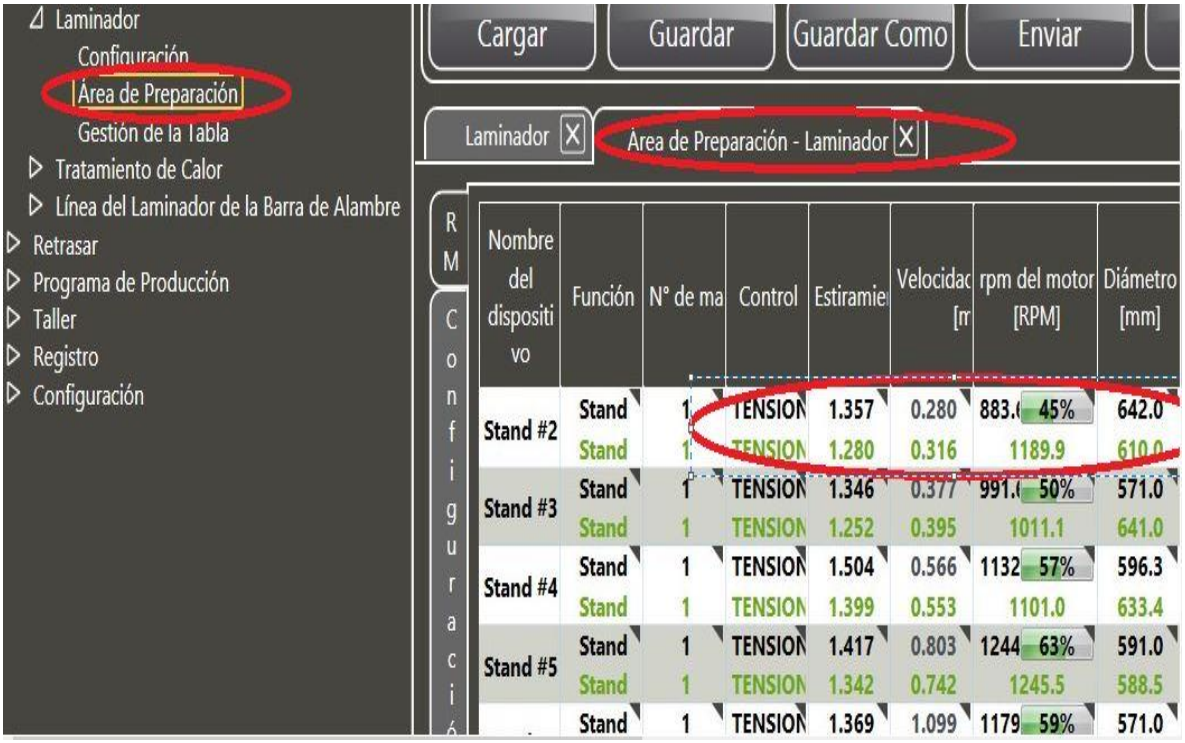


Imagen 26: *Área de preparación*

4.6.4.- Gestión de tabla

En esta pestaña se puede eliminar tablas que ya sean obsoletas, vea imagen 27.

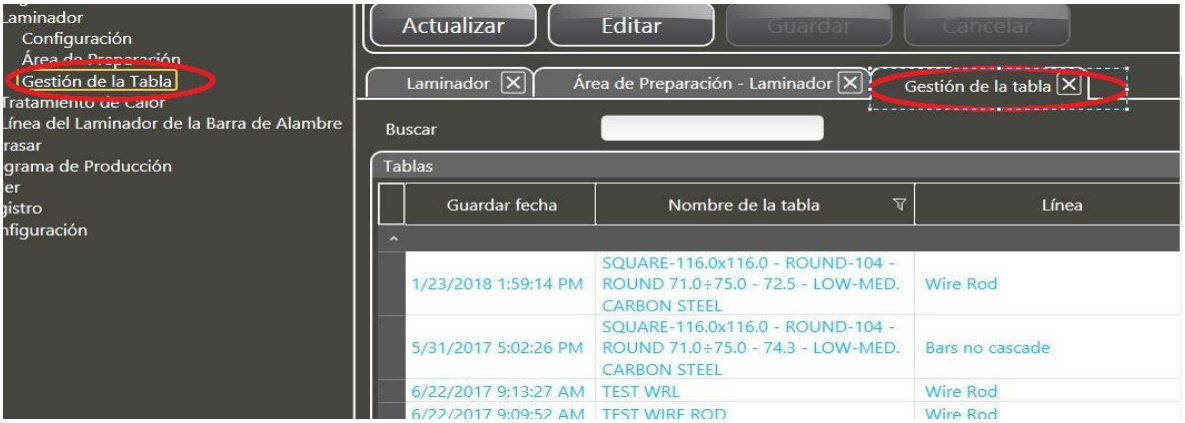


Imagen 27: *Pestañas de gestión de tabla*

4.6.5.- Taller

En esta pestaña se cargan las tablas generadas por taller de acuerdo a la medida que se vaya a laminar, esta tabla tiene valores como diámetros de rodillos, cajas guías, gap a la que se calibraron y fondo de pase vea imagen 28.

Nota: Esta tabla es de suma importancia ya que esta tabla se carga para pasar los valores de los diámetros y las guías automáticamente a la tabla de RM en TWS.

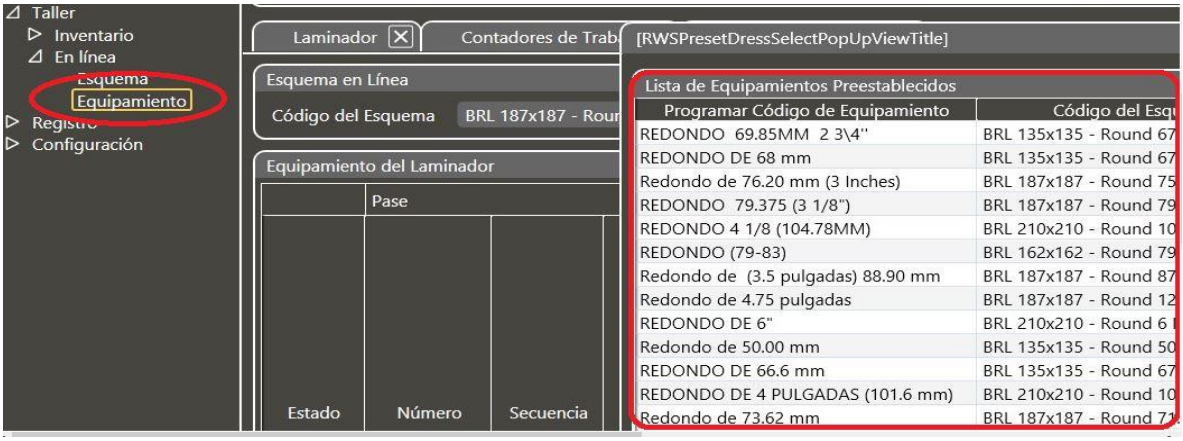


Imagen 28:*Tablas existentes de taller*

4.7.- Descripción de parámetros de rolling mill

En la pantalla principal donde se encuentra el tren laminador en la parte superior se encuentran varias pestañas como tendencias, ubicación, mandos, unidad hidráulica, unidad de lubricación, unidad aire/aceite, unidad de grasa, aire/agua, DC-enlace, Opt. Data, wear comp., vea imagen 29, las cuales se explicarán a continuación para su mejor entendimiento.

Imagen 29: *Pestañas de tren laminador*

4.7.1.- Tendencias

En esta pestaña dándole clic podemos observar 24 subpestañas que se pueden seleccionar, en la primera subpestaña es la representación gráfica del torque de los estantes 2, 3, 4, 5, 6 y 7, esta misma se diferencia por colores vea imagen 30, en la segunda subpestaña la seleccionamos y está la representación gráfica de los torques del estante 8, 9, 10 y 11 (DSD), de igual forma cada torque de cada estante está representada por colores. Dependiendo a la configuración del producto que se vaya a laminar aparecerán los torques de los estantes si algún estante esta deshabilitado no aparecerá la gráfica del torque del estante.

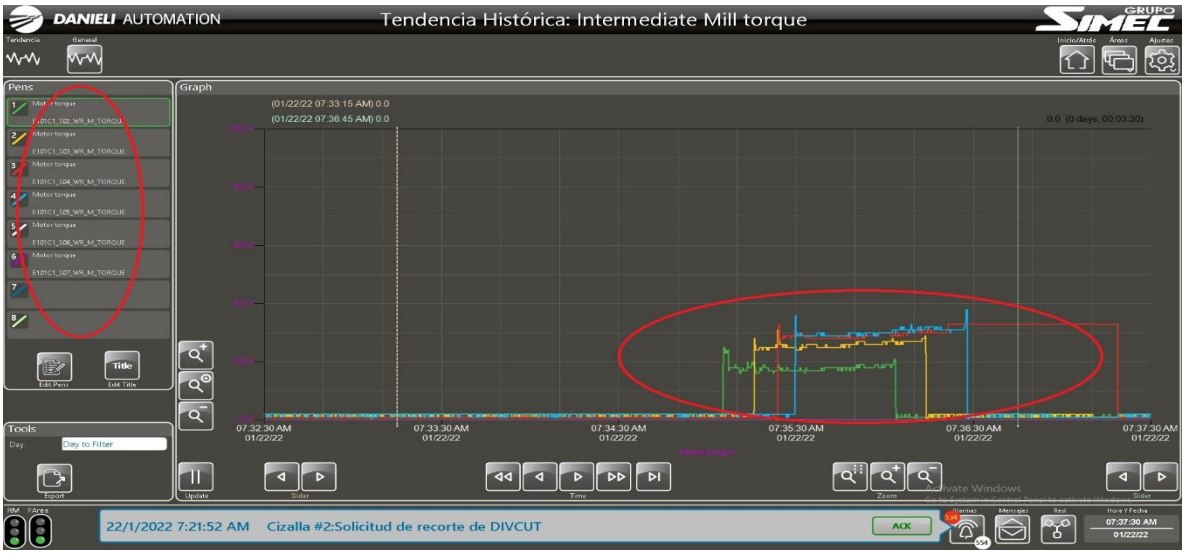


Imagen 30: *Torques de los estantes del intermedio*

4.7.2.- Ubicación

En esta pestaña cuando se selecciona se muestran las áreas en las que están divididas el tren de laminación algunas de ellas son como que DC-linck es el que energiza el área, que área puede estar en control local, emergencia, así como puedes identificar en donde se puso un paro rápido, vea imagen 31.

Imagen 31: *Ubicación y control local en áreas del tren de laminación*

4.7.3.- Mandos

En esta pestaña de igual forma como la de ubicación se muestran las ares divididas y organizadas de acuerdo a como están instaladas en el tren de laminación, vea imagen 32, en esta pestaña podrás energizar el drive del motor y girar el motor, esta pestaña agiliza el arranque del equipo.

Imagen 32: *Áreas divididas y control para el arranque de los equipos*

4.7.4.- Unidad hidráulica

En esta pestaña se muestra las unidades hidráulicas de **RM, DSD Y CB,** vea imagen 33, se observa cómo está conformada cada hidráulica, nivel del tanque, temperatura a la que se encuentra el aceite, el arranque y paro y si presenta alguna falla.

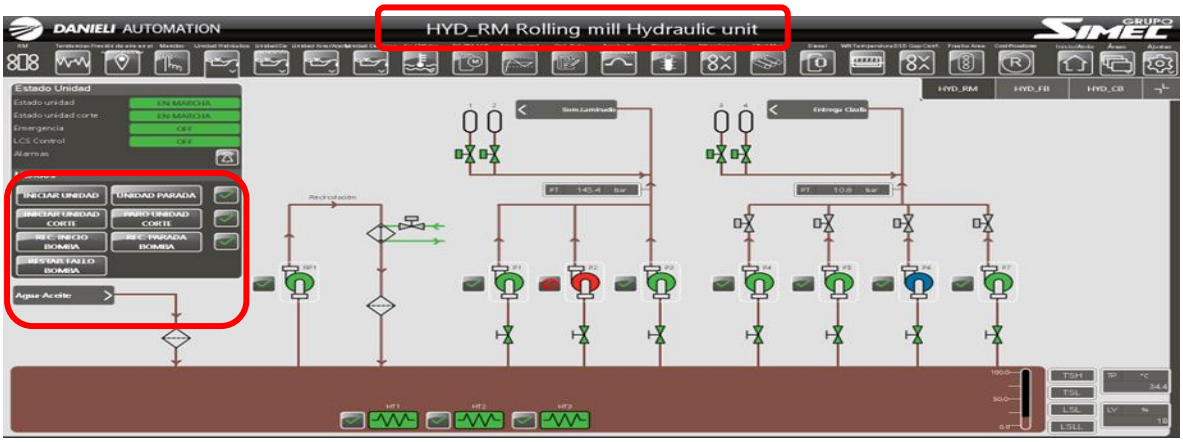


Imagen 33: *Diagrama de unidad hidráulica*

4.7.5.- Unidad de lubricación

En esta pestaña se muestra las unidades de lubricación de **RM, DSD, SH2 Y CB,** vea imagen 34, se observa cómo está conformada cada unidad de lubricación, nivel del tanque, temperatura a la que se encuentra el aceite, el arranque y paro y si presenta alguna falla.

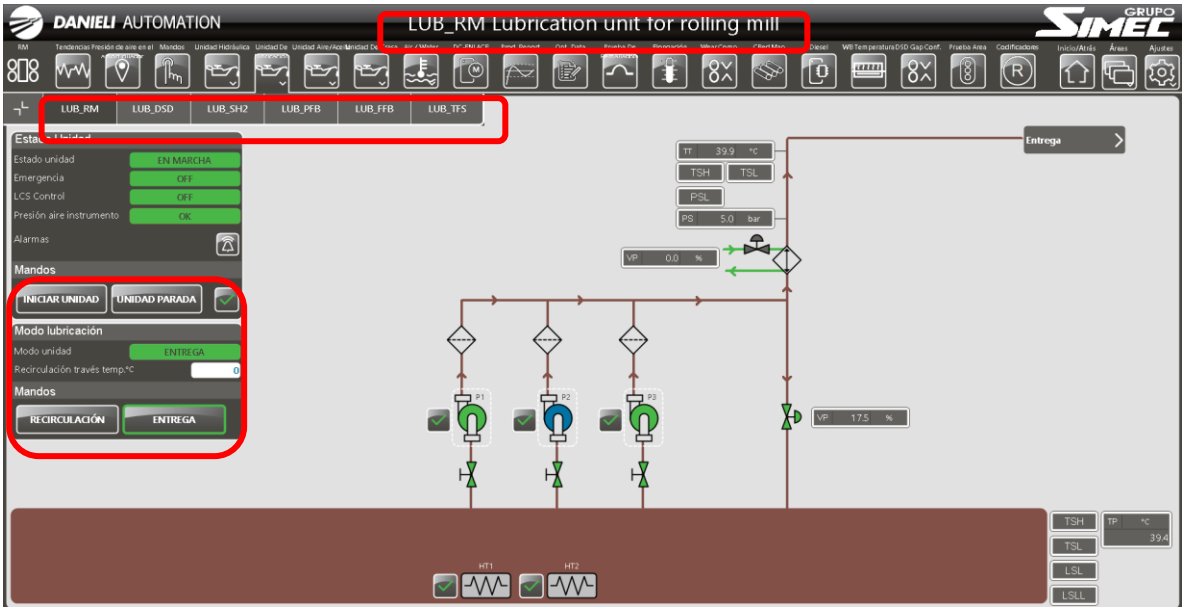


Imagen 34: Unidad de lubricación RM

4.7.6.- Unidad aire/aceite

En esta pestaña se muestra las unidades aire/aceite de **RM, DSD Y CB,** vea imagen 35, se observa cómo está conformada cada unidad de aire aceite, nivel del tanque, temperatura a la que se encuentra el aceite, el arranque y paro y si presenta alguna falla.

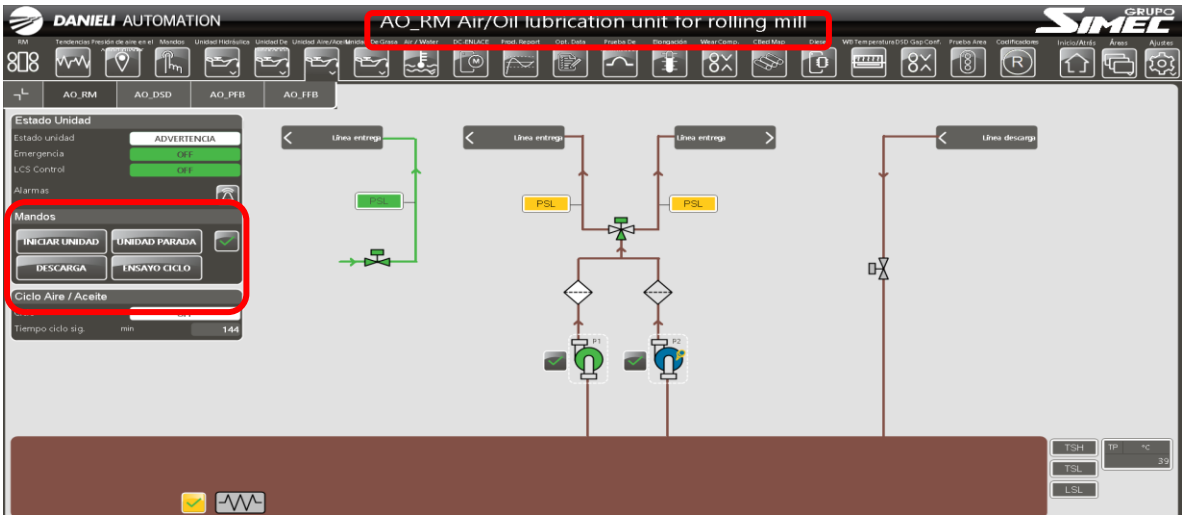


Imagen 35: Unidad aire aceite RM

4.7.7.- Unidad grasa

En esta pestaña se muestra las unidades de grasa de **RM, SH1, SH2 Y CB** vea imagen 36, se observa cómo está conformada cada unidad de grasa, tiempo de ciclo y si presenta alguna falla.

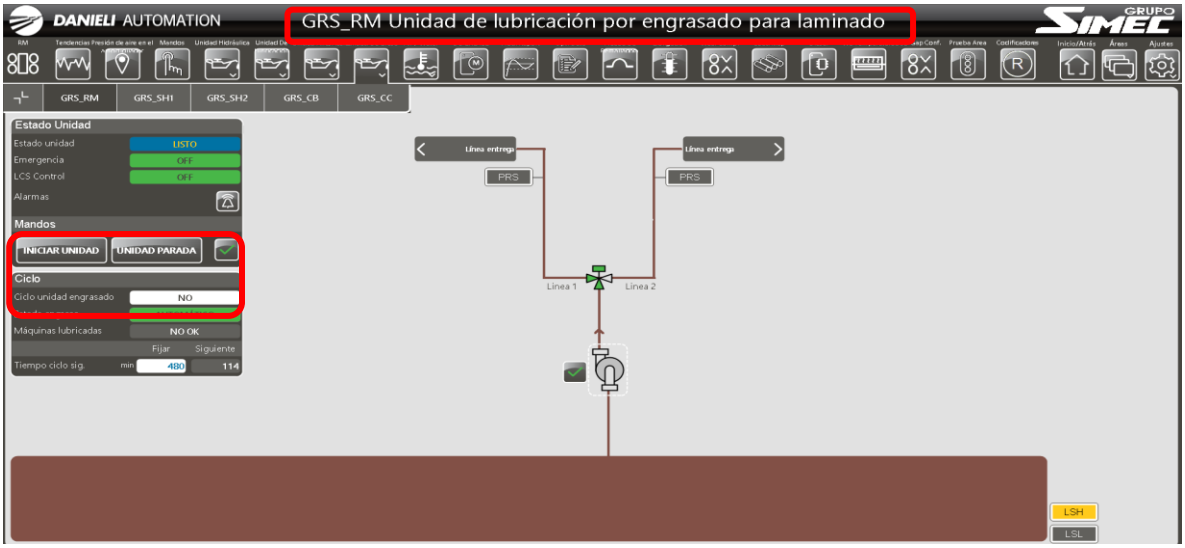


Imagen 36: Unidad de grasa

4.7.8.- Compensación de desgaste

En esta pestaña se encuentran los gaps, de los estantes 8, 9 y guía del estante 9, el fondo de pase del estante 10, 11 y guías de los estantes 10 y 11 vea imagen 37, en esta pestaña se posicionan los estantes y guías, así como se hacen los ajustes necesarios para darle un acabado dimensional de 1/8 de DIN a la barra en caliente

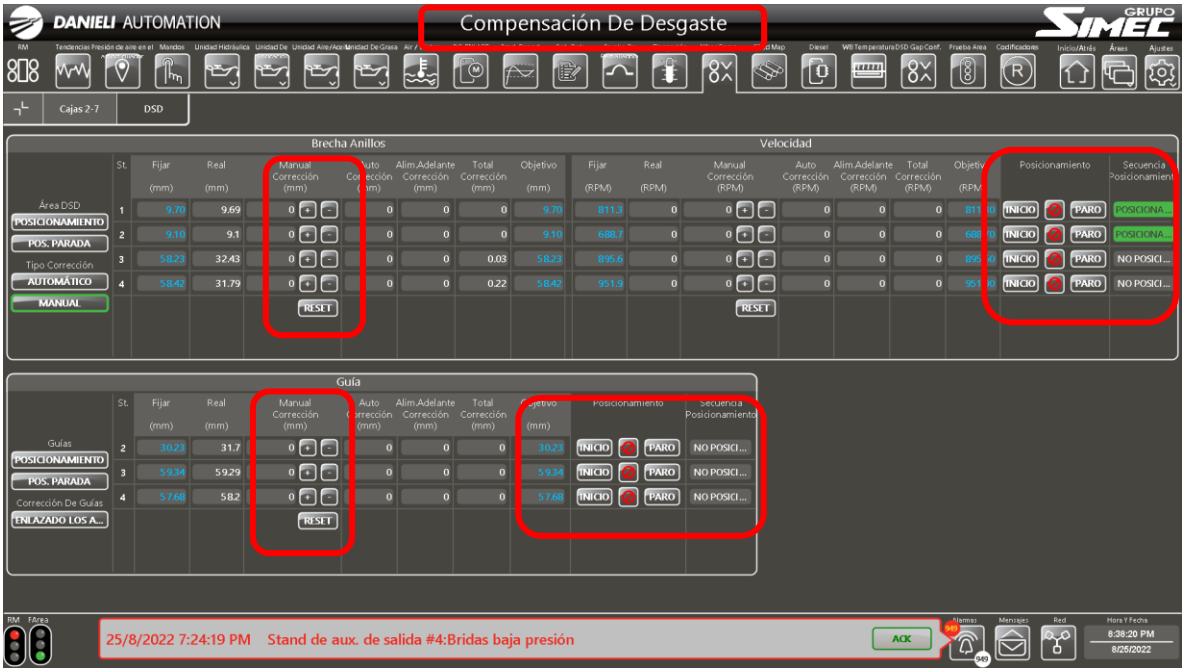


Imagen 37: Tabla para ajuste de gaps de estantes de DSD y guías

4.7.9.- Confirmación de gap

En esta pestaña se confirman los gaps de los estantes 8, 9 y guía del estante 9, el fondo de pase del estante 10, 11 y guías del estante 10 y 11 vea imagen 38. Cuando son puestos en línea por primera vez o son sacados para algún ajuste.

Imagen 38: Tabla para la confirmación del gap que manda taller de guías y rodillos

4.8.- Selección de producto

Antes de cargar una tabla de laminación tenemos como primer punto la selección de producto, el operador del pulpito principal tiene que verificar en el programa de producción laminación planta 2 el producto que se va a fabricar vea imagen 39. El programa de producción nos muestra la orden de fabricación, colada, diámetro del producto, grado de acero, norma, cantidad de piezas y tonelaje total y longitud a la que se va a cortar el material en frio en las sierras de disco.

