

DISEÑO DE MANUAL DE OPERACIÓN, CONTROL Y MANTENIMIENTO DEL
HORNO BENDOTTI Y ANÁLISIS PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL CONSUMO
DE GAS NATURAL DEL HORNO DIDIER DE LA EMPRESA GERDAU DIACO
PLANTA TUTA

DIEGO ALEXANDER CHAPARRO TORRES
CÓDIGO: 201410525

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
SECCIONAL DUITAMA
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
2022

DISEÑO DE MANUAL DE OPERACIÓN, CONTROL Y MANTENIMIENTO DEL
HORNO BENDOTTI Y ANÁLISIS PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL CONSUMO
DE GAS NATURAL DEL HORNO DIDIER DE LA EMPRESA GERDAU DIACO
PLANTA TUTA

DIEGO ALEXANDER CHAPARRO TORRES
CÓDIGO: 201410525

INFORME PRÁCTICA CON PROYECCIÓN EMPRESARIAL PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

DIRECTOR: ORLANDO DÍAZ PARRA
Docente Escuela Ingeniería Electromecánica

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
SECCIONAL DUITAMA
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
2022

Nota de Aceptación

Firma del Director

Jurado 1

Jurado 2

Duitama de Agosto de 2022

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la fortaleza y la perseverancia para formarme como profesional de ingeniería electromecánica.

A mi familia por ayudarme a alcanzar este logro, por su constante apoyo y afecto que hicieron posible el poder culminar esta etapa de mi vida satisfactoriamente.

A mis amigos y compañeros, con los cuáles compartí en el transcurso de la carrera y con los cuales nos apoyamos mutuamente para alcanzar éste gran logro.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Gerdau Diaco por brindarme la oportunidad de realizar mi práctica empresarial en tan gran empresa, por el constante acompañamiento, apertura y su mejor disposición a aportar en mi crecimiento profesional y personal durante el transcurso del desarrollo del proyecto. A mi director de proyecto, el Ingeniero Orlando Díaz Parra, quién fue parte activa del desarrollo del proyecto y una guía para desarrollarlo.

A la Universidad Pedagógica Y Tecnológica de Colombia, especialmente a la escuela de Ingeniería Electromecánica en la cual me formé profesionalmente. A todo el cuerpo profesorado los cuáles transmitieron todos sus conocimientos en cada área de la carrera, con una formación integral y con principios y valores éticos.

A mi familia, quienes incondicionalmente me brindaron su apoyo y su cariño para culminar satisfactoriamente con mi carrera profesional.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS	7
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE ANEXOS	8
1. INTRODUCCIÓN	9
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3. DESARROLLO DEL PROYECTO	12
3.1 MANUAL DE OPERACIÓN, CONTROL Y MANTENIMIENTO DEL HORNO BENDOTTI.....	12
3.2 ANÁLISIS PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL CONSUMO DE GAS NATURAL DEL HORNO DIDIER.....	31
3.3 PARADAS PROGRAMADAS	35
4. CRONOGRAMA	49
5. CONCLUSIONES	51
6. RECOMENDACIONES.....	53
7. BIBLIOGRAFÍA.....	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos técnicos Horno Bendotti	13
Tabla 2 Datos Técnicos Sistema Aire de Combustión-Motor del Ventilador Aire de Combustión	16
Tabla 3 Lista de Repuestos Circuito Aire de Combustión	17
Tabla 4 Datos técnicos sistema de Regulación gas combustible-Regulación Gas Línea Principal-Válvula de Cierre HV 520	19
Tabla 5 Lista de Repuestos Circuito de Gas Natural	21
Tabla 6 Rangos de temperatura Zonas del Horno según Receta	33
Tabla 7 Condiciones de Recetas según Temperatura Paso 7 y Ritmo	34
Tabla 8 Relaciones Aire/Combustible según recetas y zonas	34
Tabla 9 Rangos de temperatura Zonas del Horno según Receta	36
Tabla 10 Condiciones de Recetas según Temperatura Paso 7 y Ritmo	37
Tabla 11 Relaciones Aire/Combustible según recetas y zonas	37
Tabla 12 Cronograma de Actividades	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de los quemadores en el horno Bendotti	15
Figura 2 Circuito Aire de Combustión	16
Figura 3 Circuito Gas Natural de Combustión	18
Figura 4 Sistema Gases de Combustión	21
Figura 5 Sistema de Cargue de Palanquilla	22
Figura 6 Curva de Calentamiento y de Parada Programada Horno Didier	36
<i>Figura 7 Consumo de gas 11 de mayo</i>	38
Figura 8 Consumos de gas Posteriores a la modificación de receta 0	39
Figura 9 Ritmo vs P. Programada y Marcha	40
Figura 10 Temperatura Zonas vs Ritmo deshorne, Ritmo vs Parada Programada y Marcha	40
Figura 11 Flujo de gas y Set Point (SP) de Temperatura Zona 1	40
Figura 12 Flujo de gas y Set Point (SP) de Temperatura Zona 2	41
Figura 13 Flujo de gas y Set Point (SP) de Temperatura Zona 3	41
Figura 14 Curva de Parada Programada Horno Didier 24 horas	44
Figura 15 Flujo de gas por zona y suma, Set Point de temperaturas	45
Figura 16 Temperatura Zonas vs Ritmo Deshorne, Ritmo vs Parada Programada y Marcha ...	46
Figura 17 Consumo Gas Natural Horno Didier mes de mayo 2022	47
Figura 18 Consumo Gas Natural Horno Didier mes de Junio 2022	47
Figura 19 Consumo Gas Natural Horno Didier mes de Julio 2022	48
Figura 20 Curva de parada programada y de calentamiento anterior horno bendotti	54
Figura 21 Curva Actual de Parada Programada 24 Horas Horno Bendotti	55

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo A Manual de Operación, Control y Mantenimiento Horno Bendotti)</i>	12
<i>Anexo B Planos Circuito de Gas natural Actualizados</i>	18
<i>Anexo C Planos Circuito de Contingencia Fuel Oil Actualizados</i>	22
<i>Anexo D Curva de calentamiento y de parada programada Horno Didier</i>	36
<i>Anexo E Curva de parada programada Horno Didier 24 horas</i>	45
<i>Anexo F Curva de parada programada y de calentamiento Horno Bendotti</i>	54
<i>Anexo G Curva de parada programada Horno Bendotti 24 horas</i>	55

1. INTRODUCCIÓN

La laminación es un proceso de conformación mecánica responsable por la reducción de la sección transversal de la materia prima a través del paso por dos (2) cilindros que giran en sentidos opuestos. El proceso de laminación se puede desarrollar en frío y en caliente. En el proceso de laminación en caliente de acero, el material se lamina a altas temperaturas, normalmente entre 1000 y 1200°C. Esa franja de temperatura asegura la ocurrencia del fenómeno de recristalización del acero durante el proceso, permite menor empleo de esfuerzo mecánico, afina la estructura del acero y se eliminan porosidades de forma más profunda que en la laminación en frío. Sin embargo, se presenta la formación de óxidos (cascarilla) en la superficie del material. Las materias primas usuales son lingotes, tochos, palanquillas, placas o materiales previamente conformados. Los aceros largos laminados (por ejemplo: barras de acero para hormigón armado, barras, alambón, perfiles diversos) se obtienen siempre por laminación en caliente.

Para el calentamiento del material se utilizan hornos. La atmósfera de los hornos, en contacto con las palanquillas durante el tiempo de calentamiento, se compone de gases producto de la combustión. Algunos de estos gases reaccionan a altas temperaturas con el hierro, formando óxido de hierro. Este óxido de hierro es la cascarilla que cubre las palanquillas después del calentamiento.¹

Las fallas en la operación y mantenimiento de un horno de calentamiento de palanquilla pueden generar diferentes problemas al funcionamiento correcto del horno, incidentes y accidentes de gravedad, pérdidas de equipos y a la vez, incurrir en grandes costos de reparaciones o reposición de equipos.

Algunas fallas de operación son:

- En el momento de encender el horno después de diferentes paradas, no seguir adecuada y rigurosamente los procedimientos e instrucciones de encendido puede generar daños a la estructura propiamente dicha del horno y accidentes a los colaboradores.
- Una mala relación de aire/combustible diferente a la recomendada y un exceso de aire mayor al necesario para la combustión, puede enfriar el horno y provocar disminución de producción. También se formará cascarilla en la palanquilla lo cual genera pérdidas metálicas conllevando a grandes

¹ Intranet Gerdau Diaco Módulo de Capacitación LAM-010 Hornos de Recalentamiento

aumentos en los costos de producción, provocar defectos superficiales en los productos acabados, disminuyendo la calidad del producto terminado.

- Un exceso de aire menor al necesario (marcha con defecto de aire) reduce el rendimiento porque no se completa la combustión (generación de humo).
- Cuando el consumo de corriente es demasiado alto en los motores eléctricos del tren del desbaste, es un síntoma de que las palanquillas al momento de deshornar tenían una temperatura muy baja. Si el consumo de corriente fluctúa durante la pasada del material por el tren de desbaste, indica que la temperatura no es uniforme a lo largo de la palanquilla.

El funcionamiento del horno será técnica y económicamente correcto si se ejecutan las tareas necesarias de mantenimiento en los sistemas o circuitos que componen el horno: refractarios, equipos mecánicos, eléctricos, electrónicos, sistema de combustión, sistema de refrigeración, sistema de recuperación de calor, sistema de agotamiento, etc. En otras palabras, el horno funciona correctamente cuando todas sus partes y piezas funcionan de forma adecuada y se encuentran disponibles para la operación normal.

En base a lo expuesto anteriormente, en este trabajo se presenta el diseño de un manual de operación, control y mantenimiento del horno Bendotti, de la empresa Gerdau Diaco planta Tuta, en el cual se explica el funcionamiento del horno, información técnica, circuitos o sistemas que lo componen, operación, control y mantenimiento, al cual tendrán acceso todos los colaboradores que se encuentren implicados en la operación del horno.

Por otra parte, se analizan las formas de operación y control del horno Didier, de la misma empresa, de manera que se garantice el correcto funcionamiento del horno, estandarizando las acciones por parte del personal involucrado en su operación, en búsqueda de optimizar el consumo de gas natural y así obtener palanquillas recalentadas con altos estándares de calidad, seguridad, productividad, y eficiencia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar el manual de operación, control y mantenimiento del horno de recalentamiento Bendotti y analizar las formas de operación y control del horno Didier con el fin de buscar oportunidades de mejora que permitan disminuir el consumo de gas natural, dar acceso a la información técnica de control y operación e identificar el stock de repuestos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Compilar y analizar información técnica, datos y de procesos sobre el horno de recalentamiento Bendotti con el fin de constituir un soporte técnico de referencia.
- ✓ Actualizar y evaluar la información técnica con base en conceptos de ingeniería para la consolidación y diseño del manual de operación, control y mantenimiento del horno Bendotti.
- ✓ Evaluar las técnicas desarrolladas por los operadores frente a los resultados en consumo de gas y parámetros de funcionamiento del horno Didier con el fin de establecer las mejores prácticas de operación.
- ✓ Unificar criterios y prácticas de operación entre colaboradores, operadores y mantenedores mediante charlas y cursos de capacitación en los cuales se garantice la transferencia de conocimientos.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 MANUAL DE OPERACIÓN, CONTROL Y MANTENIMIENTO DEL HORNO BENDOTTI

Como primera parte del proyecto se describirá de qué secciones consta el manual de operación, control y mantenimiento del horno Bendotti del tren laminación 2 de la empresa Gerdau Diaco planta Tuta, y algunos extractos del mismo en los cuales se encontrarán descripciones de cada sección.

