

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Diseño y Construcción del Sistema de Refrigeración de la Caja 3 de Tren Morgan en el Área de Laminación para la Empresa de Acerías Paz Del Rio S.A

Jhon Carlos Alfonso Pinto

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Mecánico

Director

Ing. Manuel de Jesús Martínez

Ph. D en Mecánica Computacional

Universidad Industrial De Santander

Facultad De Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ingeniería Mecánica

Bucaramanga.

2025

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a cada una de las personas que piensan en mejorar las condiciones de vida de miles de trabajadores para facilitar un mejor mundo industrial, lo dedico a las personas que trabajan desde muy temprano y aportan a la sociedad; se lo dedico a todas las personas de ciencias que brindan su información para crear e innovar un mundo mejor, se lo dedico a todas las madres que trabajan por sus hijos para que logren salir adelante y sean seres educados que quieren ser mejores cada día, este trabajo se lo dedico a mi madre y familia por creen en mi y tenerme tanta paciencia en el desarrollo de este trabajo, me lo dedico a mi por motivarme cada día a cumplir mi metas y mis proyectos que aún falta por cumplir.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Agradecimientos

Agradezco a Dios, a mi madre, a mi hermana y a mi familia por su apoyo incondicional en este camino tan largo, como lo ha sido el desarrollo de este proyecto de grado; a todas las personas que incondicionalmente han aportado un grano de conocimiento para el logro más importante de mi vida hasta el día de hoy; quisiera que más personas hubieran podido alcanzar a presenciar la culminación de esta etapa tan importante de mi vida, para poder disfrutar de este momento tan glorioso con ellos. Es un logro importante para mí superación como persona e ingeniero, el cual ha sido un trayecto lleno de experiencias, vivencias y esfuerzos que me ayudan a enfrentarme a la realidad que vivimos. Aquí empieza una nueva etapa, llena de retos, nuevas personas, nuevas metas, nuevos horizontes, los cuales deseo enfrentar cada día para alcanzar mis objetivos. A través del tiempo adquiriré habilidades como el liderazgo, el respeto, la responsabilidad, la paciencia, la creatividad, los deseos y muchas que me permiten alcanzar la madurez, este ha sido un logro importantísimo como persona, puesto que he experimentado una mentalidad de supervivencia personal y me ha ayudado a completarme como una persona integra con principios y valores.

Tabla de contenido

Introducción.....	18
1. Objetivos.....	19
1.1.Objetivo General.....	19
1.2.Objetivos Específicos	19
2. Generalidades de la Empresa.....	21
2.1.Historia de Acerías Paz del Rio S.A.....	21
2.2.Localización.....	21
2.3.Productos de Acerías Paz de Rio S.A.....	22
2.3.1.Alambre recocido.....	22
2.3.2.Rollo corrugado.....	23
2.3.3.Alambrón.....	24
3.Proceso Siderúrgico	25
2.1 Plantas Integradas y Semi-Integradas.....	27
2.2Extracción de Materia Prima	27
2.2.1Mineral Hierro.....	27
2.2.2Carbón.....	27
2.2.3Caliza.....	27
2.3 Proceso en Alto Horno.....	28
2.3.1 Etapas Proceso Vía Alto Horno	28
2.3.2Preparación de la carga.....	29
2.3.3Sinterización.....	29
2.3.4Segregación de gruesos.....	30
2.3.5Pre-homogenización de la mezcla.....	30
2.3.6Ignición de la mezcla.....	31

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

2.3.7	Succión y frente de llama.....	31
2.3.8	Quebrador.....	31
2.3.9	Enfriamiento.....	32
2.3.10	Control de calidad del Sinter.....	32
2.3.11	Coquización.....	32
2.4	Reducción Alto Horno.....	34
2.5	Aceración.....	37
2.6	Laminación.....	39
2.6.1	Temperatura del Acero.....	41
2.6.2	Forma Geométrica de la Barra.....	41
2.6.3	Horno Danielli.....	43
2.6.4	Caja Vertical y Horizontal.....	44
2.6.5	Tren Morgan.....	45
2.7	Tipo de Laminadores.....	46
2.7.1	Arreglo continuo horizontal.....	46
2.7.2	Arreglo continuo horizontal y vertical.....	46
2.7.3	Arreglo abierto.....	47
2.7.4	Arreglo abierto continuo.....	47
2.7.5	Arreglo Cross-country.....	48
2.8	Cilindros de Laminación.....	48
2.8.1	Demanda de los Cilindros.....	48
2.8.2	Características Generales de los Cilindros.....	49
2.8.3	Fractura de cilindros.....	50
2.8.4	Fractura de Cuello.....	50
2.9	Fatiga Térmica.....	51
4.	Justificación de la solución.....	53

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

- 3.1Despliegue de la función de calidad.....53
- 3.2Planteamiento de alternativas.....53
- 3.3Matriz de calidad54
- 5. Datos Actuales del Sistema de Refrigeración.....55
- 4.1Condición Actual del Sistema de Refrigeración55
- 5.1.Temperatura de los Cilindros57
- 5.1.1.Primer Medición con Pirómetros 57
- 5.1.2.Segunda Medición con Termómetros Infrarrojos 60
- 5.1.3.Dimensiones Actuales..... 61
- 5.1.4.Presión..... 62
- 5.1.5.Calidad del Agua..... 63
- 5 Diseño de concepto del sistema de refrigeración de los cilindros laminadores65
- 5.1Diseño del Sistema de Refrigeración67
- 5.1.1Propiedades de los materiales 67
- 5.1.2Fuerza de laminación 67
- 5.1.3Resistencia a la deformación..... 69
- 5.1.4Arco de contacto..... 71
- 5.1.5Cálculo del Caudal de la Refrigeración 73
- 5.1.6Área de contacto..... 74
- 5.1.7Cálculo de caudal..... 75
- 5.1.8Uso de Boquillas de Refrigeración 76
- 5.1.9Angulo de chorro para la refrigeración de canales..... 77
- 5.1.10Cobertura del Canal 77
- 5.1.11Materiales para Prototipo 78
- 5.1.12Cálculo del Diseño esquemático de Refrigeración 79
- 5.1.13Distancia de la Boquilla a la Canal 80

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1.14Ángulo de Incidencia	81
5.1.15Selección de Tubería.....	83
5.1.16Selección de la Boquilla.....	83
5.1.17Insertos en tubería.....	85
5.1.18Simulación.....	89
5.1.19Diseño en Inventor.....	92
6 Construcción del Sistema de Refrigeración	93
6.1Proceso Preoperacional.....	93
6.2Materiales.....	93
6.3Formatos de Inspección de Equipos.....	98
6.4Construcción del Prototipo	98
6.4.1Primera Fabricación del Prototipo	98
6.4.2Segunda Fabricación del Prototipo	101
6.4.3Tercera Fabricación del Prototipo.....	101
6.4.4Cuarta Fabricación del Prototipo	102
6.4.5Evolución.....	104
6.5Lista de costos.....	105
7 Resultados.....	107
8. Conclusiones.....	114
9. Recomendaciones	116
Referencias.....	117
Apéndices.....	118

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Especificaciones del alambre negro recocido.</i>	23
Tabla 2. <i>Composición química del rollo corrugado.</i>	23
Tabla 3. <i>Propiedades mecánicas del rollo corrugado.</i>	24
Tabla 4. <i>Dimensiones del alambrón.</i>	25
Tabla 5. <i>Especificaciones de mezclas.</i>	29
Tabla 6 <i>Características del alto Horno</i>	36
Tabla 7. <i>Características de sistema de calentamiento del aire de soplo</i>	36
Tabla 8 . <i>Porcentaje de los minerales en el arrabio.</i>	38
Tabla 9. <i>Caracterización de los materiales de los cilindros laminadores.</i>	50
Tabla 10. <i>Matriz de calidad QFD</i>	54
Tabla 11. <i>Datos de temperatura del cilindro laminador caja 3 - paso 1 y 2</i>	60
Tabla 12. <i>Resultados de las muestras de la planta de tratamiento de aguas.</i>	64
Tabla 13. <i>Características de los cilindros laminadores</i>	67
Tabla 14. <i>Coefficientes para diferentes tipos de canal</i>	70
Tabla 15. <i>Valor medio de altura hm</i>	70
Tabla 16. <i>Coefficiente de fricción</i>	71
Tabla 17. <i>Factor geométrico Ke</i>	71
Tabla 18. <i>Caudal medio para cilindros del grupo 1</i>	76
Tabla 19. <i>Promedio de caudal por caja desbastadora. elaboración propia</i>	76
Tabla 20. <i>Especificaciones para chorro plano y cono lleno</i>	77
Tabla 21. <i>Requerimientos de química (ASTM A53/NMX)</i>	78
Tabla 22. <i>Requerimientos de tensión.</i>	78

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Tabla 23. <i>Variación de altura del aspersor con respecto a la tabla del cilindro laminador.</i>	80
Tabla 24. <i>Valores del ángulo de incidencia para prueba inicial.</i>	82
Tabla 25. <i>Precios de materiales.</i>	94
Tabla 26. <i>Costo neto de fabricación de prototipo</i>	103
Tabla 27. <i>Tabla evolutiva.</i>	104
Tabla 28. <i>Presupuesto del estudiante en la práctica empresarial.</i>	105
Tabla 29. <i>Presupuesto de materiales y construcción.</i>	106
Tabla 30. <i>Costos por rectificado</i>	110
Tabla 31. <i>Control maquinado de cilindros.</i>	110
Tabla 32. <i>Control de maquinado después de la implementación de la refrigeración ...</i>	110

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Diagrama de flujo proceso del proyecto</i>	20
Figura 2. <i>Localización APDR.</i>	21
Figura 3 . <i>Alambre negro recocido.</i>	22
Figura 4. <i>Identificación de barra corrugada.</i>	24
Figura 5. <i>Proceso integrado de siderurgia.</i>	26
Figura 6. <i>Alto Horno.</i>	28
Figura 7 . <i>Báscula dosificadora.</i>	30
Figura 8 . <i>Trommell.</i>	31
Figura 9. <i>Planta de Coquización APDR.</i>	34
Figura 10 . <i>Proceso de obtención de arrabio en el Alto Horno APDR.</i>	35
Figura 11. <i>Sistema de cargue en piso AH.</i>	37
Figura 12 . <i>Horno cuchara.</i>	38
Figura 13. <i>Proceso de laminación.</i>	40
Figura 14. <i>Laminación reducción de área.</i>	41
Figura 15. <i>Planos de la geometría de la calibración de los pasos.</i>	42
Figura 16. <i>Caja de laminación vertical y horizontal.</i>	44
Figura 17. <i>Diagrama de flujo del tren Morgan.</i>	45
Figura 18. <i>Transmisión de velocidades y torque.</i>	46
Figura 19. <i>Tren continuo horizontal.</i>	46
Figura 20. <i>Tren continuo horizontal y vertical.</i>	47
Figura 21. <i>Tren 450- con 8 pasos.</i>	47
Figura 22. <i>Tren abierto y continuo.</i>	47

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 23. <i>Tren Cross-Country</i>	48
Figura 24. <i>Cilindro laminador</i>	48
Figura 25. <i>Tensión térmica</i>	51
Figura 26. <i>Motores eléctricos. Planta de tratamiento APDR</i>	55
Figura 27. <i>Tablero de control planta de tratamiento</i>	55
Figura 28. <i>Caja tres - Refrigeración cilindro superior</i>	56
Figura 29. <i>Refrigeración superior actual</i>	56
Figura 30. <i>Ranuras y aberturas de la refrigeración</i>	56
Figura 31. <i>Cilindro caja tres con ensayos no destructivos (tintas penetrantes)</i>	57
Figura 32. <i>Canal de cilindro superior de la caja 3 con presencia de grietas térmica</i>	57
Figura 33. <i>Manómetro</i>	57
Figura 34. <i>Zonas de temperatura - Temperatura vs rotación del cilindro</i>	58
Figura 35. <i>Pirómetro TGX165-X</i>	58
Figura 36. <i>Temperatura (grados C°) vs revoluciones(grados angular)</i>	59
Figura 37. <i>Resultados de la cámara termográfica caja tres</i>	61
Figura 38. <i>Sistema de refrigeración actual</i>	62
Figura 39. <i>Lectura del manómetro actual de la tubería principal de tren desbastador Morgan</i>	63
Figura 40. <i>Despiece del sistema de refrigeración</i>	65
Figura 41. <i>Esquema de la distribución de tensiones de laminación</i>	68
Figura 42. <i>Variables para el cálculo de agua para la refrigeración</i>	72
Figura 43. <i>Tipos de chorro</i>	77
Figura 44. <i>Información sobre selección de boquilla</i>	79

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 45. <i>Canal de la caja 3.</i>	80
Figura 46. <i>Angulo de incidencia para prueba inicial.</i>	82
Figura 47. <i>Elección de tuberías galvanizadas.</i>	83
Figura 48. <i>Performance data boquilla veet jet.</i>	84
Figura 49. <i>Geometría proyección de la boquilla respecto a la canal</i>	85
Figura 50. <i>Dibujo de galga.</i>	86
Figura 51 . <i>Geometría de unión de tubos.</i>	86
Figura 52. <i>Geometría de inserto (Vista frontal y lateral).</i>	87
Figura 53. <i>Plantilla de la galga.</i>	87
Figura 54. <i>Análisis trigonométrico de trazos para la plantilla.</i>	87
Figura 55. <i>Distancia entre boquillas.</i>	89
Figura 56. <i>Influencia de la presión en HTC</i>	90
Figura 57. <i>Simulación en ANSYS del sistema de refrigeración</i>	91
Figura 58. <i>Bocetos</i>	92
Figura 59. <i>Tubería.</i>	94
Figura 60. <i>Patio de lámina.</i>	95
Figura 61. <i>Almacenamiento de boquilla.</i>	95
Figura 62. <i>Acople rápido 1/2 in</i>	96
Figura 63. <i>Medición de Niple</i>	96
Figura 64. <i>Dobladora de tubos.</i>	97
Figura 65. <i>Equipo de soldadura.</i>	98
Figura 66. <i>Tubo perforado.</i>	98
Figura 67. <i>Taladro.</i>	99

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 68. <i>Electroerosionadora.</i>	100
Figura 69. <i>Unión ¼.</i>	100
Figura 70. <i>Matriz de posicionamiento boquillas 30°</i>	100
Figura 71. <i>Electrodo Chaflanarco.</i>	101
Figura 72. <i>Pulidora.</i>	101
Figura 73. <i>Tercer prototipo.</i>	101
Figura 74. <i>Cuarto prototipo.</i>	102
Figura 75. <i>Elaboración del primer prototipo</i>	107
Figura 76. <i>Fabricación del segundo prototipo</i>	108
Figura 77. <i>Fabricación del tercer prototipo</i>	108
Figura 78. <i>Fabricación del cuarto prototipo</i>	109
Figura 79. <i>Plantilla de medición.</i>	111
Figura 80. <i>Medición del desbaste.</i>	112
Figura 81. <i>Tintas penetrantes sobre cilindros laminadores.</i>	112
Figura 82. <i>Inspección visual.</i>	113

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Lista de Apéndices

Apéndice A. <i>Plano de construcción de la refrigeración caja tres</i>	118
Apéndice B. <i>Plano construcción del sistema de refrigeración</i>	119
Apéndice C. <i>Plano de ensamble del sistema de refrigeración caja 3</i>	120
Apéndice D. <i>Plano de despiece de las partes del sistema de refrigeración de la caja tres</i>	121
Apéndice E. <i>Partes del sistema de refrigeración caja 3</i>	122

Lista de abreviaciones

k_e = Factor de influencia de la geometría y la fricción

k_f = Tensión de flujo

μ = Coeficiente de fricción

R = Radio del cilindro

h_0 = Altura de la barra antes de pasar por los cilindros (mm)

h_1 = Altura de la barra después de pasar (mm)

h_{0m} = Altura media de la sección de entrada (mm)

h_{1m} = Altura media de la sección de salida (mm)

T_l = la temperatura de la barra en (°C)

h_m = altura media del calibre (mm)

h_{max} = Altura máxima en el fondo del canal (mm)

c = Coeficiente de tipo de canal

W = Velocidad angular (rpm)

A_c = Area de canal (mm²)

h_c = Altura de la canal (mm)

C = Calor absorbido (Kcal/h)

F_p = Factor de perdida

C_a = Calor especifico del agua (Kcal/kg°C)

ΔT_A = Diferencia de temperatura de salida y de entrada (°C)

δ_a = Densidad del agua (g/cm³)

K_c = Factor de conductividad

B_{cs} = Contacto transversal barra-canal (mm)

L_c = Arco de contacto (mm)

V = velocidad de la laminación (m/s)

r_i = radio interno del tubo injerto (mm)

R_e = Radio externo del tubo base (mm)

Z = Distancia entre el eje del tubo injerto con respecto al punto A

Θ = Angulo de inserto (°)

N = número de divisiones

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Resumen

Título: Diseño y Construcción del Sistema de Refrigeración de la Caja 3 de Tren Morgan en el Área de Laminación para la Empresa de Acerías Paz Del Rio S.A¹

Autor: Jhon Carlos Alfonso Pinto²

Palabras clave: Refrigeración, diseño, cilindros laminadores, laminación.