SIMEC — Actualizacion: viernes, 13 de mayo de 2022

Programa de producción laminación planta 2

	Fecha	Ord Fab	Estatus pedido	Cliente	Perfil	Medida	Acero	acero Interno	Longitud	Norma	anexo	Emisión	Cantidad Pedido	cantidad de bloom	sección bloom	longitud bloom
						Total 0.217 (5.50 mm)							**450**			
4	13/05/22	TR3002166	Proceso	ACEROS SAN LUIS	Rollo	0.472 (12.00 mm)	1008	**1008M7**	-	10131	01	A4	80	40	300	4.20
5	13/05/22	TR3002193	planeado	ACEROS SAN LUIS	Rollo	0.472 (12.00 mm)	1008	**1008M7**	-	10131	01	A4	80	40	300	4.20
6	14/05/22	TR3002168	planeado	ACEROS SAN LUIS	Rollo	0.472 (12.00 mm)	1080Cr-V	**1080T12**	-	10145	01	A4	400	200	300	4.20
7	14/05/22	TR3002169	planeado	CHOLULA	Rollo	0.472 (12.00 mm)	12L14	**12L14**	-	12001	03	A9	6	3	300	4.20
8	14/05/22	TR3002170	planeado	CHOLULA	Rollo	0.472 (12.00 mm)	12L14	**12L14**	-	12001	03	A9	4	2	300	4.20
49						**Total 0.472 (12.00 mm)**							**570**			
50	16/05/22	TR3002203	planeado	THYSSENKRUPP METALURGICA DE ME	Barra	4.000 (101.60 mm)	TL1438	**15V38M**	6.85	15021	01	A5	170	84	300	4.35
51	16/05/22	TR3002207	planeado	THYSSENKRUPP METALURGICA DE ME	Barra	4.000 (101.60 mm)	TL1438	**15V38M**	6.85	15021	01	A5	164	81	300	4.35
52	16/05/22	TR3002147R	reprogramado	MAGELLAN CORPORATION	Barra	4.000 (101.60 mm)	4140H/4142H	**4140H7**	7.01	41023	01	A22	26	12	300	4.95
53						**Total 4.000 (101.60 mm)**							**360**			
54	16/05/22	TR3002208	planeado	SISTEMAS AUTOMOTRICES DE MEXIC	Barra	4.250 (107.95 mm)	30Mn5	**15B32M**	7.56	15026	01	A7	160	67	300	4.95
55	16/05/22	TR3002209	planeado	SISTEMAS AUTOMOTRICES DE MEXIC	Barra	4.250 (107.95 mm)	30Mn5	**15B32M**	8.13	15026	01	A7	160	67	300	4.95
56	16/05/22	TR3002151R	reprogramado	MAGELLAN CORPORATION	Barra Gruesa	4.250 (107.95 mm)	4140H/4142H	**4140H7**	7.01	41023	01	A22	50	11	450	4.45
57						**Total 4.250 (107.95 mm)**							**370**			
58	17/05/22	TR3000818	planeado	MUBEA DE MEXICO S DE RL DE CV	Rollo	0.610 (15.50 mm)	9254	**9254**	-	92007	01	A	40	20	300	4.20
59						**Total 0.610 (15.50 mm)**							**40**			
60	17/05/22	TR3002168	planeado	ACEROS SAN LUIS	Rollo	0.472 (12.00 mm)	1080Cr-V	**1080T12**	-	10145	01	A4	300	150	300	4.20

Imagen 39: *Programa de producción del laminador planta 2*

Para tener la seguridad que se va a fabricar el producto, en TWS se tiene la pestaña de contadores que es cargada por el operador de horno, se puede observar la orden de fabricación, cliente, grado de acero, medida, peso de la colada y cantidad de blooms. Vea imagen 40.

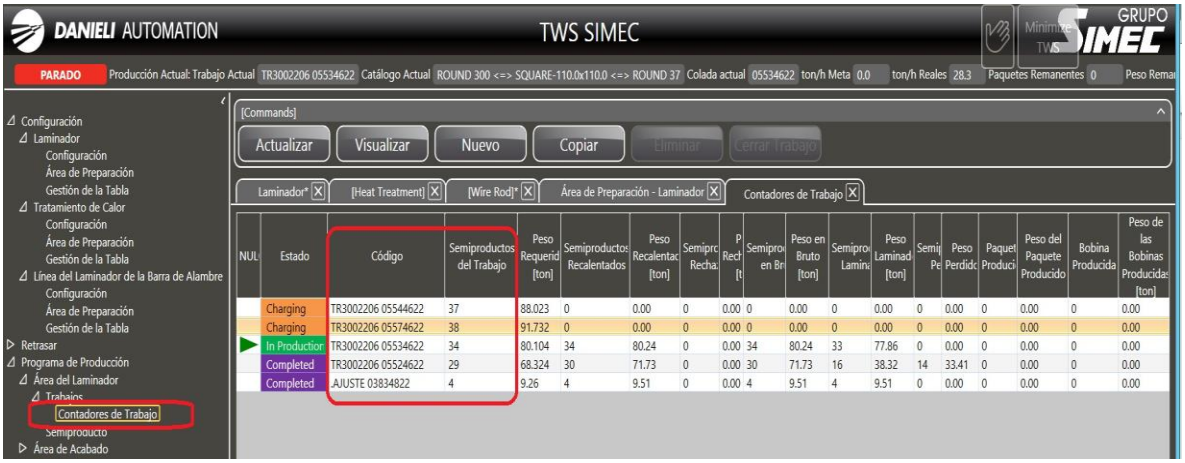


Imagen 40: *HMI del pulpito principal (TWS)*

Antes de cargar la tabla se tiene que buscar en los parámetros de control el valor nominal de acuerdo con la norma del cliente vea imagen 41.

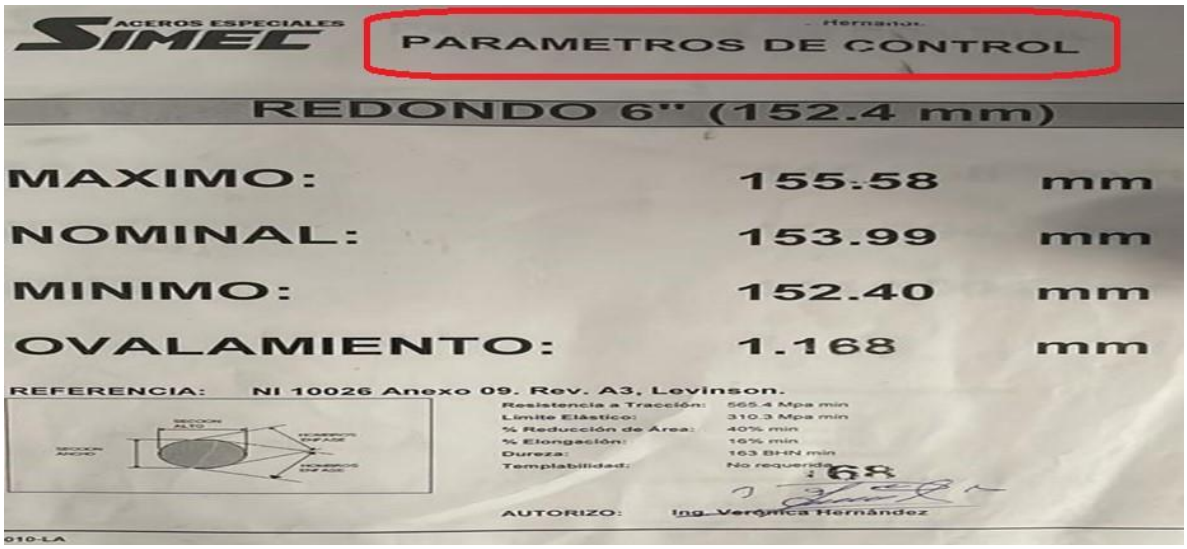


Imagen 41: *Parámetros de control de barra para la medida de 6 pulgadas.*

4.9.- Cargar en línea datos de taller en TWS

Como primer paso el operador del pulpito principal mediante TWS debe cargar en línea los datos actualizados preparados por personal de taller, se debe consultar con el supervisor de taller el nombre asignado a la tabla, seleccionar taller y en la opción de

equipamiento seleccionarla en donde se encontrarán el tipo de guías, gaps del DSD, intermedio y diámetros de cada estante, seleccionar tabla y damos clic en la opción cargar. Es importante pedir a taller la copia de armado con los diámetros de los anillos, guías para tener control de los parámetros y evitar un atorón, vea imagen 42.

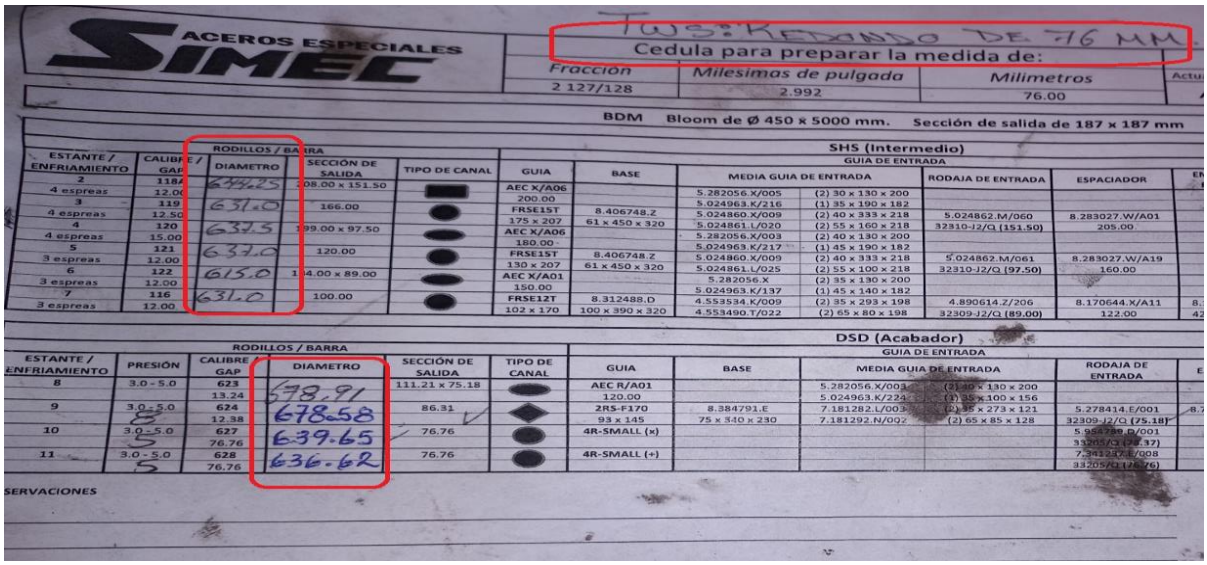


Imagen 42: Cedula de armado

4.10.- Preparación de tabla ya existente en TWS.

Como primer paso seleccionaremos configuración y daremos clic en la pestaña de laminación posteriormente saldrá una opción de cargar, seleccionamos cargar y saldrán todas las tablas existentes de los productos ya laminados, seleccionar la medida que se quiere laminar y cargar vea imagen 43, algunos dímetros pueden no coincidir con los valores existentes por motivos de maquinado de rodillo o que la vida útil del anillo ya llego a su límite.

Nota: Existen 2 tipos de tabla para barra que son en barra cascada y barra no cascada.

Barra cascada: tabla con acabador DSD

Barra no cascada: tabla con acabador SHS utilizando canalón de paso en DSD.

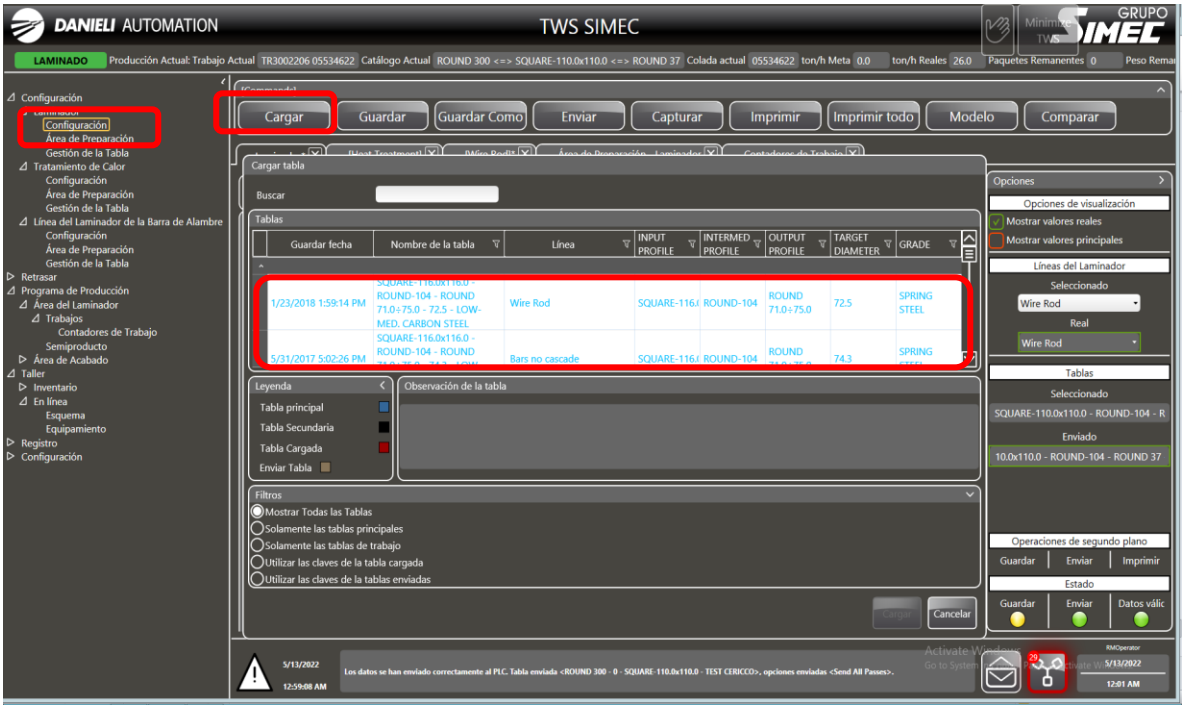


Imagen 43: Pestaña donde se encuentran las tablas existentes

4.10.1.- Actualización de diámetros de intermedio y DSD en tabla laminador.

La actualización de los diámetros se hace desde la tabla TWS, en la parte superior derecha de la pestaña laminador se encuentra la pestaña modelo damos clic y se tienen 2 opciones y seleccionaremos “leer desde el laminador WSP”, aparece la página con la lista de los parámetros que se quieren actualizar, seleccionamos solo los diámetros de los rodillos del tren continuo SHS, DSD y diámetros de guías de DSD posteriormente seleccionar la opción de cargar y se habrán actualizado los diámetros en la tabla de laminación, como último paso damos en la opción de enviar en todos los datos para que se actualicen los datos de RM y Configuración de parámetros.

Nota: En la tabla RM existen 2 valores que son los de la tabla que se encuentran en color negro y los valores reales con los que se están trabajando en el laminador, los valores pueden no ser iguales y esto puede pasar cuando no se ha enviado los parámetros de la tabla o se realizó un ajuste

4.11.- Crear tabla para un producto nuevo

Una tabla nueva se crea desde una tabla ya existente para un producto similar y se salva con el nombre del producto nuevo.

Seleccionar la opción de guardar como y aparecerá la ventana de créate table donde se recopilarán los datos para generar la tabla vea imagen 44, solo llenar los campos que se explicarán a continuación obtenidos por la cedula de laminación proporcionada por ingeniería de procesos.

INPUT PROFILE: Salida del estante uno BDM

INTERMEDIATE PROFILE: Salida tren continuo, ultimo estante en línea de intermedio.

OUTPUT PROFILE: Seleccionar el rango que contenga la medida del perfil que requiere el cliente, tomando como objetivo el valor nominal de los parámetros de control para la medida que proporciona ingeniería de procesos.

TARGET DIAMETER: Este diámetro se obtiene en los parámetros de control del producto a laminar y se coloca el valor nominal que es el valor requerido del estante acabador.

Imagen 44: *Tabla donde se tienen que llenar los parámetros para crear una nueva tabla*

Seleccionamos guardar y estará creada la tabla para el nuevo producto, posteriormente para el intermedio los valores se insertan de forma manual.

MODELO DSD: como siguiente paso seleccionaremos la pestaña modelo DSD y aparecerá la siguiente ventana vea imagen 45. Insertar la velocidad de salida del laminador que se saca del documento árbol de laminación, vea imagen 46

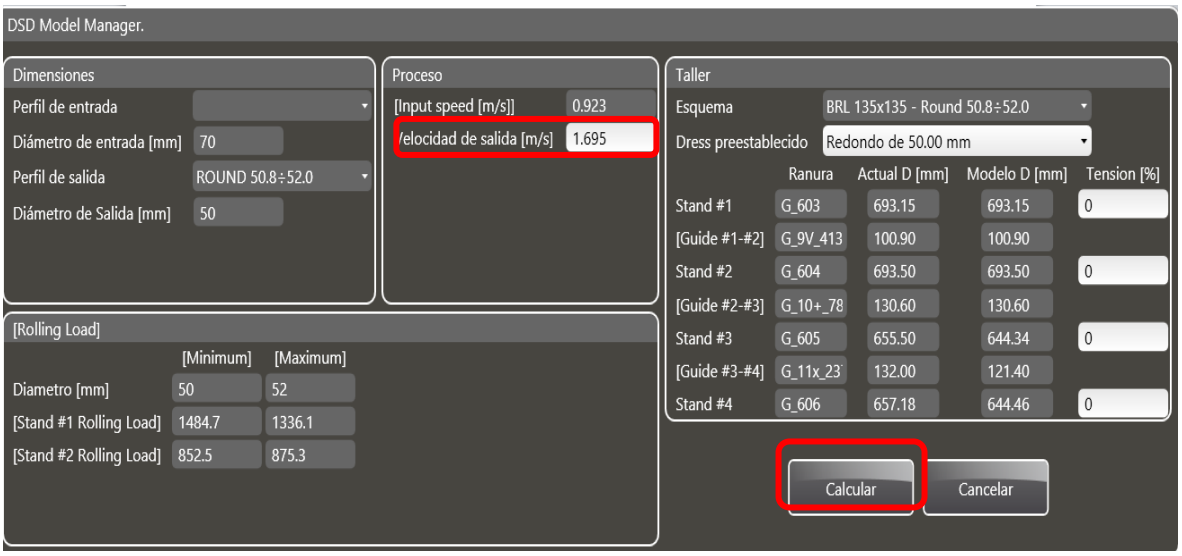


Imagen 45: *Pestaña para generar un nuevo modelo.*

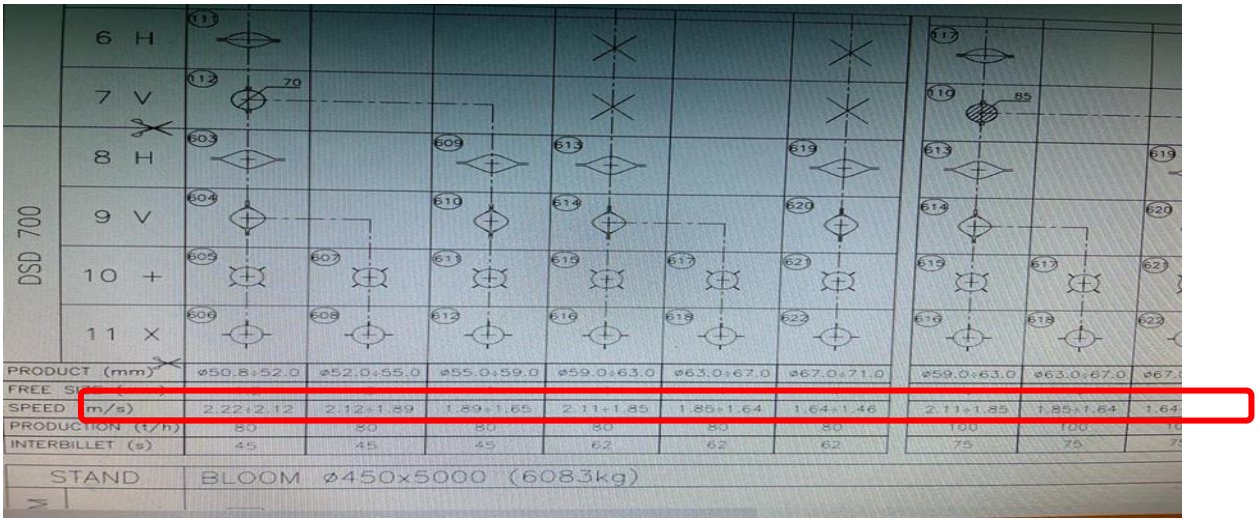


Imagen 46: *Árbol de laminación para barra*

Los dos valores de velocidad para cada rango se refieren al producto más pequeño y más grande, si el producto es intermedio hacer la proporción.

Ecuación para calcular la velocidad del laminador

Velocidad mínima x diámetro mínimo^2 /valor nominal del producto^2= velocidad de salida de laminador m/2.

en el campo drees prestablecido seleccionar el nombre de la tabla que es cargada por el supervisor de taller de acuerdo con la medida, vea imagen 47.

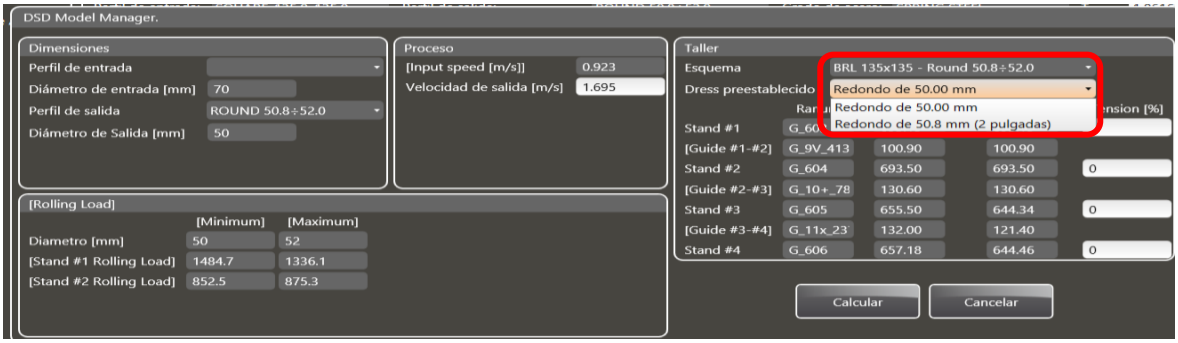


Imagen 47: *Tabla modelo*

Seleccionar la opción de calcular y aparecerá la siguiente ventana vea imagen 48.