Nota: Anexo al presente informe se entrega el Manual *Anexo A Manual de Operación, Control y Mantenimiento Horno Bendotti*

3.1.1 DESCRIPTIVO FUNCIONAL

Esta sección del manual se encuentra dividida en diferentes subsecciones, las cuales son:

- **Función del Horno**

La función principal del horno es entregar la palanquilla al tren de desbaste a la temperatura de laminación. El límite superior de la temperatura está limitado por la pérdida metálica (formación de cascarilla por oxidación o surgimiento de la fase líquida de la palanquilla). El límite inferior de la temperatura se limita por la formación de microestructuras poco dúctiles y muy duras para la laminación en caliente. La temperatura de laminación definida en la palanquilla en el horno Bendotti está entre 1.150°C y 1.250°C.

- **Condiciones de Operación**

Un horno de recalentamiento de palanquillas para laminación debe:

- Asegurar la continuidad de su funcionamiento (siempre se encuentre suministrando palanquilla caliente).
- Alcanzar la capacidad de producción (30 t/h nominales en frío) con un mínimo de consumo de combustible.
- Tener una capacidad de reserva para atender eventuales necesidades de aumento de producción del tren laminador.

- Calentar las palanquillas con homogeneidad (a lo largo de la sección longitudinal y transversal).
 - No dañar la calidad del material.
 - Presentar un bajo índice de pérdida de acero por oxidación (pérdida al fuego, generación de cascarilla).²
- **Descripción, tipo de horno y su configuración**

El Horno Bendotti del tren de laminación 2, es un horno continuo tipo empujador (Pusher). En este tipo de horno, las palanquillas se colocan en el punto de carga y avanzan a lo largo del eje del horno gracias a un sistema empujador. Cada palanquilla es empujada contra la anterior para dirigirla a la zona de deshorneado, las palanquillas se apoyan unas en otras por lo que no quedan espacios entre ellas.

- **Datos Técnicos del Horno Bendotti**

Tabla 1 Datos técnicos Horno Bendotti

DATOS TÉCNICOS HORNO BENDOTTI	
TIPO DE HORNO	Horno continuo empujador
NUMERO DE QUEMADORES	12
TIPO DE QUEMADORES	North American 6514-8-A
CAPACIDAD DE CARGUE	177 Palanquillas
PALANQUILLA	130x130mm
LONGITUD DE PALANQUILLA	4,2m
CAPACIDAD DE DESHORNE NOMINAL CARGUE EN FRÍO	30 t/h
CAPACIDAD DE DESHORNE MÁXIMA CARGUE EN CALIENTE	34 t/h
TEMPERATURA MÁXIMA	1.250°C
TEMPERATURA MINIMA	1.150°C
SET PRESIÓN INTERNA	0,4 mbar
CONSUMO DE GAS PROMEDIO	25-35 Nm ³ /ton
CONSUMO DE AIRE PROMEDIO	240-280 Nm ³ /ton

² Intranet Gerdau Diaco Módulo de Capacitación LAM-010 Hornos de Recalentamiento

COMBUSTIBLE DE CALENTAMIENTO	Gas Natural con recuperador de calor
	

Fuente: Autor del proyecto

- **Principios de combustión**

En ésta sección se describen las condiciones que se deben dar para que se tenga una adecuada combustión en el horno, describiendo límites de inflamabilidad del gas natural (intervalo de proporción/relación en el cual la reacción es posible), temperatura de autoencendido del gas natural y la reacción estequiométrica de la combustión producto de la mezcla aire/gas.

Además, se describe el exceso de aire adecuado con que debe trabajar el horno de recalentamiento Bendotti para obtener una adecuada combustión. Se describe la combustión en exceso de aire y la combustión en defecto de aire, y sus efectos en la combustión, características de la llama e identificación de tipos de llama (llama rica y llama pobre).

- **Controles de Contaminación**

En esta sección se realiza la descripción de los compuestos producto de la combustión como son el NO_x, el CO y CO₂, la manera de controlarlos o reducirlos, y la normatividad de emisión admisible en Colombia según el Artículo 7 de la Resolución 909 del 5 de junio de 2008 del Ministerio de Medio Ambiente y desarrollo Sostenible por la cual la empresa se rige en el control de sus emisiones.

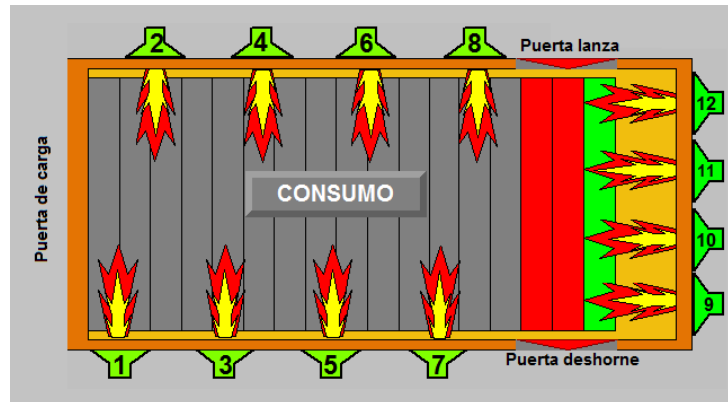
- **Sistema de Combustión**

El calentamiento de la palanquilla se realiza por la combustión de gas y aire en 12 quemadores principales marca North American. Los 12 quemadores estan dividos

en tres zonas de calentamiento (Figura 1) cada una de 4 quemadores, sin embargo el horno está conformado por 4 zonas de calentamiento las cuales son:

- ✓ Zona convectiva
- ✓ Zona de precalentamiento (Zona 3)
- ✓ Zona de Calentamiento (Zona 2)
- ✓ Zona de igualación (Zona 1)

Figura 1 Distribución de los quemadores en el horno Bendotti



Fuente: Gerdau Diaco

- **Rendimiento térmico de la combustión**

El rendimiento térmico de los hornos representa el porcentaje (%) del calor suministrado al horno que fue transformado realmente en calor útil, o sea, que fue utilizado para calentar la carga de palanquillas hasta la temperatura de laminación. En ésta sección se describe el calor útil, la transferencia de calor por parte del combustible, por el aire de combustión, el calor perdido a través de paredes, aberturas del horno, sistema de refrigeración y humos.

3.1.2 CIRCUITO AIRE DE COMBUSTIÓN

En ésta sección del manual se describen los componentes que forman parte del circuito de aire de combustión con su respectiva función y algunos parámetros de funcionamiento. El circuito de aire está compuesto por una Línea Principal y una Línea Secundaria.

Figura 2 Circuito Aire de Combustión



Fuente: Gerda Diaco

En la Línea Principal se encuentran los Ventiladores (uno en funcionamiento y otro en stand by) y el colector también llamado Manifold.

En la Línea Secundaria se encuentra el diafragma de Medida, la válvula de regulación de caudal (válvula mariposa) accionada por un Servomotor y los Quemadores.

Además de la descripción de los componentes anteriormente mencionados, se encontrará una tabla de los datos técnicos electro neumáticos de los componentes del circuito de aire de combustión, tal y como se muestra en la tabla 2, en la cual se encuentran los datos técnicos del motor del ventilador del aire de combustión, de la misma manera en el manual se encuentran los datos técnicos de los demás componentes del circuito de aire de combustión.

Tabla 2 Datos Técnicos Sistema Aire de Combustión-Motor del Ventilador Aire de Combustión

DATOS TÉCNICOS SISTEMA DE AIRE DE COMBUSTIÓN	
MOTOR DEL VENTILADOR AIRE DE COMBUSTIÓN 1 Y 2	
MARCA	General electric

MODELO	5K444BL208A
FASES	3
TENSIÓN NOMINAL	460 V _{AC}
CORRIENTE NOMINAL	152 A
POTENCIA	125 HP (93,2 Kw)
FACTOR DE SERVICIO	1,0
RPM	1.780
FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO	60 Hz
	

Fuente: Autor del proyecto

Además, se tiene la lista de repuestos con que cuenta la empresa de los componentes del circuito de aire de combustión, la referencia y el código SAP con que se tiene el inventario de dichos repuestos. En la tabla 3 se presentan algunos de los repuestos del circuito de aire de combustión.

Tabla 3 Lista de Repuestos Circuito Aire de Combustión

REPUESTOS	REFERENCIA	CÓDIGO SAP
Motor 125 HP	5K444BL208A GENERAL ELECTRIC	
Rodamientos Ventilador Combustión	22217 K SKF	10021077
Actuador neumático	6DR5020-0NN00-0BA0 SIEMENS	10028811
Acople Omega	Acople Omega E50	10013090

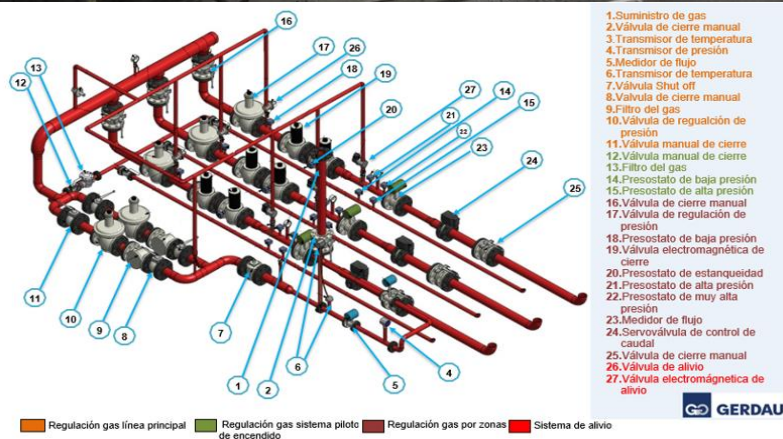
Fuente: Autor del proyecto

3.1.3 CIRCUITO GAS NATURAL DE COMBUSTIÓN

En ésta sección del manual se describe todos los componentes que conforman el circuito de gas natural, su funcionamiento y parámetros de operación.

El sistema cuenta con una subestación reguladora de gas compuesta por 3 zonas cuya función es controlar y regular la presión del gas según los parámetros establecidos para llevar a cabo el proceso de combustión en los quemadores del horno; Las zonas de regulación que componen la subestación son: la regulación de gas de la línea principal, la regulación de gas del sistema piloto de encendido y la regulación de gas de las tres zonas del horno.

Figura 3 Circuito Gas Natural de Combustión



Fuente: Gerdau Diaco

Nota: Anexo al presente documento, se encuentran los planos del circuito de Gas natural, actualizados en el período en que se desarrolló el proyecto.

Anexo B Planos Circuito de Gas natural Actualizados

El gas natural proviene de una red de suministro con una presión de 4 bar que llega a la subestación reguladora. La subestación tiene una línea principal que está compuesta por una válvula de cierre tipo bola a la entrada, un transmisor de presión, un medidor de flujo tipo turbina, un transmisor de temperatura y una válvula Shutoff.

A continuación se encuentran dos trenes de regulación (uno en stand by) cada uno consta de válvulas de cierre para la selección, filtro de gas y una válvula que regula la presión de 4 bar a 200mbar. A partir de allí el gas es distribuido a 200mbar a los sistemas piloto de encendido de cada quemador y a las 3 zonas de regulación para la combustión en el quemador.

La regulación de gas natural del sistema piloto de encendido cuenta con una válvula manual de cierre general, un filtro de gas de 1 ½", y para cada zona otra válvula manual de cierre y presostatos que controlan la baja y alta presión en la línea piloto de encendido de los quemadores.


Para el encendido de los quemadores se cuenta con un sistema piloto, que está conformado por un transformador de ignición, una lanza piloto, una electroválvula de gas piloto, una fotocelda sensor UV y un monitor quien controla la secuencia de encendido. El suministro de gas y aire del sistema piloto de encendido vienen por tuberías diferentes a las que controlan la combustión, donde se tienen 200mbar de gas constante y 70mbar de aire.

La regulación de gas natural por zonas consta de una válvula manual tipo bola, una válvula reguladora de presión que se encarga de regular la presión del gas de 200mbar a 100 mbar, presostatos de control de baja presión, presostatos de control de estanqueidad, presostatos de alta y muy alta presión, dos válvulas electromagnéticas en serie para apertura o cierre del flujo de gas, un medidor de flujo tipo vortex, una servo válvula mariposa para el control del flujo de gas de acuerdo a la relación de combustión y otra válvula tipo bola.