Los sistemas de refrigeración eficientes son sistemas que permiten prolongar la vida útil de cilindros laminadores, el cual debido a una deficiente refrigeración presentan grietas térmicas, desgaste de canal y fractura de los cilindros. La problemática en Acerías Paz del Rio S.A. es fractura de los cilindros laminadores que por falta de implementación de estándares técnicos; se han generado entre el 2022 y 2024 paradas en la producción por alrededor de 62 horas, el cual genera pérdidas económicas de 2'466.000.000 de pesos. En base a estándares técnicos de fabricantes de cilindros laminadores y proyectos implementados en diferentes partes del mundo. En Acerías Paz del Rio S.A. se implementó una mejora del sistema de refrigeración, teniendo en cuenta las características de diseño como: temperatura, presión, calidad del agua, geometría, ángulo de cobertura, ángulo de chorro, la dirección de las boquillas en la canal y caudal. Los resultados de la construcción de varios prototipos dan relevancia al trayecto del prototipo que cumple con optimización y eficiencia al momento de la implementar; del cual se desea obtener una tasa de retorno en los desgastes de los cilindros por los mm/ton rectificadas del 4%, al igual un aumento en la productividad de los cilindros y la disminución de la calamina incrustadas en la superficie de la canal sobre inspecciones visuales.

¹ Trabajo de Grado

² Facultad de Fisicomecánicas. Escuela de ingeniería mecánica. Programa académico. Director: Manuel de Jesus Martinez. Ph.D en mecanica computacional.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

ABSTRACT

Title: Design and construction of the cooling system of box three of the Morgan train in the Rolling mill in the company's Rolling mills area Aceriaz paz del rio S.A.³

Author: Jhon Carlos Alfonso Pinto⁴

Key words: Cooling, design, Rolling mills, lamination

Efficient cooling systems are systems that extend the service life of Rolling mill Rolls, which due to deficient cooling have thermal cracks, channel wear and cylinder fracture. The problem in Acerias Paz Del Rio S.A. is the fracture of the Rolling mill Rolls, that due to the deficiency of implementation of technical standards between 2022 and 2024, production stop for approximately 62 hours, which have generated economic losses of 2'466.000.000 Colombian pesos. Based on manufacturer's technical standards of Rolling mill roll and projects implemented in different parts of the world. An improvement of the refrigeration system was implemented, taking into account design features such as: temperature, pressure, water quality, geometry, angle, angle of coverage, spray angle, nozzle direction and Flow rate. The results of the construction of several prototypes give relevance to pathway of prototype that meets optimization and efficiency at the time of implementation, from which it is desired to obtain a rate of return in the wear of the cylinders for the mm/ton ground of 4% as well as an increase in the productivity of the Rolling mills and a decrease in the calamine embedded in the carcass Surface upon visual inspection.

³ Graduate work

⁴ Faculty of Physicmechanics. School of mechanical Engineering. Academic program. Director: Manuel de Jesus Martinez. Ph. D in computational mechanics.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Introducción

Acerías Paz del Rio S.A. es una empresa siderúrgica integrada dedicada a la extracción, coquización, sinterización, fundición, aceración y laminación del material. Cuenta con una trayectoria de 76 años en Colombia, brindando al mercado nacional un portafolio de productos de calidad en los que se destacan: alambre negro recocido, chipa-rollo corrugado, varilla corrugada y malla electrosoldada.

Para asegurar la calidad de los productos es fundamental implementar sistemas eficientes y óptimos de refrigeración, basados en empresas fabricantes de cilindros laminadores y proyectos de grados implementados en empresas siderúrgicas en Colombia y Latinoamérica, en donde resalten parámetros técnicos de diseño que permitan el óptimo en el dimensionamiento de las cajas desbastadoras en el área de laminación con el fin de aumentar la vida útil y productividad.

Basados en estadísticas copiladas del área de producción, en la actualidad este sistema presenta algunas ineficiencias, debido a que los cilindros laminadores se encuentran fracturados, esto ha generado paradas en el proceso de 62 horas, y un aproximado de 12 roturas de cilindros laminadores, ocasionando altos costos a la empresa y pérdidas de recursos como tiempo y materia prima.

Para la optimización del proceso se necesita la implementación de un diseño mejorado del sistema de refrigeración, con el que se estima obtener resultados positivos, evaluados a través de los rendimientos de mm/ton de las canales de los cilindros laminadores. Por tal razón a continuación se presenta una propuesta de diseño con la que se disminuye tiempos de paradas, aumenta productividad, prolonga la vida útil de los cilindros, la tasa de transferencia de calor es mayor y disminuye los milímetros desbastados por tonelada.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseñar y construir el sistema de refrigeración para los cilindros laminadores de la caja tres del tren Morgan de Acerías Paz del Rio S.A.

1.2. Objetivos Específicos

- Recolectar información de la condición actual del sistema de refrigeración.
- Diseñar el sistema de refrigeración bajo estándares técnicos de Acerías Paz del Rio S.A.
- Construir el sistema de refrigeración de acuerdo con los diseños realizados y condiciones específicas de los cilindros laminadores de la caja 3 del tren Morgan.
- Determinar las condiciones operativas con los cambios de proceso a través del estado del desgaste en mm/ton.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 1.

Diagrama de flujo proceso del proyecto



Nota. Elaboración propia del autor. Fuente: Canva.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

2. Generalidades de la Empresa

2.1. Historia de Acerías Paz del Rio S.A

Por iniciativa del gobierno, comenzó la exploración y explotación de la mina del Uvo en el municipio de Paz del Rio, bajo el nombre de Siderúrgica Nacional Paz del Rio. El Congreso Nacional de la República de Colombia expidió la Ley 97 de 1938, por la cual el gobierno quiso fomentar la industria siderúrgica en el país. En 1954 el teniente coronel Gustavo Rojas Pinilla, inauguró la empresa que generaría más de 1000 empleos en la Provincia de Sugamuxi, la cual se conoce hoy como Acerías Paz de Rio S.A. Es una de las empresas más sólidas de Colombia, su trabajo se enfoca en el desarrollo sostenible, donde involucran diferentes actores como el bienestar del ser humano, el cuidado del medio ambiente y el trabajo con las comunidades cercanas, de esta manera buscan el desarrollo de la economía circular a través de alianzas.

2.2. Localización

Figura 2.

Localización APDR.



Nota. Adaptado de Google maps.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Está ubicada en Belencito dentro de la jurisdicción de los municipios de Nobsa, Corrales y Tópaga, a seis kilómetros de Sogamoso, treinta y seis kilómetros por vía férrea del municipio de Paz del Rio, a doscientos kilómetros de Bogotá; a una altura de 2570 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), con una temperatura media de 18 grados centígrados.

2.3.Productos de Acerías Paz de Rio S.A.

2.3.1. *Alambre recocido*

Es un material de alta ductilidad, lo que significa que es de bajo carbono y bajos residuales, obtenido a partir de trefilación de alambres con posterior tratamiento térmico.

Figura 3 .

Alambre negro recocido.



Nota. Adaptado de APDR.com

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Tabla 1.*Especificaciones del alambre negro recocido.*

Designación	Diámetro mínimo (mm)	Diámetro nominal (mm)	Diámetro máximo (mm)	Tolerancia diámetro +/- mm	Ovalamiento (mm)
Alambre trefilado negro; 1,47mm (17 BWG)	1.41	1.47	1.53	0.06	0.06
<i>Resistencia a la tracción según NTC 115:2019 (MPa)</i>				<i>415a máximo</i>	

Nota. Las especificaciones son tomadas Acerias paz del rio.com**2.3.2. Rollo corrugado**

Materia prima certificada con resaltos o corrugas, destacado por su ductilidad para la fabricación de estribos y otros elementos de refuerzo a partir del proceso de figuración.

Tabla 2.*Composición química del rollo corrugado.*

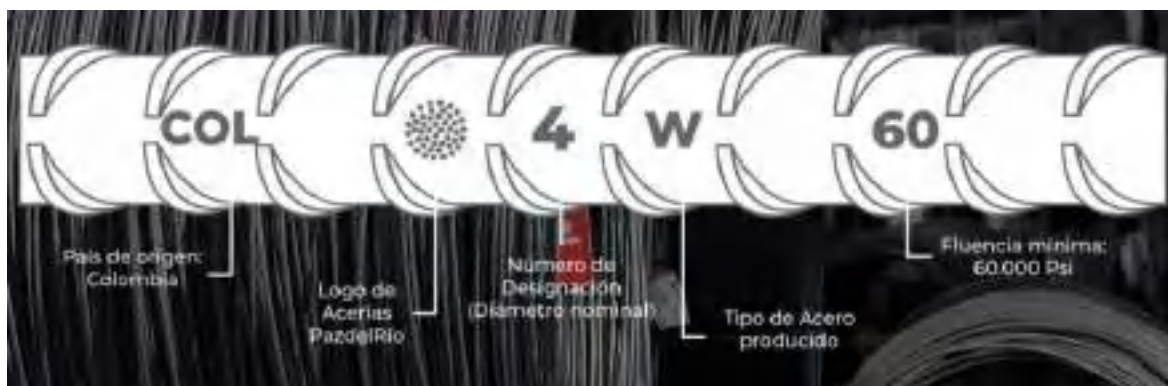
%C max	%Mn max	%P max	%S max	%Si max	%V*	%C.E. max
0.30	1.50	0.035	0.045	0.50	0.016-0.023	0.55
%C max	%Mn max	%P max	%S max	%Si max	%Nb	%C.E. max
0.30	1.50	0.035	0.045	0.035	0.010-0.020	0.55

Nota. V-Nb: Elemento de baja aleación, refina el grano mejorado la ductilidad.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 4.

Identificación de barra corrugada.



Nota. El grafico representa la identificación según la ntc 2289, el cual todo producto debe tener logo del país, logo de la empresa, diámetro nominal, tipo de acero y fluencia mínima.

Tomado de APDR.com

Tabla 3.

Propiedades mecánicas del rollo corrugado.

Unidades	Límites de fluencia	Resistencia a la tracción
Kgf/mm ²	42-55	56 min
Lbf/pulg ²	60,000-78,000	80,000 min
Mpa	420-540	550 min

Nota. Tomado de APDR.com

2.3.3. Alambión

Es un hilo acero de textura lisa a bajo carbono y alta maleabilidad, altamente resistente a la tracción y la tensión de diferentes tipos de alambre y/o elementos trefilados. Según su composición química es empleado como materia prima para la fabricación de electrodos de soldadura.

Tabla 4.*Dimensiones del alambrión.*

Diámetro nominal		Tolerancia	
mm	Pulgadas	Diámetro mm	Ovalo mm
5.5	-	+/- 0,40	0.6
6.35	1/4	+/- 0,40	0.6
8	-	+/- 0,40	0.6
9.52	3/8	+/- 0,40	0.6
0.6	1/2	+/- 0,40	0.6

Nota. Tomado de APDR.com

3. Proceso Siderúrgico

De acuerdo con el proceso de obtención del acero, las plantas siderúrgicas pueden ser del tipo: integrado, semi-integrado o no integrado. En la figura 4 encontramos el proceso integrado de Acerías Paz del Río S.A, iniciando desde la extracción de materias primas, donde son transportados hasta la planta de Belencito, para realizar los procesos de sinterización, fundición, aceración y laminación.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 5.

Proceso integrado de siderurgia.



Nota.

Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

2.1 Plantas Integradas y Semi-Integradas

Una planta industrial que posee el proceso completo de extracción, sinterización, fundición en el alto horno, aceración y laminación, mientras se denomina siderurgia semi-integral a una planta industrial dedicada exclusivamente a la producción y elaboración de acero, teniendo como materia prima chatarra o arrabio.

2.2 Extracción de Materia Prima

Los minerales explotados en la empresa son el mineral de hierro, carbón y caliza.

2.2.1 *Mineral Hierro*

El mineral de hierro está formado de óxidos de hierro como hematites Fe_2O_3 , magnetita Fe_3O_4 , puede contener otros minerales impuros, como el silice, alúmina, fósforo, azufre. El hierro es un elemento metálico que se encuentra en la corteza terrestre, representando aproximadamente el 5% de la estructura geológica del planeta. La concesión de la mina del Uvo es de 16 m^2 , la explotación de hierro es de ocho niveles y cada uno tiene aproximadamente cinco km; La extracción del mineral tiene una infraestructura que incluye: teleférico de 2900 m de longitud con 80 góndolas, y cuenta con el único tren eléctrico del país.

2.2.2 *Carbón*

El carbón mineral es una roca sedimentaria, al igual es un combustible sólido rico en carbono y es fácilmente identificable por su color negro. Este mineral esta principalmente compuesto de hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno. Se trata de un recurso no renovable.

2.2.3 *Caliza*

roca sedimentaria compuesta por un 90% de carbonato de calcio ($CaCO_3$). La piedra caliza triturada es una piedra gris compuesta principalmente por carbonato de calcio, fundida purifica el hierro y actúa como fundente (empleado para remover materiales indeseados) absorbiendo el azufre, fósforo e impurezas, formando una escoria. Todas las calizas tienen un pequeño porcentaje

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

de partículas de cuarzo, feldespatos y minerales arcillosos. Este mineral se puede formar por precipitaciones del agua, segregarse mediante organismos marinos, posee una dureza de 3 en la escala de Mohs.

2.3 Proceso en Alto Horno

Es un reactor químico utilizado para la fundición y refinación de minerales como el hierro para producir hierro líquido. Su principio es la reducción de óxidos, en el cual el mineral de hierro es mezclado con carbón y caliza, para posteriormente ser llevado a temperaturas que oscila en los 2000°C. en donde el carbón se oxida y es transformado en monóxido de carbono.

2.3.1 Etapas Proceso Vía Alto Horno

Para la obtención del acero en el proceso integrado vía Alto Horno, en la figura 6 se representa físicamente el alto horno de tipo cubilote en donde seguimos tres etapas: Preparación de la carga, reducción y aceración

Figura 6.

Alto Horno.



Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

2.3.2 Preparación de la carga.

Antes de ser llevados al alto horno, el mineral de hierro y el carbón son previamente preparados para mejorar el rendimiento y los costos del proceso, en el caso del mineral de hierro se prepara la carga mediante la trituración y clasificación por granulometría; y para el caso del carbón se procesa para obtener coque.

2.3.3 Sinterización.

Es un proceso de tratamiento térmico que se lleva a cabo por debajo de la temperatura de fusión parcial del mineral de hierro (Finos), producida por presión y calor para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas aprovechando la combustión del Coquecillo (finos de coque 3,36 mm) y mezclada con caliza (3,36 mm) transformando este material a una masa porosa llamada "Sinter" de color gris brillante y tamaño uniforme de 6,64 mm

2.3.4 Mezcla.

La primera etapa del sinterizado es mezclar finos de sinter fríos, calientes y coquecillo molido, son dosificados en 4 básculas y una mesa vibradora, con la mezcla de sinter (cal, finos de minerales, laminilla y finos de caliza)

Tabla 5.

Especificaciones de mezclas.

Componente	Cantidades limites		
	Mínimo	Ideal	Máximo
Mezcla para sinter (bascula B201 y/o B100) (100%)	60 ton/h	115 ton/h	120 ton/h
Finos de coque para sinter (Bascula B101) (4-9t/h)	5.50%	6%	7.20%
Finos de retorno frios (Bascula B202) (16%)	12t/h	18t/h	20t/h

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Finos de retorno calientes			
(Bascula B104-anteriores)	4 t/h	5,3 t/h	9 t/h
(3,5%)			

Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

Figura 7 .