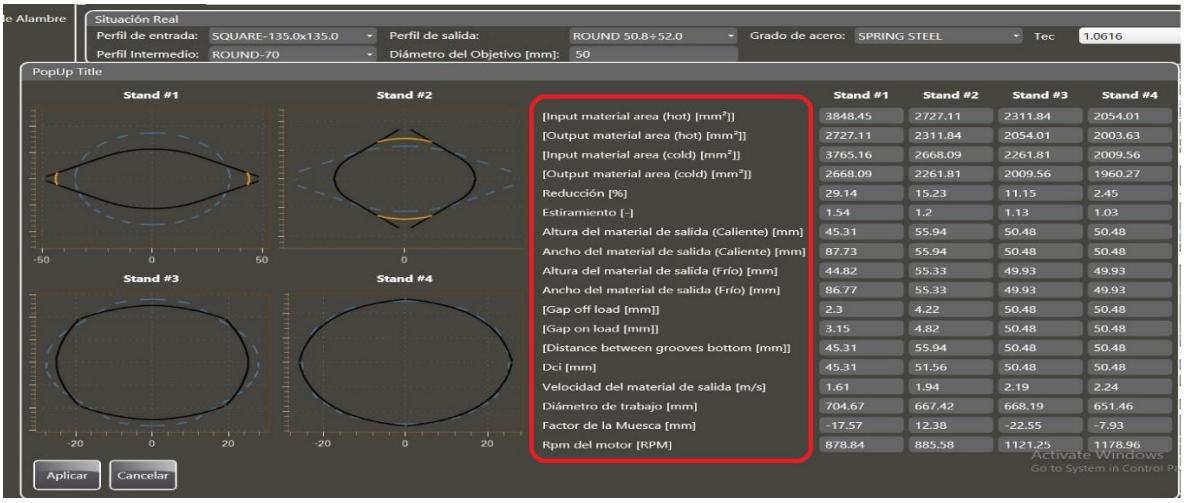


Imagen 48: *Se observan los valores del modelo generado*

Seleccionar aplicar, los datos en la tabla TWS se recopilarán automáticamente. Es importante seleccionar en el cuadro de la derecha BARS de la pantalla TWS para la parte leneas de laminador.

4.11.1.- Confirmación de luz

La confirmación de luz se lleva a cabo después de haber enviado la tabla ya existente o creada.

Seleccionar la pestaña confirmación de gap en la página HMI y aparecerá la página donde seleccionaremos la confirmación del gap de los estantes 8, 9 y guía del 9 y fondo de pase de los estantes 10, 11 y guías de los estantes 10, 11, estos valores son los ya cargados en la tabla equipamiento de taller. Vea imagen 49.

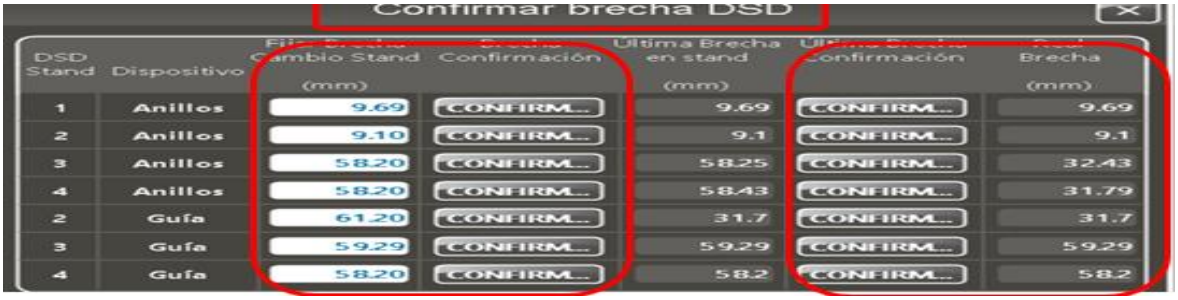


Imagen 49: *Confirmación de luz*

NOTA: En la página confirmación de gap es muy importante saber que confirmación seleccionar ya que si no se hace cuidadosamente podría abrir o cerrar el gap del estante generando un atorón.

4.11.2.- Posicionamiento de gap

El posicionamiento del gap se realiza desde la pestaña Wear Comp de la HMI, seleccionar la pestalla y saldra un recuadro con todos los gap que confirmamos anteriormente vea imagen 50. Ya una vez realizado todo los pasos anteriores estar lista la tabla para poder laminar.

Imagen 50: *Tabla para posicionar gaps del DSD, guías y ajustar según la medida.*

4.12.- Arranque de equipo

Para la puesta en marcha de todo el equipo la primera acción del operador del pulpito principal es el arranque de las unidades hidráulicas de **HYD_RM y HYD_CB** ver imagen 51.

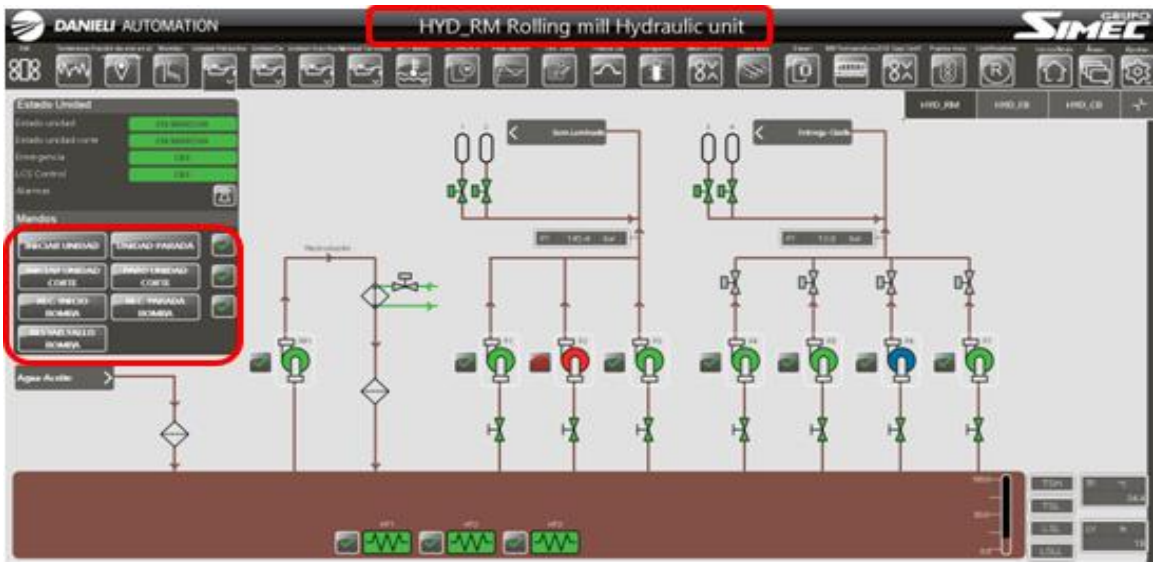


Imagen 51: *Unidad hidráulica SHS arranque*

Se deben encender las unidades de lubricación **LUB_RM, LUB_DSD y el LUB_SH2**, una vez encendidas se selecciona la opción **DELIVERY** ver imagen 52.

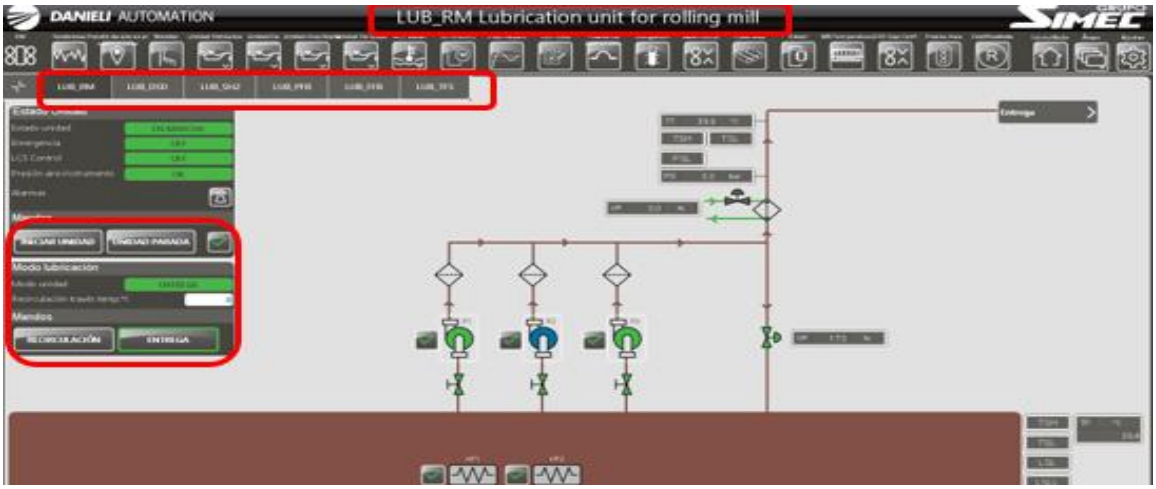


Imagen 52: *Unidad de lubricación SHS arranque*

Encender las unidades de aire aceite **AO_RM y el AO_DSD** ver imagen 53.

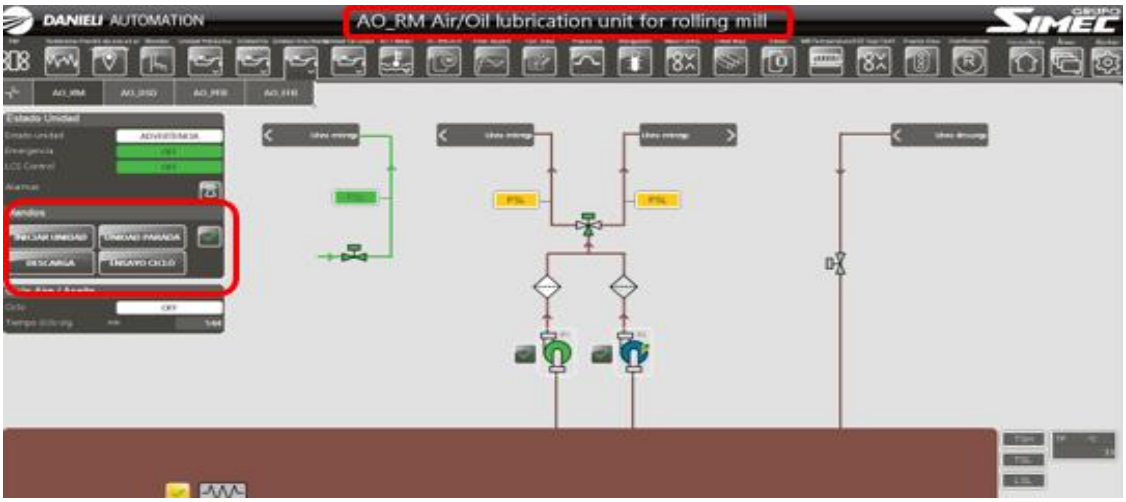


Imagen 53: *Unidad aire aceite SHS arranque*

Encender unidades de grasa **GRS_RM, GRS_SH1, GRS_SH2, GRS_CB**, estas deben quedar en modo automático ver imagen 54.

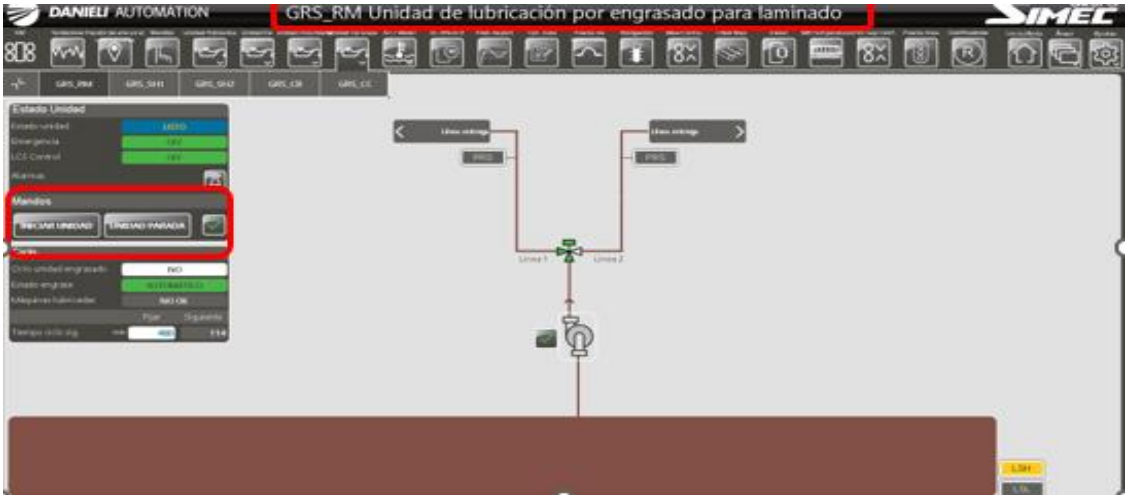


Imagen 54: *Unidad de grasa SHS arranque*

Antes de comenzar a laminar se debe probar abrir agua de enfriamiento en **el intermedio** y el **DSD** para asegurar que los enfriamientos en los rodillos están colocados correctamente con ayuda del laminador. Es importante asegurarse que se encuentren las bombas sumergibles funcionando de manera automática para evitar inundaciones en la fosa ver imagen 55.

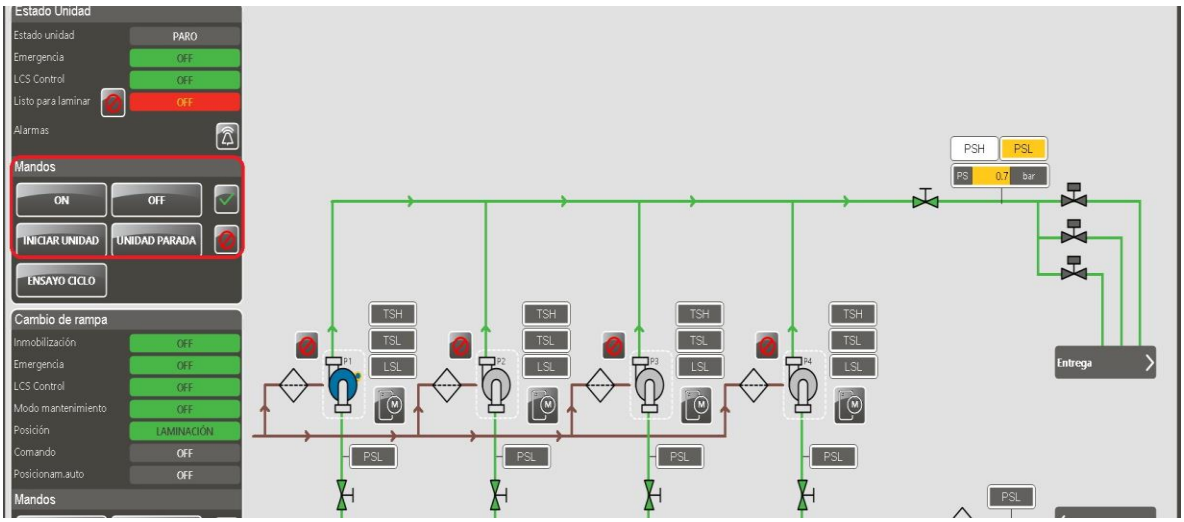


Imagen 55: *Bombas sumergibles de sótano DSD*

Para la línea de barra se deben energizar los DC-link pertenecientes a los comandos “JD” ver imagen 56.

Imagen 56: *Pestaña para encender los DC-LINCK*

En la pestaña “Comands” se tiene que encender los drives de los motores realizando el mando ON en **Int RM, SHS, DSD, Mill Ext Área, CB** ver imagen 57.

Imagen 57: *Pestaña comandos para encender por área el drive del motor*

Una vez encendido **Int RM, SHS, DSD, Mill Ext Área, CB**, poner en marcha cada uno de ellos mediante el comando START ver imagen 58.

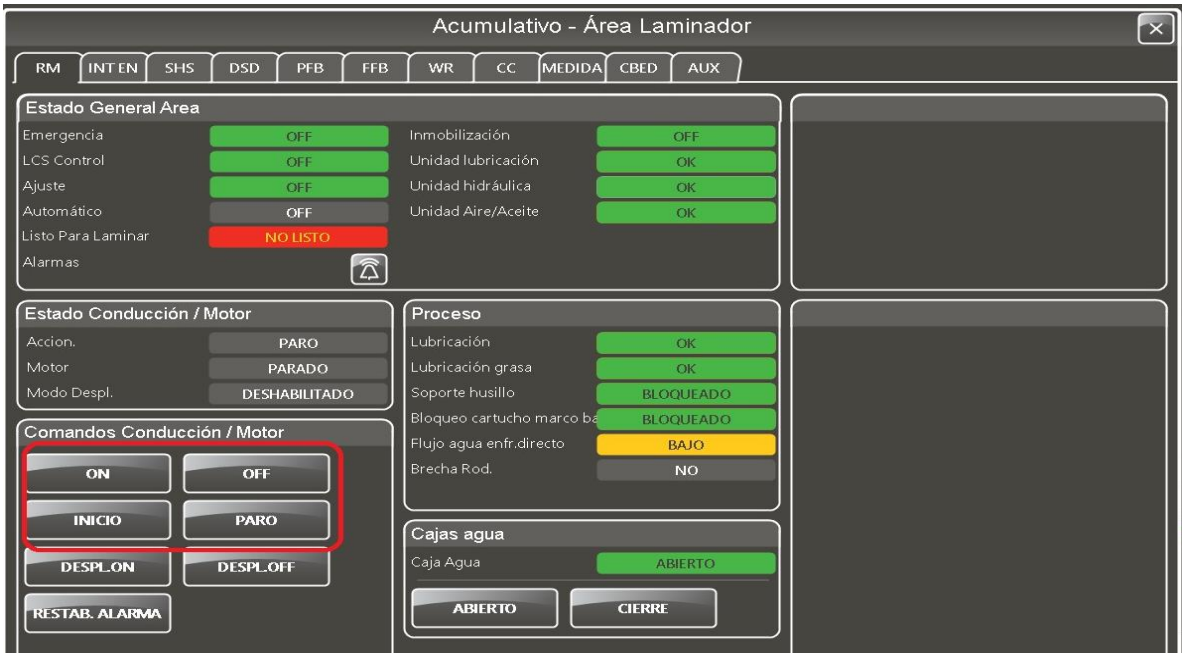


Imagen 58: *Pestaña para girar motores*

Como ayuda visual podemos observar el estado del semáforo, si se encuentra en verde, estamos listos para laminar ver imagen 59, de lo contrario si se encuentra en rojo podemos dar clic en el semáforo para ver lista de permisivos para verificar que permisivo nos hace falta ver imagen 59.

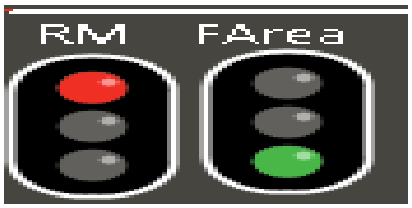


Imagen 59: *Semáforo*

Si por algún motivo un equipo se va a falla, en la pestaña de alarmas podemos identificar la causa ver imagen 60, si es necesario llamar al equipo de automatización.

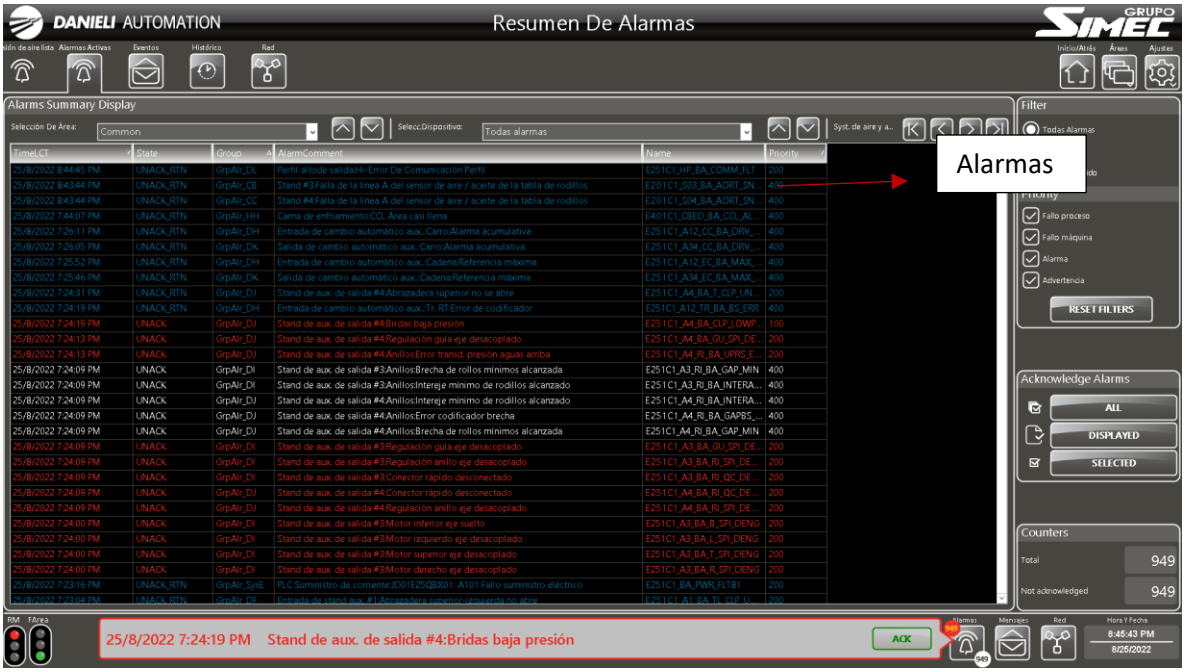


Imagen 60: *Listado de alarmas activas y solucionadas*

4.13.- Ajuste de medida

1.- Antes de pedir la primera pieza para el ajuste se tiene que realizar una prueba fantasma en el laminador ver imagen 61 para verificar que todo el equipo está trabajando bien.

Imagen 61: Prueba fantasma

2.- El operador del pulpito principal tiene que avisar al laminador y supervisor que ya este todo listo en el pulpito principal y que se realizó la prueba fantasma con éxito, de igual forma el laminador o supervisor tienen que avisar que ya está todo listo en el tren de laminación aprobando la liberación de la primera pieza de ajuste.

3.- El operador del pulpito principal tiene que preguntar al operador del horno si esta lista la temperatura del material, ya estando todo listo se pide al operador del BDM la liberación de la primera pieza de ajuste.

El ajuste de medida se realiza con el troque del motor visualizando el torque en tendencias, cuando va entrando el material a cada uno de los estantes se tiene que ajustar el torque cuando entra la punta o aproximadamente 2 metros de material en el estante 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 ya que si no se consigue ajustar la tensión o empuje del estante 2 y se pasan al torque del estante 3 tratando de ajustar sin haber ajustado el

anterior y así hasta el estante 11 se puede generar tensión, empuje vea imagen 62, generando variación de medida, onda, ruptura de material o atorón vea imagen 63.

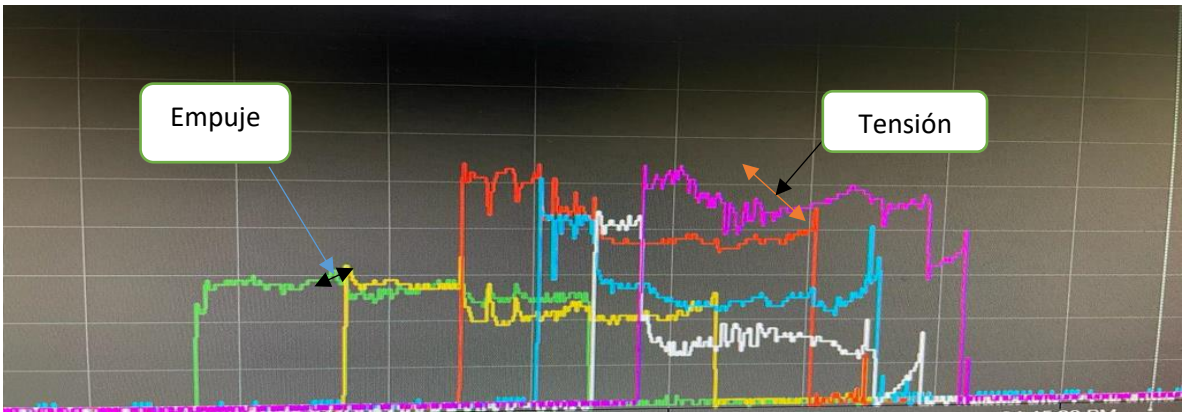


Imagen 62: *Torques de motores del SHS*

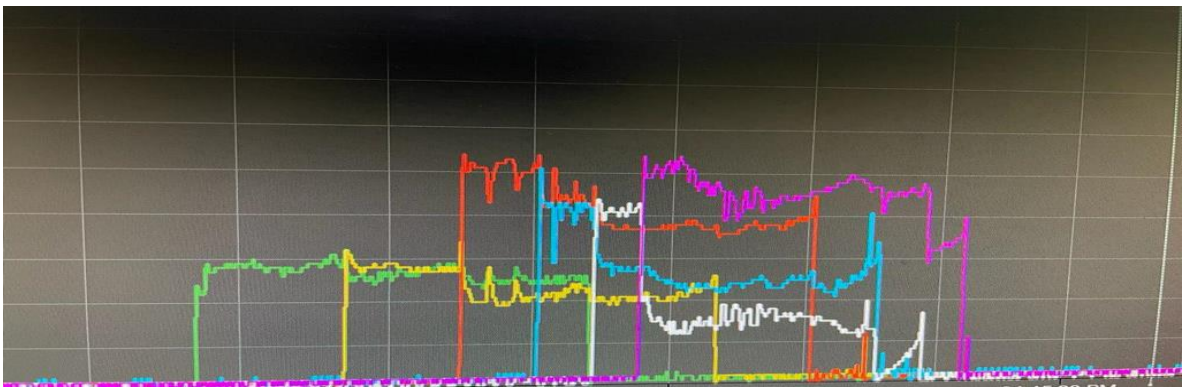


Imagen 63: *Atorón*

4.- En la imagen 64 se puede observar que el torque del estante 2 identificada con color verde está bien porque cuando entra el material al estante la gráfica del torque verde permanece constantemente hasta que entra el material al estante 3 identificada con color amarillo, se observa que la gráfica del estante 2 baja porque ya tiene un motor enfrente jalando el material y el motor del estante 3 está a mayor velocidad o no llena la sección del estante 3 y si fuera lo contrario y tuviera un aumento la gráfica se interpreta como si el motor del estante 3 tiene una velocidad más baja provocando exceso de material entre el estante 2 y 3, eso quiere interpretar que cuando una gráfica baja se tiene tensión o el

gap del estante está abierto y cuando una gráfica sube se tiene empuje o el gap del estante siguientes está cerrado.