En ésta sección del manual también se realizó una búsqueda de todos los catálogos de los componentes para contar con todos los datos técnicos de cada uno de ellos. En la Tabla 4 se presentan los datos técnicos de la válvula de cierre HV 520, de la misma manera en el manual se encuentran los datos técnicos de los demás componentes del circuito de gas natural.

Tabla 4 Datos técnicos sistema de Regulación gas combustible-Regulación Gas Línea Principal- Válvula de Cierre HV 520

DATOS TÉCNICOS SISTEMA DE REGULACIÓN GAS COMBUSTIBLE
REGULACIÓN GAS LÍNEA PRINCIPAL

VÁLVULA DE CIERRE HV 520	
MARCA	VELAN CANADA
MODELO	00402-SSG
TIPO DE VÁLVULA	De bola con cuerpo dividido (Split body)
TIPO DE BOLA	Bola flotante (Floating ball) "La bola tiene un pequeño margen desplazamiento que es el que hace el sello cuando la valvula está cerrada"
PUERTO DE BOLA	Puerto regular (Regular port) "Diámetro de apertura de bola es menor que el diámetro interno de la válvula, mayor pérdida de carga"
PESO	31 Kg (68 lb)
PRESIÓN DE DISEÑO	20 bar (285 psi)
PRESIÓN DE TRABAJO	4 bar
TEMPERATURA MÁXIMA DE FUNCIONAMIENTO	232 °C (450°F)
DIÁMETRO NOMINAL	4" (100mm)
CLASIFICACIÓN DE BRIDA	ASME Class 150
MATERIAL DEL CUERPO DE LA VÁLVULA (BODY)	Grado WCB en ASTM A216 "W=Buena soldabilidad; C= Acero fundido (Cast steel); B=Propiedades mecánicas grado B"
	

Fuente: Autor del proyecto

Además, se realizó la Lista de repuestos pertenecientes al circuito completo del gas natural con su respectiva referencia y codificación en SAP como se puede observar en la tabla 5 donde se observan algunos de los repuestos del circuito de gas natural.

Tabla 5 Lista de Repuestos Circuito de Gas Natural

REPUESTOS	REFERENCIA	CÓDIGO SAP
Servovalvulas Gas	IC 40A2A krom schroder	10026635
Medidores de flujo gas	DY080 YOKOGAWA	
Presostato control estanqueidad	DG 150U-3 (30 - 150 mbar)	
Presostato por alta	DG 500U-3 (100 - 500 mbar)	10033632
Presostato por baja	DG 50U-3 (2,5 - 50 mbar)	10033319

Fuente: Autor del proyecto

3.1.4 CIRCUITO GASES DE COMBUSTIÓN

En esta sección del manual se habla del circuito de extracción de humos producto de la combustión y el control de la presión interna mediante el uso de la chimenea con ventilación forzada. El circuito está compuesto por: compuerta chimenea, Válvula On/Off, conjunto neumático accionamiento Válvula On/Off, Protección Ventilador de la chimenea y Ventilador de la chimenea. Al igual que en las anteriores secciones, se cuenta con una tabla de datos técnicos del circuito de gases de combustión y la respectiva lista de repuestos.

Figura 4 Sistema Gases de Combustión



Fuente: Gerdau Diaco

3.1.5 CIRCUITO AUXILIAR DE CONTINGENCIA FUEL OIL

En ésta sección se habla acerca del funcionamiento del sistema de contingencia de fuel oil en el caso de que no se encuentre disponible el suministro de gas natural, reemplazando la combustión de aire/gas por aire/fuel oil.

Nota: Anexo al presente documento, se encuentran los planos del circuito de Contingencia Fuel Oil, actualizados en el período en que se desarrolló el proyecto ***Anexo C Planos Circuito de Contingencia Fuel Oil Actualizados***

El circuito está compuesto por dos anillos de distribución: Anillo de distribución Principal y Anillo de distribución secundario. Además se complementa su funcionamiento con el aire de atomización. El anillo de distribución principal se encuentra: un equipo de llenado de tanques de almacenamiento de ACPM y Fuel Oil, toma calentada, equipo de empuje y válvula de descarga de máxima presión. El anillo de distribución secundario o de zona está compuesto por: Conjunto de filtro en la entrada, de un conjunto de bombas accionadas por motor, de un calentador de dimensiones adecuadas a la capacidad de las zonas, de un medidor, de un regulador de presión de línea y de indicadores de presión del anillo, un termopar.

Al igual que en las secciones anteriores se describe su funcionamiento y parámetros de operación, los datos técnicos de todos sus componentes y la respectiva lista de repuestos. Adicionalmente, en ésta sección se describen las normas que se tienen en cuenta para la instalación de los equipos que forman el circuito de contingencia del horno de recalentamiento.

3.1.6 SISTEMA DE CARGUE DE PALANQUILLA

En ésta sección del manual se describe el funcionamiento y el modo de cargar la palanquilla en el horno, mediante el uso de una mesa de cargue de palanquilla y un sistema de empujadores accionados por un sistema hidráulico. Además, se encuentran los datos técnicos de los componentes del sistema de cargue de palanquilla y la lista de repuestos.

Figura 5 Sistema de Cargue de Palanquilla



Fuente: Gerdau Diaco

3.1.7 SISTEMA DE DESHORNE DE PALANQUILLA

En ésta sección se habla acerca del funcionamiento del sistema de deshorne de palanquilla. Para el deshorne de la palanquilla se tiene una lanza deshornadora refrigerada por agua, cuya función es empujar las barras hacia el camino de rodillos de salida del horno. Esta lanza está acoplada con una cadena de 2" (160) a un moto reductor. Se tienen dos posiciones de deshornamiento para ello se cuenta con un carro acoplado a un moto reductor que posiciona la lanza mediante un sensor láser de distancia. Toda esta secuencia es controlada por el programa en PLC. Adicionalmente se describen los datos técnicos y lista de repuestos del sistema de deshorne de palanquilla.

3.1.8 OPERACIÓN DEL HORNO

En ésta sección del manual se describe todo lo relacionado a una adecuada operación del horno en búsqueda de asegurar la puesta en marcha de la instalación del horno de recalentamiento Bendotti y su adecuado funcionamiento. La operación del horno es realizada por personal debidamente entrenado, autorizado y capaz de asumir la responsabilidad de su propio trabajo, garantizando, en el respecto de las normas de seguridad, la mejor operación del horno.

- **Operación del Horno-Generalidades:**

En ésta sección se describe el por qué la operación correcta del horno es importante para la laminación y las consecuencias de un funcionamiento incorrecto que incluye la generación de sobrecostos y causar serios perjuicios o accidentes. Se describen

generalidades en la operación de cargue de palanquilla, factores que pueden ser causa del consumo excesivo de combustible (gas natural) y sus respectivas soluciones.

- **Modos de Operación del Horno**

En ésta sección se describen los diferentes modos en que puede operar el horno y de ésta forma determinar los sets de temperatura con que trabaja el horno.

Existen 3 modos de operación a saber en el horno Bendotti:

- ✓ Modo Manual:

Este tipo de operación permite que el horno sea controlado por el operario, quién determina los flujos de gas y de aire suministrados para cada zona (porcentaje de apertura de las válvulas), igual que los Setpoint de temperatura de las recetas correspondientes a cada zona. Esto es determinado de manera voluntaria y por necesidades del proceso.

- ✓ Modo de operación por ritmo (recetas)

En este modo de operación, el horno se controla de manera automática por programa de PLC. Se determinan los flujos aire/gas en cada zona, según setpoint de temperatura que requiera el horno por el ritmo de deshorne y por temperatura medida en el paso 8 del desbaste en un promedio de 3 barras. El ritmo de barras/hora y la temperatura medida en el paso 8 son las variables de entrada del PLC que controla las tres zonas del horno. Este PLC tiene una subrutina de recetas que permite subir o bajar los porcentajes de apertura de válvulas de aire/gas para el control de temperaturas de las zonas 1, 2 y 3 que se controlan de manera simultánea. Adicionalmente el set de temperatura en el Paso 8 dependerá si se está realizando cargue en caliente o cargue en frío.

- ✓ Modo de operación por potencia

En este modo de operación, el horno se controla de manera automática teniendo como referencia la temperatura del paso 8 del desbaste, quien a su vez controla los porcentajes de aperturas de las válvulas de aire/gas simplemente de la zona 1. Las zonas 2 y 3 son controladas por porcentaje de apertura de las servoválvulas de gas de la zona 1. Cuando el porcentaje de la valvula de gas de la zona 1 es superior al 50% enciende la zona 2 y la controla. Cuando operan simultáneamente zonas 1 y

2 y el porcentaje de apertura de la valvula de gas de la zona 1 es superior al 65% enciende la zona 3.

- **Control antes del encendido**

Los sectores que deben ser controlados antes del encendido en un horno de gas natural son: Circuito de aire de Combustión, Circuito de Gas Natural, Circuito de Gases Residuales (Humos) y Circuito Eléctrico.

En ésta sección se describe la serie de pasos que debe tener en cuenta el operador del horno antes de realizar el procedimiento de encendido del horno, factores que debe tener en cuenta acerca de las condiciones iniciales de temperatura en que se encuentra el horno y la hora en que se va a normalizar la producción para saber con qué tiempo dispone para posteriormente realizar el encendido y calentamiento del horno.

- **Encendido del horno**

El arranque del horno después de paradas, cambios, finales de semana, mantenimientos u otros procedimientos es una operación que debe ser ejecutada cuidadosamente. Se debe seguir una instrucción propia y detallada de los procedimientos que deben ser seguidos rigurosamente en la operación del arranque. Si esa secuencia de procedimientos especificados no es correctamente ejecutada, existe riesgo de serios daños al horno y accidentes con el personal. Esta secuencia de procedimientos es descrita en ésta sección y realizada de acuerdo a diálogos establecidos entre todos los operadores del horno y el autor del proyecto.

- **Apagado del Horno:**

El procedimiento de apagado del horno es realizado por los operadores del horno cuando se van a realizar paradas, cambios, finales de semana, mantenimientos u otros procedimientos en el tren laminador. Para el apagado del horno se debe seguir una secuencia de pasos para un apagado seguro del horno. Esta serie de pasos al igual que la de encendido fue realizada de acuerdo a diálogos que se establecieron entre los operadores del horno y el autor del proyecto.

- **Regulación y conducción del horno**

En esta sección se describe como los operadores del horno regulan y conducen el horno según la necesidad en el tren de laminación, como trabajan las paradas

programadas según su tiempo de duración y como regulan la temperatura en las zonas del horno. Todo lo anterior, estandarizando la forma en que todos los operadores del horno trabajan actualmente.

- **Procedimiento para colocar en funcionamiento el sistema de contingencia fuel oil de los hornos de laminación**

En esta sección se describe el procedimiento paso a paso que se debe seguir rigurosamente teniendo en cuenta diferentes parámetros de temperatura y presión a la cual debe circular el fuel oil para poner en funcionamiento el sistema de contingencia de fuel oil en el caso de que no se cuente con el suministro de gas.

- **Reconocimiento de alarmas**

El sistema de combustión con el cual se encuentra equipado el horno, cuenta con una serie de puntos de alarma, mediante los cuales el operador del horno es inmediatamente avisado si se ha presentado una anomalía en la instalación. El objetivo es monitorear medidores y accionamientos del horno para identificar alertas tempranas. Estas alarmas son notificadas vía correo a los operadores del horno y a los encargados del tren de laminación.

El sistema de alarma se compone de una señal visual (descripción de la alarma). La descripción aparece en el panel situado sobre el tablero de regulación temperatura y queda hasta que la causa (anomalía) que ha ocasionado la alarma ha sido removida.

- **Mantenimiento de Rutina**

En ésta sección del manual se describen todas las acciones realizadas por el personal de mantenimiento para que el horno funcione técnica y económicamente de forma correcta.

- ✓ Rutas de inspección: Se describen las rutas de inspección que se realizan al horno diariamente, hechas por el padrino eléctrico del horno y los respectivos formatos que se tienen para el control de las variables con que debe operar normalmente el horno.