Báscula dosificadora.



Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

2.3.4 Segregación de gruesos.

Retirar de la mezcla los gruesos de Mineral de Fe (> 8mm) ya que esta fracción de mineral no sinteriza e impide el proceso en los alrededores, se efectúa pasando la mezcla por la criba B104- La fracción retenida en la criba se emplea como sobre parrilla.

2.3.5 Pre-homogenización de la mezcla.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

La mezcla es la adición de agua y Sinter durante 5 minutos a 5,3 RPM en un equipo llamado Trommell o Mezclador.

Figura 8 .

Trommell.



Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

2.3.6 Ignición de la mezcla.

El encendido de los finos de coque (combustible sólido) contenidos en la mezcla se realiza por la parte superior del lecho mediante una campana de encendido provisto de quemadores con mezcla de gas de coque y aire alcanzando temperatura de 1350°C.

2.3.7 Succión y frente de llama.

La combustión se propaga de la parte superior del lecho a la parte inferior, por la aspiración (succión) de aire realizado mediante el ventilador B120 a 1.000 mm H₂O, cuando la combustión del coque alcanza la parte inferior de la parrilla la operación se considera finalizada.

2.3.8 Quebrador.

Romper la placa de Sinter para facilitar su enfriamiento y transporte al Alto Horno,

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

utilizando los martillos rompedores B110 los cuales tienen puntas de impacto de fundición gris que rompen los bloques de Sinter al obligarlo a pasar por la reja que tiene 35 cm de luz.

2.3.9 *Enfriamiento.*

Bajar la temperatura de Sinter de 700°C hasta 80°C. Es importante para disminuir la fragilidad “estabilidad de Sinter” y así poder transportarlo a las tolvas sin afectar su granulometría.

2.3.10 *Control de calidad del Sinter*

Para llevar un buen control de calidad del Sinter, es necesario tener en cuenta la calidad física y química.

2.3.10.1 Calidad física: Se determina por granulometría (tamizado) y resistencia mecánica. La estabilidad y abrasión se indican en condiciones de tensión y choque basados en la norma ISO 9000. El tamaño mayor a 10mm, debe ser igual o superior al 60%, la estabilidad debe ser igual o superior a 70%.

2.3.10.2 Calidad química: Controlar los niveles de Fe, sílice, óxido de calcio e índice de basicidad.

Fe = 30 - 42%

CaO = 21 - 23% SiO₂ = 10 - 12% Al₂O₃ = 4 - 5%

2.3.11 *Coquización*

La destilación de carbón en ausencia de oxígeno es un proceso químico el cual en Acerías Paz del Río se lleva 16 horas a una temperatura de 1300°C, en los quemadores por calentamiento indirecto en cámaras cerradas libre de contacto con el aire; cuando el carbón entra en contacto con el aire es vertido en un vagón que lo transporta hasta una descarga de agua para enfriarlo y la operación de secado se completa con el calor residual.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Las etapas del proceso de coquización son:

- La primera etapa la temperatura llega a los 350°C-450°C, el carbón pierde materia volátil y se hincha. En este intervalo presenta su máxima fluidez (Gaitan, 2011).
- En la segunda etapa la temperatura alcanza los 550°C, el carbón comienza la transformación en coque.
- En la tercera etapa, la descarga del coque por medio de un pistón longitudinal a través del horno, a un vagón de apagado, donde descarga agua a 330 lts/min. El tiempo de apagado es de 60 segundos por vagón. La operación de secado es por calor residual; el coque es destinado a una planta de cribado para clasificar por granulometría para ser trasladado posteriormente al alto horno. La producción es de 19.000 Ton/mes de Coque.
- En la cuarta etapa, el carbón es calentado por la misma recirculación de los gases durante 16 horas a 1000°C, en las cámaras de combustión, este proceso se denomina “Destilación”, el carbón entra en contacto con el aire, y flujo másico de agua para permitir el enfriamiento que da forma a su estructura porosa, este mineral se denomina “Coque”.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 9.

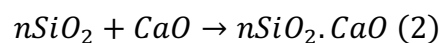
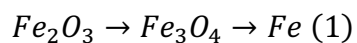
Planta de Coquización APDR.



Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

2.4 Reducción Alto Horno.

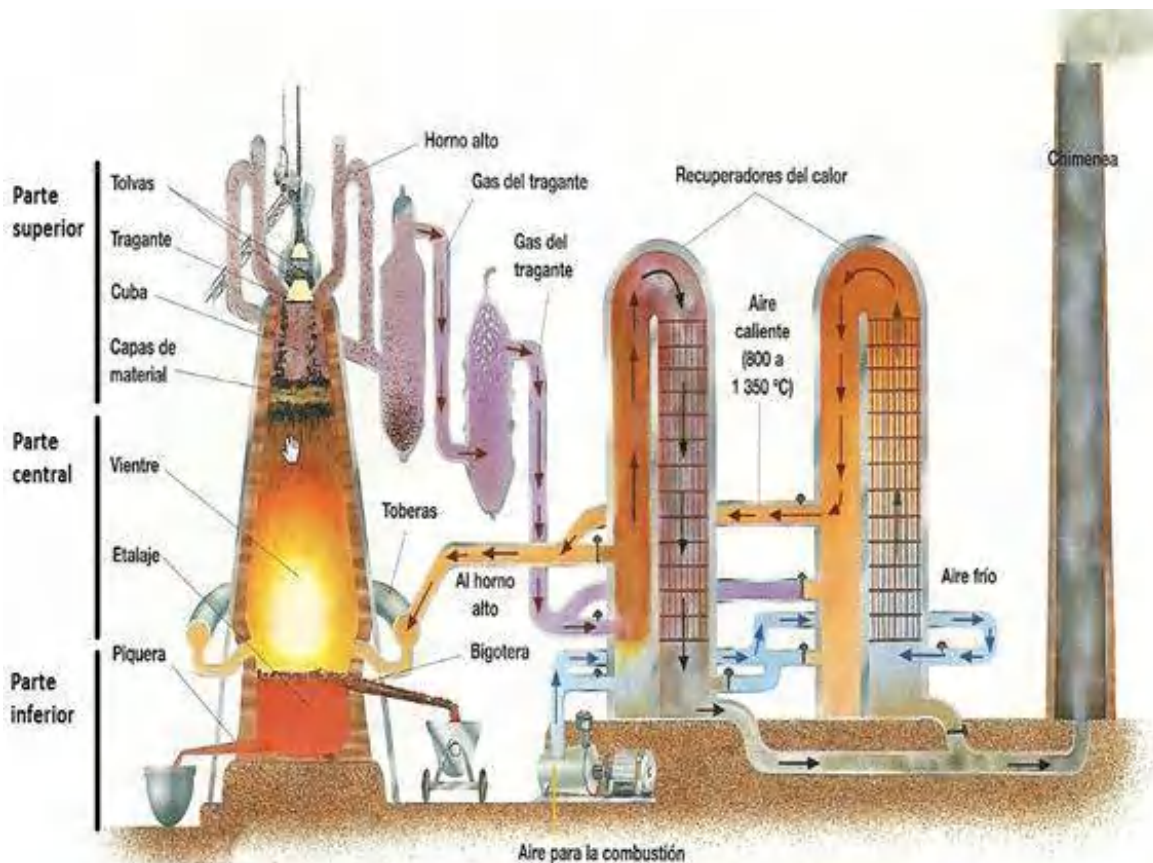
Las materias primas como el combustible (coque), el flujo (caliza) y los minerales, son suministrados en la parte superior del horno, en donde se inyecta aire caliente con alto contenido de oxígeno a través de toberas a una temperatura de 1000°C . Sobre el coque que produce ignición y permite fundir el hierro e inicia el proceso de reducción de este. La piedra caliza a estas temperaturas se transforma en cal y retiene parte de las impurezas como azufre, así generando la escoria que es utilizada para otros procesos.



SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 10 .

Proceso de obtención de arrabio en el Alto Horno APDR.



Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

En el proceso de reducción en el alto horno, el hierro se licua y es denominado arrabio hierro de primera fusión, el aditivo como la caliza captura las impurezas, en especial el azufre formando una escoria que flota sobre el mineral fundido, siendo utilizado como materia prima para la fabricación de diferentes tipos de cementos. En la tabla 6 especifican las características de capacidades volumétricas, numero de toberas y piqueras.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Tabla 6*Características del alto Horno*

Tipo	Diseño McKee
Año de construcción	1953
Empresa constructora	Delattre et frouard de Francia
Capacidad nominal	1200 ton/Dia
Diámetro del crisol	6,30m
Volumen total	809 m ³
Volumen util	689 m ³
Numero de toberas	12
Piqueras de arrabio	1
Piqueras de escoria	1

Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

En la tabla 7 especifica las características del sistema de calentamiento con capacidades volumétricas.

Tabla 7.*Características de sistema de calentamiento del aire de soplo*

Tipo	Diseño Koppers Co
Área de calentamiento	36000 m ²
Área de cámara de combustión	3.15 m ²
Capacidad de cada quemador	708 m ³ /min
Maxima temperatura de domo	1200°C

Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

En la figura 11 se puede observar el sistema de cargue, también se puede observar los skips de carga en el tragante.

Figura 11.

Sistema de cargue en piso AH.

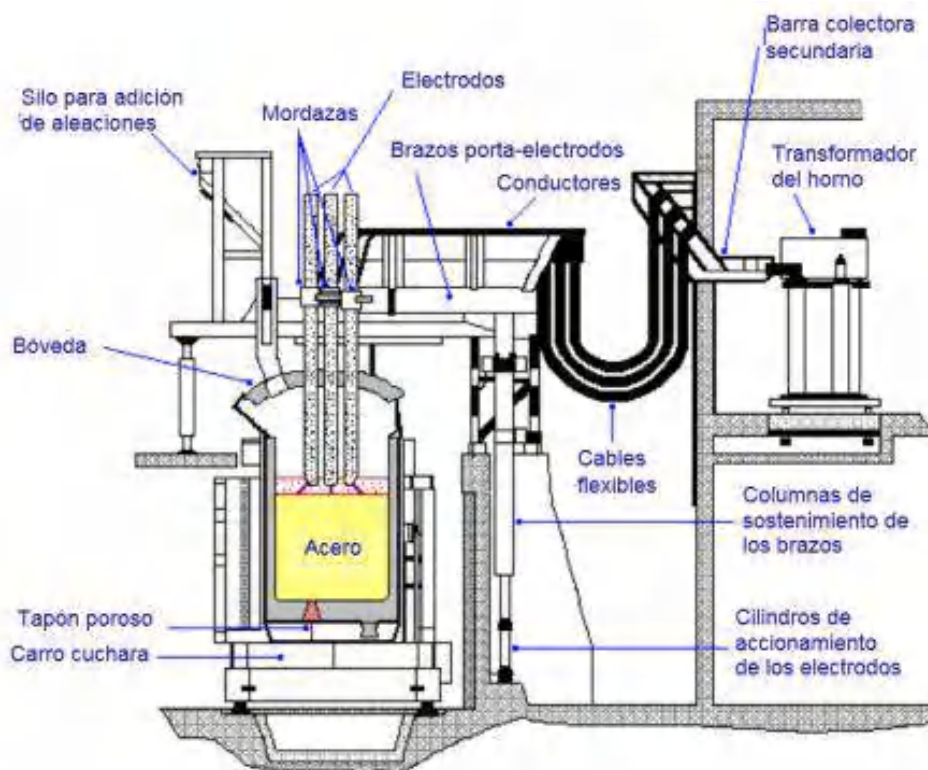


Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

2.5 Aceración.

Conversión de arrabio en acero. Para la conversión de arrabio en acero se realiza el proceso de eliminación del carbono por oxidación para la producción de CO₂ y volatización. El método en los convertidores para la obtención de acero se debe a la inyección de oxígeno para oxidar el carbono y otras impurezas, el cual genera una escoria sobre la superficie que va a ser retirada para ser enviada a fertilizantes.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 12 .*Horno cuchara.*

Nota. Adoptado de BARROS RIBEIRO, Delmar. Refinería secundaria de aceros. Sao Paulo. ABM. Asociación Brasileña de metalurgia, materiales y minería. 2014. Pág. 110

Tabla 8 .*Porcentaje de los minerales en el arrabio.*

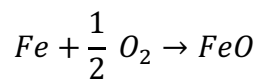
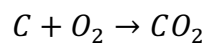
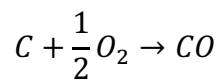
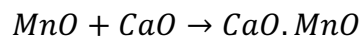
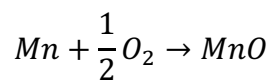
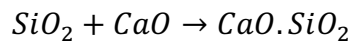
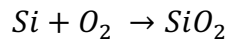
Elementos	%
Hierro (Fe)	93,7
Carbono (C)	4,5
Manganeso (Mn)	0,4
Silicio (Si)	0,45
Fosforo (P)	0,11
Azufre (S)	0,025

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Vanadio (V)	0,35
Titanio (Ti)	0,06

Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR

Los balances de estequiometría de las reacciones del oxígeno con el arrabio



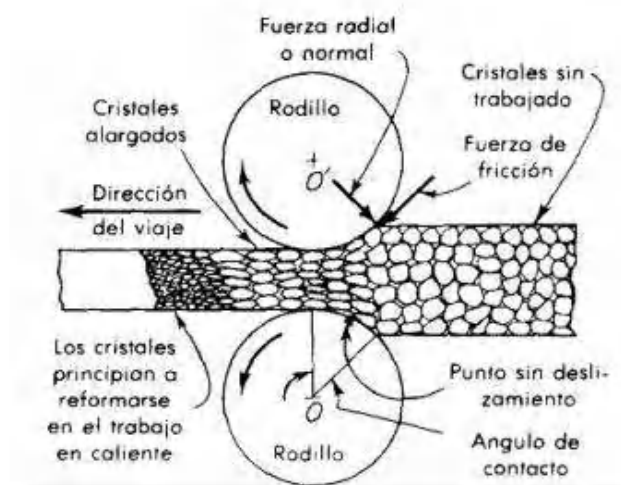
2.6. Laminación

El laminado es un proceso industrial conformado por deformación plástica por reducción de área transversal en el que el material fluye de modo continuo en una sola dirección y es reducido mediante fuerzas de compresión ejercidas por los rodillos.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 13.

Proceso de laminación.



Nota. Adoptado de Artículo de laminación ECCI.p.3. Consulta:14 de junio de 2017

Los productos no planos laminados en caliente presentan superficies ligeramente rugosas cubiertas de óxido conocido como cascarilla o calamina. Las tolerancias dimensionales se sitúan entre el 2 y 5 %.⁵ en la figura 14 se puede observar la caja vertical laminadora del tren continuo Morgan

⁵ Laminación. Escuela colombiana de carreras industriales. Procesos II. <https://johnguio.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/09/clase-magistral-laminacion3b3n.pdf>

Figura 14.

Laminación reducción de área.



Nota. Adaptado de Fundamentos de siderurgia, por APDR.

2.6.1 Temperatura del Acero

En laminación en caliente se define como una deformación que produce simultáneamente las deformaciones y la restauración del grano; por lo general se efectúan entre 1300°C y 900°C.