Nota: Es de suma importancia que se llame al laminador para que verifique cuando está pasando el material por los estantes que cheque la sección en caliente del material de salida de cada estante con el compás de bola y si es necesario hacer un ajuste en el gap cuando termine de pasar el material.

Imagen 64: *Tensión y empuje en SHS*

5.- con referencia a la imagen 64 para quitar la tensión que hay en el intermedio se tiene que subir las revoluciones del estante 2, 3, 4, 5, 6, 7 para que quede el segundo ajuste como el siguiente vea imagen 50, en la imagen se puede observar que ya solo hay tensión entre el estante 7, 8 y se provocó empuje entre el estante 5, 6 y 6, 7 vea imagen 65.

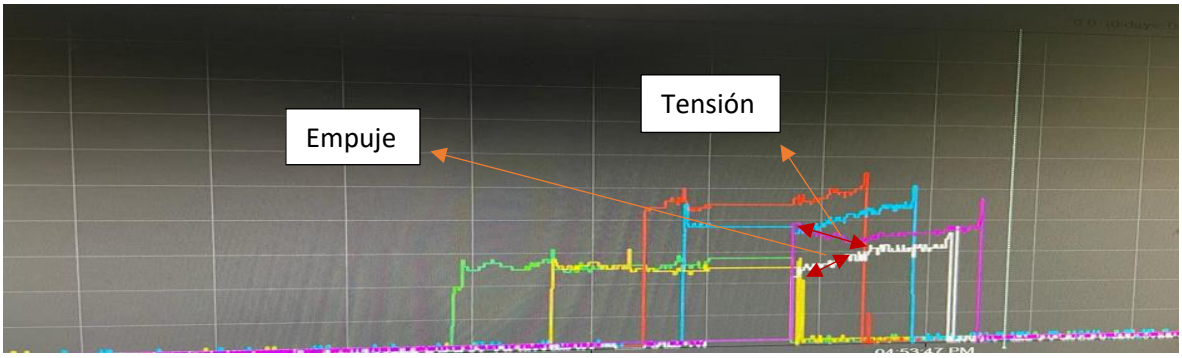


Imagen 65: *Tensión y empuje en SHS*

Para el siguiente ajuste se tiene que bajar revoluciones solo al estante 5 y 6 y subir revoluciones al estante 7 para quedar con las graficas del torque de los motores del intermedio horizontalmente vea imagen 66.

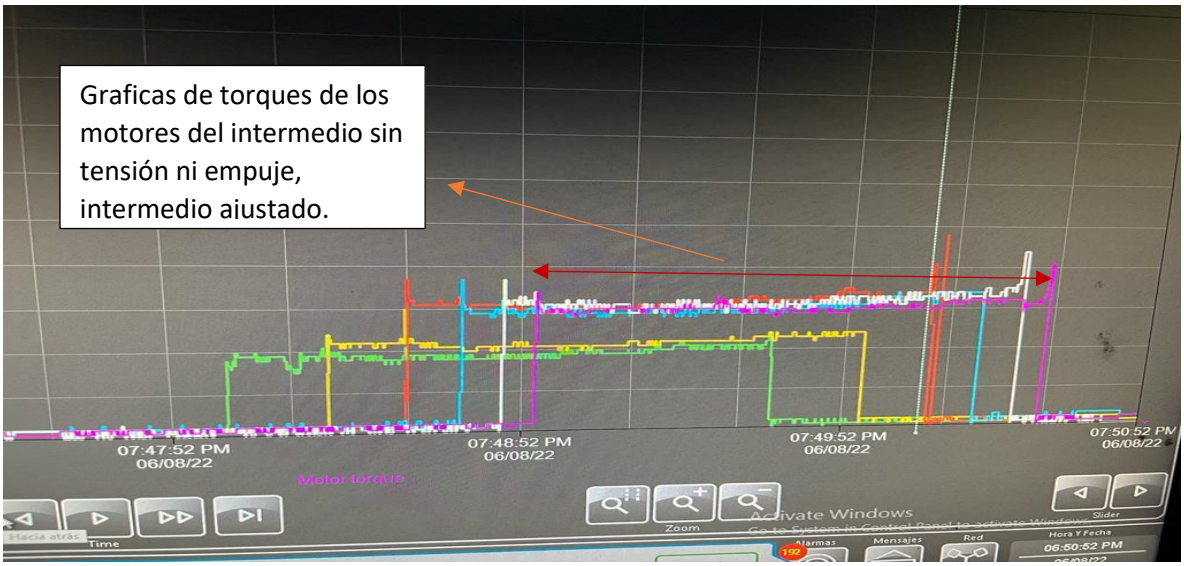


Imagen 66: *Torques de SHS sin tensión ni empuje*

Nota: Para poder ajustar el DSD se tiene que ajustar primero el intermedio ya que si no se ajusta cuando algun estante suelte el material probocara empuje o tension en el DSD ocacionando variacion de medida, ruptura de material o un atoron.

En la imagen 67 se puede observar que de igual forma que el intermedio al inicio se tiene tension entre los estantes 8 y 9, entre los estantes 9 y 10 se tiene empuje, entre los estantes 10 y 11 se tiene empuje, para poder quitar la tension entre los estantes 8 y 9 se tiene que subir las rpm al estante 8, para quitar el empuje entre los estantes 9 y 10 se tiene que bajar las rpm al estante 9 y para quitar el empuje entre el estante 10 y 11 se tiene que bajar las rpm al estante 10.

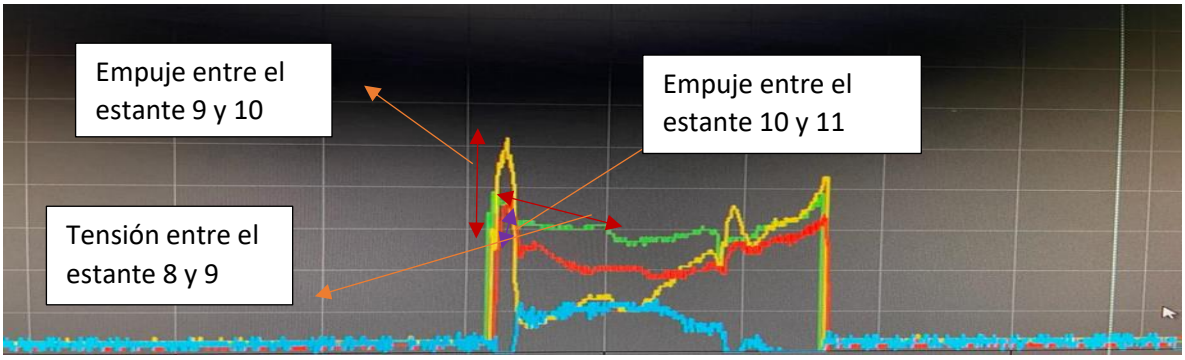


Imagen 67: *Torques del DSD con tensión y empuje*

En la imagen 68 se obseva que ya con el ajuste anterior ya no se tiene tension ni empuje entre el estante 8 y 9 y ya disminuño el empuje que se tenia entre el estante 9,10 y 10 y 11, ya solo falta bajar mas rpm al estante 9 para disminuir el empuje entre el estante 9 y 10 y bajar mas revoluciones al estante 10 para disminuir el empuje que se tiene entre el estante 10 y 11.

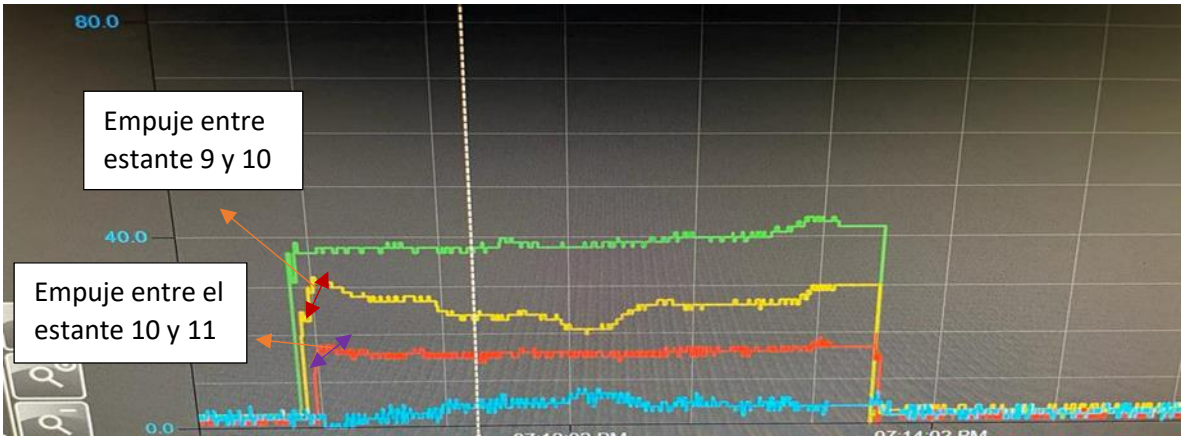


Imagen 68: *Torques del DSD con empuje*

Con los ajustes anteriores se quito el empuje y tension que se tenia en DSD y finalmente quedo bien vea imagen 69.

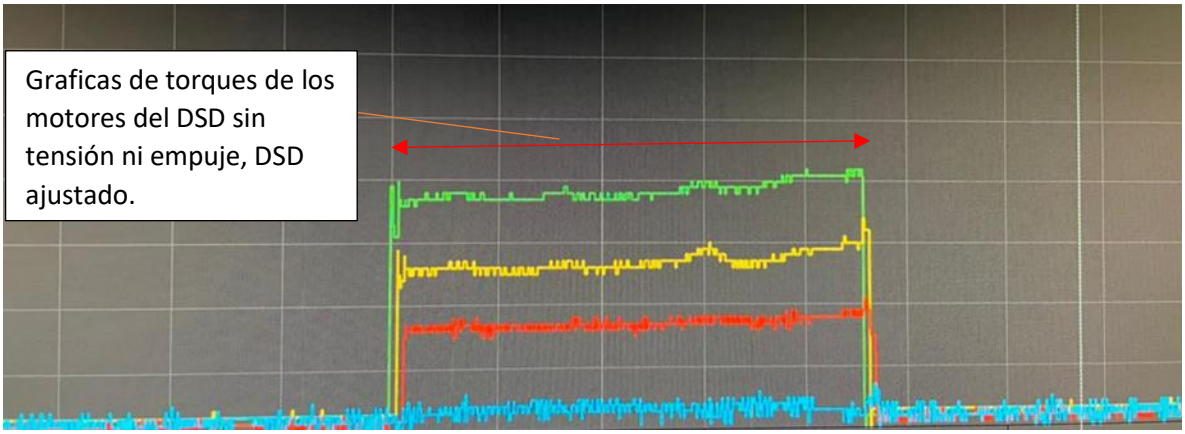


Imagen 69: *Torques del DSD ajustado sin empuje ni tensión*

Ya una ves entendiodo como es el ajuste del intermedio y DSD por separado ahora cuando se lamine un bloom se tendran que aplicar todos los puntos explicados anteriormente ya que se va a tener que ajustar intermedio, DSD y cerando o abriendo la luz de los estantes teniendo como referencia la medida del hi-profile todo al mismo tiempo vea imagen 70.

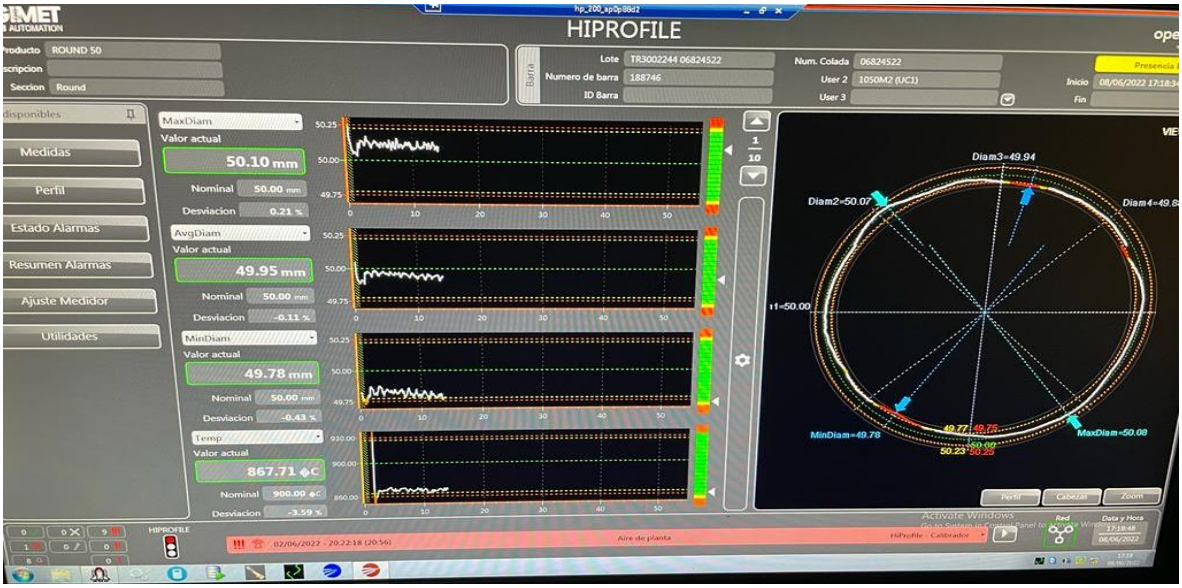


Imagen 70: *Hi-profile*

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1.- Resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos con el calibrador de procesos y el procedimiento para la operación del pulpito principal.

5.1.1.- Resultados de mediciones con el calibrador de procesos

Evidencias de cómo se buscaron en los diagramas eléctricos los termopares y se identificaron de acuerdo a que zona del horno pertenece cada uno y se tomaron las mediciones correspondientes con el calibrador de procesos.

5.1.2.- Zona 1 del horno.

En la zona 1 pertenece el termopar TT 010101 y TT 010102 vea imagen 71.

Imagen 71: *HMI del horno zona 1*

En la imagen 72 se muestra la temperatura de 1162.6°C que se obtuvo con el calibrador de procesos en el termopar 1 con número de tag TT 010101 de la zona 1 y la temperatura de 1188°C del termopar 2 con número de tag TT 010102.

Imagen 72: *Temperaturas del termopar 1 y 2 medidas con un calibrador de procesos.*

En la imagen 73 se muestra el diagrama eléctrico perteneciente a la zona 1 del horno mostrando el símbolo de los dos termopares y su número de tag correspondiente.

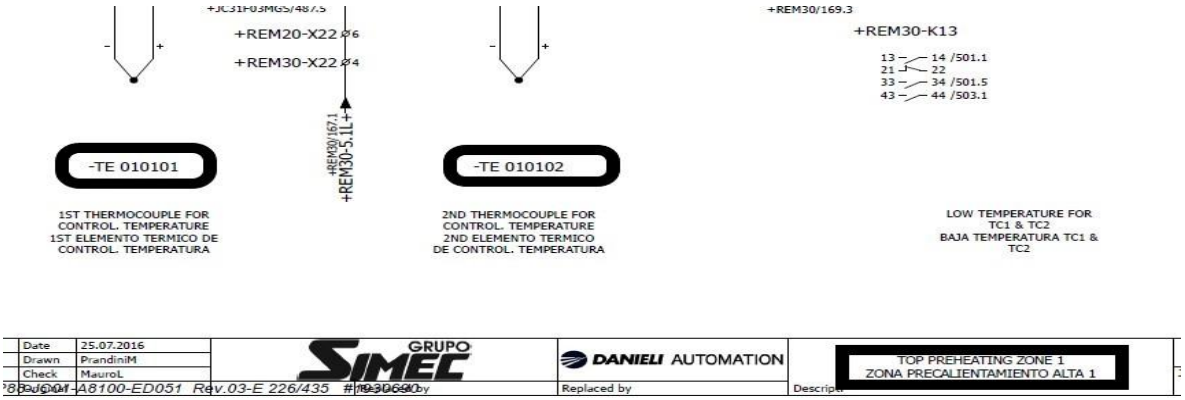


Imagen 73: *Diagrama eléctrico identificando termopar 1 y 2 de la zona 1.*

5.1.3.- Zona 2 del horno.

En la zona 2 se tiene el termopar TT 010201 y TT 010202 ver imagen 74.

Imagen 74: *HMI del horno zona 2*

En la imagen 75 se muestra la temperatura de 1138°C que se obtuvo con el calibrador de procesos en el termopar 1 con número de tag TT 010201 de la zona 2 y la temperatura de 1163.6°C del termopar 2 con numero de tag TT 010202.

Imagen 75: *Temperatura del termopar 1 y 2 de la zona 2 medida con un calibrador de procesos.*

En la imagen 76 se muestra el diagrama eléctrico perteneciente a la zona 2 del horno mostrando el símbolo de los dos termopares y su número de tag correspondiente.

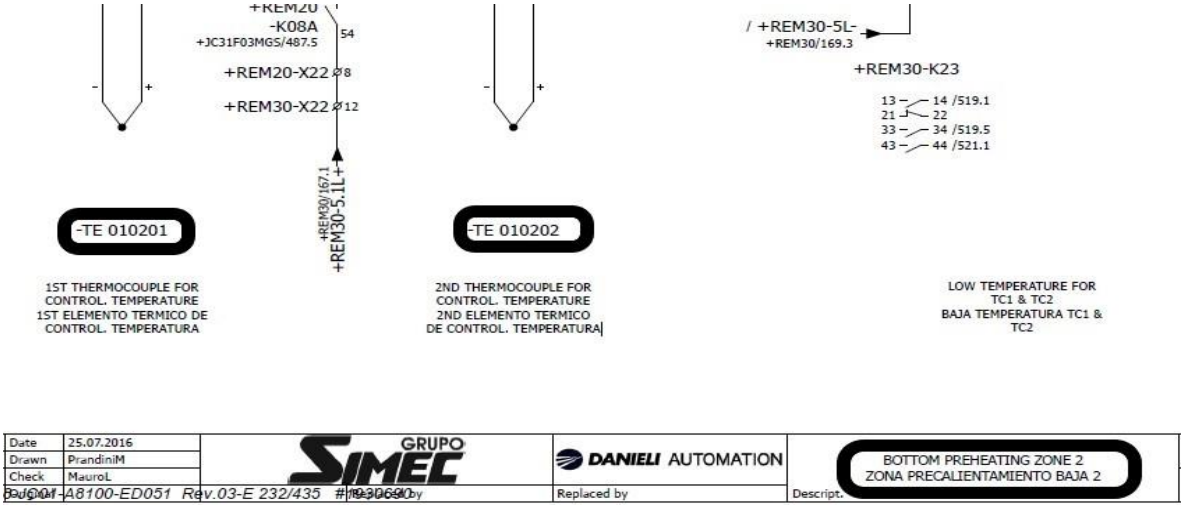


Imagen 76: Diagrama eléctrico de la zona 2 identificando termopar 1 y 2

5.1.4.- Zona 3 del horno

En la zona 3 se tiene el termopar TT 010301 y TT 010302 ver imagen 77.

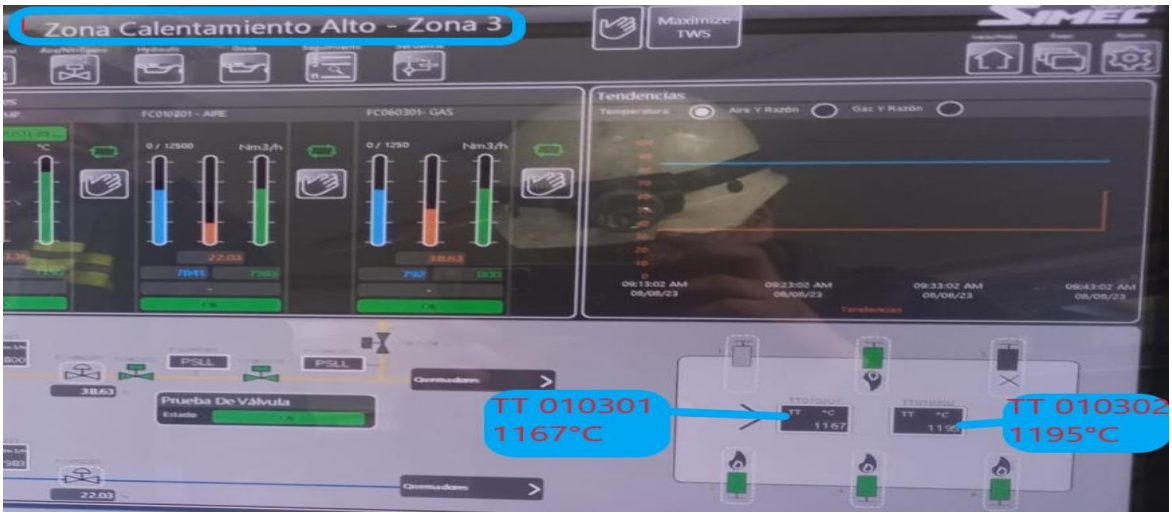


Imagen 77: HMI del horno zona 3.

En la imagen 78 se muestra la temperatura de 1206.5°C que se obtuvo con el calibrador de procesos en el termopar 1 con número de tag TT 010301 de la zona 3 y la temperatura de 1190.8°C del termopar 2 con número de tag TT 010302.

Imagen 78: *Temperaturas del termopar 1 y 2 de la zona 3 medidos con un calibrador de procesos.*

En la imagen 79 se muestra el diagrama eléctrico perteneciente a la zona 3 del horno mostrando el símbolo de los dos termopares y su número de tag correspondiente.