- ✓ Análisis Preliminar de Riesgos (APR): Se describe el APR realizado por las personas que van a intervenir y realizar mantenimiento en pro de identificar riesgos potenciales a los cuales se encuentra expuesto y controlarlos o mitigarlos y el respectivo formato que se lleva para el control de seguridad al realizar las tareas de mantenimiento.
- ✓ Estándar de Mantenimiento General Horno Bendotti: En ésta sección se describen las actividades de mantenimiento estandarizadas que se le realizan al horno Bendotti en cada uno de sus circuitos y sistemas descritos anteriormente en el manual, identificando cómo se debe realizar cada tarea, puntos clave que se deben tener en cuenta al momento de realizar cada tarea y cuidados (en Seguridad, Medio Ambiente, Calidad, Costo, Entrega).
- ✓ Fichas de bloqueo Mantenimiento General Horno Bendotti: Las fichas de bloqueo se utilizan para identificar la fuente de energía a bloquear, la ubicación del lugar de bloqueo, método para realizar el bloqueo y el dispositivo de bloqueo antes de intervenir y realizar mantenimiento en el horno.
- ✓ Procedimiento General de bloqueo Laminación: En esta sección se explica el procedimiento estandarizado general de bloqueo del área de laminación, el cual aplica para el Horno Bendotti.
- ✓ Hoja de Ruta Mantenimiento Horno Bendotti: En la hoja de ruta se identifican padrinos encargados del mantenimiento (eléctrico y mecánico), nombre del equipo, operación a realizar, ubicación técnica, tiempo de duración y frecuencia de mantenimiento.
- ✓ Análisis de Gases: En ésta sección se describe como se supervisa la eficiencia del proceso de combustión mediante un proceso de análisis de gases llevando un control en las emisiones de monóxido de carbono CO y dióxido de carbono CO₂, en oxígeno y exceso de aire presente en los gases de combustión que ingresan al intercambiador de calor, para de ésta manera llevar un control en la combustión presente en el horno con determinado ritmo de producción. Se describe cómo se realiza el proceso de análisis de gases y como interpretar los resultados del mismo.
- ✓ Balanceo de quemadores: En ésta sección se describe cómo se realiza el balanceo de los quemadores, el objeto de realizar éste procedimiento el cual es verificar regularmente los quemadores de una zona para garantizar que

están recibiendo el mismo aire y flujo de combustible que otros quemadores de la misma zona y de ésta manera evitar el desbalanceo de los quemadores, es decir la mala distribución del flujo y las caídas de presión en los mismos.

- **Recomendaciones para la Operación General del Horno**

En ésta sección se encuentran algunas recomendaciones para que el operador tenga en cuenta al momento de operar el horno, para que tenga un control y un conocimiento adecuado de las condiciones normales en que debe funcionar y operar el horno correctamente. Supervisando factores como: relación aire/combustible recomendada, monitoreo de la corriente de motores eléctricos del desbaste, presión interna del horno, cantidad de cascarilla formada en la superficie de las palanquillas, comunicación entre operadores del tren y operador del horno, temperaturas y flujos de aire y gas de las zonas y presiones de los sistemas auxiliares del horno.

- **Aspectos de seguridad:**

En ésta sección se describen qué aspectos de seguridad y la importancia de los mismos que debe tener en cuenta y seguir rigurosamente el personal que trabaja con el horno Bendotti.

Aspectos como: Limpieza de las áreas de circulación, explosiones, intoxicación, deshidratación, quemaduras y daños a los ojos.

3.1.9 CONTROL DEL HORNO

Los hornos de recalentamiento se monitorean mediante un complejo sistema de medidores de temperatura, de presión, de salida, entre otros.

Estos medidores permiten obtener valores, para el registro y el control de:

- Temperaturas internas del horno, en cada zona de calentamiento.
- Temperatura de los vapores, en la entrada del canal de evacuación de los referidos gases quemados.
- Temperaturas de los vapores en la entrada y en la salida del recuperador de calor.
- Temperaturas del aire de combustión, antes y después del recuperador.

- Temperatura de las palanquillas, después del deshornado y la remoción de la cascarilla superficial, a través de pirómetros ópticos de radiación.
- Temperatura de precalentamiento del gasóleo, en caso de usar este tipo de combustible.
- Presión interna del horno, medida en la zona de encharque del horno.
- Presión del gas, si se usa este tipo de combustible.
- Presión del aire de combustión.
- Medida del vaciado del gas de combustible.
- Medida de la salida del aire de combustión.

En ésta sección del manual se describe cómo se realiza el control y monitoreo de las variables mencionadas anteriormente en el horno Bendotti y algunas generalidades en el control de dichas variables.

- **Regulación y Control**

En ésta sección se define a qué se refiere la regulación y a qué se refiere el control. Regulación es un control en lazo (malla) abierto, donde el resultado de una acción no se mide, luego no hay realimentación ni corrección. Un ejemplo es una estufa con reguladores del tipo baja, media y alta.

En el control existe una medición y una realimentación, o sea, existe un lazo (malla) cerrado que va a actuar intentando aproximar el PV (valor de proceso) del SP (valor deseado).

Además de esto, en ésta sección se definen los siguientes términos necesarios para entender bien los controladores:

- ✓ Variable de Proceso
- ✓ Variable del punto de ajuste
- ✓ Variable de Control
- ✓ Error o desvío
- ✓ Curva del proceso
- ✓ Curva del controlador
- ✓ Acción directa
- ✓ Acción inversa (o reversa)
- ✓ Anticipación (feedforward)
- ✓ Controlador de relación
- ✓ Controlador en cascada
- ✓ Cursor o variable de la posición de la válvula

- **Controladores**

En ésta sección se realiza una descripción de los tipos de controladores existentes de 2 puntos y 3 puntos, modos de control como son proporcional (P), Integral (I), Derivativo (D) y la combinación de los modos Proporcional-Integral (PI) empleada en hornos de recalentamiento.

Se describe además los modos de operación del controlador, manual y automático y los controladores auxiliares del horno.

- **Interfaz Hombre-Máquina (HMI)**

La interfaz hombre-máquina (HMI) o estación del operador suministra informaciones visuales y las indicaciones para los operadores y facilitadores sobre la condición del proceso y equipamientos de combustión. Además permite a los operadores del horno la modificación de diferente parámetros del horno como lo son los sets de temperatura en las recetas, activar el modo de operación manual o automático del horno, seleccionar el tipo de cargue en caliente o en frío, el encendido de las zonas del horno, de los ventiladores de combustión y del ventilador de la chimenea.

- **Actuadores**

Los actuadores usados en los hornos de recalentamiento son los servomotores o moto reductores, que accionan las válvulas tipo mariposa por medio de un mecanismo con braceros y tirantes rígidos. En ésta sección se describe cómo el controlador opera y controla dichos actuadores.

- **Control de Temperatura del Horno**

En ésta sección se describe cómo se lleva a cabo el control de temperatura del horno de acuerdo al ritmo de producción que se tiene en determinado momento, el modo de control empleado (PI con salida tipo 3 puntos) y cómo trabaja el controlador para regular flujos de aire y de gas en cada zona de calentamiento del horno.

- **Control de la relación Aire/Gas:**

Controlar la combustión es la principal tarea de sistema de control (mas importante de lo que el propio control de temperatura). Este control es siempre hecho por zona

y utiliza el modo PI con salida en 3 puntos para ajustar el caudal de aire (o comburente) y de gas (o combustible).

La relación aire/gas deseada, que funciona como un Setpoint de relación es variable dependiente del caudal de gas que está siendo quemada cada momento. Este modelo se denomina como “relación adaptativa” por semejanza con los controladores que usan una “ganancia adaptativa”.

- **Control de la Presión Interna del Horno**

La cámara de combustión de un horno de recalentamiento debe operar a una presión cero en el Nivel de la solera (piso) y de algunos décimos de milibares (0,4 milibares). La presión interna es medida por el transmisor de presión y es regulada mediante el control de apertura o cierre de la compuerta de la chimenea y la velocidad del motor de la chimenea.

- **Variables de Control del Horno:**

En ésta sección se mostrarán Entradas y Salidas (Análogas o digitales), Marcas y Registros del PLC del horno Bendotti con las cuales actualmente se cuenta para el control del horno haciendo uso del Software Proficy Machine Edition.

3.1.10 PLANOS

En ésta última sección del manual se plasmaron los planos estructurales y planos eléctricos, aparte de los planos que se mencionan anteriormente en las secciones anteriores del circuito de gas y del circuito auxiliar de contingencia de fuel oil.

3.2 ANÁLISIS PARA LA OPTIMIZACIÓN EN EL CONSUMO DE GAS NATURAL DEL HORNO DIDIER

Consumo de gas natural: Se realiza una medición del consumo de gas natural utilizado en la laminación por tonelada de laminado producida, en el periodo (turno 1, turno 2 y turno 3) y como dato del día se realiza un promedio de los 3 turnos.

- Fórmula

$$\text{Consumo de gas natural} = A/B$$

Donde el consumo es medido en Nm³/t:

A = Consumo de gas natural en la laminación en el periodo.

B = Producción de laminados buenos.

Como consumo objetivo trazado por la compañía se tiene que el consumo debe ser alrededor de 32 m³/ton para el horno Didier.

En noviembre del año 2021 se venían presentando consumos muy elevados alrededor de 40,4 m³/ton. Este año 2022 se venían presentando valores de consumo de gas en los tres primeros meses de 38,2 en enero, febrero 36,2 y en marzo 35,5 m³/ton.

En conjunto con Uptime Analytics se tiene un reporte al día, si hay alguna eventualidad en el horno, alertas en caso de que alguna variable esté fuera de los parámetros en que se debe encontrar, alertas enviadas a los operadores del tren. Además el encargado del tren recibe una alerta si los operadores del horno no activan el modo de parada programada, buscando hacerle seguimiento a las paradas que son tan relevantes en el tren 3 por cambios de perfil continuos e interrupciones.


Además, se realizan rutas de inspección donde se realiza el análisis de gases del horno, procedimiento en el cual se toma una captura del análisis de gases que se tiene en el momento, y se complementa con el ritmo de producción en escenarios que se tienen de 40 barras/hora a 50 barras/hora, esta información es importante para establecer unas recetas efectivas y tener un control de combustión completa y un nivel de emisiones admisible como se requiere. Como oportunidad de mejora se capacita al personal operativo del horno ya que aparte de tener los datos del análisis de gases es importante que puedan reaccionar a los mismos, corrigiendo la relación aire/combustible que se encuentra trabajando en el momento.

Se realizan procesos de calibración y balanceo de los quemadores, procedimiento para asegurar la uniformidad de la distribución de calor en un horno, en especial en una zona, es importante mantener los quemadores balanceados en dicha zona. Esto significa que cada quemador se verifica regularmente para garantizar que está recibiendo el mismo aire y flujo de combustible que otros quemadores en la misma zona. Los sistemas de aire, en contraste con los sistemas de combustible, siempre se tienen que balancear en el campo. Eso sucede principalmente debido a que los grandes diámetros de tubería introducen una mayor incertidumbre en las caídas de presión y distribución de flujo para varias ramificaciones del sistema de aire de combustión, ósea la pérdida de carga es mayor. Para reducir esta incertidumbre en la caída de presión, los márgenes de seguridad también se pueden aumentar, lo que agravará cualquier desequilibrio.

El personal de mantenimiento implementó una gráfica de consumo por cada turno, para control minuto a minuto del operador, gráficas de seguimiento para el consumo de gas día a día las cuales permiten que los operadores del horno se encuentren enfocados en buscar el menor consumo de gas en el horno. También realizaron la calibración de los servomotores de las 3 zonas, se trabajó en la medición en línea de los flujos de las diferentes zonas, y los porcentajes de apertura que se pueden empezar a correlacionar para darle herramientas al operador del horno acerca de su funcionamiento.