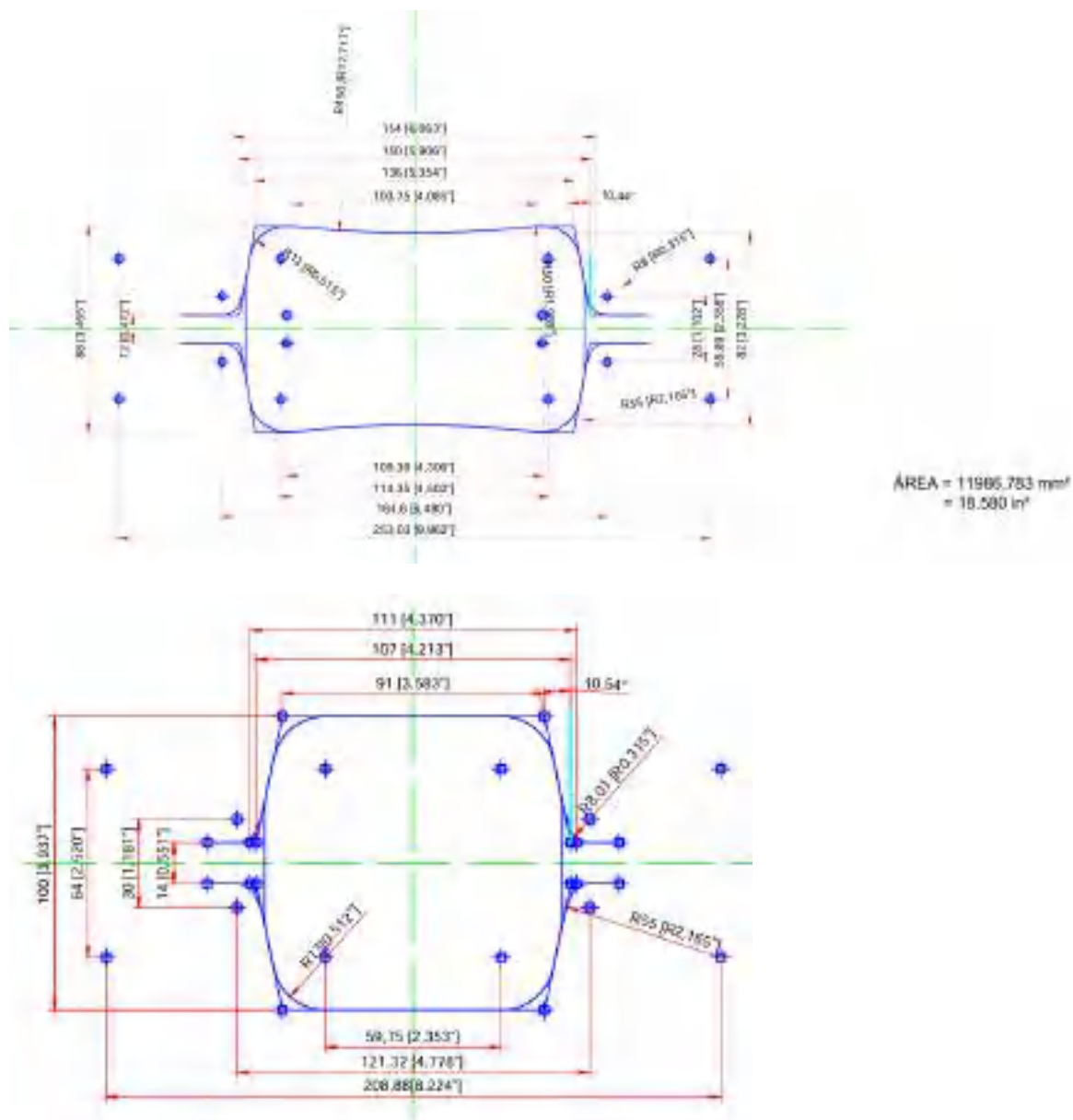
2.6.2 Forma Geométrica de la Barra

La laminación no plana, es cuando la forma de la sección transversal cambia en cada paso de laminación, en laminación no plana se incluye laminación de formas, las secciones en cada paso son diferentes a cualquier geometría plana.

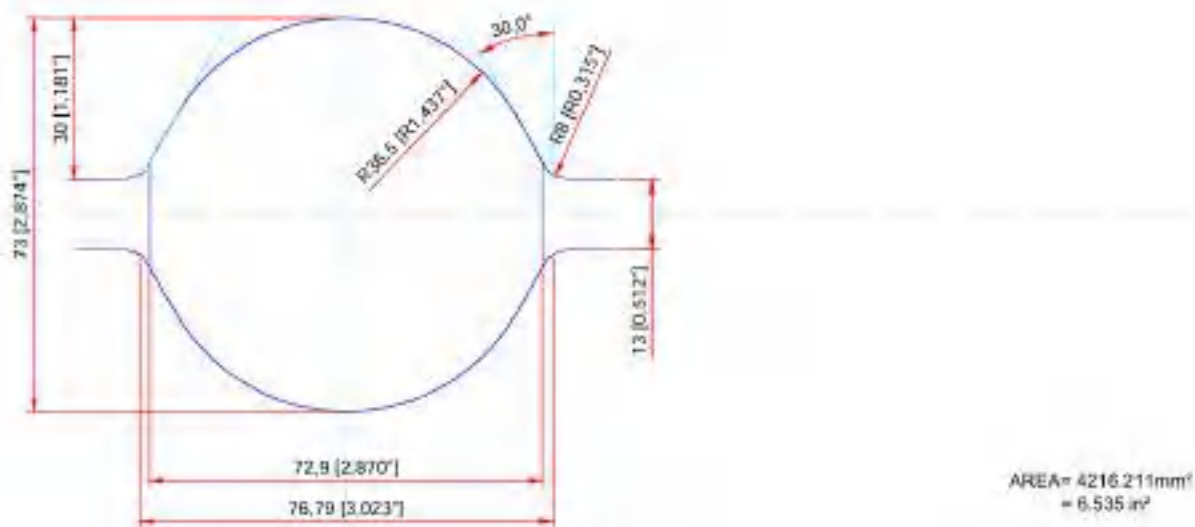
SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 15.

Planos de la geometría de la calibración de los pasos.



SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO



Nota. Adaptado de Laminación, por APDR.

2.6.3 Horno Danielli

El primer proceso que se realiza en laminación es la recepción de la palanquilla en el patio y es clasificada según el producto y código; llega a una temperatura 1050°C donde se acumulan de a 5 palanquillas y cada una llega a la báscula para la medición del peso que es un aproximado de 1620 kg, es transportado por las tres zonas de rodillos y entra al horno Danielli para el precalentamiento de las palanquillas, el horno tiene una capacidad máxima de 90 palanquillas y cada una pasa por 4 zonas; la primera zona tiene una temperatura máxima de 980°C, la segunda zona tiene un rango entre 135 a 1140°C, la tercera zona entre 1150°C a 1165°C y en la cuarta zona 1095 a 1115°C . La puesta en marcha del horno Danielli debe comprobarse la disponibilidad de todos los fluidos (gas natural, agua de refrigeración, agua industrial, aire comprimido y utilidades en el puntode absorción).

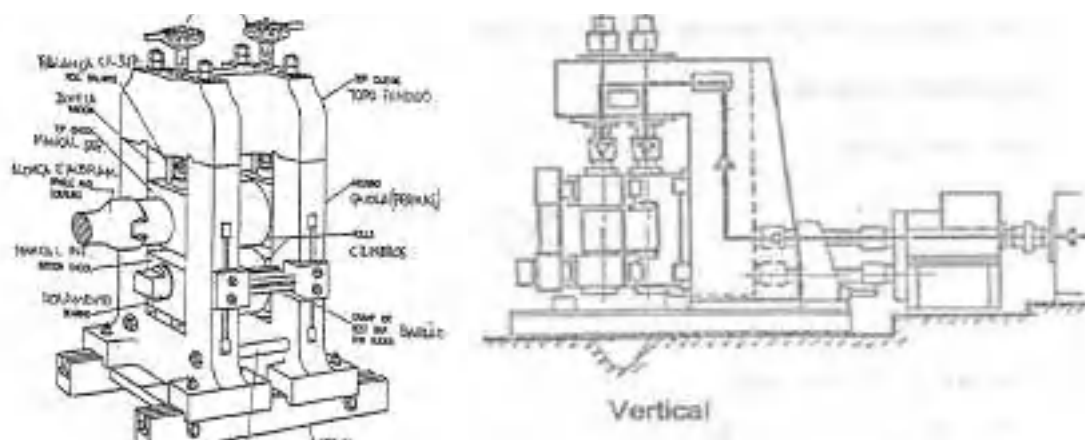
SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

2.6.4 Caja Vertical y Horizontal

El equipo básico denominadas “cajas” fabricadas en acero o hierro fundido, donde son montados los cilindros, las guías, la refrigeración de los cilindros, las líneas de lubricación, etc. El motor, una caja de reducción, una caja de piñones y las instalaciones de utilidades completan la caja de laminación.

Figura 16.

Caja de laminación vertical y horizontal.



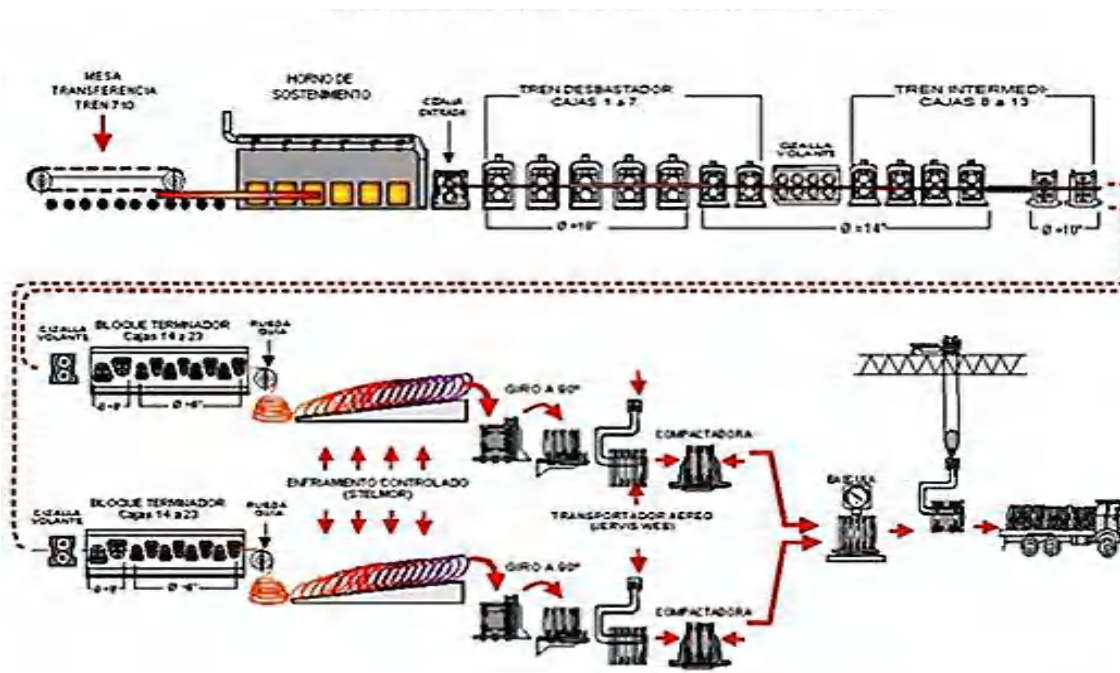
Nota. Adaptado de Curso del laminador APDR.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

2.6.5 *Tren Morgan*

Figura 17.

Diagrama de flujo del tren Morgan.



Nota. Adaptado de Laminación, por APDR.

2.6.5.1 **Tren Desbastadores.** Se utiliza siempre para laminación de los lingotes obtenidos por fundición, los cuales pueden ser de sección cuadrada (Bloom) o de sección rectangular (slab). El cilindro inferior es fijo, y el superior es desplazable verticalmente.

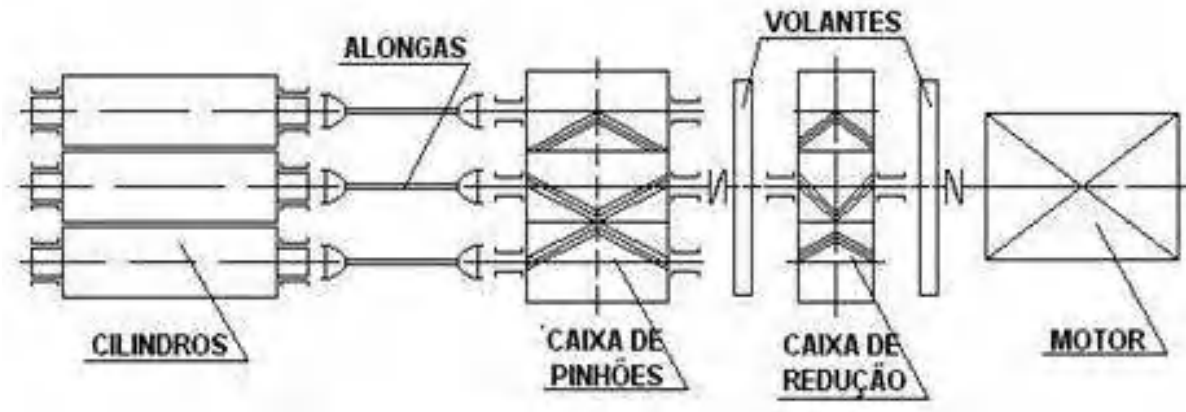
2.6.6 **Tren intermedio.** Estos trenes reciben el producto desbastado en los blooming, y se encargan de reducir la sección de los tochos. Pudiéndose obtener llantones comprendidos entre 10 mm y 25 mm y de ancho entre los 200 mm y 600 mm. Estos trenes son normalmente continuos.

2.6.7 **Bloque terminador.** Se denomina fermachine al redondo de acero de 5 a 8 mm, especialmente preparado para la fabricación de alambre por trefilado. El fermachine se fabrica partiendo de la palanquilla. La fermachine pasa por el desbaste, el intermedio y el acabado, tras el cual se embobina.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 18.

Transmisión de velocidades y torque.



Nota. Adaptado de Curso del laminador, por APDR

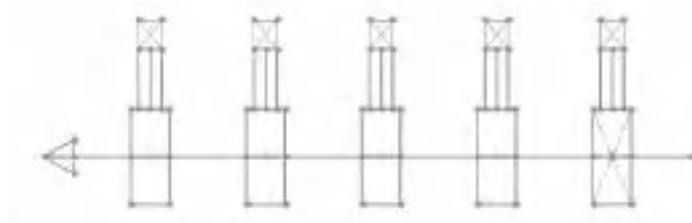
2.7 Tipo de Laminadores

2.7.1 Arreglo continuo horizontal

Opera con torsiones del material laminado

Figura 19.

Tren continuo horizontal.



Nota. Elaboración propia del autor.

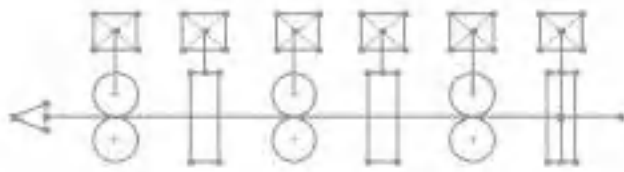
2.7.2 Arreglo continuo horizontal y vertical

Opera sin torsiones del material laminado.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 20.

Tren continuo horizontal y vertical.



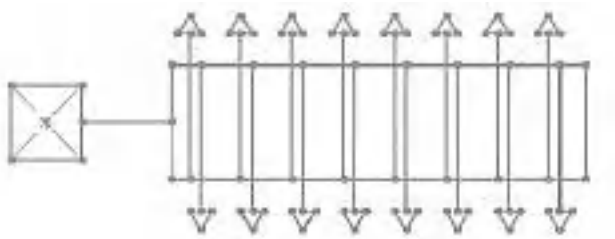
Nota. Elaboración propia del autor.

2.7.3 Arreglo abierto

Tren con una caja

Figura 21.

Tren 450- con 8 pasos.

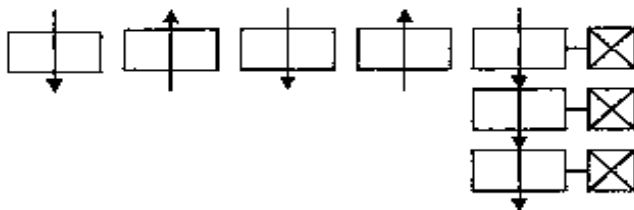


Nota. Elaboración propia del autor

2.7.4 Arreglo abierto continuo

Figura 22.

Tren abierto y continuo.

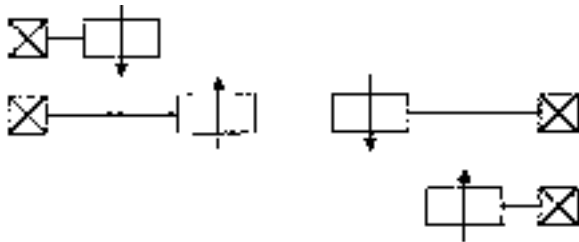


Nota. Elaboración propia del autor.