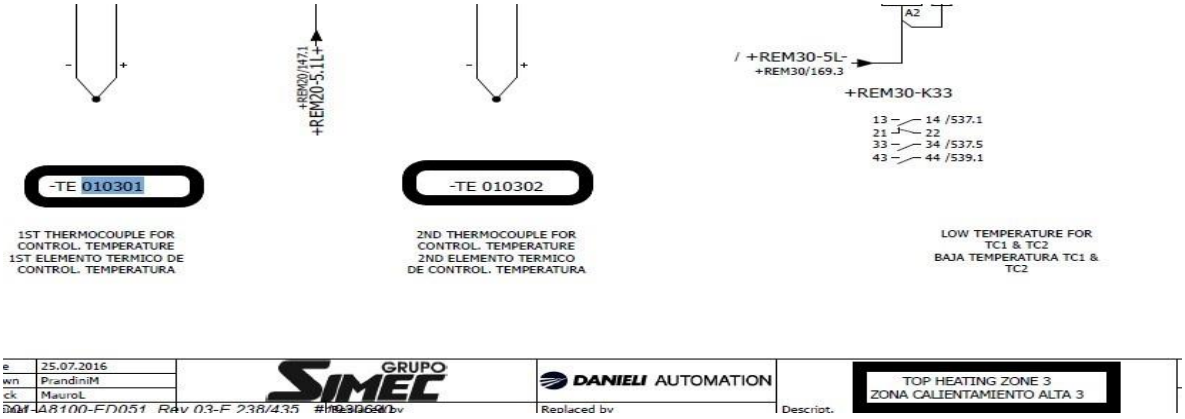


Imagen 79: *Diagrama eléctrico de la zona 3 identificando los termopares 1 y 2.*

5.1.5.- Zona 4 del horno

En la zona 4 se tiene el termopar TT 010401 y TT 010402 ver imagen 80.

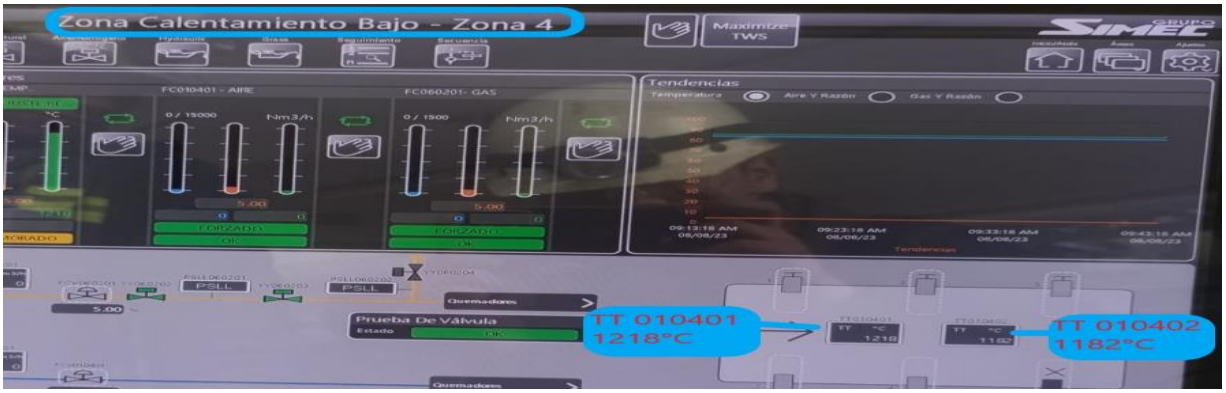


Imagen 80: *HMI del horno zona 4.*

En la imagen 81 se muestra la temperatura de 1230.8°C que se obtuvo con el calibrador de procesos en el termopar 1 con numero de tag TT 010401 de la zona 4 y la temperatura de 1188.9°C del termopar 2 con numero de tag TT 010402.

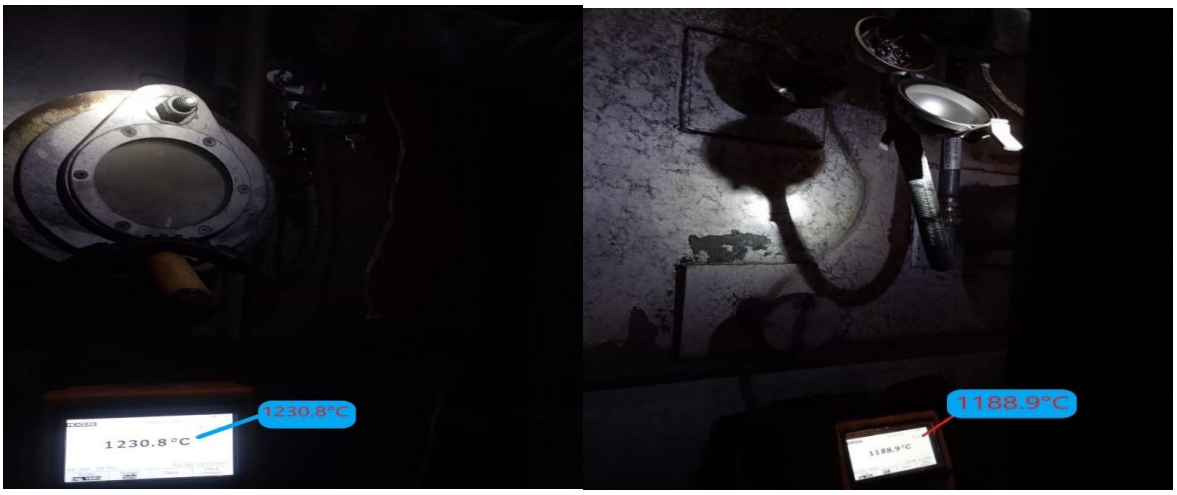


Imagen 81: *Temperaturas del termopar 1 y 2 de la zona 4 medidas con un calibrador de procesos.*

En la imagen 82 se muestra el diagrama eléctrico perteneciente a la zona 4 del horno mostrando el símbolo de los dos termopares y su número de tag correspondiente.

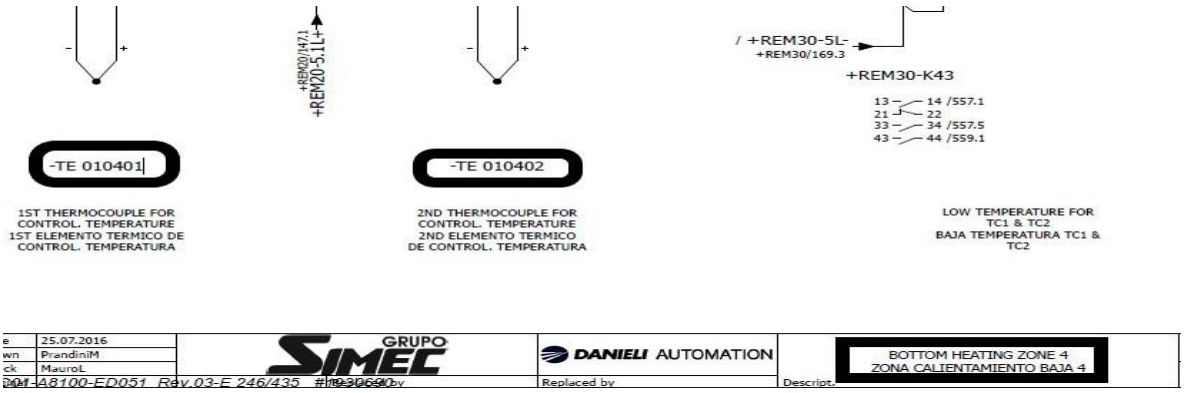


Imagen 82: *Diagrama eléctrico de la zona 4 identificando los termopares 1 y 2.*

5.1.6.- Zona 5 del horno

En la zona 5 se tiene el termopar TT 010501 y TT 010502 ver imagen 83. no se muestran mediciones con el calibrador de procesos ya que los termopares están dañados porque tienen una oscilación en la temperatura ocasionando que en el HMI del horno marque en falla y se apague el horno por condiciones de fabricación, los dos termopares están con un puente en el programa por parte de automatización tomando como referencia el termopar 1 de la zona 6 para evitar que se apague el horno.

Imagen 83: *HMI del horno zona 5*

En la imagen 84 se muestra el diagrama eléctrico perteneciente a la zona 5 del horno mostrando el símbolo de los dos termopares y su número de tag correspondiente.

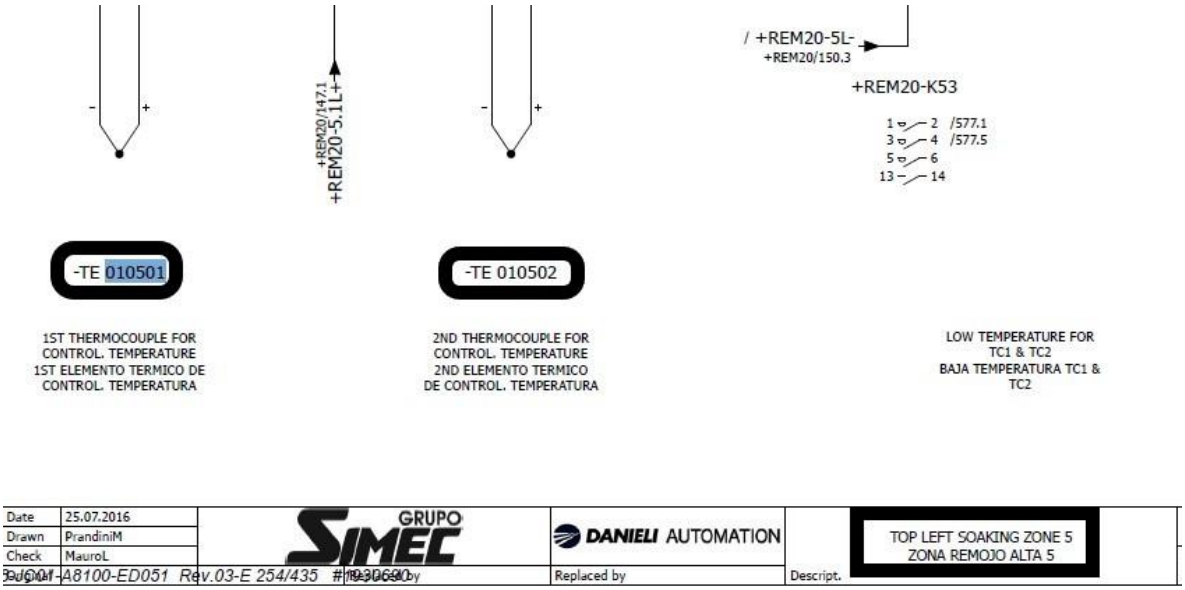


Imagen 84: *Diagrama eléctrico de la zona 5 identificando los termopares 1 y 2.*

5.1.7.- Zona 6 del horno

En la zona 6 se tiene el termopar TT 010601 y TT 010602 ver imagen 85.

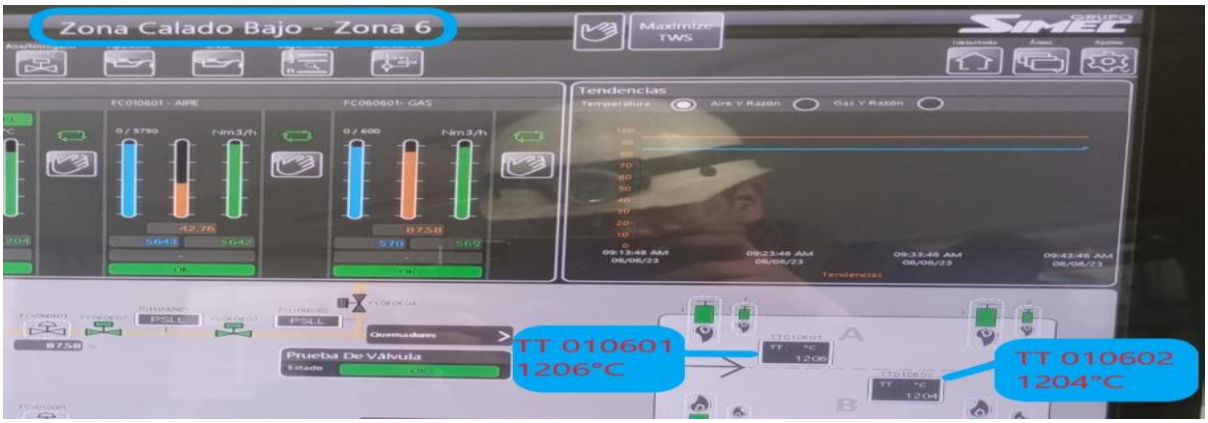


Imagen 85: *HMI del horno zona 6.*

En la imagen 86 se muestra la temperatura de 1219.4°C que se obtuvo con el calibrador de procesos en el termopar 1 con número de tag TT 010601 de la zona 6 y la temperatura de 1222.3°C del termopar 2 con número de tag TT 010602.

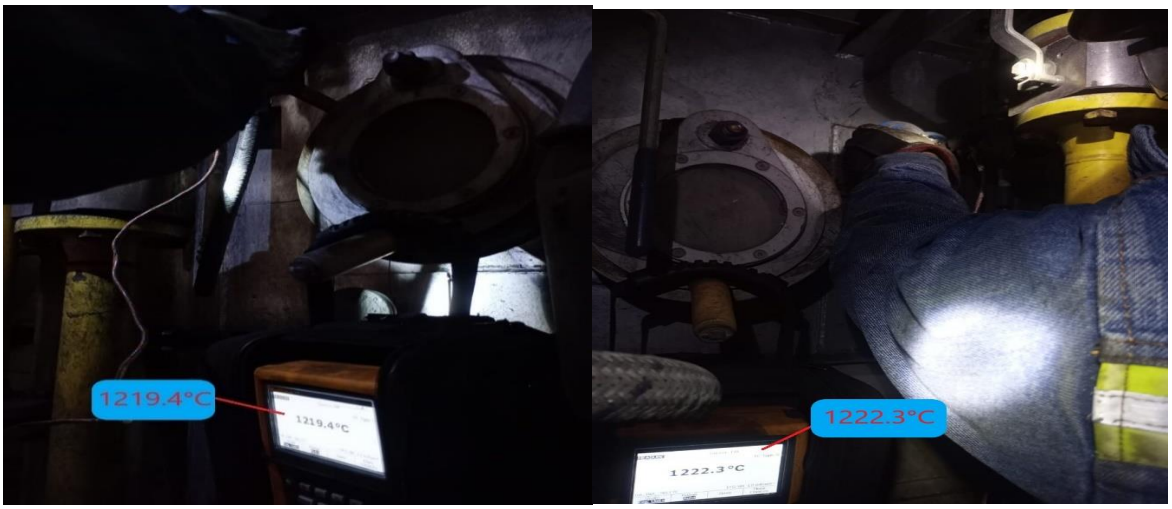


Imagen 86: *Temperaturas del termopar 1 y 2 de la zona 6 medidas con un calibrador de procesos.*

En la imagen 87 se muestra el diagrama eléctrico perteneciente a la zona 6 del horno mostrando el símbolo de los dos termopares y su número de tag correspondiente.

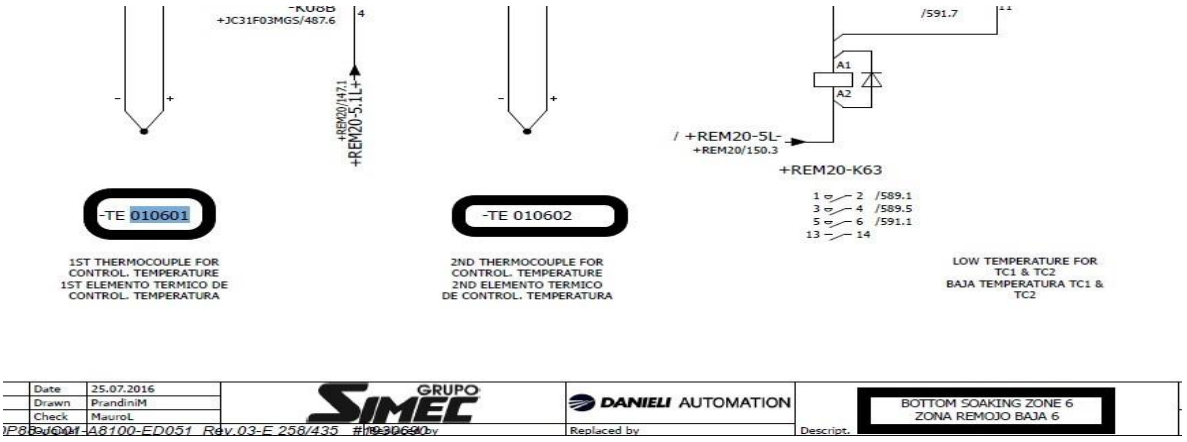


Imagen 87: *Diagrama eléctrico de la zona 6 identificando los termopares 1 y 2.*

5.1.8.- Zona 7 del horno

En la zona 7 se tiene el termopar TT 010701 y TT 010702, ver imagen 88.

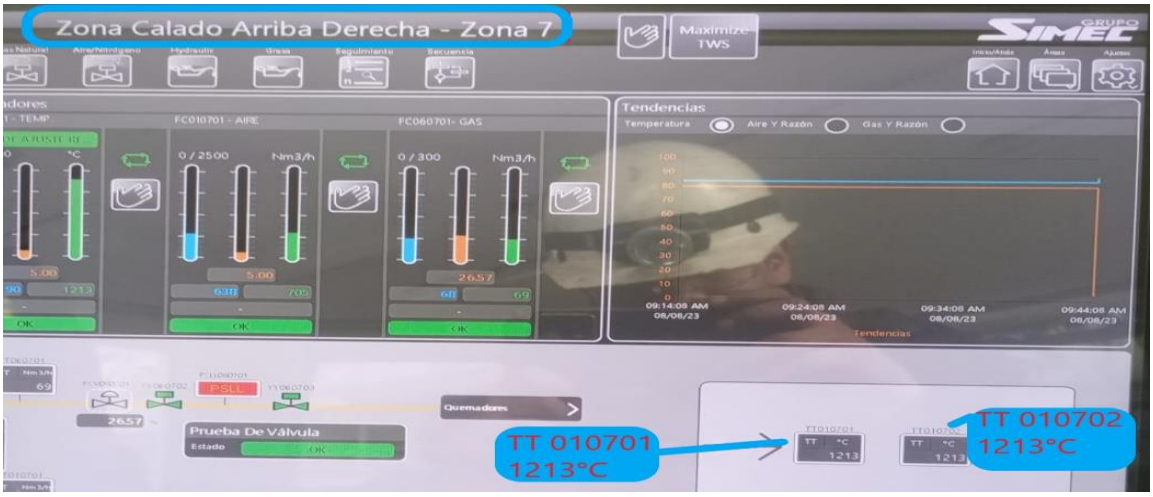


Imagen 88: *HMI del horno zona 7.*

En la imagen 89 se muestra la temperatura de 1209.1°C que se obtuvo con el calibrador de procesos en el termopar 1 con número de tag TT 010701 de la zona 7 y la temperatura de 1263.6°C del termopar 2 con número de tag TT 010702.

Imagen 89: *Temperaturas del termopar 1 y 2 de la zona 7.*

En la imagen 90 se muestra el diagrama eléctrico perteneciente a la zona 7 del horno mostrando el símbolo de los dos termopares y su número de tag correspondiente.

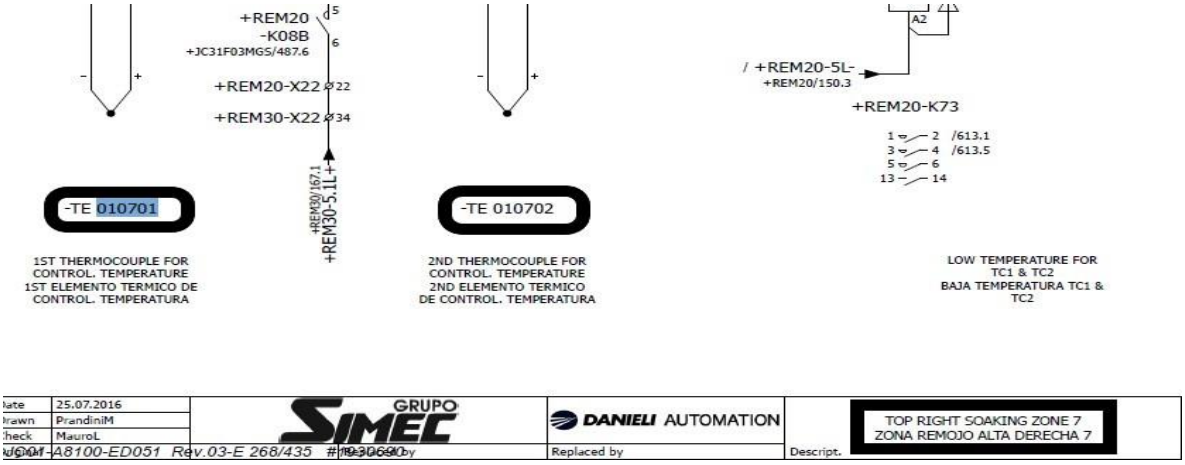


Imagen 90: *Diagrama eléctrico de la zona 7 identificando los termopares 1 y 2.*

5.2.- Resultados del manual de procedimiento.

Los resultados que se obtuvieron al poner en marcha el procedimiento a una persona que no tenía conocimiento fue el entendimiento más rápidamente y así mismo la capacitación del personal agilizando el aprendizaje, menor tiempo para ajuste de medida, menos material rechazado y menos atorones.

En la imagen 91, 92 y 93 se muestra el tiempo de ajuste por una persona que no tenía aun el conocimiento que se adquiere con este procedimiento, el tiempo máximo en ocasiones es de 8 horas o más y en algunas ocasiones se cambia mejor de medida por no poder ajustar la requerida.

Demoras en el proceso

Pérdidas

Referencia Alteraçã	Fecha Inicial	Hora I	Fecha Final	Hora F	Tiempo	Cuadrilla	Turn	Indicador Impactado	Producto	Ubicación	Equipamiento	Responsable	Descripción (Hecho, Causa y Acción)	Atoron
26/02/202115	26/02/2021	12:42	26/02/2021	13:46	1:04	A	2	UT	ER 50.00	DSD	DSD GENERAL	AJUSTE	HECHO: SE SACA DSD PAA ALINEAR LA MEDIDA EN UN ALTO BAJO	
03/03/20215	03/03/2021	05:49	03/03/2021	06:21	0:32	A	1	UT	ER 101.60	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	HECHO: AJUSTE DE MEDIDA.	
03/03/202115	03/03/2021	15:02	03/03/2021	15:28	0:26	B	2	UT	ER 65.00	DSD	DSD GENERAL	AJUSTE	AJUSTE DE MEDIDA	2
04/03/202125	04/03/2021	17:40	04/03/2021	18:20	0:40	B	2	UT	ER 56.00	DSD	DSD GENERAL	AJUSTE	AJUSTE DE MEDIDA	

Dashboard | PRODUCCION | DEMORAS | REGISTRO DE DEMORAS | Objetivos | TONELAJE | CAMPAÑAS | PCP | Reporte Turno | Reporte Diario | Utilización | Utilizac ...

Imagen 91: *Demoras en ajuste de medida*

Demoras en el proceso

Pérdidas

Referencia Alteraçã	Fecha Inicial	Hora I	Fecha Final	Hora F	Tiempo	Cuadrilla	Turn	Indicador Impactado	Producto	Ubicación	Equipamiento	Responsable	Descripción (Hecho, Causa y Acción)	Atoron
06/02/20214	06/02/2021	09:38	06/02/2021	12:14	2:36	B	2	UT	ER 56.00	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	Primera ajuste de medida 56mm	
08/02/20215	08/02/2021	16:00	08/02/2021	16:40	0:40	B	1	UT	ER 77.80 (3.063")	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	HECHO: AJUSTE DE PRODUCTO PARA REDONDO 3.063".	1
18/02/20211	18/02/2021	00:47	18/02/2021	01:37	0:50	A	1	UT	ER 101.60	DSD	DSD GENERAL	AJUSTE	HECHO: AJUSTE DE MEDIDA, CAUSA: HIPROFILE NO FUNCIONA SE TIENE QUE PASAR UN BLOOM Y ESPERAR A ENFRIAR PARA MEDIRLO	
25/02/20217	25/02/2021	08:51	25/02/2021	09:38	0:47	A	2	UT	ER 56.00	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	HECHO: AJUSTE DE MEDIDA, ACCIÓN: SE QUITA TENSIÓN EN EL MOLINO	1

Dashboard | PRODUCCION | DEMORAS | REGISTRO DE DEMORAS | Objetivos | TONELAJE | CAMPAÑAS | PCP | Reporte Turno | Reporte Diario | Utilización | Utilizac ...