En el cierre de año 2021 se terminó con un modo de operación en potencia, el equipo de mantenimiento realizó seguimiento a nivel de consumo, y en potencia habían momentos donde el horno tenía un comportamiento de consumir mucho gas en tiempos que no necesitaba, debido a que el ritmo no es muy constante se estaba trabajando por potencia, habían perfiles en los que el horno estaba trabajando a una potencia mayor sin requerirla, y se hizo el ejercicio de pasar a recetas durante los primeros meses del año 2022, determinadas por el ritmo de deshorne de palanquilla y la temperatura en el paso 7 del desbaste, de acuerdo a dicha temperatura y ritmo va saltando la receta a medida que el tren va aumentando el ritmo de producción. Sin embargo en el control se priorizaba la temperatura en el paso 7 del desbaste. Estas recetas son mostradas en la Tabla 6, las condiciones de dichas recetas se observan en la tabla 7 y las relaciones de aire/combustible en la tabla 8.


Tabla 6 Rangos de temperatura Zonas del Horno según Receta

 GERDAU DIACO	TEMPERATURA SEGÚN RITMO (°C)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
RECETA 1	Temp Ritmo Alto	1.240	1.150	1.050
	Temp Ritmo Bajo	1.230	1.100	1.000
RECETA 2	Temp Ritmo Alto	1.250	1.210	1.080
	Temp Ritmo Bajo	1.240	1.150	1.050
RECETA 3	Temp Ritmo Alto	1.260	1.240	1.100
	Temp Ritmo Bajo	1.250	1.210	1.080

RECETA 4	Temp Ritmo Alto	1.270	1.250	1.120
	Temp Ritmo Bajo	1.260	1.240	1.100

Fuente: Gerdau Diaco

Tabla 7 Condiciones de Recetas según Temperatura Paso 7 y Ritmo

 GERDAU DIACO	Temperatura Paso 7 (°C)	Ritmo (palanquillas/hora)
RECETA 1	>1.090	Ritmo bajo: <20
RECETA 2	1080<x<1.090	Ritmo medio: >20
RECETA 3	1070<x<1.080	Ritmo alto: >40
RECETA 4	<1.070	Ritmo alto: >40

Fuente: Gerdau Diaco

Tabla 8 Relaciones Aire/Combustible según recetas y zonas

RELACIONES AIRE/COMBUSTIBLE SEGÚN RECETAS Y ZONAS			
RECETAS	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
RECETA 1	4,8	6,5	6,5
RECETA 2	4,8	7,5	7,8
RECETA 3	5,0	8,0	8,5
RECETA 4	5,2	8,5	8,7

Fuente: Gerdau Diaco

El ejercicio que se venía haciendo era identificar en los diferentes perfiles los valores de las recetas adecuados, modificando los valores de temperatura en las recetas,

es decir en la receta 1 que es la receta más baja cuando se tiene poca producción se colocan los diferentes sets en las 3 zonas y así mismo hasta llegar a la receta 4 que es una receta de alta producción con un ritmo alrededor de **40 a 50 barras hora**. Esto permite tener un comportamiento del horno dependiendo de los diferentes ritmos que se tengan en el tren.

Posteriormente se observó que mediante éste modo de operación por recetas, el control por temperatura era ineficiente, ya que por problemas en el tren la temperatura con la que pasaban las barras en el paso 7 del desbaste era muy variable y por tal motivo existía un cambio de recetas frecuente, lo cual generaba excesos de consumo de gas en la operación. Por tal motivo se tomó la decisión de modificar la forma de operar de las recetas para que su control esté determinado únicamente por el ritmo de deshorne.

3.3 PARADAS PROGRAMADAS

Como se mencionó anteriormente, el tema de las paradas en tren 3 de Laminación, es un tema representativo ya que existen paradas en la producción causadas por mantenimiento, cambio de desbaste, cambio de perfil o cualquier anomalía que se presente en el transcurso de la producción, es por esto que se centró especial atención en el comportamiento del horno, el modo de operación y control y su consumo de gas durante determinado tiempo de paradas.

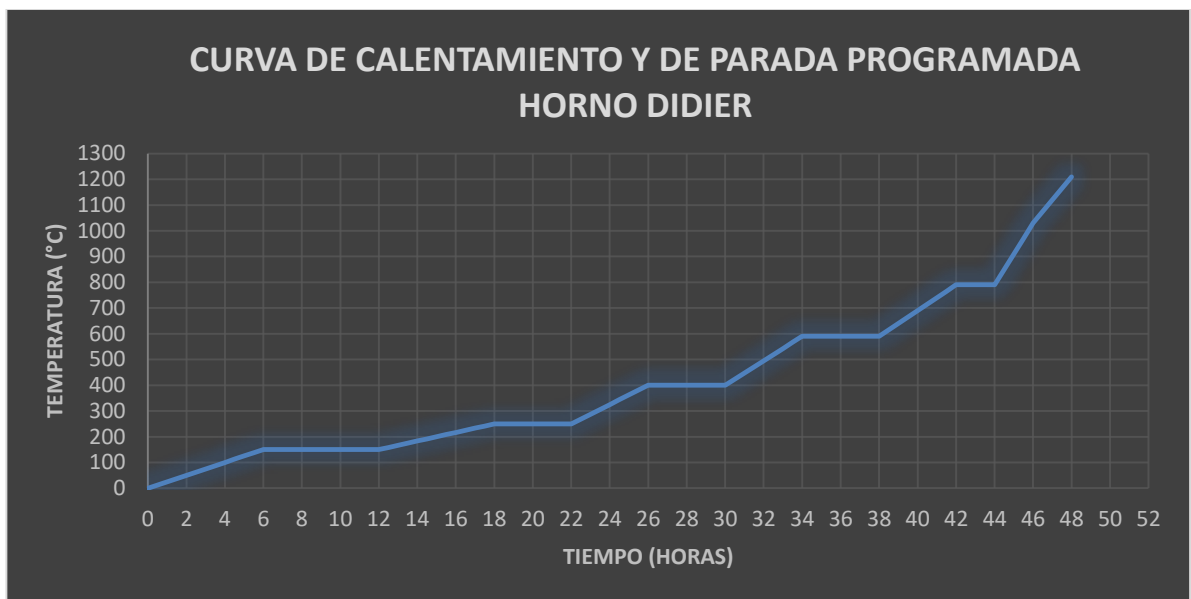
El control del Horno Didier en el modo de parada programada disminuye los sets de temperatura 50 y 100°C a las zonas 2 y 3 respectivamente y la zona 1 seguía el comportamiento de la curva de parada programada mostrada en la Figura 6, según el tiempo que se active el modo de parada programada. Curva también utilizada para el calentamiento del horno después de un determinado tiempo que permaneció apagado completamente.

Un inconveniente que se presentó con esta curva de calentamiento y con el modo de operación por recetas mencionadas anteriormente, es que una vez terminado el tiempo de activación de la parada programada, empezaba a pedir un set muy alto de 1240°C (set de temperatura de receta 1) sin tener aún ritmo de producción, y por consiguiente la demanda de gas natural aumenta en tiempos innecesarios.

Es por esta razón que se recurrió a modificar el modo de operar de las recetas e implementar una nueva receta denominada "Receta 0", utilizada para cuando no

exista ritmo de producción (ritmo 0) y con unos valores de sets de temperatura inferiores a los de la receta 1 y que permitan conservar estas temperaturas por el tiempo que se requiera al finalizar la curva de calentamiento.

Figura 6 Curva de Calentamiento y de Parada Programada Horno Didier




Fuente: Autor del Proyecto

Anexo D Curva de calentamiento y de parada programada Horno Didier

De tal manera que las recetas se actualizaron como se observa en las Tabla 9, 10 y 11:


Tabla 9 Rangos de temperatura Zonas del Horno según Receta

	TEMPERATURA SEGÚN RITMO (°C)	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
RECETA 0	Temp Ritmo Alto	1.220	1.120	1.020

	Temp Ritmo Bajo	1.210	1.080	1.000
RECETA 1	Temp Ritmo Alto	1.240	1.120	1.050
	Temp Ritmo Bajo	1.230	1.100	1.030
RECETA 2	Temp Ritmo Alto	1.250	1.200	1.080
	Temp Ritmo Bajo	1.240	1.150	1.050
RECETA 3	Temp Ritmo Alto	1.260	1.240	1.100
	Temp Ritmo Bajo	1.250	1.200	1.080
RECETA 4	Temp Ritmo Alto	1.270	1.260	1.120
	Temp Ritmo Bajo	1.260	1.240	1.110

Fuente: Gerdau Diaco

Tabla 10 Condiciones de Recetas según Temperatura Paso 7 y Ritmo

 GERDAU DIACO	Temperatura Paso 7 (°C)	Ritmo (palanquillas/hora)
RECETA 0	-	Ritmo: 0
RECETA 1	>1.090	Ritmo bajo: <20
RECETA 2	1080<x<1.090	Ritmo medio: >20
RECETA 3	1070<x<1.080	Ritmo alto: >40
RECETA 4	<1.070	Ritmo alto: >40

Fuente: Gerdau Diaco

Tabla 11 Relaciones Aire/Combustible según recetas y zonas

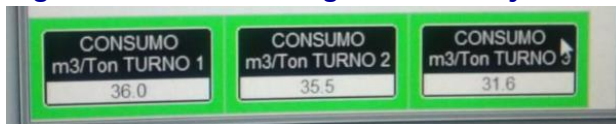
RELACIONES AIRE/COMBUSTIBLE SEGÚN RECETAS Y ZONAS

RECETAS	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
RECETA 0	4,5	6,2	6,5
RECETA 1	4,8	6,5	6,5
RECETA 2	4,8	7,5	7,8
RECETA 3	5,0	8,0	8,5
RECETA 4	5,2	8,5	8,7

Fuente: Gerdau Diaco

Posteriormente a realizar éstos ajustes se observó un mejor comportamiento en el consumo de gas como lo podemos evidenciar a continuación:

Figura 7 Consumo de gas 11 de mayo



Fuente: Gerdau Diaco

Luego, en el mes de mayo como objeto de estudio para disminuir el consumo que se venía presentando se tomó la decisión de trabajar con un modo de operación por potencia en el cual las zonas 2 y 3 son activadas cuando la potencia de la zona 1 se encuentra en el 37% de su capacidad total, mientras que la zona 1 continúa con el comportamiento del control por recetas (dadas por ritmo de producción). Limitando la potencia de las zonas 2 y 3, a que tengan una diferencia del 10% con respecto a la potencia de la zona 1, de manera que por ejemplo si la zona 1 se encuentra con una potencia del 37%, las zonas 2 y 3 se pueden ir máximo al 10% más de la zona 1, es decir 47%.

De esta forma, se evitan consumos innecesarios de combustible que anteriormente se venían presentando en el modo de operación por potencia, ya que anteriormente se observaba que la diferencia de potencias entre zona 1 y Zonas 2 y 3 era muy elevada, permitiendo por ejemplo que si la potencia con que la zona 1 estaba trabajando al 50% las zonas 2 y 3 podían llegar a trabajar al 100% en instantes que no se requería dicho comportamiento.

Luego de realizar estos ajustes, se realizó seguimiento al consumo de gas y se obtuvieron resultados muy positivos como se muestra a continuación:

Figura 8 Consumos de gas Posteriores a la modificación de receta 0



Fuente: Gerdau Diaco

Como se puede observar en algunos de los consumos posteriores a la modificación de las recetas (implementación de la receta 0), se obtuvo un mejor comportamiento del consumo de gas natural, por algunas horas se lograron valores de consumo cercanos a 32 m³/t, por tal motivo fue eficaz la implementación de dicha receta. Sin embargo, se seguían presentando valores por encima de 40,0 provocados especialmente por el manejo que se estaba realizando de las paradas programadas, es por esta razón que se centró el análisis en dichas paradas y como ejemplo de uno de los días de estudio se describirá en la siguiente sección el análisis realizado.

- **Análisis comportamiento con Curva de Calentamiento y de Parada Programada:**

- ✓ 25 de mayo 2022

Las siguientes gráficas que se presentan a continuación hacen parte del seguimiento que en conjunto con Uptime Analytics se le realizó a la forma de operar el horno Didier en las paradas Programadas, teniendo en cuenta en el presente informe como caso específico el día 25 de mayo de 2022. Como foco de análisis describiremos el comportamiento del horno cuando se activa el modo de parada programada en el transcurso del día.