2.7.5 Arreglo Cross-country

Figura 23.

Tren Cross-Country.



Nota. Elaboración propia del autor.

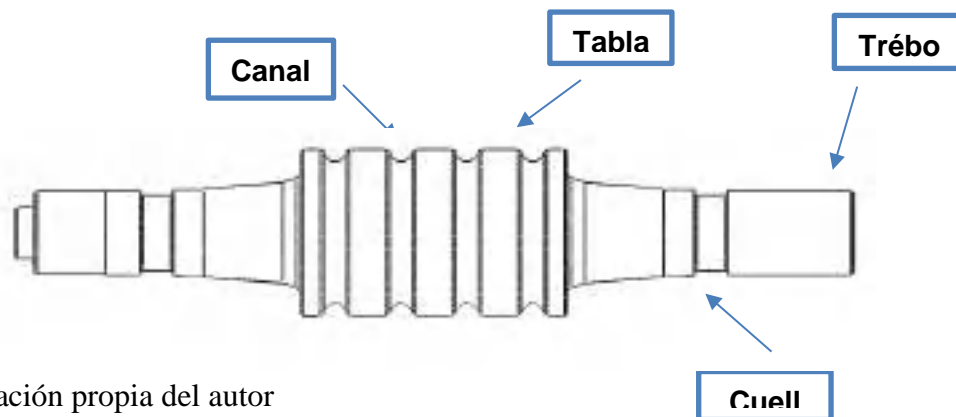
2.8 Cilindros de Laminación

Los materiales mas comunes en los cilindros laminadores son:

- Acero fundido
- Hierro fundido nodular
- Hierro fundido grisáceo

Figura 24.

Cilindro laminador.



Nota. Elaboración propia del autor

2.8.1 Demanda de los Cilindros

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Los cilindros son herramientas sometidas a diferentes tipos de esfuerzos, cargas que se van desgastando a lo largo de una campaña. La función de los cilindros es la reducción del área transversal.

2.8.2 *Características Generales de los Cilindros*

Las especificaciones de los cilindros estableciendo sus propiedades mecánicas, de acuerdo con fundamentos científicos y prácticas. Se deben tener en cuenta los mecanismos de degradación, condiciones de operación del laminador y de taller de cilindros. Las solicitaciones más críticas es la tenacidad el cual soporta las solicitaciones mecánicas o térmicas sin sufrir fractura frágil, el cual se usa de acero forjado, por ser más tenaz que el acero fundido y más tenaces que el hierro fundido nodular. (Schroder, 2003)

Los cilindros desbastadores el intenso grado de fatiga térmica, los choques térmicos y mecánicos, presentan canales profundos que exigen cilindros con elevada tenacidad y resistencia a la fatiga térmica. Los cilindros intermedios el nivel mediano de desgaste abrasivo y de fatiga térmica permite el uso de cilindros con características intermedias entre la tenacidad y la resistencia al desgaste abrasivo. Los cilindros terminadores presente un elevado índice de desgaste abrasivo demanda cilindros con buena resistencia a este mecanismo de degradación. Por ello se usan cilindros de hierro fundido indefinidos de alta dureza.

En la tabla 10 la caracterización de los cilindros según los materiales en la fila encabezada superior, en la columna lateral izquierda características de los porcentajes de los minerales, en la fila inferior el fin para el cual son utilizados los cilindros en que tipo de producto al igual que sección del tren; los colores verde agua marina claro especifica los materiales nuevo-desarrollados, verde agua marina específica para productos largos y el anaranjado trenes la laminación en caliente.

Tabla 9.

Caracterización de los materiales de los cilindros laminadores.

	Acero superaleado	Steel-HSS	Acero (acero superaleado)	HSS (acero rápido)	Acero alta en cromo	Fundición de acero gris	GG (Fundición bronce)	GGM (Carbono fundido)	ICDP	ICDP, carbono mejorada	Fundición con alto contenido en cromo	Fundición nublada	Antiguos grados de fundición gris (Diseño de inversión)	Carbono fundido	Castíricos
Utilizado desde	1875	1956	1920	1990	1950	1950	1875	2030	1933	1995	1965	1980	1950	1970	2000
C (%)	0.4-1.0		1-22			0.8-2.0		2-4					5-15		—
Si (%)	0.3-1.0		0.4-0.8			0.8-2.0		0.4-1.0			1-3		—		Si, Mn
E (Cr, Mn, Ni, Al, Co) (%)	1-6	5-8	<4	<6	8-12	2-5	—	2-10	5-9	14-22	3-5	<3	5-15 (Co)	—	—
S (V, W, Ti, Nb) (%)	<0.5	5-10	<0.5	5-15	<0.5	<0.1	—	3-5	1-4	<0.5	—	—	70-90	—	—
Carburos (%)	0.2	3-5	6-18	3-5	10-30	5-15	40-60	30-40	30-40	20-30	1-15	5-15	70-100	—	—
Grafito (%)	—	—	—	—	✓	✓	—	—	✓	✓	—	✓	✓	—	—
Dureza de la tabla (HV)	180-700	500-700	300-450	600-750	500-700	300-450	500-650	600-800	500-700	500-700	200-500	200-450	1300-1800	2200	—
Ferjado (F), Colado (C)	F(C)	C(F)	C(F)	C, F, otros	C	C (F)	C	C	C	C	C (F, otros)	C	C	Otros	Otros
Monocelada (M) Colada compuesta (C)	M(C)	C	M	C(M)	C	M(C)	M	M	C	C	C (M)	M	M	Carreas	Carreas
Poso en el mercado/consumo (de 0 a 10, máximo: 10)	10	3	4M	7+	4-7M	2-3M	5	7	7-8 (10)	6-8M	2-4M	8	2-5	?	?
		CI, trabajo, CSN: diferentes de apoyo pero TB/C/S/M; colado remoldado, ...	Grati, CSN: en TDC, F1, F2, 7 Remold en, 73 Universal	Producción larga	Cilindros de trabajo en TDC, producción larga, revestido albedón	Cilindros de trabajo en TDC, desaladores, F1, F2	Tramos de patitas, orinales, desaladores en TDC, pr. largas	Tramos de chapas (B/C/S/M/T), conchos de pequeño diámetro	7	Cilindros de trabajo en trenes de lam. en calderas, barras de diapas, ST	Cilindros de trabajo en trenes de lam. en calderas	Productos largos		Diámetro máximo: 450	¿Diámetro máximo?
		CILINDROS DE TRABAJO PARA TRENES DE LAMINACION EN CALIENTE (BANDA Y CHAAPA) CILINDROS PARA PRODUCTOS LARGOS MATERIALES NUEVOS DESARROLLADOS RECIENTEMENTE													

Nota. Tomado del libro Schroder, K. H. (2003). Descripción básica de los fundamentos mecánicos de los cilindros de laminación.

2.8.3 Fractura de cilindros

La causa raíz de la fractura de los cilindros ocurren principalmente por grietas térmicas, fatiga térmica, fatiga mecánica y por choque mecánico. Las tensiones de tracción de origen térmico tienen tres factores principales que pueden provocar roturas de tipo térmico como: Gradiente térmico, integridad del material del núcleo y tensiones residuales.

2.8.4 Fractura de Cuello

Los fallos en los cuellos de los cilindros por fatiga torsional; comúnmente la fatiga por

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

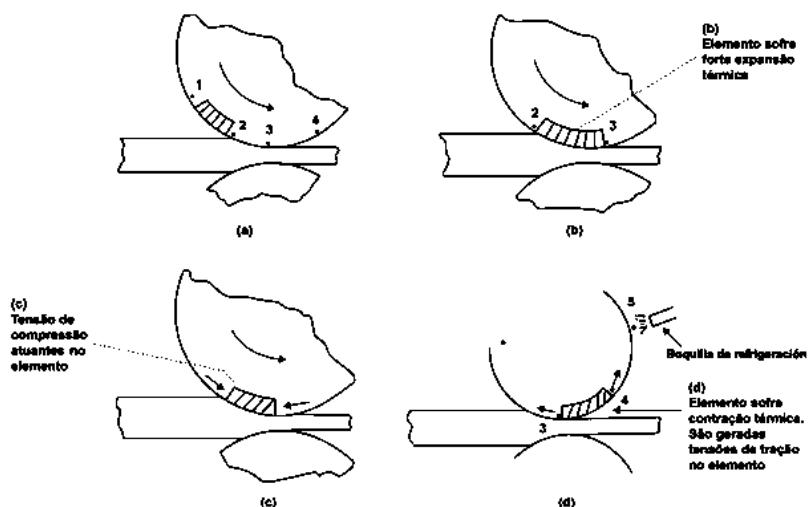
torsión flexión de refrigeración deficiente de las ampuestas de deslizamiento o para rodamientos; los motores de accionamiento acumulan alto momento par por ser muy fuertes y potentes. Las grietas térmicas es un factor de entalla que genera la rotura.

2.9 Fatiga Térmica

La superficie del cilindro que entra en contacto con la barra en su primera revolución; debido al calentamiento localizado este elemento tiende a expandirse. Resulta entonces en una tensión compresiva, que, dependiendo del gradiente de temperatura, puede alcanzar la tensión de escurrimiento del material, generando una deformación plástica. (Stevens, 1971)

Figura 25.

Tensión térmica



Nota. Adaptado de (Stevens, 1971)

Para minimizar la ocurrencia de grietas se debe:

- Posicionar la refrigeración lo más cerca posible de la salida de la barra, a fin de impedir una refrigeración intensa de la superficie.
- Las mayores variaciones de temperatura ocurren en los primeros ciclos del cilindro debido a la baja temperatura interna del cilindro. Se debe interrumpir el sistema de

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

refrigeración, para evitar la reducción de la temperatura media del cilindro y que ocurra una mayor variación de temperatura en el retorno de operación del laminador.

El montaje y mantenimiento del sistema de refrigeración de los cilindros es factor clave para la eficiencia. Cualquier alteración en la distancia entre el sistema y el cilindro, el posicionamiento relativo, la presión, la cobertura del canal, entre otros, lleva a grandes alteraciones en los coeficientes de extracción de calor.

4. Justificación de la solución

Para el desarrollo de la justificación de la solución se presentan varias alternativas de diseño, de las cuales se escogerá la más adecuada usando la matriz de Pugh. La selección de alternativas se determina mediante el despliegue de la función de calidad (matriz QFD). Que se presenta en la tabla 11.

3.1 Despliegue de la función de calidad

Con la función de la calidad se busca identificar las necesidades del proyecto, así como los diferentes criterios de ingeniería. De esta forma seleccionar las alternativas de diseño que vayan acorde con el proyecto. la matriz QFD se puede ver en los anexos. Los criterios escogidos son los siguientes:

- Diseño basado en estándares
- Adaptabilidad
- Económico
- Manufactura
- Mantenibilidad
- Materiales

3.2 Planteamiento de alternativas

A continuación, se presentan las alternativas del diseño, estas se proponen teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Sistema de alimentación
- Sistema de aspersion
- Sistema de distribución

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

3.3 Matriz de calidad

Tabla 10.

Matriz de calidad QFD

Customer Requirements (Explicit and Implicit)	SISTEMA DE ALIMENTACION		SISTEMA DE ASPERSION					SISTEMA DE DISTRIBUCION		SISTEMA DE MEDICION	
	Tuberia galvanizada	Tuberia negra	Boquilla de abanico plano	Boquillas de cono hueco	Boquillas de cono hueco	Boquillas de cono lleno	Boquilla de chorro solido	Lineal	Diagonal	Manómetros	sensores inflarajos
Diseño basado en estandares	●	○						○	●	○	○
Adaptabilidad	○	●	●	●	●	●	A	●	●	●	●
Economico	○	A	○	○	○	○	○			A	○
Facil manufactura	●	○						●	●		
Facil mantenimiento			●	●	○	○	○				
Versatil	●	○	●	●	○	A	A				
Bajo costo de materiales	○	A	○	○	○	○	○			●	○
Technical Importance Rating	450	292,8571	654	654	375	325	182	235,714	257,14286	310,71429	246,42857
Relative Weight	15%	10%	22%	22%	13%	11%	6%	8%	9%	11%	8%

Nota. Elaboración Propia del autor

5. Datos Actuales del Sistema de Refrigeración

4.1 Condición Actual del Sistema de Refrigeración

La planta de tratamiento de agua en donde se realiza el proceso de filtración cuenta con dos tanques que tienen una capacidad de 86 m^3 de agua cada uno. En el primer tanque se depositan las aguas provenientes del sistema de refrigeración del tren Morgan, en donde los lodos se decantan por gravedad y el aceite por diferencias de densidades flotan sobre la superficie, y son extraídas por un mecanismo de arrastre, donde los lodos contaminados de aceite son almacenados en el patio. El agua almacenada en el segundo tanque es bombeada hacia la torre de enfriamiento de tiro natural; debido a su altura el fluido cae por gravedad a través de la serpentina que extraen el calor por conducción de forma natural a la temperatura ambiente y es depositada en el segundo tanque. El sistema de bombeo cuenta con dos bombas centrífugas de capacidad de 1400 lpm, el cual alimenta el tren desbastador Morgan desde la caja laminadora 1 hasta la 8.

Figura 27.

Tablero de control planta de tratamiento



Figura 26.

Motores eléctricos. Planta de tratamiento APDR



En la caja 3 el sistema de refrigeración este compuesto por flautas, cuerpo, acoples y alimentación. Actualmente el sistema de refrigeración se encuentra en servicio para los cilindros laminadores superior e inferior. Son accionados desde el puesto de mando en una botonera para

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

activar el paso del flujo.

Figura 30.

Ranuras y aberturas de la refrigeración.



Figura 29.

Refrigeración superior actual.



Figura 28.

Caja tres - Refrigeración cilindro superior.



Nota. Elaboración del autor

El sistema de refrigeración actualmente posee aspectos de baja eficiencia, según la normativa estándar no cumple con los requerimientos técnicos de diseño. Este tipo de problemáticas genera un porcentaje bajo de cobertura de distribución del chorro refrigerante que afecta transversalmente a la canal, impactando sobre la superficie y generando grietas térmicas, por lo tanto, limita la refrigeración a los bordes (chaflanes) de la canal, aumentando el desgaste debido a este proceso.

Figura 31.

Cilindro caja tres con ensayos no destructivos (tintas penetrantes).

**Figura 32.**

Canal de cilindro superior de la caja 3 con presencia de grietas térmica.

**Figura 33.**

Manómetro.



Nota. Elaboración propia del autor

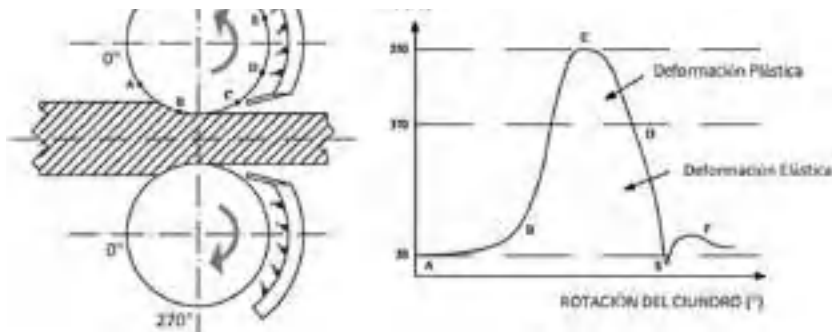
5.1. Temperatura de los Cilindros

5.1.1. Primera Medición con Pirómetros

Las mediciones de temperaturas en la superficie de las canales en la línea 1 y 2 del cilindro laminador de fundición nodular son realizadas a través del pirómetro (TG165-X) figura 36. Como procedimiento de la práctica de medición se toma como referencia el eje horizontal ubicada en la entrada de la caja laminadora demostrado en la figura 35, inician tomando su lectura y registrando en la cartera de campo; con un avance de cada 10° hasta completar los 360 ° y volver a la posición inicial; la temperatura máxima (90°C) ocurre cuando el cilindro y la palanquilla encuentran en contacto.

Figura 34.

Zonas de temperatura - Temperatura vs rotación del cilindro.



Nota. Tomado de BRC Global rolls. (2022). Refrigeracion de cilindros para productos largos.

Figura 35.