Imagen 92*: Demoras en ajuste de medida*

Demoras en el proceso

Pérdidas

Referencia Alteraçã	Fecha Inicial	Hora I	Fecha Final	Hora F	Tiempo	Cuadrilla	Turn	Indicador Impacta	Producto	Ubicación	Equipamiento	Responsable	Descripción (Hecho, Causa y Acción)	Atoron
06/03/202114	06/03/2021	09:33	06/03/2021	10:26	0:53	B	2	UT	ER 50.00	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	HECHO: AJUSTE DE MEDIDA DE 50MM	
08/03/202115	08/03/2021	23:00	09/03/2021	00:00	1:00	B	1	UT	ER 56.00	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	HECHO : AJUSTE DE MEDIDA 56MM	

Imagen 93: *Demoras en ajuste de medida*

En la imagen 94 se muestra que en la mayoría de la producción está detenida por material no conforme y poco material está bien.

Notas de producción - Laminación Simec Tlaxcala - Planta 2

	Exibir	Dados del Colada					Blooms en Horno					Material Terminado					Registrar Produto	
3	Data Inicial	Hora Inicial	Cuadrilla	Turno	Producto	Acero	Colada	Peso Bloom	Carga	Rechazo	Atoron	Producción Teórica	Material Recibido	Material Liberado	Detenido	Rechazado	Status	Peso Bruto
3986	03/05/2022	06:30	B	1	ER 56.00	1080T12	405022-E	2.300	2	0	0	4.09					Ajuste	4.60
3987	03/05/2022	06:50	B	1	ER 56.00	1045M8	3134822	2.630	1	0	0	2.34					NOK	2.63
3988	03/05/2022	07:15	A	2	ER 56.00	1045M8	3134822	2.630	33	0	0	77.24					NOK	86.79
3989	03/05/2022	10:36	A	2	ER 56.00	1045M8	3144822	2.607	33	0	0	76.57					NOK	86.03
3990	04/05/2022	01:00	B	1	ER 50.00	1080T12	45022-E	2.308	2	0	0	4.11					Ajuste	4.62
3991	04/05/2022	03:45	B	1	ER 50.00	1050M2	5244622	2.305	31	0	0	63.59				7.86	OK	71.46
3992	04/05/2022	06:54	B	1	ER 50.00	1050M2	5264622	2.305	2	0	0	4.10					NOK	4.61
3993	04/05/2022	07:00	A	2	ER 50.00	1050M2	5264622	2.305	34	0	0	69.75					NOK	78.37
3994	04/05/2022	12:10	A	2	ER 50.00	1050M2	5274622	2.300	23	0	0	47.08				1.41	OK	52.90
3995	04/05/2022	15:15	C	3	ER 50.00	1050M2	5274622	2.300	11	0	0	22.52	22.50	22.50	0.00	1.40	OK	25.30
3996	04/05/2022	16:10	C	3	ER 50.00	1050M2	5284622	2.641	33	0	0	77.57					NOK	87.15
3997	04/05/2022	20:05	C	3	ER 50.00	1050M2	5294622	2.578	2	0	0	4.59					NOK	5.16
3998	04/05/2022	22:50	B	1	ER 50.00	1050M2	5294622	2.578	32	0	0	73.42					NOK	82.50
3999	05/05/2022	01:15	B	1	ER 50.00	1050M2	5304622	2.617	36	0	0	83.85	84.70	71.80	0.00	[illegible]	OK	94.21
4000	05/05/2022	04:20	B	1	ER 50.00	1050M2	5314622	2.622	34	0	0	79.34					NOK	89.15
4001	05/05/2022	06:20	B	1	ER 50.00	1050M2	5324622	2.546	6	0	0	13.60	15.57	4.91	0.00	9.33	OK	15.28
4002	05/05/2022	07:00	A	2	ER 50.00	1050M2	5324622	2.546	29	0	0	65.71	68.00	60.00	0.00	9.33	OK	73.83

Producto no conforme

Imagen 94*: Producto no conforme*

En la imagen 95 se muestra el tiempo de ajuste por una persona que ya tiene el conocimiento adquirido con el procedimiento y el tiempo en la mayoría de ajustes es de 15 minutos.

Demoras en el proceso

Pérdidas

	Referencia Alteraçã	Fecha Inicial	Hora I	Fecha Final	Hora F	Tiempo	Cuadrilla	Turn	Indicador Impactant	Producto	Ubicación	Equipamiento	Responsable	Descripción (Hecho, Causa y Acción)	Atoron
7327	19/04/2022 16	19/04/2022	18:30	19/04/2022	18:45	0:15	B	3	UT	ER 107.95	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	COLADA = 3514822 HECHO = AJUSTE DE MEDIDA ; PORQUE = AJUSTE DE MEDIDA4 1/4 ' ; ACCIÓN = SE AJUSTAN TENCIONES SE ABRE 1 DECIMA EST. 11 Y CIERRA 1 EST. 10 SE ESPERA A CHECAR MEDIDA Y MATERIAL PARA LIBERAR.	0
7336	20/04/2022 6	20/04/2022	18:40	20/04/2022	18:55	0:15	B	3	UT	ER 112.7	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	COLADA = 3834722-E HECHO = AJUSTE DE MEDIDA ; PORQUE = SE AJUSTA MEDIDA DE 4 7/16' ; ACCIÓN = SE ABREN 4 DCIMAS EST. 10 Y 5 EST. 11 SE ESPERA A QUE CHEQUEN MEDIDA PARA LAMINAR .	0
7341	21/04/2022 2	21/04/2022	02:35	21/04/2022	02:50	0:15	A	1	UT	ER 114.3	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	COLADA = 4774722 HECHO = SE ALIMENTA UN BLOOM ; PORQUE = AJUSTE DE MEDIDA ; ACCIÓN = SE CIERRA 0.04 MM AL ESTANTE 10 Y AL ESTANTE 11 SE ABRE	0
7343	21/04/2022 4	21/04/2022	11:00	21/04/2022	11:15	0:15	C	2	UT	ER 101.60	LAMINADOR	CAMBIO DE PASES	AJUSTE	COLADA = 3834722-E HECHO = SE ALIMENTA PIEZA DE AJUSTE; PORQUE = CAMBIO DE MEDIDA; ACCIÓN = SE ABRE 0.5mm EN EST. 11 Y SE CHECAN LA MEDIDAS.	0
7346	21/04/2022 7	21/04/2022	16:45	21/04/2022	17:05	0:20	B	3	UT	R 157.00 (6 1/8	LAMINADOR	CAMBIO DE PASES	AJUSTE	COLADA = 19081096 HECHO = SE ALIMENTA UNA PIEZA DE AJUSTE; PORQUE = PRUEBA ; ACCIÓN = SE AJUSTAN TENSIONES EN SHS Y CHECAN MEDIDAS.	0
7429	27/04/2022 9	27/04/2022	23:20	27/04/2022	23:45	0:25	C	1	UT	ER 50.00	LAMINADOR	LAMINADOR	AJUSTE	COLADA = 4864722 HECHO = AJUSTE DE MEDIDA; PORQUE = CAMBIO DE MEDIDA; ACCIÓN = SE AJUSTAN TENCIONES Y EMPUJES DE SHS Y DSD.	0

Imagen 95: *Menor demora en ajuste*

En la imagen 96 se demuestra el fruto del procedimiento ya que se tiene mayor producción conforme.

Notas de producción - Laminación Simec Tlaxcala - Planta 2

Registrar Produto

	Exibir	Dados del Colada					Blooms en Horno					Material Terminado						
	Data Inicial	Hora Inicial	Cuadrilla	Turno	Producto	Acero	Colada	Peso Bloom	Carga	Rechazo	Atoron	Producción Teórica	Material Recibido	Material Liberado	Detenido	Rechazado	Status	Peso Bruto
4103	17/05/2022	11:30	B	2	RR 15.50	1006	18100189	2.363	3	0	1	4.25					Ajuste	7.09
4104	17/05/2022	12:20	B	2	RR 15.50	9254	19020164	2.300	4	0	1	6.21					Ajuste	9.20
4105	17/05/2022	16:37	A	3	RR 15.50	9254	12304121	2.300	8	0	1	14.49	14.83	1.99	0.00	12.84	OK	18.40
4106	17/05/2022	20:00	A	3	ER 107.95	1050M2	05164722-E	2.395	2	1	0	2.13					Ajuste	2.40
4107	17/05/2022	20:05	A	3	ER 107.95	15B32M	5684622	2.695	4	0	0	9.59				0.00	OK	10.78
4108	17/05/2022	23:00	C	1	ER 107.95	15B32M	5684622	2.695	29	0	0	69.56				0.00	OK	78.16
4109	18/05/2022	01:00	C	1	ER 107.95	15B32M	5664622	2.810	32	0	0	80.03				1.79	OK	89.92
4110	18/05/2022	03:00	C	1	ER 107.95	4140H7	5147222	5.658	11	0	1	50.36					OK	62.24
4111	18/05/2022	08:50	B	2	RR 12.00	1006	18100189	2.363	4	2	0	4.25					Ajuste	4.73
4112	18/05/2022	09:30	B	2	RR 12.00	1080T12	4924722	2.363	6	0	0	12.76				0.00	OK	14.18
4113	18/05/2022	10:06	B	2	RR 12.00	1080T12	5714622	2.393	4	0	0	8.61	8.58	8.58	0.00	0.00	OK	9.57
4114	18/05/2022	10:30	B	2	RR 12.00	1080T12	5724622	2.354	4	0	0	8.47	8.58	8.58	0.00	0.00	OK	9.42
4115	18/05/2022	10:50	B	2	RR 12.00	1080T12	5704622	2.354	4	0	0	8.47	8.58	8.58	0.00	0.00	OK	9.42
4116	18/05/2022	11:10	B	2	RR 12.00	1080T12	5694622	2.374	4	0	0	8.55	8.58	8.58	0.00	0.00	OK	9.50
4117	18/05/2022	13:50	B	2	RR 12.00	1080T12	5714622	2.406	21	0	0	45.47	45.47	45.47	0.00	0.00	OK	50.53
4118	18/05/2022	15:00	A	3	RR 12.00	1080T12	5714622	2.406	10	0	0	21.65	21.00	21.00	0.00	0.00	OK	24.06

Material conforme

Imagen 96: *Material conforme*

CAPÍTULO VI

CONCLUSIÓN

6.1.- Conclusión

En base a los resultados obtenidos con la temperatura número 6 en las paredes de las zonas de precalentamiento, calentamiento y empape teóricamente y a las mediciones que se realizaron con el termómetro marca fluke, se compararon y se llega a la conclusión que no cumplen con los requerimientos de la empresa ya que existe una gran variación de temperatura en la zona de precalentamiento, calentamiento y empape. Por lo que se propone otra configuración de refractarios en las paredes para disminuir la perdida de calor, es necesario remplazar los termopares que tienen mucha diferencia de temperatura al igual que colocar los termopares de la zona 5 ya que no se puede saber que temperatura tiene en el interior si los termopares están puenteados desde el programa.

Se propuso una nueva configuración de las paredes del horno con el fin de tener menor perdida de transferencia de calor en las 3 paredes de precalentamiento, calentamiento y empape y disminuir la temperatura en la última pared (Temperatura 6).

Se involucró con el personal y la maquinaria para poder entender a fondo el proceso y con esto, tener un mejor enfoque sobre el desarrollo del proyecto y ver que aportaciones poder dar. La observación, apuntes, preguntas, ayuda directa y cooperación del personal, fueron muy importantes dentro de la investigación para la obtención de datos sólidos y precisos, gracias a estos métodos la información está plasmada. El trabajo está plasmado con el vocabulario más sencillo para que su comprensión sea lo más entendible posible, la intención de esto es evitar confusiones en alguna actividad y así poder ocasionar problemas al querer laminar.

La maquinaria y tecnología aplicada dentro de este proceso es de última generación, por lo tanto, ser preciso y claro es una meta a alcanzar para reducir el tiempo muerto que pudiera llegar a existir al tratar de comprender el funcionamiento del equipo.

Una vez terminado el proyecto se aplicó y aprendimos que si se quiere productividad en una empresa es necesario contar con manuales para que las personas tengan más información y estén preparadas para resolver problemas, se obtuvieron los objetivos

esperados de igual forma nos dimos cuenta que los operadores aprendieron a realizar tablas nuevas con las modificaciones que fueron requeridas por problemas mecánicos y eléctricos evitando que el laminador estuviera parado.

6.2.-Anexos

En este capítulo se muestran a detalle el procedimiento que se utilizó para llegar a la temperatura de la última pared del horno

6.2.1.- Cálculos con la configuración que tiene actualmente las paredes del horno

6.2.2.- Pared de horno zona 1 y 2 (precalentamiento).

En la imagen 97 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 1 y 2.

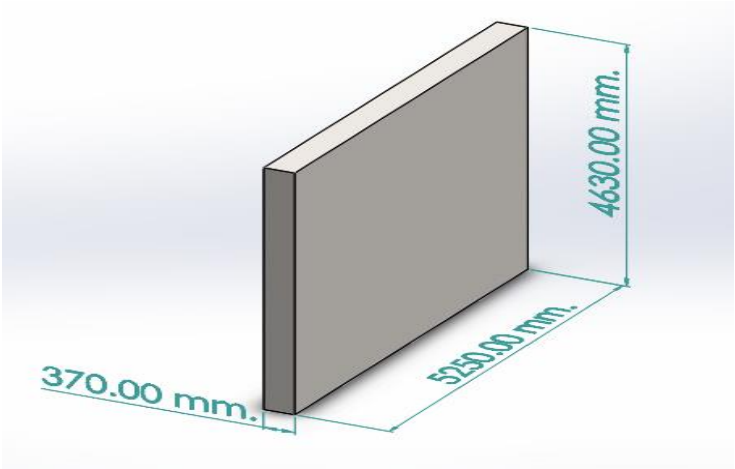


Imagen 97: *Pared del horno zona 1 y 2.*

En la imagen 98 se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 1 y 2.

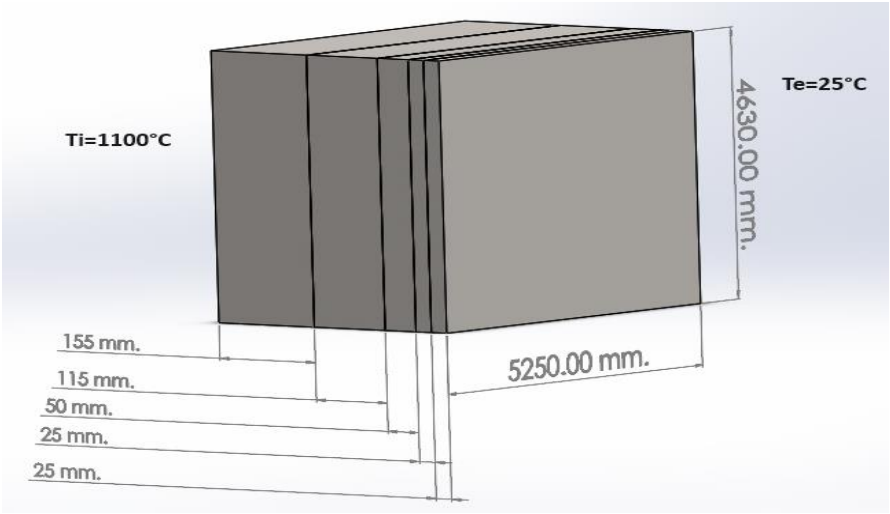


Imagen 98: *Medidas del ancho de cada refractario.*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1100°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 155 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 99.

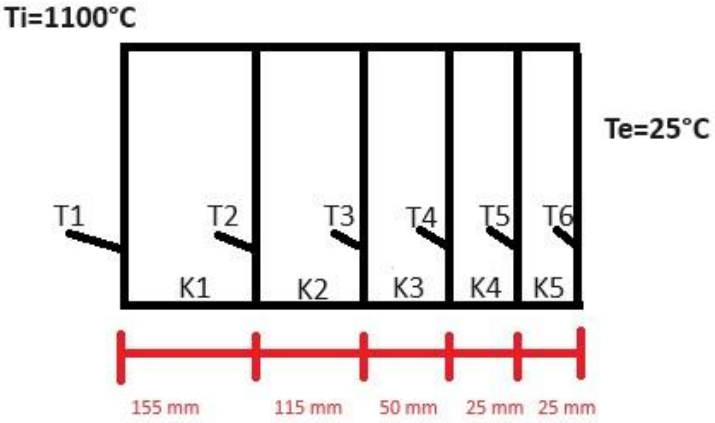


Imagen 99: *Se observa cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q=\frac{T_I-T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 100, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se están oponiendo al paso de la temperatura.

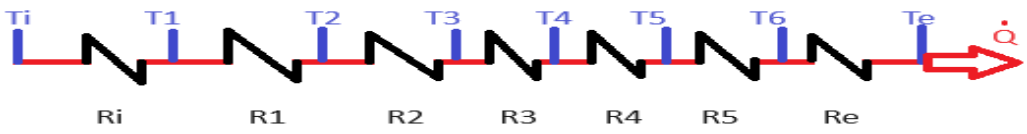


Imagen 100: *Circuito térmico.*

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\,A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

$$R_i = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(150\,\frac{w}{m^2 k})(24.3 m^2)} = \frac{1}{3646.12\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.00027}\,\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{k}}$$

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{k\,A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos R1

$$R_1 = \frac{L}{K_1 A} = \frac{0.115\ m}{(2.0\ \frac{w}{m\ k})(24.3 m^2)} = \frac{0.155}{48.6\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0031\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R2

$$R_2 = \frac{L}{K_2 A} = \frac{0.115\ m}{(0.31\ \frac{w}{m\ k})(24.3 m^2)} = \frac{0.115}{7.53\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.015\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R3

$$R_3 = \frac{L}{K_3 A} = \frac{0.05\ m}{(0.158\ \frac{w}{m\ k})(24.3 m^2)} = \frac{0.05}{3.83\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.013\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R4

$$R_4 = \frac{L}{K_4 A} = \frac{0.025\ m}{(0.158\ \frac{w}{m\ k})(24.3 m^2)} = \frac{0.025}{3.83\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0065\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R5

$$R_5 = \frac{L}{K_5 A} = \frac{0.025\ m}{(0.27\ \frac{w}{m\ k})(24.3 m^2)} = \frac{0.025}{6.56\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0038\ \frac{w}{k}}$$

Para calcular la Re ocupamos el método por convección (ley de Newton).

$$R_e = \frac{1}{h_e A} = \frac{1}{(13.6\ \frac{w}{m\ k})(24.6 m^2)} = \frac{1}{330.48\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0030\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_e}$$

$$R_T = 0.00027 + 0.0031 + 0.015 + 0.013 + 0.0065 + 0.0038 + 0.0030$$

$$\mathbf{R_T = 0.044 \frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\, T_E}{R_T} = \frac{1373.15°K\ - 298.15°K}{0.044 \frac{W}{K}}$$

Q = <u>24431.8 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 1

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I} = 24431.8\ W = \frac{1373.15°K\ -\ T_1}{0.00027 \frac{W}{K}}$$

$$T_1 = 1373.15°K\ - 24431.8\ W \left(0.00027\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_1 = 1366.5\ °K$$

Se convierte a °C

$$T_1 = 1366.5\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_1 = \underline{1093.4°C}}$$

TEMPERATURA 2

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = 24431.8\ W = \frac{1366.5°K\ -\ T_2}{0.0031\,\frac{W}{K}}$$

$$T_2 = 1366.5°K\ - 24431.8\ W\left(0.0031\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_2 = \underline{1290.76°K}$$

Se convierte a °C

$$T_2 = 1290.76°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_2 = \underline{1017.61°C}}$$

TEMPERATURA 3

$$Q = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = 24431.8\ W = \frac{1290.76°K\ -\ T_3}{0.015\,\frac{W}{K}}$$

$$T_3 = 1290.76°K\ - 24431.8\ W\left(0.015\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_3 = \underline{924.28°K}$$

Se convierte a °C

$$T_3 = 924.28\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_3 = \underline{651.13°C}}$$

TEMPERATURA 4

$$Q = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = 24431.8W = \frac{924 - 28°K - T_4}{0.013\frac{W}{K}}$$

$$T_4 = 924.28°K - 24431.8\ W\left(0.013\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_4 = \underline{606.6°K}$$

Se convierte a °C

$$T_4 = 606.6°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_4 = \underline{333.45°C}}$$

TEMPERATURA 5

$$Q = \frac{T_4 - T_5}{R_4} = 24431.8\ W = \frac{606.6°K - T_5}{0.0065\frac{W}{K}}$$

$$T_5 = 606.6°K - 24431.8\ W\left(0.0065\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_5 = \underline{447.79°K}$$

Se convierte a °C

$$T_5 = 447.79°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_5 = \underline{174.64°C}}$$

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 24431.8\ W = \frac{447.79°K - T_6}{0.0038\frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 447.79°K - 24431.8\ W\left(0.0038\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{354.9°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 354.9°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{81.75°C}}$$

6.2.3.- Pared de horno zona 3 y 4 (calentamiento).

En la imagen número 101 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 3 y 4.

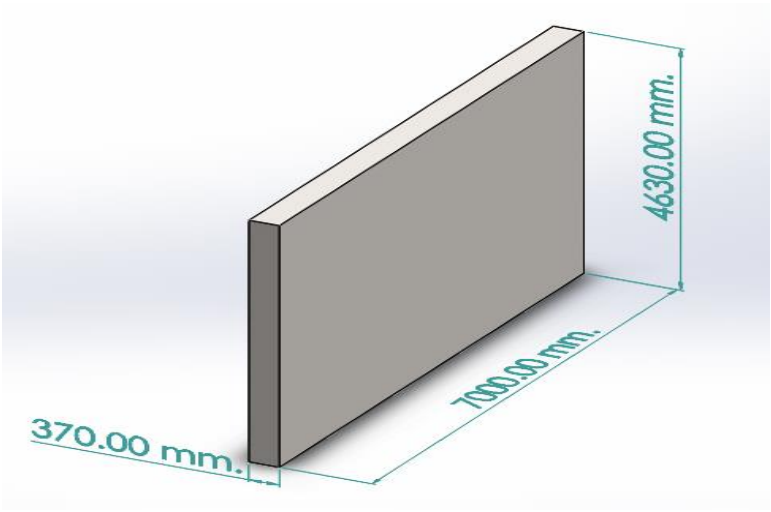


Imagen 101: *Pared de la zona 3 y 4.*

En la imagen 102, se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 3 y 4.

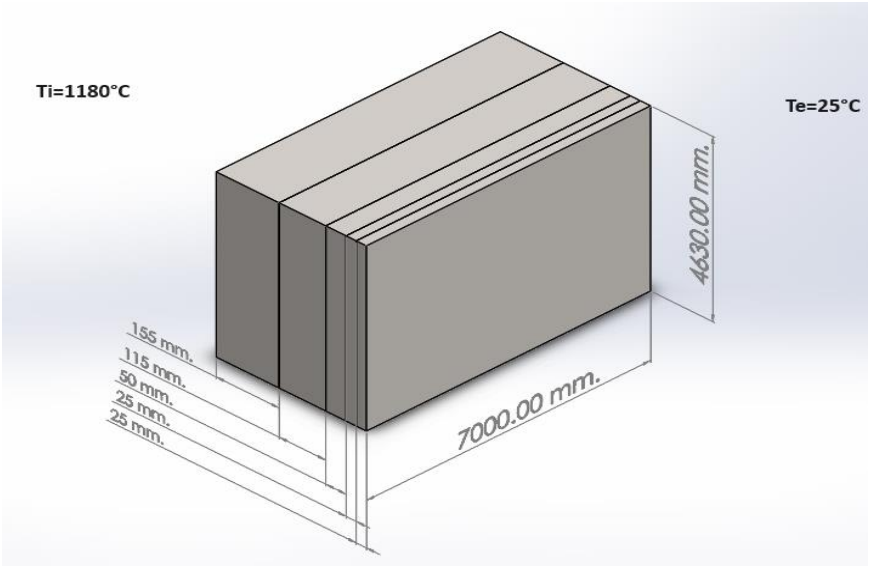


Imagen 102: *Ancho de los refractarios.*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1180°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 155 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 103.