Figura 9 Ritmo vs P. Programada y Marcha

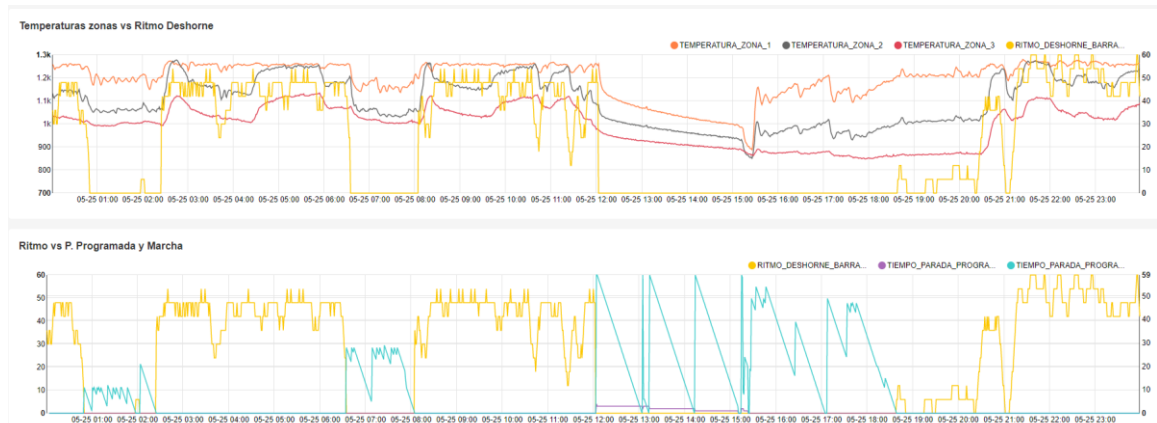


Fuente: Uptime Analytics

Según la gráfica anterior hay 3 momentos puntuales donde se activa la parada programada.

- ✓ Intervalo de 00:45 a 02:15 a.m
- ✓ Intervalo de 06:30 a 08:00 a.m
- ✓ Intervalo de 12:00 a 18:40 p.m

Figura 10 Temperatura Zonas vs Ritmo deshorne, Ritmo vs Parada Programada y Marcha



Fuente: Uptime Analytics

Figura 11 Flujo de gas y Set Point (SP) de Temperatura Zona 1



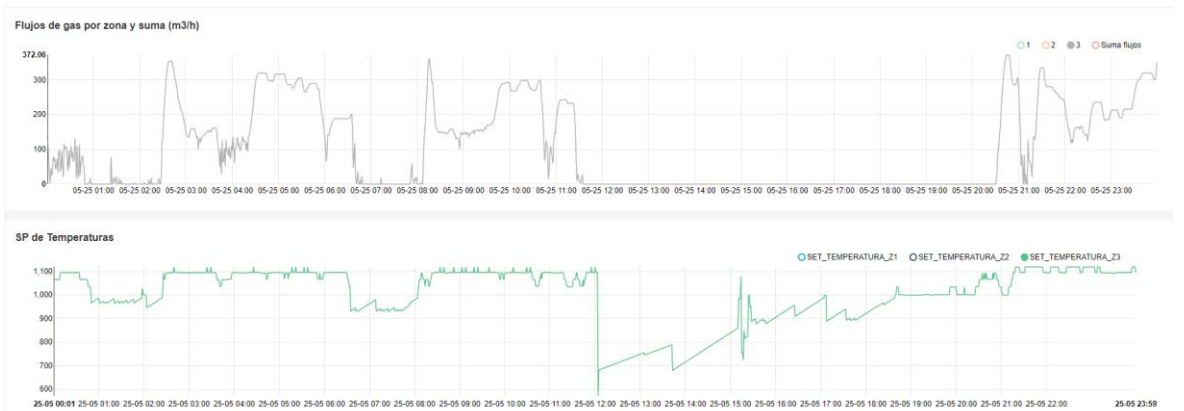
Fuente: Uptime Analytics

Figura 12 Flujo de gas y Set Point (SP) de Temperatura Zona 2



Fuente: Uptime Analytics

Figura 13 Flujo de gas y Set Point (SP) de Temperatura Zona 3



Fuente: Uptime Analytics

➤ Análisis Intervalo de 00:45 a 02:15 a.m

Como se observa en la **Figura 9** se activó el modo de parada programada inicialmente por un periodo de 10 minutos, una vez terminado el tiempo, se vuelve a introducir nuevamente otros 10 minutos, y posteriormente hay una secuencia de modificación de tiempos de parada programada debidos a que seguramente en el tren de laminación existían algunos inconvenientes que no permitían continuar con la producción y el operador del horno al comunicarse con los operadores del tren, le manifestaban que en 10 minutos volvía a la normalidad el tren, una vez transcurridos le informaban que necesitaban más tiempo y por tanto el hornero volvía a activar el modo de parada programada y luego empezó a realizar una serie de modificaciones por la incertidumbre de la hora en que iba a normalizar la producción el tren. Esta secuencia de activaciones de parada programada se presentó múltiples veces y finalmente se activó la parada programada alrededor de otros 20 minutos.

Ahora observando la **Figura 11** donde tenemos el flujo de gas de la zona 1 durante éste período de tiempo en que se realizan tantas modificaciones de la parada programada, se observan diferentes picos de consumo de gas provocados precisamente por estas consecutivas modificaciones en la parada programada en espacios cortos de tiempo y generando un consumo de gas alto e innecesario. El flujo de gas de las demás zonas es de alrededor de 0 como se observa en las figuras 12 y 13 por tal razón no es foco de nuestro análisis.

➤ Análisis Intervalo de 06:30 a 08:00 a.m

Al igual que lo observado en el intervalo 1, se activa el modo de parada programada consecutivamente, lo cual genera bastantes picos de consumo de gas en la zona 1 y por tal razón un consumo innecesario de gas al modificar consecutivamente el tiempo de duración del modo de parada programada.

➤ Análisis Intervalo de 12:00 a 18:40 p.m

En éste intervalo de tiempo, se realiza el proceso de calentamiento del horno. Inicialmente el horno se apaga a las 12:00, debido a que se va a realizar mantenimiento en el tren por un tiempo aproximadamente de 4 horas. Es por esto que se apagan todas las zonas del horno durante 3 horas, y una vez finalizado este tiempo se procede a realizar el encendido del horno para que al finalizar el tiempo de mantenimiento el horno se encuentre a la temperatura requerida de laminar de 1210°C (zona 1, receta 0).

Habiendo pasado las 3 horas de apagado el horno, el operador procede a realizar el encendido del horno y a activar el modo de parada programada a las 03:15 p.m, el operador del horno coloca un tiempo de parada programada de 3 horas para que al iniciar el calentamiento del horno no se realice con una diferencia muy alta entre temperatura actual del horno y set de temperatura. Posteriormente a los 2 minutos le disminuye 40 minutos a la parada programada y comienza a realizar una serie de ajustes al tiempo de parada programada, buscando disminuir el tiempo que tarda en el calentamiento del horno debido a que por comunicación con los operadores del tren le informan que está próximo a normalizar producción, sin embargo al observar que no se normalizaba la producción procedía a modificar el tiempo de la parada programada como se observa en la **Figura 9** alrededor de las 17:00 p.m. Posteriormente se siguió maniobrando con el tiempo de la parada programada hasta que finalmente se normalizó producción a las 18:30 aproximadamente.

Al igual que en el caso de los intervalos de tiempo anteriores , al maniobrar con tanta frecuencia el tiempo de parada programada se observan diferentes picos en el flujo de gas por estas consecutivas modificaciones en el tiempo de la parada programada, es por ésta razón que se tiene un consumo de gas innecesario, ya que el flujo de gas que se consume con el objetivo de aumentar la temperatura en el horno, es un flujo perdido ya que al aumentar nuevamente el tiempo de la parada programada se le está ordenando al horno que vuelva a disminuir su temperatura, tal y como se puede observar en la **Figura 10** todo esto provocado al no tener certeza de la hora en que se pueda normalizar la producción y el hornero maniobrar con los tiempos de duración de la parada programada.

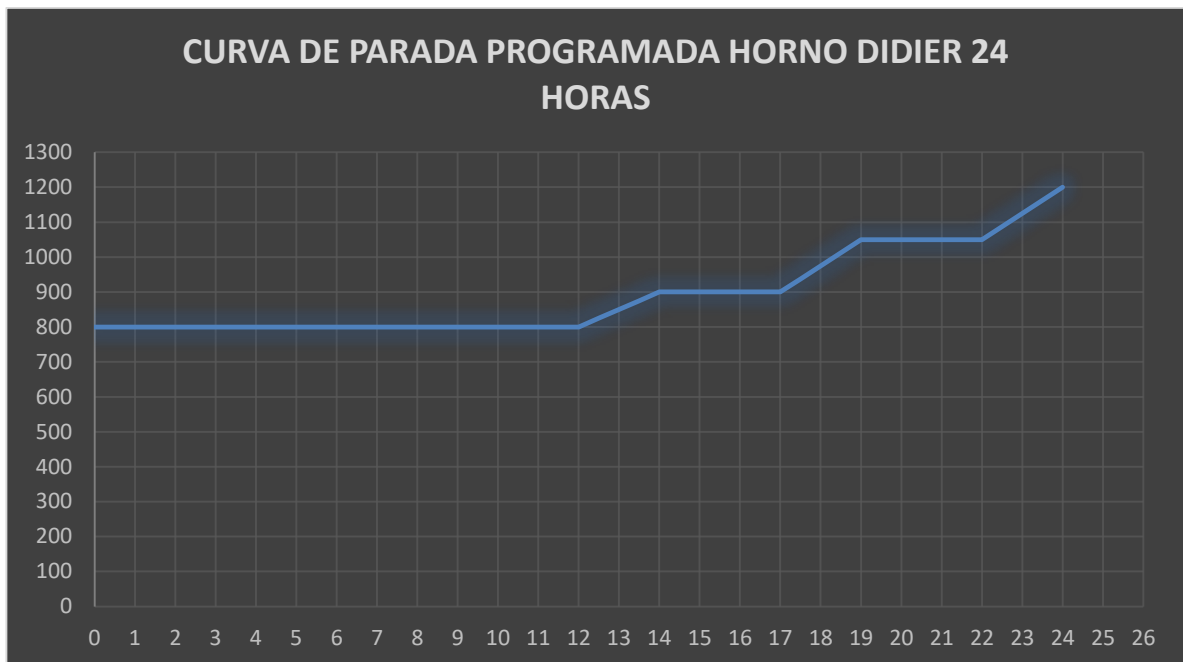
- ACCIONES TOMADAS:

- ✓ Se decidió activar el modo de parada programada sólo a partir de una hora y media, adicionalmente se apagarán las zonas 2 y 3, y que si el tiempo de parada es inferior a una hora y media el horno opere con la receta 0 (ritmo de producción de cero) debido a que es más efectivo para las paradas pequeñas el uso de la receta cero sin apagar las zonas 2 y 3 (permaneciendo éstas zonas a bajo fuego), ya que al mantener temperatura se mantiene un flujo constante de gas y de tal manera se evitarán consumos innecesarios de gas al modificar permanentemente los tiempos de parada programada, suprimiendo de ésta forma los picos de flujo de gas. Como determinación se

decidió además, que se active el modo de parada programada normalmente y si al finalizar la parada programada no se ha estabilizado la producción en el tren, se permita que el horno se mantenga en receta 0 y de ésta manera evitar activar nuevamente la parada programada por periodos cortos de tiempo.