Pirómetro TGX165-X



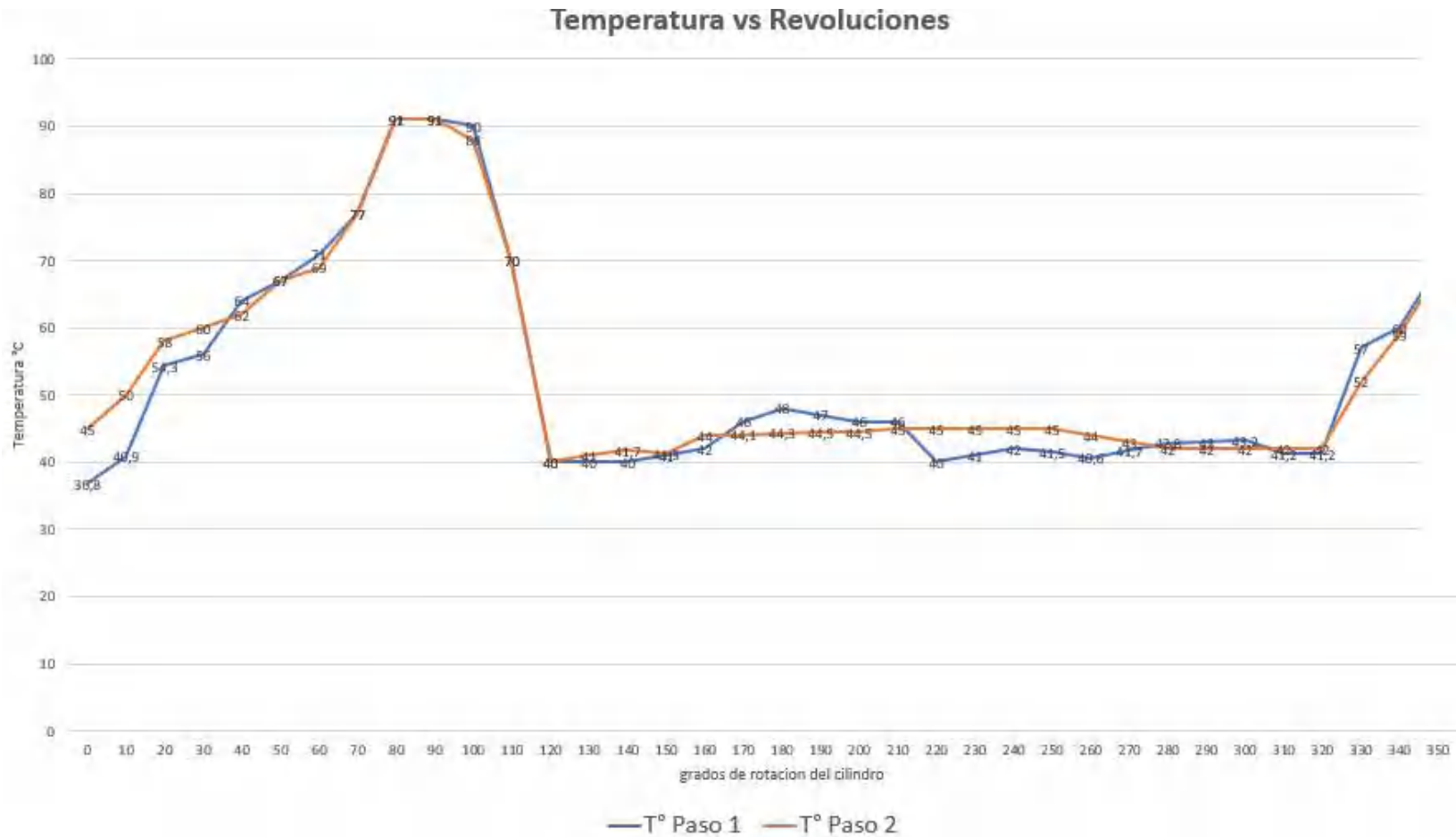
Nota. Tomado del curso de laminador APDR.

En la figura 37 el comportamiento de la temperatura sobre la superficie de la canal del perímetro del cilindro laminador donde su temperatura máxima es aproximadamente de 90°C en el área A y B que especifica la figura 35 en donde se encuentra en su punto de deformación máxima y la temperatura mínima llega a los 40°C a la entrada de la caja laminadora .

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 36.

Temperatura (grados C°) vs revoluciones(grados angular).



Nota. Elaboración propia del autor

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Tabla 11.*Datos de temperatura del cilindro laminador caja 3 - paso 1 y 2*

TEMPERATURAS CAJA 3							
Seccion	Angulo	T° Paso 1	T° Paso 2				
A	0	36,8	45	E	160	42	44
	10	40,9	50		170	46	44,1
	20	54,3	58		180	48	44,3
	30	56	60		190	47	44,5
	40	64	62		200	46	44,5
	50	67	67		210	46	45
B	60	71	69	F	220	40	45
	70	77	77		230	41	45
	80	91	91		240	42	45
	90	91	91		250	41,5	45
C	100	90	88	G	260	40,6	44
	110	70	70		270	41,7	43
	120	40	40		280	42,8	42
	130	40	41		290	43	42
D	140	40	41,7	300	43,2	42	
	150	41	41,3	310	41,2	42	
				320	41,2	42	
				330	57	52	
				340	60	59	
				350	69	68	
				360	78	77	

Nota. Las zonas identificadas en la figura 35, son el eje de referencia del cual se toman las mediciones a partir del eje horizontal de ambos canales laminadores de la caja 3 y se registran cada 10 ° aproximadamente.

5.1.2. Segunda Medición con Termómetros Infrarrojos

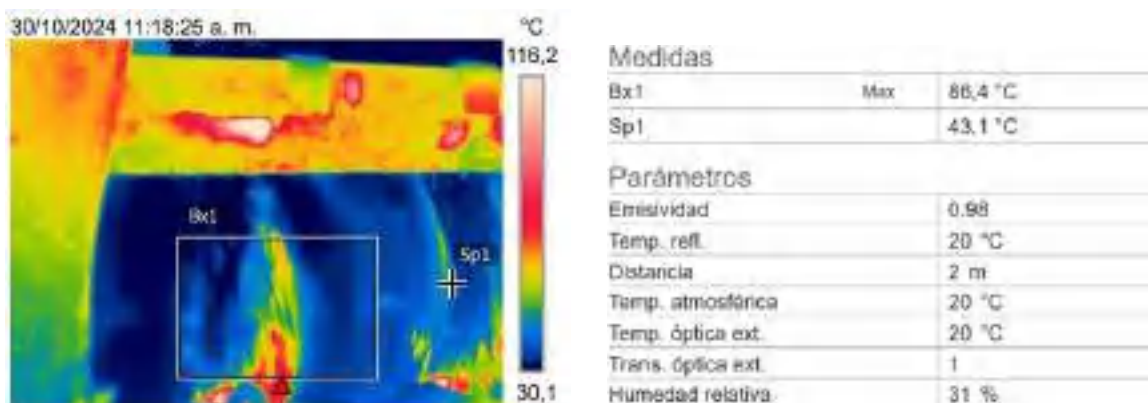
En el segundo caso se realizó una medición por cámara termográfica en el paso 1 de la salida de la caja laminadora tres, que permite una precisión entre +/- 1,5°C del cilindro superior. Dando como resultado gradientes de 86,4 °C, emisividad de 0.98 y humedad relativa de 31%.

Los termómetros infrarrojos medirán un amplio rango de temperaturas de -25°C a 00°C.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 37.

Resultados de la cámara termográfica caja tres.



Nota. Adaptado por Mantenimiento APDR.

5.1.3. Dimensiones Actuales

El sistema de refrigeración actual en la caja tres del cilindro inferior es un tubo de diámetro de 2 in con uniones de $\frac{3}{4}$ in y el cilindro superior se observa en la figura 40, el cual tiene una estructura, posición y dimensiones no estandarizadas. Las dimensiones de la tubería del cilindro superior son: la tubería principal de alimentación de 2 in, la distribución de 1 $\frac{1}{2}$ in y distribución no estandarizadas como ranuras y perforaciones. Debido a esto no se determina el flujo volumétrico.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 38.

Sistema de refrigeración actual.



Nota. Elaboración propia del autor

5.1.4. Presión

La lectura de los manómetros es de tres (3) bares para el sistema de refrigeración del tren desbastador del tren Morgan. La presión con respecto a la dirección de la boquilla debe ser capaz de romper la película de vapor de 2,5 bares, de esto depende la extracción de la laminilla incrustada en los cilindros de laminación. La presión según la sección como desbastador, intermedio y terminadas varían según la velocidad de los cilindros laminadores de fundición nodular.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 39.

Lectura del manómetro actual de la tubería principal de tren desbastador Morgan.



Nota. Elaboración propia del autor

5.1.5. Calidad del Agua

La calidad del agua es una variable relevante en los procesos de refrigeración, se deben realizar monitoreos rutinarios de muestras y análisis del estado del agua registrados en la tabla 13 en los sistemas de refrigeración, planta de tratamientos y torre de enfriamiento. Una condición primordial para el óptimo funcionamiento de equipos son las partículas por millón (ppm) de lodos, hierro, conductividad y otros elementos que dependen del funcionamiento del sistema de refrigeración.

La normativa establece que se debe encontrar por debajo de 150 ppm para la óptima refrigeración de los cilindros laminadores, se recomienda trabajar debajo de 70ppm. En el último resultado, se observa que la conductividad eléctrica se encuentra en 400 uS/cm y ha disminuido desde el año 2022 al 2024 por el cual los tratamientos de la planta de aguas están cumpliendo los estándares que se deben encontrar por debajo del rango establecido de 1040 us/cm, las partículas

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

de partes por millón esta por menos de 50.

Tabla 12.

Resultados de las muestras de la planta de tratamiento de aguas.

Fecha	Conductividad	Min	Max	pH
22/04/2024	610	130,0	1040	8,1
29/04/2024	590	130,0	1040	8,9
7/05/2024	610	130,0	1040	8,1
14/05/2024	620	130,0	1040	7,8
30/05/2024	590	130,0	1040	7,4
5/06/2024	550	130,0	1040	8,1
11/06/2024	400	130,0	1040	8,3

Nota. El pH se encuentra en el rango requerido de los estándares de los requerimientos de acidez.

Tomado de la planta de tratamiento de aguas APDR.

El agua de la refrigeración debe ser ligeramente básica y se sugiere mantener el ph entre 7,5 a 8,5 el cual cumplen con los estándares recomendados. Existen otros componentes químicos como el hierro, calcio, magnesio, aluminio, sílice, cloruros y fosfatos.

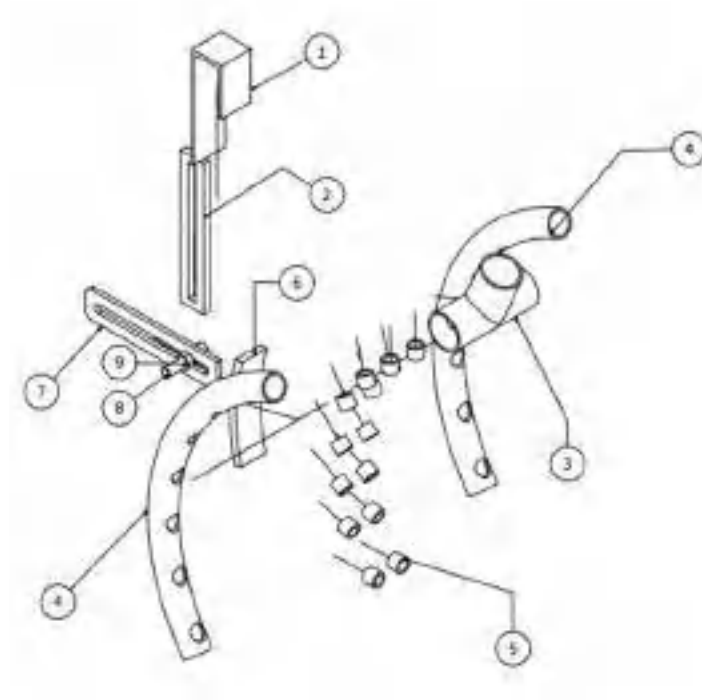
SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5 Diseño de concepto del sistema de refrigeración de los cilindros laminadores

El objetivo del sistema de refrigeración es la mejora del diseño e implementación para los cilindros laminadores, para aumentar la vida útil, al igual que la producción de tonelaje con el fin de prolongar su aplicación en el servicio de producción de los cilindros laminadores. Disminuir las paradas por cambio de pasos y disminuir la variable de mm/ton en el rectificado. Para ello debe tener el mínimo contacto con la palanquilla, al igual que disminuir o eliminar el vapor que produce el agua del enfriamiento. La refrigeración siempre debe estar ubicada en la salida de la barra.

Figura 40.

Despiece del sistema de refrigeración.



Nota. Elaboración Propia del autor

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

El sistema de refrigeración está compuesto por los siguientes componentes:

Las variables requeridas para el diseño del sistema de refrigeración son:

- Temperatura de la palanquilla
- Temperatura del cilindro
- Dureza del cilindro
- Angulo de aspersión
- Área de aspersión
- Geometría de las cintas y de las boquillas
- Presión del agua
- Caudal del agua
- Calidad del agua
- Geometría de la tubería

La calidad del producto, los costos por mantenimiento y la productividad están relacionados directamente por la eficiencia del sistema de refrigeración y de ello depende el rendimiento de los cilindros laminadores.

Los sistemas de refrigeración es la forma más eficiente de reducir los desgastes superficiales en los canales, al igual que las grietas térmicas y fracturas de cilindros.

- Velocidad de la laminación
- Temperatura de laminación
- Tipo de material del cilindro
- Volumen de agua

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1 Diseño del Sistema de Refrigeración

5.1.1 Propiedades de los materiales

Tabla 13.

Características de los cilindros laminadores

Material	Calor específico (Kcal/(kg.°C))	Conductividad térmica [Kcal/m.h.°C]	Densidad [Kg/m³]
Hierro fundido nodular	0,13	27,4	7250
Acero rápido- acero sinterizado	0,12	12	7900
Metal duro 30% aglutinante	0,06	60	12700
Metal duro 15% aglutinante	0,054	69	13500
Agua	0,46	0,12	858

Nota. Fuente: Curso de rodadura Barras planas laminadas (SILVA, 1994)

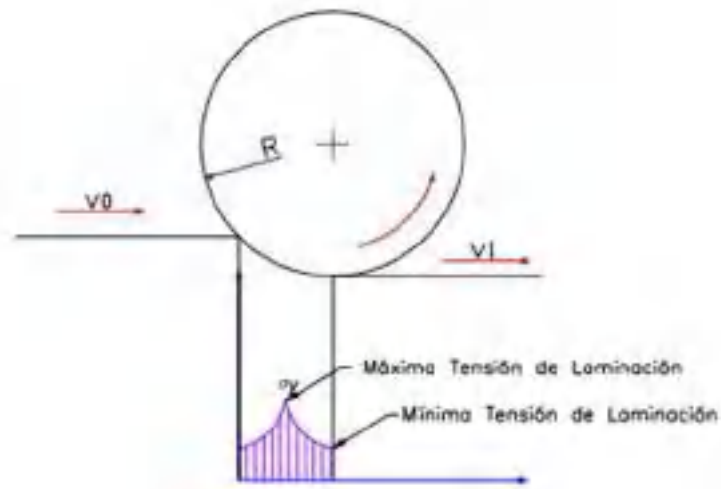
5.1.2 Fuerza de laminación

Es la fuerza necesaria para deformar el material entre los cilindros de laminación. En la figura 43 se observan la mínima tensión de laminación y la máxima tensión de laminación donde la mayor fuerza se aplica en el punto neutro, donde no ocurre movimiento relativo. Los modelos matemáticos para medir las fuerzas de laminación son de comportamiento no lineal, la potencia necesaria por modelos empíricos, aplicando factores de corrección para cada tipo de laminador. (SILVA C. &., 1994).

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 41.

Esquema de la distribución de tensiones de laminación.



Fuente: GONZALES, E. A. (2017). Optimización del proceso de enfriamiento en los cilindros de la caja de desbaste del tren de laminación dos en la planta tuta de la empresa gerdau diaco.

Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, 84.