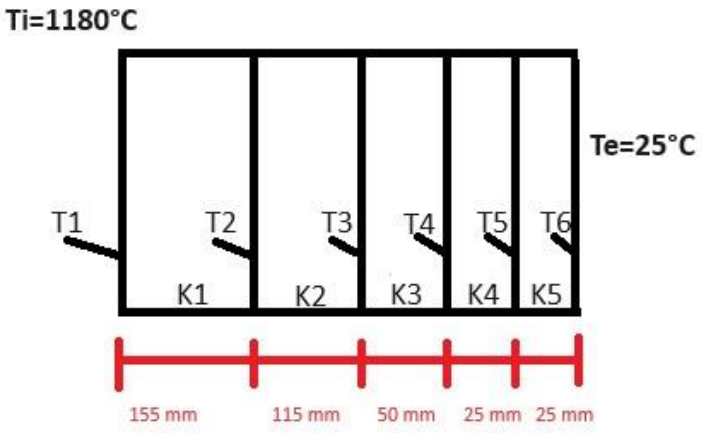


Imagen 103: *Se muestran cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos en la pared de la zona 3 y 4.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q= \frac{T_I - T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 104, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se están oponiendo al paso de la temperatura.

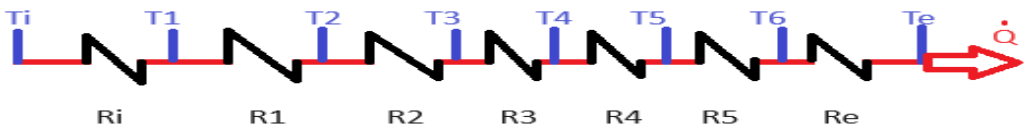


Imagen 104: Circuito térmico

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\,A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

$$R_i = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(150\,\frac{w}{m^2 k})(32.41 m^2)} = \frac{1}{4861.5\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.00020}\,\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{k}}$$

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{k\,A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos R1

$$R_1 = \frac{L}{K_1 A} = \frac{0.115\ m}{(2.0\ \frac{w}{m\ k})(32.41 m^2)} = \frac{0.155}{64.82\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0023\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R2

$$R_2 = \frac{L}{K_2 A} = \frac{0.115\ m}{(0.31\ \frac{w}{m\ k})(32.41 m^2)} = \frac{0.115}{10.04\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.011\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R3

$$R_3 = \frac{L}{K_3 A} = \frac{0.05\ m}{(0.158\ \frac{w}{m\ k})(32.41 m^2)} = \frac{0.05}{5.12\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.009\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R4

$$R_4 = \frac{L}{K_4 A} = \frac{0.025\ m}{(0.158\ \frac{w}{m\ k})(32.41 m^2)} = \frac{0.025}{5.12\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0048\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R5

$$R_5 = \frac{L}{K_5 A} = \frac{0.025\ m}{(0.27\ \frac{w}{m\ k})(32.41 m^2)} = \frac{0.025}{8.75\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0028\ \frac{w}{k}}$$

Para calcular la Re ocupamos el método por convección (ley de Newton).

$$R_e = \frac{1}{h_e A} = \frac{1}{(13.6\ \frac{w}{m\ k})(32.41 m^2)} = \frac{1}{440.77\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0022\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_e}$$

$$R_T = 0.00020 + 0.0023 + 0.011 + 0.009 + 0.0048 + 0.0028 + 0.0022$$

$$\mathbf{R_T = 0.0323 \frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\, T_E}{R_T} = \frac{1453.15°K - 298.15°K}{0.0323 \frac{W}{K}}$$

Q = <u>35758.51 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 1

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I} = 35758.51\ W = \frac{1453.15°K - T_1}{0.00020 \frac{W}{K}}$$

$$T_1 = 1453.15°K - 35758.51\ W \left(0.00020\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_1 = 1445.99\ °K$$

Se convierte a °C

$$T_1 = 1445.99\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_1 = \underline{1172.84°C}}$$

TEMPERATURA 2

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = 35758.51\ W = \frac{1445.99°K\ -\ T_2}{0.0023\frac{W}{K}}$$

$$T_2 = 1445.99°K\ - 35758.51\ W\left(0.0023\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_2 = \underline{1363.7°K}$$

Se convierte a °C

$$T_2 = 1363.7°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_2 = 1090.55\underline{°C}}$$

TEMPERATURA 3

$$Q = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = 35758.51\ W = \frac{1363.7°K\ -\ T_3}{0.011\frac{W}{K}}$$

$$T_3 = 1363.7°K\ - 35758.51\ W\left(0.011\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_3 = \underline{970.35°K}$$

Se convierte a °C

$$T_3 = 970.35\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_3 = \underline{697.2°C}}$$

TEMPERATURA 4

$$Q = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = 35758.51\ W = \frac{970.35°K\ -\ T_4}{0.009\,\frac{W}{K}}$$

$$T_4 = 970.35°K\ - 35758.51\ W\left(0.009\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_4 = \underline{648.52°K}$$

Se convierte a °C

$$T_4 = 648.52\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_4 = \underline{375.37°C}}$$

TEMPERATURA 5

$$Q = \frac{T_4 - T_5}{R_4} = 35758.51\ W = \frac{648.52°K\ -\ T_5}{0.0048\,\frac{W}{K}}$$

$$T_5 = 648.52°K\ - 35758.51\ W\left(0.0048\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_5 = \underline{476.88°K}$$

Se convierte a °C

$$T_5 = \ 476.88°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_5 = \underline{203.73°C}}$$

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 35758.51\ W = \frac{476.88°K\ -\ T_6}{0.0028\,\frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 476.88°K\ - 35758.51\ W\left(0.0028\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{376.75°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 376.75°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{103.6°C}}$$

6.2.4.- Pared de horno zona 5, 6 y 7 (empape)

En la imagen 105 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 5, 6 y 7

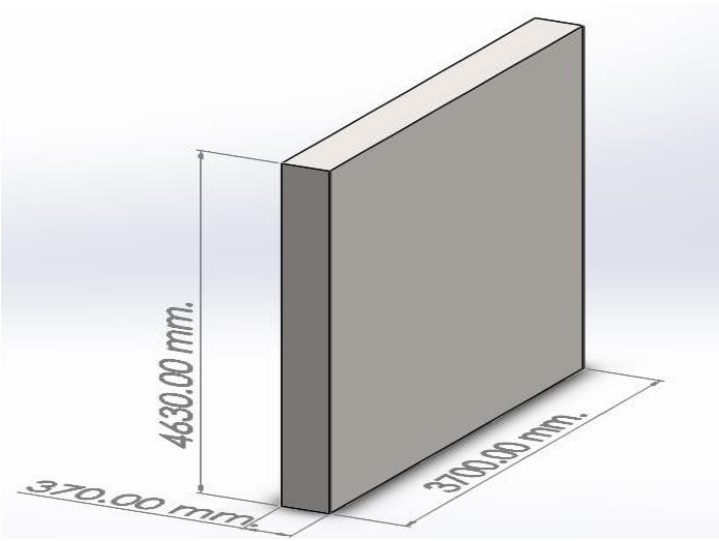


Imagen 105: *Pared de la zona 5, 6 y 7*

En la imagen 106 se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 5, 6, y 7

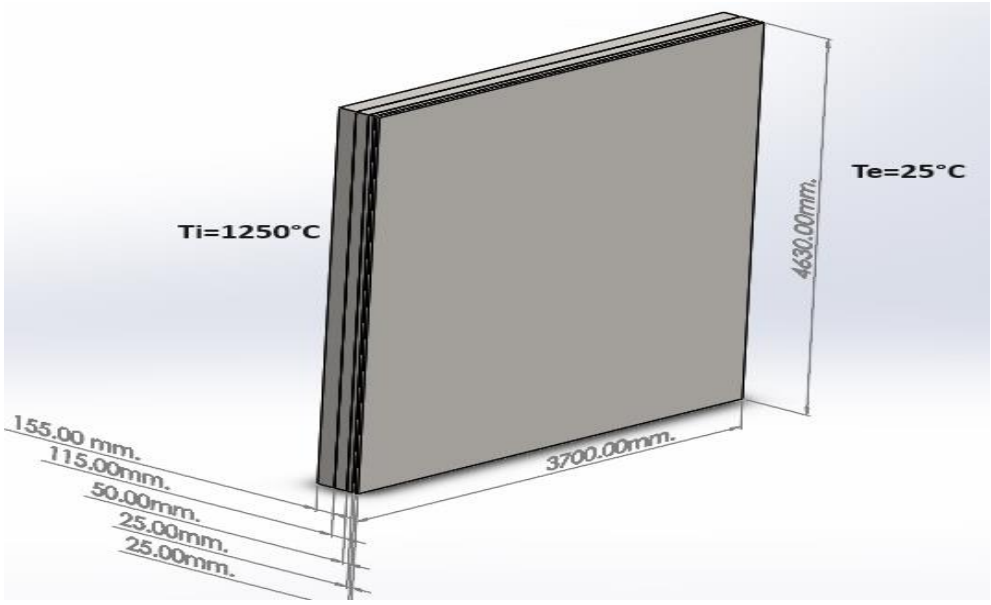


Imagen 106: *Espesor de los refractarios*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1250°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 155 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 107.

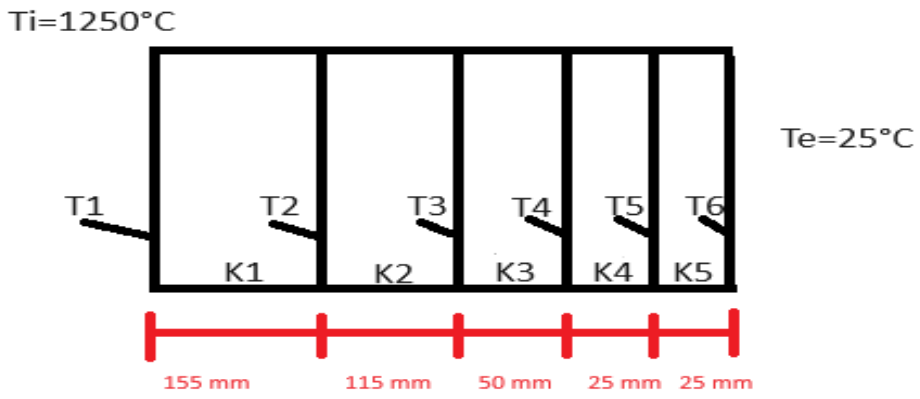


Imagen 107: *Se muestran cuantas temperaturas influyen y cuantas conductividades térmicas tenemos en la pared de la zona 5, 6 y 7.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q=\frac{T_I-T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 108, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se están oponiendo al paso de la temperatura.

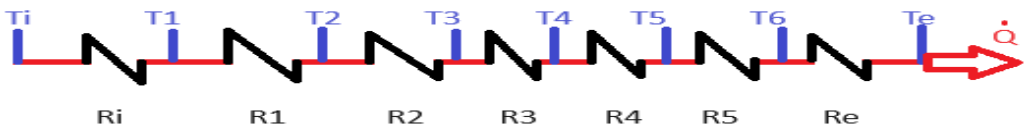


Imagen 108: *Circuito térmico zona 5, 6 y 7.*

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\,A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

$$R_i = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(150\,\frac{w}{m^2 k})(17.131 m^2)} = \frac{1}{2569.65\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.000389}\,\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{k}}$$

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{k\,A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos R1

$$R_1 = \frac{L}{K_1 A} = \frac{0.155\ m}{(2.0\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.155}{34.26\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.00452\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R2

$$R_2 = \frac{L}{K_2 A} = \frac{0.115\ m}{(0.31\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.115}{5.31\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.021\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R3

$$R_3 = \frac{L}{K_3 A} = \frac{0.05\ m}{(0.158\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.05}{2.7\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.018\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R4

$$R_4 = \frac{L}{K_4 A} = \frac{0.025\ m}{(0.158\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.025}{2.7\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.00925\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R5

$$R_5 = \frac{L}{K_5 A} = \frac{0.025\ m}{(0.27\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.025}{4.62\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.00541\ \frac{w}{k}}$$

Para calcular la Re ocupamos el método por convección (ley de Newton).

$$R_e = \frac{1}{h_e A} = \frac{1}{(13.6\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{1}{232.98\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.00429\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_e}$$

$$R_T = 0.000389 + 0.00452 + 0.021 + 0.018 + 0.00925 + 0.00541 + 0.00429$$

$$\mathbf{R_T = 0.062859 \frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\, T_E}{R_T} = \frac{1523{,}15°K - 298{,}15°K}{0.062859 \frac{W}{K}}$$

Q = <u>19488.06 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 1

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I} = 19488.06\ W = \frac{1523{,}15°K - T_1}{0.000389 \frac{W}{K}}$$

$$T_1 = 1523{,}15°K - 19488.06\ W \left(0.000389\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_1 = 1515.56\ °K$$

Se convierte a °C

$$T_1 = 1515.56\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_1 = \underline{1242.41°C}}$$

TEMPERATURA 2

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = 19488.06\ W = \frac{1515.56°K\ -\ T_2}{0.00452\,\frac{W}{K}}$$

$$T_2 = 1515.56°K\ - 19488.06\ W\ \left(0.00452\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_2 = \underline{1427.47°K}$$

Se convierte a °C

$$T_2 = 1427.47\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_2 = \underline{1154.32°C}}$$

TEMPERATURA 3

$$Q = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = 19488.06\ W = \frac{1427.47°K\ -\ T_3}{0.021\,\frac{W}{K}}$$

$$T_3 = 1427.47°K\ - 19488.06\ W\ \left(0.021\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_3 = \underline{1018.22°K}$$

Se convierte a °C

$$T_3 = 1018.22\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_3 = \underline{745.07°C}}$$

TEMPERATURA 4

$$Q = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = 19488.06\ W = \frac{1018.22°K\ -\ T_4}{0.018\frac{W}{K}}$$

$$T_4 = 1018.22°K\ - 19488.06\ W\left(0.018\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_4 = \underline{667.44°K}$$

Se convierte a °C

$$T_4 = 667.43\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_4 = \underline{394.28°C}}$$

TEMPERATURA 5

$$Q = \frac{T_4 - T_5}{R_4} = 19488.06\ W = \frac{667.43°K\ -\ T_5}{0.00925\frac{W}{K}}$$

$$T_5 = 667.43°K\ - 19488.06\ W\left(0.00925\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_5 = \underline{487.16°K}$$

Se convierte a °C

$$T_5 = 487.16\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_5 = \underline{214.01°C}}$$

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 19488.06\ W = \frac{487.16°K\ -\ T_6}{0.00541\frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 487.16°K\ - 19488.06\ W\left(0.00541\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{381.72°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 381.72\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{108.57°C}}$$

6.3.- Propuesta de nueva configuración en las paredes del horno.

Se propone una nueva configuración donde se disminuye el espesor del didurin M66-5 M DE 150 mm a 130 mm, el espesor del legral 25/08 se mantiene igual, en la primera placa de pyrostop board1260 se mantiene igual y en la segunda placa de pyrostop board 1260 de 25 mm se aumenta a 50 mm, en la pared de pyrostop blanket 128/160 se mantiene con el mismo espesor.

6.3.1.- Pared de horno zona 1 y 2 (precalentamiento).

En la imagen 109 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 1 y 2.

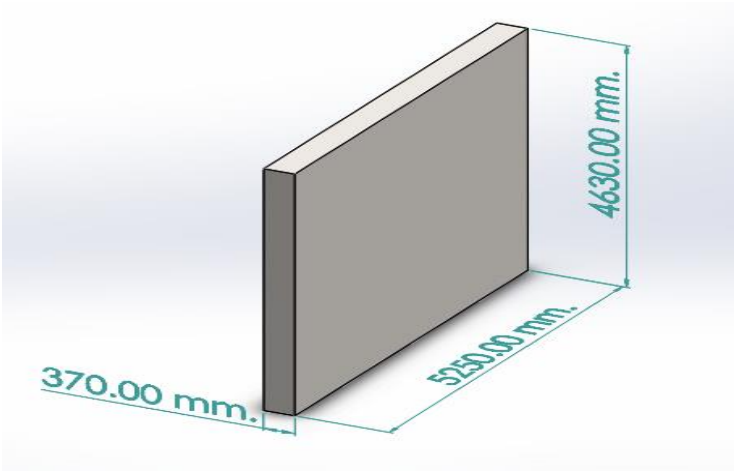


Imagen 109: *Pared de la zona de precalentamiento.*

En la imagen 110 se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 1 y 2.

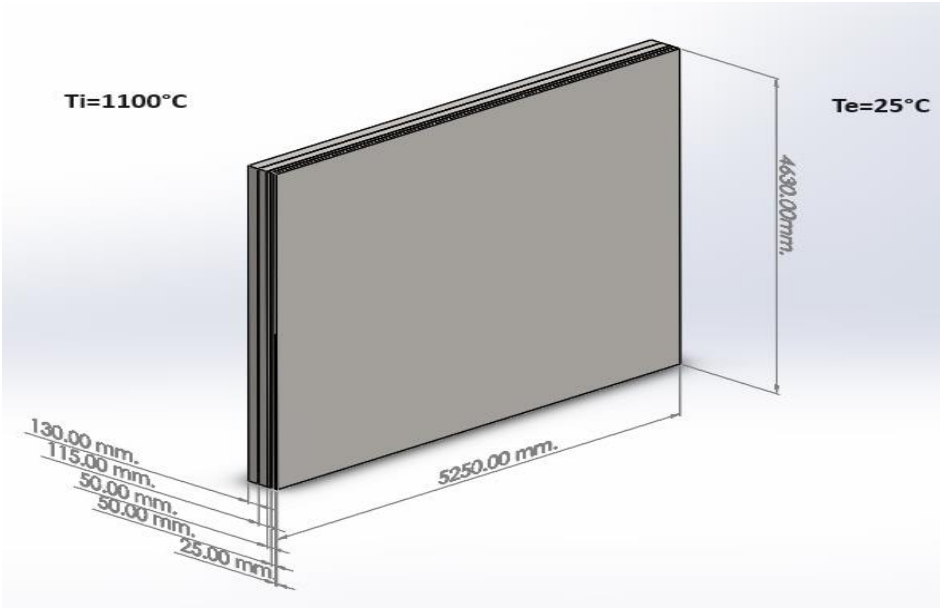


Imagen 110: *Espesor de los refractarios.*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1100°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 130 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 111.

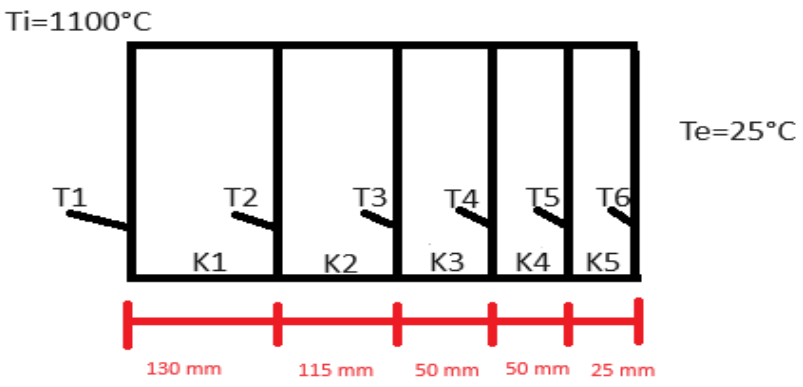


Imagen 111: *Conductividades térmicas y temperaturas que influyen en la transferencia de calor en la pared de la zona de precalentamiento.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q= \frac{T_I - T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 112, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se están oponiendo al paso de la temperatura.

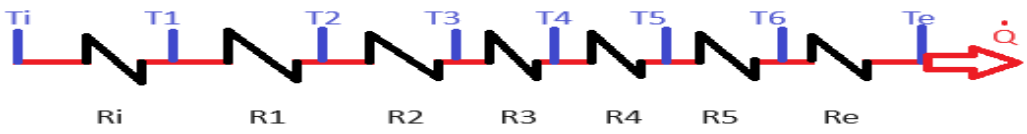


Imagen 112: *Circuito térmico de la pared de precalentamiento.*

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\,A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

$$R_i = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(150\,\frac{w}{m^2 k})(24.3 m^2)} = \frac{1}{3646.12\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.00027}\,\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{k}}$$

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R=\frac{L}{k\,A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos R1

$$R_1=\frac{L}{K_1A}=\frac{0.130\text{ m}}{(2.0\,\frac{w}{m\,k})(24.3m^2)}=\frac{0.130}{48.6\,\frac{w}{k}}=\mathbf{0.0026\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos R2

$$R_2=\frac{L}{K_2A}=\frac{0.115\text{ m}}{(0.31\,\frac{w}{m\,k})(24.3m^2)}=\frac{0.115}{7.53\,\frac{w}{k}}=\mathbf{0.015\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos R3

$$R_3=\frac{L}{K_3A}=\frac{0.05\text{ m}}{(0.158\,\frac{w}{m\,k})(24.3m^2)}=\frac{0.05}{3.83\,\frac{w}{k}}=\mathbf{0.013\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos R4

$$R_4=\frac{L}{K_4A}=\frac{0.050\text{ m}}{(0.158\,\frac{w}{m\,k})(24.3m^2)}=\frac{0.050}{3.83\,\frac{w}{k}}=\mathbf{0.013\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos R5

$$R_5=\frac{L}{K_5A}=\frac{0.025\text{ m}}{(0.27\,\frac{w}{m\,k})(24.3m^2)}=\frac{0.025}{6.56\,\frac{w}{k}}=\mathbf{0.0038\,\frac{w}{k}}$$

Para calcular la Re ocupamos el método por convección (ley de Newton).

$$R_e=\frac{1}{h_eA}=\frac{1}{(13.6\,\frac{w}{m\,k})(24.6m^2)}=\frac{1}{330.48\,\frac{w}{k}}=\mathbf{0.0030\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_e}$$

$$R_T = 0.00027 + 0.0026 + 0.015 + 0.013 + 0.013 + 0.0038 + 0.003$$

$$\mathbf{R_T = 0.050 \frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\, T_E}{R_T} = \frac{1373.15°K\ - 298.15°K}{0.050 \frac{W}{K}}$$

Q = <u>21500 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 1

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I} = 21500\ W = \frac{1373.15°K\ -\ T_1}{0.00027 \frac{W}{K}}$$

$$T_1 = 1373.15°K\ - 21500\ W \left(0.00027\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_1 = 1367.3\ °K$$

Se convierte a °C

$$T_1 = 1367.3\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_1 = \underline{1094.15°C}}$$

TEMPERATURA 2

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = 21500\ W = \frac{1367.3°K\ -\ T_2}{0.0026\frac{W}{K}}$$

$$T_2 = 1367.3°K\ - 21500\ W\left(0.0026\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_2 = \underline{1311.4°K}$$

Se convierte a °C

$$T_2 = 1311.4°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_2 = \underline{1038.25°C}}$$

TEMPERATURA 3

$$Q = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = 21500\ W = \frac{1311.4°K\ -\ T_3}{0.015\frac{W}{K}}$$

$$T_3 = 1311.4°K\ - 21500\ W\left(0.015\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_3 = \underline{988.5°K}$$

Se convierte a °C

$$T_3 = 988.5\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_3 = \underline{715.35°C}}$$

TEMPERATURA 4

$$Q = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = 21500\ W = \frac{988.5°K\ -\ T_4}{0.013\frac{W}{K}}$$

$$T_4 = 988.5°K\ - 21500\ W\left(0.013\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_4 = \underline{709°K}$$

Se convierte a °C

$$T_4 = 709°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_4 = \underline{435.85°C}}$$

TEMPERATURA 5

$$Q = \frac{T_4 - T_5}{R_4} = 21500\ W = \frac{709°K\ -\ T_5}{0.013\frac{W}{K}}$$

$$T_5 = 709°K\ - 21500\ W\left(0.013\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_5 = \underline{429.5°K}$$

Se convierte a °C

$$T_5 = 429.5°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_5 = \underline{156.35°C}}$$

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 21500\ W = \frac{429.5°K\ -\ T_6}{0.0038\frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 429.5°K\ - 21500\ W\left(0.0038\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{347.8°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 347.8°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{74.65°C}}$$

6.3.2.- Pared de horno zona 3 y 4 (calentamiento).