- ✓ Si el auxiliar de el tren dice que se va a parar durante por ejemplo hora y media, el operador del horno activa el modo de parada programada por un tiempo superior, puede ser hora y 45 minutos, de manera de que si no se arranca tan rápido el tren se tiene una holgura de tiempo en el modo de parada programada y de ésta manera se ahorra un poco el consumo de gas.
- ✓ Se decidió modificar la curva de parada programada y se implementó la curva mostrada en la **Figura 14 (archivo anexo al presente informe)**, ya que si el horno puede calentar de 1100 a 1200° en una hora, o en media hora si se requiere ya que el horno cuenta con la potencia suficiente para hacerlo, se busca entonces asegurar una temperatura de inicio o de espera, teniendo un espacio de stand by, que permita que no existan picos de subida y de bajada de gas al estar maniobrando con los tiempos de parada programada. Al mantenerse más cerca la temperatura inicial del calentamiento, se puede disparar la temperatura o la rata de calentamiento y va a llegar más rápido la temperatura de laminación requerida. Entonces el flujo va a ser estable al mantener la temperatura de stand by y posteriormente va a subir cuando esté terminando el lapsus de la parada el horno y va a tender a calentar de manera uniforme, evitando los picos de consumo de gas.

Figura 14 Curva de Parada Programada Horno Didier 24 horas

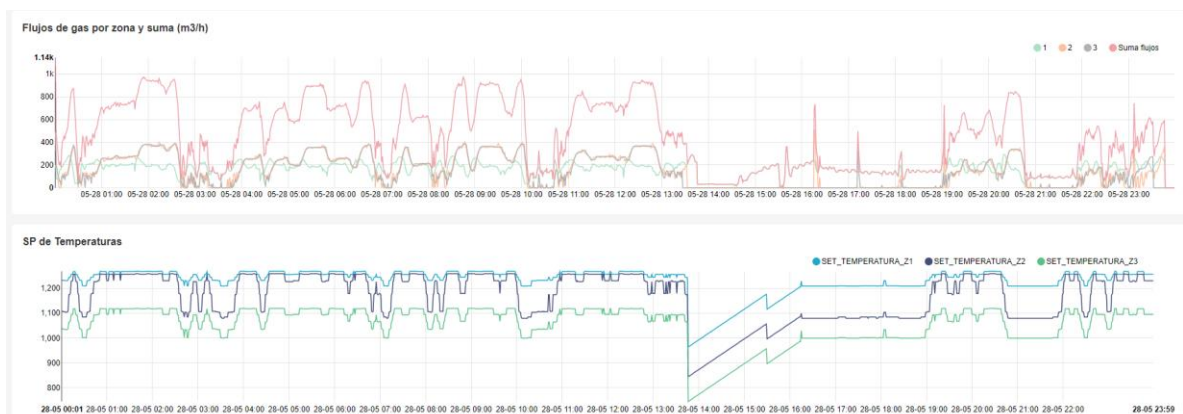


Fuente: Autor del Proyecto

Anexo E Curva de parada programada Horno Didier 24 horas

A continuación observaremos la aplicación de las acciones tomadas, como caso puntual el día 28 de mayo y observaremos los efectos de las mismas.

Figura 15 Flujo de gas por zona y suma, Set Point de temperaturas



Fuente: Uptime Analytics

Figura 16 Temperatura Zonas vs Ritmo Deshorne, Ritmo vs Parada Programada y Marcha



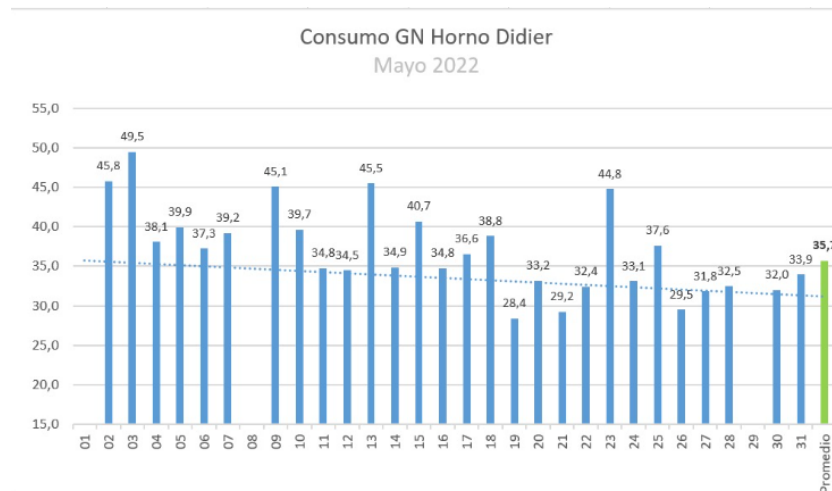
Fuente: Uptime Analytics

Como se observa en la **Figura 16** el día 28 de mayo se realizó una parada programada a las 13:45 p.m. aproximadamente, en la cual el operador tal y como se le indicó activó el modo de parada programada ya que tenía un período de duración superior a hora y media, activándola por 2 horas, realizó el apagado de las zonas 2 y 3 tal y como se observa en la **Figura 15** al observar que no existe flujo de gas en dichas zonas, y tal como se esperaba del comportamiento de flujo de gas, se obtuvo un flujo constante conforme iba avanzando la parada programada hasta alrededor de las 14:30 p.m., posteriormente empezó a haber un incremento de flujo de gas de la zona 1 (zona que permanece encendida) para aumentar la temperatura de dicha zona. Sin embargo el operador recurrió nuevamente a modificar los tiempos de la parada programada alrededor de las 15:30 p.m. y es por ésta razón que se observa un pico de gas innecesario, ya que se pierde la temperatura que ya se venía logrando en el calentamiento, por tanto una vez más se genera un consumo innecesario de gas, es por esto que nuevamente se le hizo el llamado a los operadores del horno a que simplemente permitan que transcurra el tiempo de activación de la parada programada y permitan que si en el tren no se ha normalizado la producción, el horno opere con la receta 0.

Posteriormente se observó que para el consumo de gas se estaba logrando buenos resultados tal y como se muestra en las **Figuras 17,18 y 19** donde se puede observar el consumo en los últimos días del mes de mayo, del mes de junio y del mes de julio respectivamente (fechas posteriores a las modificaciones realizadas)

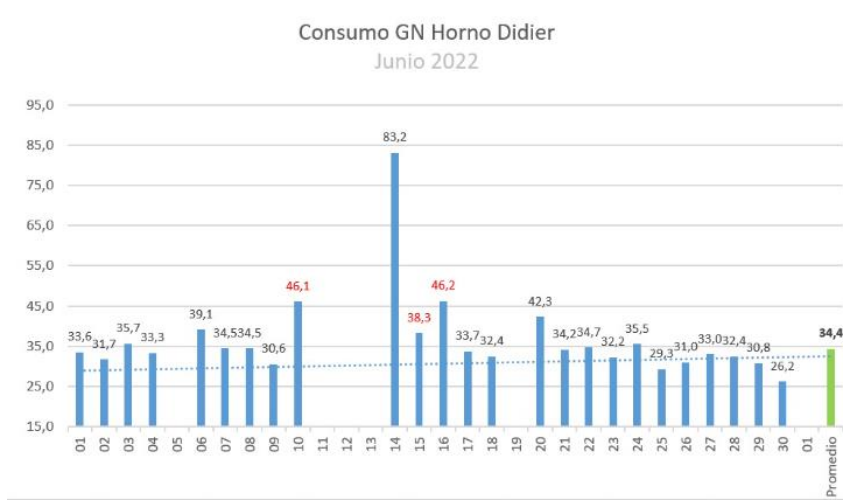
donde se observa que el consumo de gas es muy cercano al valor objetivo de 32 m³/ton. Además según datos suministrados por Uptime Analytics, posteriormente a las medidas tomadas para el tratamiento de las paradas programadas, el consumo disminuyó notablemente, ya que el consumo en ritmo 0 del día 28 de mayo se encontraba en 770 m³ con un porcentaje de parada de ritmo 0 en 15% y observando el histórico de días anteriores para el mismo porcentaje de parada el consumo se encontraba a un poco más del doble (de 1500 a 1600 m³).

Figura 17 Consumo Gas Natural Horno Didier mes de mayo 2022



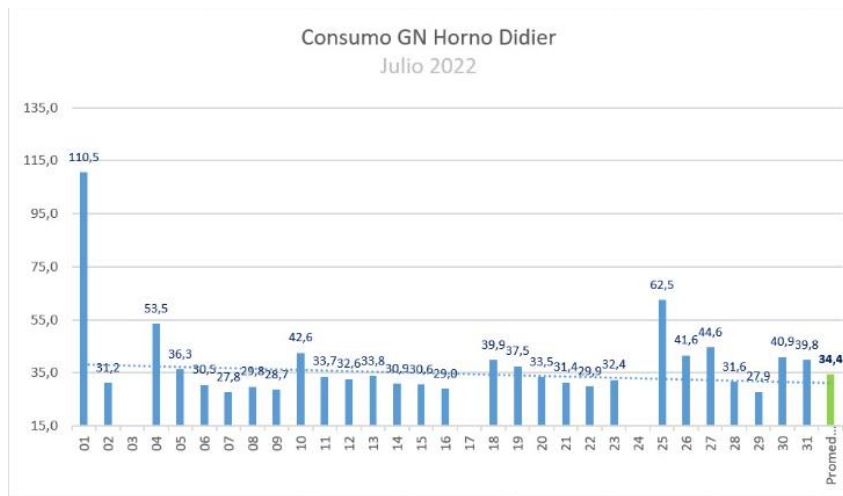
Fuente: Gerdau Diaco

Figura 18 Consumo Gas Natural Horno Didier mes de Junio 2022



Fuente: Gerdau Diaco

Figura 19 Consumo Gas Natural Horno Didier mes de Julio 2022



Fuente: Gerdau Diaco

4. CRONOGRAMA

En la presente sección del informe se muestra el cronograma que se planteó al inicio del desarrollo de la práctica para realizar las diferentes actividades de las cuales consta el proyecto, de manera que al finalizar el período de práctica se hubieran llevado a cabo para cumplir los objetivos inicialmente planteados.

- 1) Recolección de información reunida anteriormente para el desarrollo del manual de operación, control y mantenimiento del horno Bendotti.
- 2) Búsqueda de información técnica, catálogos y lista de repuestos de los diferentes equipos del sistema de aire de combustión, sistema de gas de combustión, sistema de gases residuales de combustión, sistema de cargue de la palanquilla (enhornamiento), sistema de deshorne de la palanquilla.
- 3) Recolección y actualización de planos circuito de contingencia de Fuel Oil.
- 4) Recolección de información de modos de operación del horno por parte de cada uno de los encargados de los hornos Bendotti y Didier.
- 5) Recolección de información de automatización y control del horno Bendotti. Toma de datos sobre el proceso de combustión en el horno Didier.
- 6) Análisis e investigación en búsqueda de una posible estandarización de operación del horno Didier para optimización del consumo de gas natural del horno.
- 7) Consolidación del diseño del manual de operación, control y mantenimiento del horno de recalentamiento Bendotti.
- 8) Realización de charlas y cursos de capacitación sobre las conclusiones relacionadas con las mejores prácticas de operación y mantenimiento del horno Didier
- 9) Entrega de informes parciales y del informe final al coordinador y al director del proyecto.