Área de contacto (F_d): Área en el arco de contacto

Resistencia a la deformación (K_w):

σ =resistencia al flujo

A_c = Área de contacto proyectada

$$\int_0^{F_d} \sigma dA_c \quad (1)$$

En la práctica se usa:

$$F_w = k_w x A_c \quad (2)$$

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1.3 Resistencia a la deformación

Es dependiente del factor geométrico y del arco de contacto, de la fricción entre la barra y tensión de salida de la barra laminada.

$$k_w = k_e X k_f \quad (3)$$

k_e = Factor de influencia de la geometría y la fricción

k_f = Tensión de flujo

Para el cálculo del factor geométrico⁶

$$k_e = 1 + \frac{1,6 \times \mu \times \sqrt{RX(h_1 - h_0)} - 1,2 \times (h_1 - h_0)}{(h_{0m} - h_{1h})} \quad (4)$$

μ = Coeficiente de fricción

R = Radio del cilindro

h_0 = Altura de la barra antes de pasar por los cilindros

h_1 = Altura de la barra después de pasar

h_{0m} = Altura media de la sección de entrada

h_{1m} = Altura media de la sección de salida

Para los cálculos del coeficiente de fricción, se utiliza la siguiente ecuación, dependiendo del material.⁷

$$\text{Fundiciones } \mu = (1,05 - 0,0005T_l) \quad (5)$$

$$\text{Aceros } \mu = 0,8(1,05 - 0,0005T_l)$$

T_l = la temperatura de la barra en °C

⁶ GUO, Y. B.; WEN, Q.; HORSTEMEYER, M. F.: An Internal State Variable Plasticity Based Approach to Determine Dynamic Loading History Effects on Material Property in Manufacturing Processes. International Journal of Mechanical Sciences: Elsevier, 2005. Volúmen 47, pg 1423

⁷ : Método de Medición de Fuerza em Laminación; Analogia entre Força Medida e Calculada na Laminação à Quente de Perfis de Aço

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Cuando las secciones no son rectangulares se usan valores medios de altura:

$$h_m = cxh_{max} \quad (6)$$

h_m = altura media del calibre

h_{max} = Altura máxima en el fondo del canal

c = Coeficiente de tipo de canal

Tabla 14.

Coeficientes para diferentes tipos de canal

Tipo de canal	Coeficiente C
Canal pequeño radio de concordancia	0,63
Canal con cantos vivos	0,55
Canal redondo	0,79
Canal ovalado	0,67-0,85
Canal vertical	0,50- 0,65

Nota. Fuente: Método de medición de fuerza en laminación; analogía entre la fuerza de medida y calculada en el laminado en caliente de perfiles de acero

Tabla 15.

Valor medio de altura hm

Caja	c	homax(mm)	hom[mm]	h1max[mm]	h1m[mm]
1	0,63	158,730159	100	109,52381	69
2	0,67	102,985075	69	85,2238806	57,1
3	0,79	72,278481	57,1	91,1392405	72
4	0,67	107,462687	72	62,358209	41,78
5	0,79	52,8860759	41,78	65,9493671	52,1

Nota. Fuente: Elaboración del autor

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Tabla 16.*Coefficiente de fricción*

Caja	T°C	μ
1	1180	0,46
2	1160	0,47
3	1140	0,48
4	1120	0,49
5	1100	0,5

Nota. Fuente: Elaboración del autor

Tabla 17.*Factor geométrico Ke*

Caja	R[mm]	ho[mm]	h1 [mm]	μ	h0m [mm]	h1m [mm]	ke
1	254	100	94	0,46	100	69	1,29
2	254	90	84	0,47	69	57,1	1,32
3	254	85	57	0,48	57,1	72	2,87
4	254	72	53	0,49	72	41,78	2,42
5	254	65	39	0,5	41,78	52,1	2,88

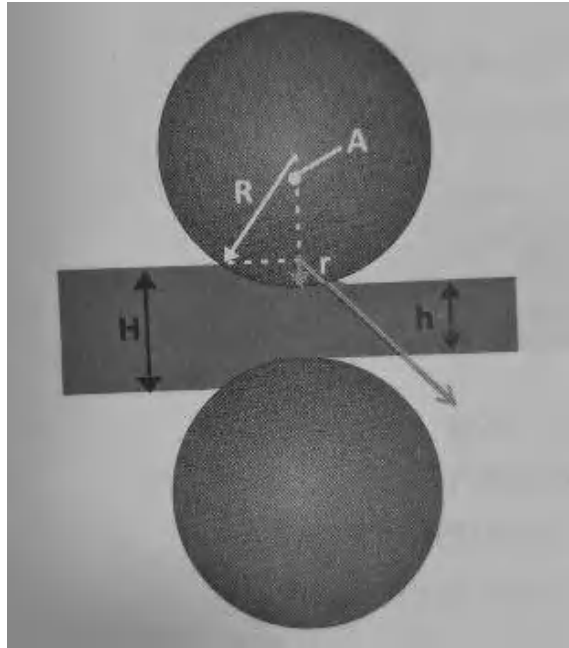
Nota. Fuente: Elaboración del autor

5.1.4 Arco de contacto

El cálculo del agua necesaria de refrigeración parte de calcular el tiempo de contacto y longitud de contacto de la barra con la canal a una temperatura dada.

Figura 42.

Variables para el cálculo de agua para la refrigeración.



Nota. Adaptado de (BRC Global rolls, 2022)

Datos

A continuación, se presentan los datos de las variables para el cálculo del caudal del sistema de refrigeración.

Diámetro - D: $508\text{mm} - 36,5\text{mm} = 471,5\text{mm}$

Diámetro externo del cilindro - Tabla: 508mm

Altura de la palanquilla - H de entrada: 57,10mm

Altura de la palanquilla - H de salida: 72mm

Velocidad lineal – V: 0,28m/s

Temperatura - T: 1050°C

W: Velocidad angular

r: radio del cilindro

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

$$V: W * r \text{ (7)}$$

5.1.5 Cálculo del Caudal de la Refrigeración

- Velocidad angular (W)

La velocidad en la que se encuentra el cilindro laminador es a los 11.37 rpm de acuerdo con el siguiente cálculo.

$$W: 1,191 \text{ rad/seg} * 60 \text{ seg/min} * 1 \text{ rev}/2\pi = 11,37 \text{ rpm}$$

- Radio del cilindro (r)

La diferencia de alturas de la palanquilla (entrada y salida), divididos en dos (2) sirve como un coeficiente para el ángulo de contacto.

$$r: (56\text{mm} - 72\text{mm}) / 2 = 8\text{m} \text{ (8)}$$

- Angulo de contacto (A)

El ángulo de contacto entre la palanquilla y el cilindro es de 14.96° como se puede demostrar a continuación.

$$A: \text{Cos} (A) = (R - r) / R \text{ (9)}$$

$$A: (235,75-8) / 235,75$$

$$A: 14,96^\circ$$

- Longitud de contacto (L)

El perímetro de contacto de la circunferencia del cilindro es 61.59 mm

$$L: (A / 360) * \pi * D \text{ (10)}$$

$$L: (14,96 / 360) * \pi * 471,5$$

$$L: 61,59 \text{ mm}$$

- Tiempo de contacto (t)

El tiempo que tarda laminando una barra es de 0.219 seg

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

$$t: L / (\pi * D * A) / 60 \quad (11)$$

$$t: 61,59 \text{ mm} / ((\pi * 471,5 * 11,37) / 60)$$

$$t: 0.219 \text{ seg}$$

- Velocidad de laminación (V)

La velocidad en la que se lamina la palanquilla es de 281,23 mm/seg

$$V: L / t \quad (12)$$

$$V: 61,59 \text{ mm} / 0,219 \text{ seg}$$

$$V: 281,23 \text{ mm/seg}$$

Mediciones de temperatura en trenes de laminación presentan que cuando el tiempo de contacto es mayor a 0,015 seg, la temperatura de la superficie del rodillo alcanza a la mitad de la temperatura de la barra.

5.1.6 Área de contacto

Se debe hallar el área superficial de la canal por el cual se va a distribuir la refrigeración y para determinar el caudal exacto.

$$\text{Área de la canal} = \pi * (hc)^2 \quad (13)$$

Donde,

Ac: Área de la canal

hc: Altura de la canal

$$Ac = \pi * (36,5)^2 = 4185,38 \text{ mm}^2$$

Fuente: BRC Global rolls. (2022). Refrigeración de cilindros para productos largos.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1.7 Cálculo de caudal

Es la cantidad de agua por hora necesaria para remover el calor absorbido por los cilindros.

$$Q = \frac{2 \cdot C}{F_p \cdot C_a \cdot \Delta T_A \cdot \delta_a} \left[m^3/h \right] \text{ por caja} \quad (14)$$

$C =$ Calor absorbido por el canal [Kcal/h]

$F_p =$ Factor de perdida (0,7)

$C_a =$ calor especifico del agua [Kcal/kg°C]

$\Delta T_A =$ Diferencia de temperatura de salida y de entrada

$\delta_a =$ Densidad del agua

Para halla el calor absorbido, la transferencia de calor aplicada en laminación en caliente, se puede tomar como un problema no estacionario, por ello se usan valores obtenidos experimentalmente realiza en cilindros laminadores.⁸

$$C = K_c \cdot b_{cs} \cdot \sqrt{l_c \cdot v_l} \quad (15)$$

$K_c =$ Factor de conductividad

$B_{cs} =$ Contacto transversal barra – canal(mm)

$L_c =$ arco de contacto [mm]

$V =$ velocidad de laminacion [m/s]

Usando las fórmulas anteriores, nos basamos en la información de un cálculo de un proyecto de grado (GONZALES, 2017)

⁸ SHURIZLY, A.; Leonard, J. G.: The Effect of Scaling and Emulsion Delivery on Heat Transfer During the Hot Rolling of Steel Strips. Diario de Tecnología de Procesamiento de Materiales: Elsevier, 2000. Volúmen 101, Pág. 250-259.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Tabla 18.

Caudal medio para cilindros del grupo 1

Ca [kcal/kg°C]	1		$Ta1$ [°C]	85		δa [kg/m ³]	1000
HIERRO FUNDIDO NODULAR							
PASE ²⁶	Tl [K]	Kc [kcal/(h m K)]	bcs [mm]	lc [mm]	v [m/s]	C [kcal/h]	Q [m ³ /h]
1	1133	573,2	223,0	90,9	2,40	1.234.573	58,79
2	1133	573,2	208,0	59,6	2,48	939.513	44,74
3	1133	573,2	177,0	114,1	2,43	1.095.177	52,15
4	1133	573,2	152,0	92,1	2,61	847.869	40,37
5	1133	573,2	130,0	84,9	2,51	696.448	33,16
6	1133	573,2	111,0	82,7	2,65	587.882	27,99
7	1133	573,2	94,0	95,8	2,71	534.653	25,46
8	1133	573,2	80,0	58,1	2,64	357.246	17,01

Fuente: PLANTA TUTA DE LA EMPRESA GERDAU DIACO. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, 84.

El caudal medio para cilindros de hierro fundido

Tabla 19.

Promedio de caudal por caja desbastadora. elaboración propia

Cilindro	Diámetro [mm]	Caudal por jaula [m ³ /h]
Desbaste	450- 600	50-70
Intermedio	350-400	45-60

5.1.8 Uso de Boquillas de Refrigeración

Los tipos de boquillas son de tres tipos: espray, tajos y orificios. El uso de boquillas espray son recomendadas: Dimensionamiento del flujo en función de la presión; Direccionamiento del chorro hacia los puntos de concentración de calor

Las flautas de refrigeración con tajos y orificios empíricos tienen las siguientes desventajas:

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

- Perdida de caudal
- No tiene direccionamiento el flujo de agua en las concentraciones del calor
- Difícil formar un chorro en gotas

Figura 43.

Tipos de chorro



Nota. Fuente: Refrigeración de Cilindros de Laminación (aços longos)28

5.1.9 Angulo de chorro para la refrigeración de canales

Son usados con ángulos entre los 15° y 60°, el impacto por unidad de área es muy reducido.

Tabla 20.

Especificaciones para chorro plano y cono lleno

Tipo	C_d	A_b [mm ²]	P [bar]	Q_b [m ³ /h]	Q_b [L/min]	I [kg]	I Chorro plano (para 60°) [kg/cm ²]	I Chorro Cono lleno (para 60°) [kg/cm ²]
Cilíndrica	0,50	19,6	2,5	15,52	258,71	9,8	0,69	0,04
Canal	0,70	40,0	2,5	44,27	737,86	28,0	1,96	0,11
Spray	0,90	32,0	2,5	45,54	758,95	28,8	2,02	0,12

Nota. Fuente: : PLANTA TUTA DE LA EMPRESA GERDAU DIACO. Universidad pedagógica y tecnológica de Colombia, 84.

5.1.10 Cobertura del Canal

La cobertura debe ser de 110 a 130% dependiendo del tipo de boquilla.

5.1.11 Materiales para Prototipo

Los materiales requeridos para la construcción del prototipo de la refrigeración se han seleccionado de acuerdo con las condiciones en que estarán expuestos.

- Tubería principal de 1 ½ diámetro externo: 48,30 mm- bajo el orden de astm a53, aceptable para usos ordinarios en vapor, agua, gas y líneas de aire.

Tabla 21.

Requerimientos de química (ASTM A53/NMX)

Composición máx.									
GRADO	%C	%MN	%P	%S	%CU	%NI	%CR	%MO	%V
A	0.25	0.95	0.05	0.045	0.40	0.40	0.40	0.15	0.08

Nota. Fuente: STECKERL ACEROS Tuberia acero galvanizado. [En línea]. Tercera edición 2015. https://steckerlaceros.com/wp-content/uploads/2020/12/2015_Catalogo_Productos_III-Edicion.pdf

https://steckerlaceros.com/wp-content/uploads/2020/12/2015_Catalogo_Productos_III-Edicion.pdf

Tabla 22.

Requerimientos de tensión.

Tipo E - Grado A	
Esfuerzo de tensión, min, psi (MPa)	48000 (330)
Esfuerzo de cedencia, min, psi (MPa)	30000 (205)

Fuente: STECKERL ACEROS Tuberia acero galvanizado. [En línea]. Tercera edición 2015. https://steckerlaceros.com/wp-content/uploads/2020/12/2015_Catalogo_Productos_III-Edicion.pdf

- Tubería secundaria 3/8 diámetro externo: 17,10 mm
- Boquilla de bronce h1/4u-8060 bronce Morgan, rosca macho npt, chorro plano

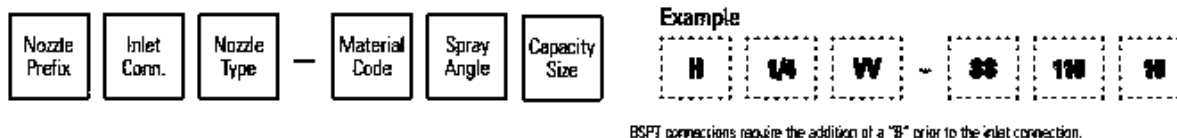
SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

uniforme/tipo estándar/ ref spraying system co.h-u veejet para sistema de refrigeración de cilindros laminadores cajas 1 a 13. trenMorgan h1/4u-8060 1/4 pulg. 4,8 mm diámetro orificio. Angulo de barrido 80 grados a 3 bares. caudal 24 lt/minuto.

Figura 44.

Información sobre selección de boquilla.

VEEJET H-DT, H-DU, H-U, H-VV AND H-VVL



Fuente: Adaptado de Download the VeeJet® Flat Spray Nozzles Catalog | Spraying

5.1.12 Cálculo del Diseño esquemático de Refrigeración

En esta sección se toman los datos de los cilindros laminadores y canales laminadoras teniendo en cuenta las características de las canales, las dimensiones, espacios, posición de los bastidores.