En la imagen número 113 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 3 y 4.

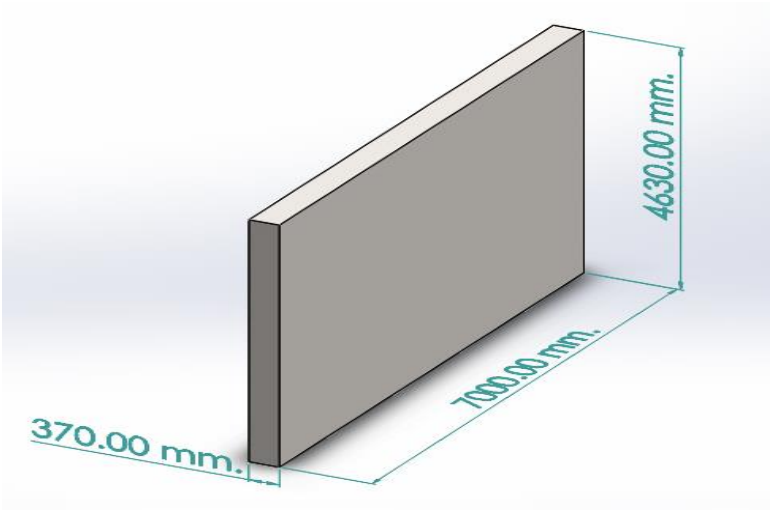


Imagen 113: *Pared de la zona de calentamiento.*

En la imagen 114, se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 3 y 4.

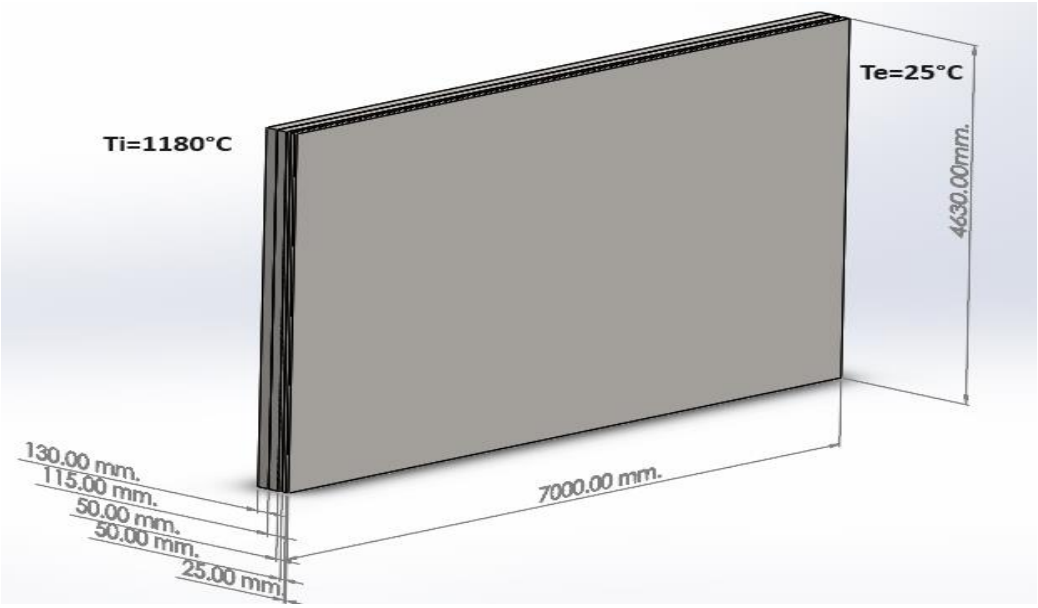


Imagen 114: *Espesor de los refractarios*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1180°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 130 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 115.

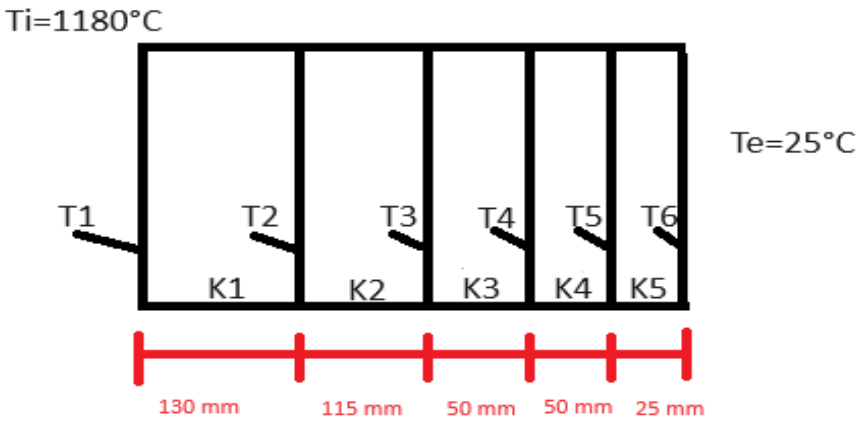


Imagen 115: *Conductividades térmicas y temperaturas que influyen en la transferencia de calor en la pared de la zona de calentamiento.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q=\frac{T_I-T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 116, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se están oponiendo al paso de la temperatura.

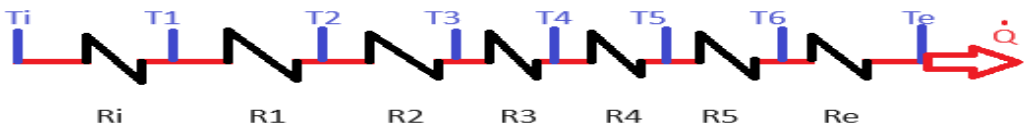


Imagen 116: *Circuito térmico.*

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\ A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

$$R_i = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(150\,\frac{w}{m^2 k})(32.41 m^2)} = \frac{1}{4861.5\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.00020}\,\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{k}}$$

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R= \frac{L}{k\,A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos R1

$$R_1= \frac{L}{K_1A} = \frac{0.130\ m}{(2.0\,\frac{w}{m\,k})(32.41m^2)} = \frac{0.130}{64.82\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.0020\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos R2

$$R_2= \frac{L}{K_2A} = \frac{0.115\ m}{(0.31\,\frac{w}{m\,k})(32.41m^2)} = \frac{0.115}{10.04\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.011\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos R3

$$R_3= \frac{L}{K_3A} = \frac{0.05\ m}{(0.158\,\frac{w}{m\,k})(32.41m^2)} = \frac{0.05}{5.12\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.0097\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos R4

$$R_4= \frac{L}{K_4A} = \frac{0.05\ m}{(0.158\,\frac{w}{m\,k})(32.41m^2)} = \frac{0.05}{5.12\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.0097\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos R5

$$R_5= \frac{L}{K_5A} = \frac{0.025\ m}{(0.27\,\frac{w}{m\,k})(32.41m^2)} = \frac{0.025}{8.75\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.0028\,\frac{w}{k}}$$

Para calcular la Re ocupamos el método por convección (ley de Newton).

$$R_e= \frac{1}{h_eA} = \frac{1}{(13.6\,\frac{w}{m\,k})(32.41m^2)} = \frac{1}{440.77\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.0022\,\frac{w}{k}}$$

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_e}$$

$$R_T = 0.00020 + 0.0020 + 0.011 + 0.0097 + 0.0097 + 0.0028 + 0.0022$$

$$\mathbf{R_T = 0.037 \frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\, T_E}{R_T} = \frac{1453.15°K - 298.15°K}{0.037 \frac{W}{K}}$$

Q = <u>31216.21 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 1

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I} = 31216.21\ W = \frac{1453.15°K - T_1}{0.00020 \frac{W}{K}}$$

$$T_1 = 1453.15°K - 31216.21\ W \left(0.00020\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_1 = 1446.9\ °K$$

Se convierte a °C

$$T_1 = 1446.9\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_1 = \underline{1173.75°C}}$$

TEMPERATURA 2

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = 31216.21\ W = \frac{1446.9°K\ -\ T_2}{0.0020\,\frac{W}{K}}$$

$$T_2 = 1446.9°K\ - 31216{,}21\ W\left(0.0020\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_2 = \underline{1384.46°K}$$

Se convierte a °C

$$T_2 = 1384.46°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_2 = \underline{1111.31°C}}$$

TEMPERATURA 3

$$Q = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = 31216.21\ W = \frac{1384.46°K\ -\ T_3}{0.011\,\frac{W}{K}}$$

$$T_3 = 1384.46°K\ - 31216.21\ W\left(0.011\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_3 = \underline{1041.08°K}$$

Se convierte a °C

$$T_3 = 1041.08\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_3 = \underline{767.93°C}}$$

TEMPERATURA 4

$$Q = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = 31216.21\ W = \frac{1041.08°K\ -\ T_4}{0.0097\,\frac{W}{K}}$$

$$T_4 = 1041.08°K\ - 31216.21\ W\left(0.0097\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_4 = \underline{738.28°K}$$

Se convierte a °C

$$T_4 = 738.28\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_4 = \underline{465.13°C}}$$

TEMPERATURA 5

$$Q = \frac{T_4 - T_5}{R_4} = 31216.21\ W = \frac{738.28°K\ -\ T_5}{0.0097\,\frac{W}{K}}$$

$$T_5 = 738.28°K\ - 31216.21\ W\left(0.0097\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_5 = \underline{435.48°K}$$

Se convierte a °C

$$T_5 = 435.48°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_5 = \underline{162.33°C}}$$

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 31216.21\ W = \frac{435.48°K\ -\ T_6}{0.0028\,\frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 435.48°K\ - 31216.21\ W\left(0.0028\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{348.0°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 348.0°K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{74.85°C}}$$

Con la ayuda de un pirómetro marca fluke se tomó la temperatura de la pared del horno para verificar que sea igual a la temperatura 6 calculada. Vea imagen 10.

6.3.3.- Pared de horno zona 5, 6 y 7 (empape)

En la imagen 117 se muestra la longitud, largo y ancho de la pared del horno de la zona 5, 6 y 7

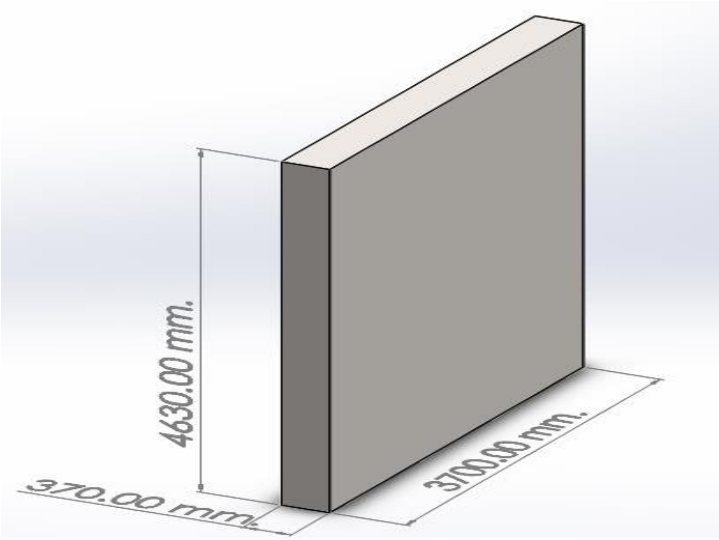


Imagen 117: *Pared de la zona de empape.*

En la imagen 118 se muestra el ancho de los diferentes refractarios y la temperatura interior y exterior al igual que su conductividad térmica de los materiales zona 5, 6, y 7

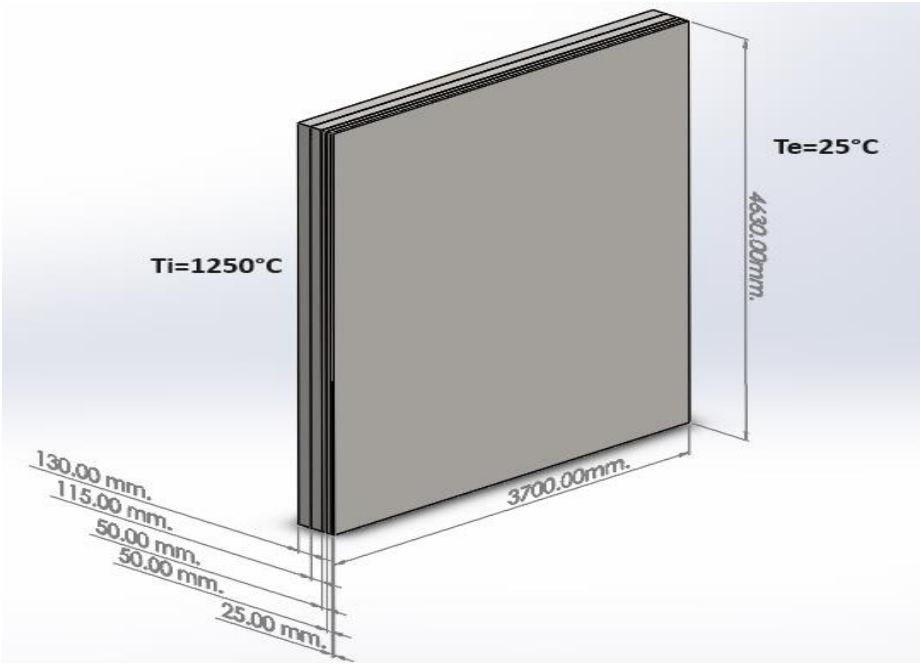


Imagen 118: *Espesores de los refractarios de la pared de la zona de empape.*

$h_i = 150\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección interior)

$h_e = 13.6\ \frac{w}{m^2k}$ (coeficiente de convección exterior)

$K_1 = 2.0\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica didurin M66 - 5 m)

$K_2 = 0.31\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica legral 25/08)

$K_3 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_4 = 0.158\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop board 1260)

$K_5 = 0.27\ \frac{w}{mk}$ (conductividad térmica pyrostop blanket 128/160)

Ti = 1250°C (temperatura del interior)

Te = 25°C (temperatura del exterior)

L= 130 mm ancho didurin

L= 115 mm ancho legral

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 50 mm ancho pyrostop board

L= 25 mm ancho pyrostop blanket

El siguiente problema se va a resolver por transferencia de calor en paredes compuestas ya que se tienen diferentes refractarios con diferente conductividad térmica. Vea imagen 119.

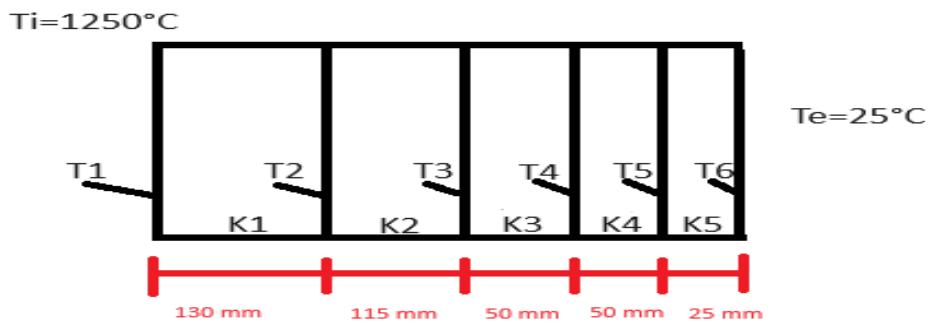


Imagen 119: *Conductividades térmicas y temperaturas que influyen en la transferencia de calor en la pared de la zona de empape.*

Para calcular la transferencia de calor se ocupa la ecuación.

$$Q=\frac{T_I-T_E}{R_T}$$

Donde

Q= transferencia de calor.

T_I = temperatura interior.

T_E = temperatura exterior.

R_T = resistencia total.

Para calcular la resistencia total se tiene que sacar primero las resistencias de cada una de las paredes así que se procede a armar el circuito térmico vea imagen 120, tomando en cuenta que cada pared es una resistencia ya que se están oponiendo al paso de la temperatura.

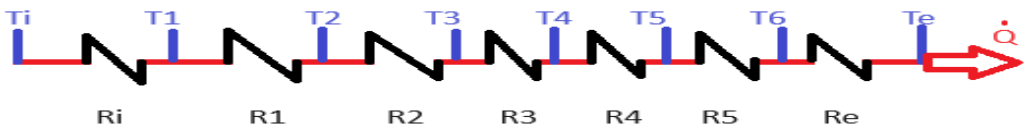


Imagen 120: *Circuito térmico de la pared de la zona de empape.*

$$R_T = \Sigma_R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e$$

$$Q = \frac{T_I - T_E}{R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

Para determinar la resistencia interior se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por convección (ley de Newton).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R\,A}}$$

Donde

R= resistencia interior

h= coeficiente de convección de calor

A= área

$$R_i = \frac{1}{h_i A} = \frac{1}{(150\,\frac{w}{m^2 k})(17.131 m^2)} = \frac{1}{2569.65\,\frac{w}{k}} = \mathbf{0.000389}\,\frac{\mathbf{w}}{\mathbf{k}}$$

Para el cálculo de las resistencias 1, 2, 3, 4 y 5 se usó la siguiente ecuación por el método de transferencia de calor por conducción (ley de Fourier).

$$\mathbf{R} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{k\,A}}$$

DONDE

R=resistencia

L= ancho de la pared

A= área

Calculamos R1

$$R_1 = \frac{L}{K_1 A} = \frac{0.130\ m}{(2.0\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.130}{34.26\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0037\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R2

$$R_2 = \frac{L}{K_2 A} = \frac{0.115\ m}{(0.31\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.115}{5.31\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.021\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R3

$$R_3 = \frac{L}{K_3 A} = \frac{0.05\ m}{(0.158\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.05}{2.7\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.018\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R4

$$R_4 = \frac{L}{K_4 A} = \frac{0.050\ m}{(0.158\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.050}{2.7\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.0\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos R5

$$R_5 = \frac{L}{K_5 A} = \frac{0.025\ m}{(0.27\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{0.025}{4.62\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.00541\ \frac{w}{k}}$$

Para calcular la Re ocupamos el método por convección (ley de Newton).

$$R_e = \frac{1}{h_e A} = \frac{1}{(13.6\ \frac{w}{m\ k})(17.131 m^2)} = \frac{1}{232.98\ \frac{w}{k}} = \mathbf{0.00429\ \frac{w}{k}}$$

Calculamos la resistencia total sumando el resultado de todos los valores obtenidos de las resistencias

$$\mathbf{R_T = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_e}$$

$$R_T = 0.000389 + 0.0037 + 0.021 + 0.018 + 0.018 + 0.0054 + 0.0042$$

$$\mathbf{R_T = 0.070\,\frac{W}{K}}$$

$$Q = \frac{T_{I+}\,T_E}{R_T} = \frac{1523{,}15°K - 298{,}15°K}{0.070\,\frac{W}{K}}$$

Q = <u>17500 W</u>

Para poder saber la temperatura que debe tener entre paredes de acuerdo a la configuración de los refractarios se calcula la temperatura de cada pared ocupando la siguiente ecuación, tomando en cuenta su temperatura y resistencia de cada pared.

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I}$$

Donde

Q= transferencia de calor

T_I= temperatura interior

T_1= temperatura uno

R_I= resistencia uno

TEMPERATURA 1

$$Q = \frac{T_I - T_1}{R_I} = 17500\ W = \frac{1523{,}15°K - T_1}{0.000389\,\frac{W}{K}}$$

$$T_1 = 1523{,}15°K - 17500\ W\left(0.000389\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_1 = 1516.5\ °K$$

Se convierte a °C

$$T_1 = 1516.5\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_1 = \underline{1243.35°C}}$$

TEMPERATURA 2

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = 17500\ W = \frac{1516.5°K\ -\ T_2}{0.0037\,\frac{W}{K}}$$

$$T_2 = 1516.5°K\ - 17500\ W\left(0.0037\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_2 = \underline{1451.75°K}$$

Se convierte a °C

$$T_2 = 1451.75\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_2 = \underline{1178.6°C}}$$

TEMPERATURA 3

$$Q = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = 17500\ W = \frac{1451.75°K\ -\ T_3}{0.021\,\frac{W}{K}}$$

$$T_3 = 1451.75°K\ - 17500\ W\left(0.021\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_3 = \underline{1084.25°K}$$

Se convierte a °C

$$T_3 = 1084.25\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_3 = \underline{811.1°C}}$$

TEMPERATURA 4

$$Q = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = 17500\ W = \frac{1084.25°K\ -\ T_4}{0.018\frac{W}{K}}$$

$$T_4 = 1084.15°K\ - 17500\ W\left(0.018\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_4 = \underline{769.15°K}$$

Se convierte a °C

$$T_4 = 769.15\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_4 = \underline{496°C}}$$

TEMPERATURA 5

$$Q = \frac{T_4 - T_5}{R_4} = 17500\ W = \frac{769.15°K\ -\ T_5}{0.018\frac{W}{K}}$$

$$T_5 = 769.15°K\ - 17500\ W\left(0.018\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_5 = \underline{454.15°K}$$

Se convierte a °C

$$T_5 = 454.15\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_5 = \underline{181°C}}$$

TEMPERATURA 6

$$Q = \frac{T_5 - T_6}{R_5} = 17500\ W = \frac{454.15°K\ -\ T_6}{0.0054\frac{W}{K}}$$

$$T_6 = 454.15°K\ - 17500\ W\left(0.00541\ \frac{W}{K}\right)$$

$$T_6 = \underline{359.65°K}$$

Se convierte a °C

$$T_6 = 359.65\ °K - 273.15$$

$$\mathbf{T_6 = \underline{86.5°C}}$$

6.4.- Competencias desarrolladas

El proyecto de investigación me permitió trabajar en equipo para así adquirir conocimientos y habilidades, en las cuales yo me pude desarrollar y aplicar para tener un tipo de competencia con el personal de la empresa, tales fueron:

Adaptabilidad.

Trabajo en equipo.

Análisis de problemas.

Automotivación.

Compromiso.

Iniciativa.

Liderazgo.

Sociable.

Tenacidad.

6.5.- Fuentes de información

DANIELI & C. OFFICINE MECCANICHE S.p.A. (2017). CANACERO. Obtenido de CANACERO: www.canacero.org.mx/Es/danieli.html

Enrique, J. L., Trems Guerra, E., de Elío de Bengy, S., & Fernández Segovia, D. (enero de 2010). Laminación. Obtenido de Laminación: www.Laminacion/LAMINACION2_MONO_2010/pdf.com

Hurbano Luna, J. (11 de 09 de 2011). Temas para la educación. Obtenido de Temas para la educación: https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8631.pdf

Rodelo A, C. (30 de abril de 2018). Clase magistral laminación. Obtenido de Clase magistral laminación: file:///G:/clase-magistral-laminacic3b3n.pdf

Transferencia de calor cengel, tercera edición

6.6.- Definiciones

Luz: es la ranura que existe entre los rodillos

Elongación: es el estiramiento

Groob factor: es la profundidad que existe entre el canal

Prueba fantasma: es la verificación que el equipo este bien y no presente ninguna falla

Pulpito: es un cuarto en alto donde se controla el equipo laminador