Tabla 12 Cronograma de Actividades

ACTIVIDAD	2022															
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	■															
2		■	■	■												
3			■	■	■	■	■									
4				■	■	■	■	■								
5						■	■	■	■	■	■					
6							■	■	■	■	■	■	■	■		
7										■	■	■	■	■	■	
8														■	■	■
9							■	■					■	■	■	■

Fuente: Autor del Proyecto

5. CONCLUSIONES

- ✓ Con la culminación de este trabajo se garantiza un soporte técnico del Horno Bendotti para los operadores del horno o los mantenedores encargados, mediante la compilación y actualización de la información técnica sobre el funcionamiento y el modo de control detallado, de manera que puedan acceder a consultar detalles técnicos de cada uno de los componentes de los circuitos y el stock de repuestos con que cuenta la empresa.
- ✓ Se unificaron criterios de operación y mantenimiento del horno, mediante la realización de entrevistas, charlas y capacitaciones con los operadores, los mantenedores y los jefes del área de laminación de la empresa, en un manual que garantiza la transferencia de conocimientos.
- ✓ Se estableció un nuevo modo de operación del horno Didier por potencia, de manera que las zonas 2 y 3 tendrán un comportamiento en su potencia similar al de la zona 1, para que no existan grandes diferencias de potencia y por ende consumos de gas elevados en momentos que no lo requiere el horno.
- ✓ Se estableció una “Receta 0” en el horno Didier para los momentos en que no se tiene ritmo de producción, de manera que se tuvieran unos valores de sets de temperatura inferiores a los de la receta 1 y que permitan conservar éstas temperaturas por el tiempo que se requiera al finalizar la curva de calentamiento y permanecer en espera de normalizar el ritmo de producción, y de ésta manera optimizar el consumo de gas.
- ✓ Se concluyó que las continuas modificaciones en los tiempos de activación de la parada programada en el horno Didier, sobre todo en tiempos inferiores a una hora, generaba grandes picos de consumo de gas, aumentando y disminuyendo temperatura y por ende generando consumos innecesarios de gas, es por esto que se tomó la determinación de activar el modo de parada programada únicamente en tiempos superiores a hora y media, además se modificó la curva de parada programada asegurando una temperatura de inicio o de espera de manera que al mantenerse más cerca la temperatura inicial del calentamiento, se puede disparar la temperatura o la rata de calentamiento y se llegue más rápido a la temperatura de laminación requerida. De ésta manera, el flujo va a ser estable al mantener la

temperatura de stand by y posteriormente va a subir cuando esté terminando el lapsus de la parada el horno y va a tender a calentar de manera uniforme.

6. RECOMENDACIONES

En el transcurso del desarrollo del proyecto del Manual de Operación, Control y Mantenimiento se fueron recogiendo diferentes recomendaciones para optimizar el funcionamiento del horno Bendotti, las cuales son:

1. Instalación de un pulmón

Actualmente no se tiene aire de atomización con un **pulmón** estable para que la presión sea la misma, el aire de atomización actualmente proviene de encima del recuperador, en la tubería grande, se realizó un agujero y se insertó un tubo pequeño, entonces la presión del aire de atomización es muy baja y no garantiza una buena atomización, por eso el crudo se escurre, fuera de que está llegando frío, no hay la suficiente presión de aire.

Al hablar de Pulmón, se hace referencia a un tanque. El aire viene de la línea del compresor principal, se instala un tanque grande con su manómetro y éste tanque permanece lleno, y de ahí el aire se envía hacia el horno, dando lugar a una temperatura estable y a que no existan inconvenientes de que si por ejemplo abrieron la válvula del tren se cayó la presión, así se logrará una presión estable porque el pulmón es el que está alimentando el horno.

Realizar un tipo de lanza para inyectar el crudo, en la parte de atrás colocar una manguera con aire de atomización puede ser de la línea para atomizar (espolvorizar) mejor el crudo.

2. Instalación de un segundo calentador en la Línea

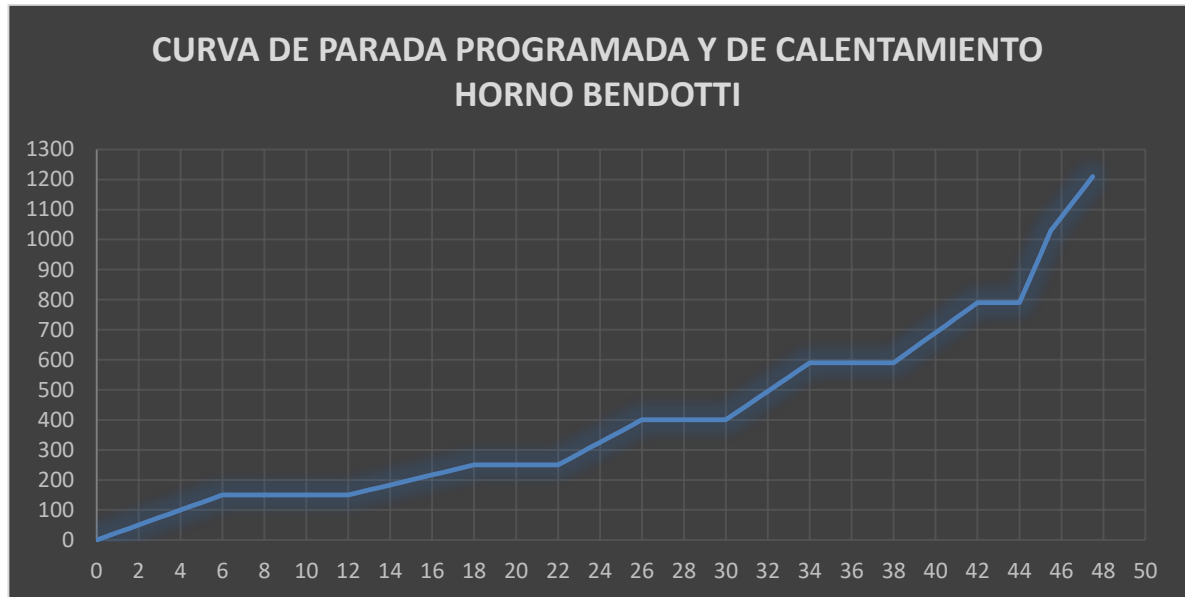
Instalar otro calentador en la línea para darle calentamiento en el transcurso del primer anillo al segundo. Actualmente del primer anillo sale de 55 a 60°C. En el segundo anillo sube a 65, 70 o 75 °C, temperatura que es muy baja. Si se logra una mayor temperatura de 100 a 110°C de temperatura se logra un mejor atomizado del fuel oil.

3. Mantenimiento Estación de Fuel Oil

Mejorar las condiciones físicas en la estación de Fuel Oil, ya que se evidencia mal estado de los equipos y oxidación presente en las Válvulas. Es importante tener presente que la estación de Fuel Oil debe permanecer en condiciones de funcionamiento para que en el caso de que ocurra cualquier contingencia por un corte de gas, pueda funcionar el horno mediante la utilización del Fuel Oil.

4. Implementación Independiente de Curva de Calentamiento y Curva de Parada Programada

Figura 20 Curva de parada programada y de calentamiento anterior horno bendotti

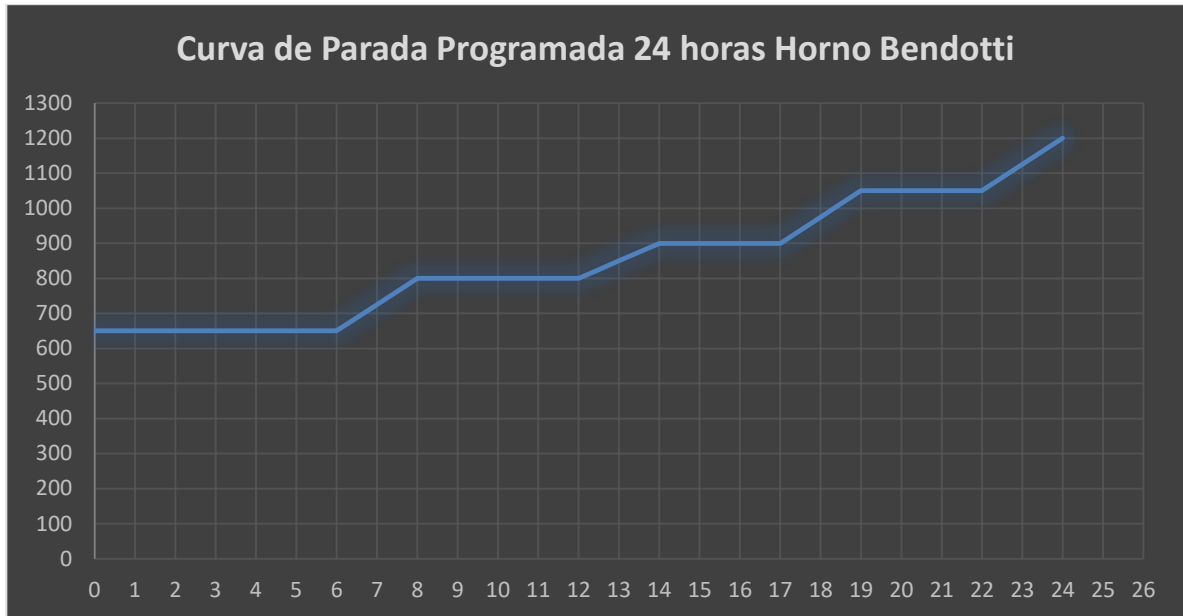


Fuente: Autor del Proyecto

Anexo F Curva de parada programada y de calentamiento Horno Bendotti

En la figura 20 se muestra la curva de Parada Programada y de calentamiento del Horno Bendotti (archivo anexo al presente documento) con la cual se venía trabajando anteriormente. Esta curva de calentamiento presentaba el inconveniente de que al usarse para las paradas programadas, disminuía en gran cantidad el set de temperatura en tiempos de parada programada hasta de 4 horas, además los operadores del horno Bendotti también recurrían a realizar modificaciones en el tiempo de parada programada lo cual generaba picos en el consumo de gas. Es por esta razón que al igual que se optó en el Horno Didier por modificar la curva de parada programada, se realizó el mismo procedimiento para el horno Bendotti. Realizando la curva de Parada programada que se muestra en la Figura 21.

Figura 21 Curva Actual de Parada Programada 24 Horas Horno Bendotti



Fuente: Autor del Proyecto

Anexo G Curva de parada programada Horno Bendotti 24 horas

Actualmente se implementó la curva de Parada Programada mostrada en la Figura 21 (archivo anexo al presente documento) tanto para el calentamiento del horno después de apagado el horno, como para Paradas programadas por cambio de perfil, mantenimiento, cambio de desbaste, etc. Si la temperatura a la que se encuentra el horno se encuentra alrededor de los 800°C y se realiza el calentamiento en un tiempo estimado alrededor de 3 a 4 horas, el set de temperatura al iniciar el calentamiento para éste tiempo es de 1.050°C, valor para iniciar el calentamiento con un delta de temperatura muy grande. Por tal razón es recomendable implementar una curva de calentamiento en la cual se tenga un calentamiento progresivo en las últimas 4 horas, posiblemente similar a la que se venía trabajando anteriormente, partiendo de una temperatura alrededor de los 800°C hasta llegar a la temperatura indicada para iniciar a laminar (1.200°C), para evitar un posible consumo de combustible mayor al necesario y un arranque del horno muy agresivo.

Por tal motivo es recomendable realizar una curva de calentamiento independiente a la curva de Parada Programada que actualmente se encuentra implementada, utilizando la curva de parada programada, únicamente cuando no se va a apagar completamente el horno, manteniendo encendida la zona 1, es decir paradas programadas cortas.

5. Inspección y corrección de fugas de aire.

Actualmente se tienen identificadas diferentes fugas de aire en el Manifold del horno, razón por la cual, a un ritmo alto de producción, el horno no puede adquirir el suficiente aire que requiere para la combustión. Corrigiendo dichas fugas e inspeccionando con regularidad, se tendrá un mejor comportamiento de la combustión en ritmos altos de producción gracias a poder adquirir un mayor flujo de aire.

6. Codificar los repuestos faltantes por implementar en SAP

Es de vital importancia para la empresa llevar un control de los repuestos con los cuales cuenta actualmente y por ende debe codificar los repuestos que aún no han sido implementados en SAP

7. BIBLIOGRAFÍA

- Intranet Gerdau Diaco Módulo de Capacitación LAM-010 Hornos de Recalentamiento
- Intranet Gerdau Diaco Módulo de Capacitación LAM-505 Recalentamiento
- Intranet Gerdau Diaco Módulo de Capacitación LM-211 Combustión
- Intranet Gerdau Diaco Módulo de Capacitación LM-213 Hornos de Recalentamiento
- Intranet Gerdau Diaco Módulo de Capacitación LM-218 Fundamentos de Laminación
- Intranet Gerdau Diaco Módulo de Capacitación LM-503 Hornos de Recalentamiento