Datos del Cilindro Laminador

$$\varnothing_{mayor} = 508mm$$

$$\varnothing_{menor} = 444mm$$

Material = Fundición de hierro nodular perlítico aleado al cromo-níquel-molibdeno-temple

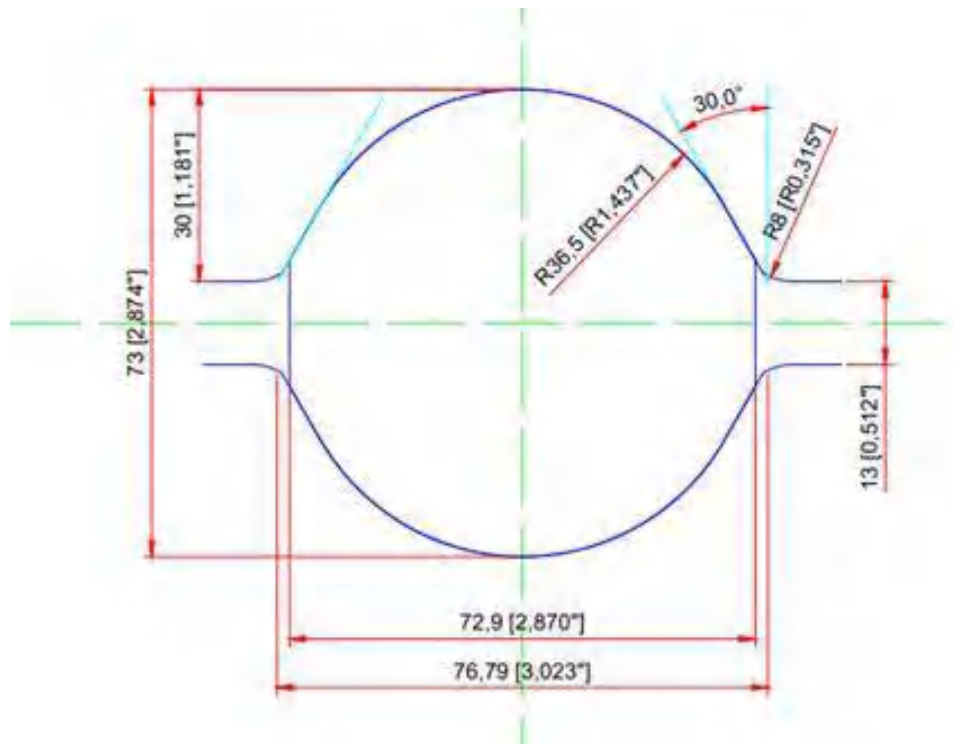
$$\text{Dureza} = 60-65 \text{ shore C}$$

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1.13 Distancia de la Boquilla a la Canal

Figura 45.

Canal de la caja 3.



Nota: Adaptado de Laminación APDR

Con base a la geometría del canal, partimos de la tabla del cilindro como referencia y proyectamos el ángulo de chorro sobre la superficie del canal, el cual debe demostrar cobertura del 100 % del mismo; para ello indicamos el punto de referencia y se aumenta gradualmente cada 5mm hasta alcanzar la cobertura total y para asegurar una óptima cobertura debe ser del 115 % para los bordes de las superficies.

Tabla 23.

Variación de altura del aspersor con respecto a la tabla del cilindro laminador.

Caja 3

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Distancia de aspersión

Altura (mm)	Proyección en x (mm)	Proyección en Y (mm)
5	5.59	11.172
10	11.17	22.3442
15	16.76	33.5164
20	22.34	44.6885
25	27.93	55.8607
30	33.52	67.0328
35	39.10	78.2050
40	44.69	89.37
45	50.27	100.549

Nota. Fuente: Elaboración propia

Nota. A la altura de 35 mm la proyección de en x y y del chorro de la boquilla sobre la superficie de la canal, cubre más de 100%. Lo que permite tomar este resultado como estándar para el diseño de la refrigeración.

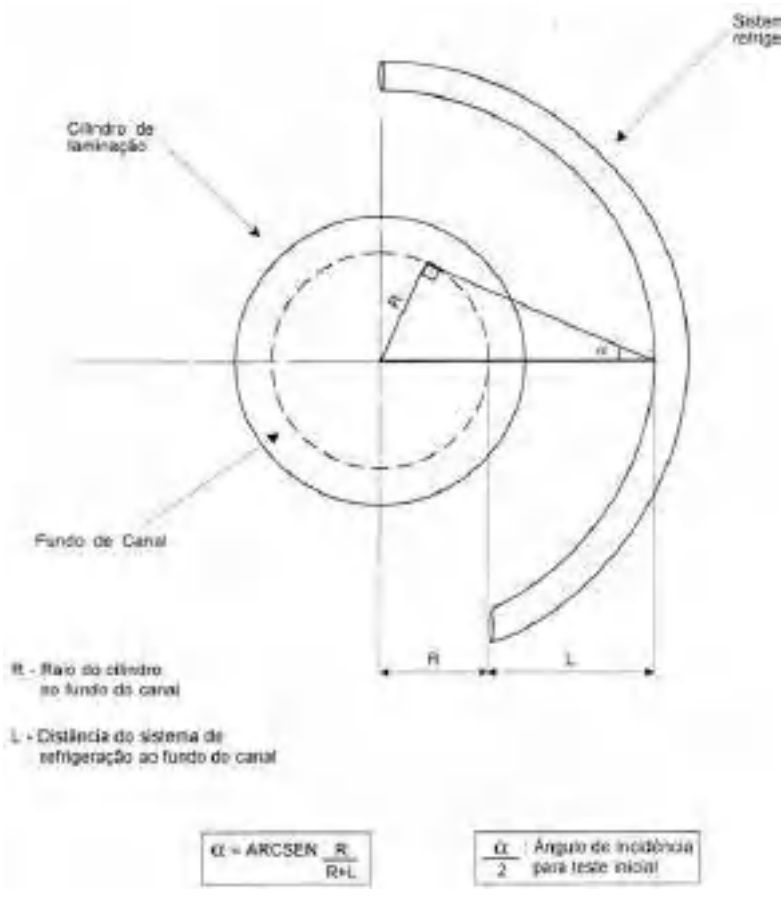
5.1.14 Ángulo de Incidencia

Para hallar el ángulo de la incidencia que proyecta la boquilla con respecto a la línea, se debe seguir los cálculos a continuación e interpolar la distancia desde la superficie para efectuar la proyección del chorro sobre la canal.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 46.

Angulo de incidencia para prueba inicial.



Nota. Fuente: Refrigeración APDR

Tabla 24.

Valores del ángulo de incidencia para prueba inicial.

L	R	α rad	α gra	α /2
71.50	471.5	1.05	60.26447224	30.13223612

Nota. Fuente: VOTORANTIM. (2008). Curso de laminación, Brasil.Pag-56.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1.15 Selección de Tubería

Para cumplir con los caudales especificados, se selecciona la tubería célula 40 de diámetro nominal 1 ½ in el cual cumple las características.

Figura 47.

Elección de tuberías galvanizadas.

Cédula	Diámetro nominal		Diámetro ext.		Calibre	Espesor		Peso		Contenido	
	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.		Pulg.	mm.	kg./m.	kg./piezo	Pzas./Poz.	Kg./Poz.
40	1/2	12.70	0.840	21.34	12	0.105	2.66	1.27	8.12	91	739.85
	3/4	19.05	1.050	26.67	12	0.105	2.66	1.63	10.43	91	849.31
	1	25.40	1.315	33.40	10	0.135	3.42	2.53	16.19	61	987.71
	1 1/4	31.75	1.680	42.15	10	0.135	3.42	3.27	20.91	37	774.34
	1 1/2	38.10	1.900	48.25	10	0.135	3.42	3.75	24.26	37	887.47
	2	50.80	2.375	60.33	10	0.135	3.42	4.81	30.76	37	1019.00
	2 1/2	63.50	2.875	73.03	3/16"	0.188	4.77	8.03	51.29	37	1601.50

Nota. Fuente: STECKERL ACEROS Tuberia acero galvanizado. [En línea]. Tercera edición 2015.

https://steckerlaceros.com/wp-content/uploads/2020/12/2015_Catalogo_Productos_III-Edicion.pdf

5.1.16 Selección de la Boquilla

Existen diversos tipos de boquillas de pulverización en la industria de la refrigeración como: Abanico plano, cono hueco, cono hueco con núcleo, abanico plano en banda, cono lleno y entre otras más variedades según la aplicación. El canal de la caja 3 es forma circular (redonda), ya que de ello depende la posición y dirección de la boquilla sobre la superficie de la canal.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 48.

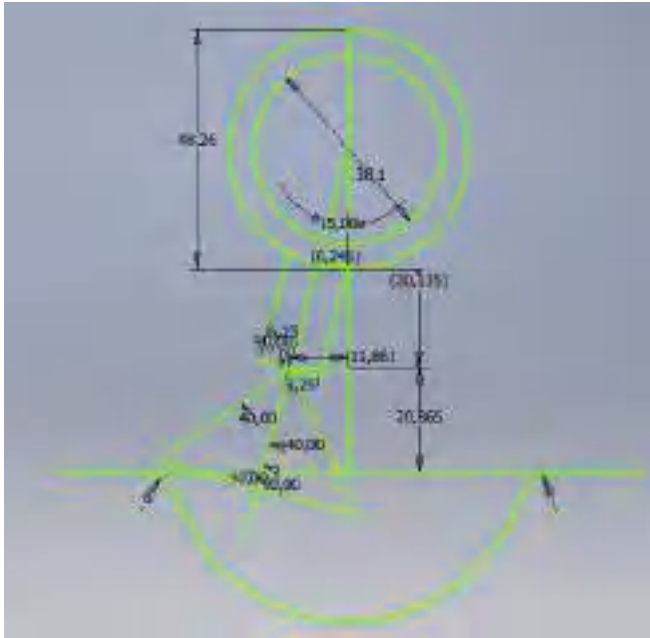
Performance data boquilla veet jet.

PERFORMANCE DATA: STANDARD ANGLE SPRAY																									
Spray Angle at 40 psi	Nozzle Type/ Inlet Conn. Size										Capacity Size	Equiv. Orifice Dia. (in.)	Flow Rate Capacity (gallons per minute)										Spray Angle (°)		
	H-41					H-411							H												
	1/8	1/4	3/8	1/2	3/4	1/8	1/4	1	1-1/8	2			5 psi	10 psi	20 psi	40 psi	80 psi	100 psi	200 psi	300 psi	500 psi	70 psi	40 psi	30 psi	200 psi
110°	*										20	139	.71	1.0	1.4	2.0	2.8	3.2	4.5	5.5	7.1	105	109	117	118
95°	*	*		*	*	*					10	109	.26	.30	.71	1.0	1.4	1.8	2.2	2.7	3.5	85	85	90	101
	*	*		*	*	*					15	134	.53	.75	1.1	1.5	2.1	2.4	3.4	4.1	5.3	90	95	100	105
	*	*	*			*					20	159	.71	1.0	1.4	2.0	2.8	3.2	4.5	5.5	7.1	91	95	100	105
	*	*		*	*	*					30	133	1.1	1.5	2.1	3.0	4.2	4.7	6.7	8.2	10.8	91	95	101	105
	*	*	*			*					40	153	1.4	2.0	2.8	4.0	5.7	6.3	8.9	11.0	14.1	12	91	100	105
	*	*		*	*	*					50	172	1.8	2.5	3.5	5.0	7.1	7.9	11.2	13.1	17.7	13	91	99	101
	*	*	*			*					60	189	2.1	3.0	4.2	6.0	8.5	9.5	13.4	16.4	21	13	91	99	101
	*	*	*			*					70	203	2.5	3.5	4.9	7.0	9.9	11.1	15.7	19.2	25	13	91	99	101
			*								80	217	2.8	4.0	5.7	8.0	11.3	12.5	17.8	22	26	13	91	99	102
			*								100	243	3.5	5.0	7.1	10.0	14.1	15.8	22	27	36	13	91	99	102
		*								150	287	5.3	7.5	10.4	15.0	21	24	34	41	52	13	91	99	102	
			*							400	472	14.1	20	28	40	57	63	89	110	141	13	91	99	102	
80°	*	*	*	*	*	*					10	109	.26	.30	.71	1.0	1.4	1.8	2.2	2.7	3.5	73	80	84	87
	*	*		*	*	*					15	134	.53	.75	1.1	1.5	2.1	2.4	3.4	4.1	5.3	74	80	83	86
	*	*	*	*	*	*					20	159	.71	1.0	1.4	2.0	2.8	3.2	4.5	5.5	7.1	74	80	83	86
	*	*	*	*	*	*					30	133	1.1	1.5	2.1	3.0	4.2	4.7	6.7	8.2	10.8	74	80	83	86
	*	*	*	*	*	*					40	163	1.4	2.0	2.8	4.0	5.7	6.3	8.9	11.0	14.1	74	80	83	86
	*	*	*	*	*	*					50	172	1.8	2.5	3.5	5.0	7.1	7.9	11.2	13.1	17.7	74	80	83	86
	*	*	*	*	*	*					60	189	2.1	3.0	4.2	6.0	8.5	9.5	13.4	16.4	21	75	80	83	86
	*	*	*	*	*	*					70	203	2.5	3.5	4.9	7.0	9.9	11.1	15.7	19.2	25	75	80	83	86
			*	*							100	243	3.5	5.0	7.1	10.0	14.1	15.8	22	27	36	75	80	83	86
			*	*							150	287	5.3	7.5	10.4	15.0	21	24	34	41	52	73	80	84	86
			*	*						200	343	7.1	10.0	14.1	20	28	32	45	55	71	74	80	82	85	
			*							400	472	14.1	20	28	40	57	63	89	110	141	79	80	81	83	
				*						500	529	17.7	25	35	50	71	79	111	132	177	79	80	81	83	
				*						590	569	21	29	41	58	82	92	130	159	206	79	80	81	83	

Nota. Fuente: Adaptado de Download the VeeJet® Flat Spray Nozzles Catalog | Spraying Systems España.

Figura 49.

Geometría proyección de la boquilla respecto a la canal



Nota. Fuente: Elaboración Propia

5.1.17 Insertos en tubería.

Este tipo de practica es mayormente desarrollada en los talleres de metalmecánica, donde el conocimiento es aportado por aprendices industriales; el cual consta de la siguiente metodología:

- Medición de los tubos a ensamblar
- Trazado de círculos y líneas para obtener distancias de la plantilla
- Calcar la plantilla
- Galga de la plantilla en tubo injerto
- Corte y esmerilado de tubo injerto trazado
- Soldadura de tubos

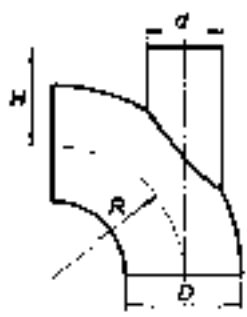
Se debe definir los diámetros de las tuberías, a los cuales se le realizarán los insertos, para

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

ello se define el ángulo al cual estarán unidos por la soldadura. Utilizando la geometría descriptiva se realizan las proyecciones en otras vistas y se definen las dimensiones de las galgas que sirven como referencia del trazado del inserto. Los bocetos pueden ser realizados manualmente o por CAD; se debe llevar a cabo un trazo de una línea horizontal en vista frontal, donde se representa la unión de los diámetros mayor y menor de los tubos; luego se marca la angulación en la vista lateral del inserto de los tubos que se desea realizar, así como la línea de acción del ángulo. Se traza la proyección de la unión de las tuberías cuyo centro será en la intersección del eje de los tubos. Luego se divide en N partes según sea su precisión y los puntos donde se interceptan. Inventor posee una herramienta denominada chapa metálica el cual realiza este tipo de plantilla.

Figura 51 .

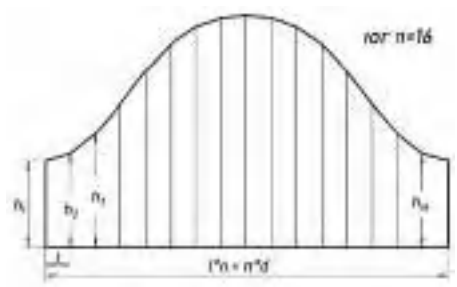
Geometría de unión de tubos



38	38
511	50

Figura 50.

Dibujo de galga.



$n \cdot d = 119.38 \quad (= 11.94)$

- h1 = 38.36
- h2 = 44.55
- h3 = 65.73
- h4 = 100.00
- h5 = 100.00
- h6 = 100.00
- h7 = 100.00
- h8 = 100.00
- h9 = 65.73
- h10 = 44.55
- h11 = 38.36

Nota. Tomado de la aplicación flat pattern.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1.17.1 Análisis de fórmula para obtención de plantilla. Se hace un análisis trigonométrico con el cual se obtienen las siguientes ecuaciones que rigen la posición.

Figura 52.

Geometría de inserto (Vista frontal y lateral).

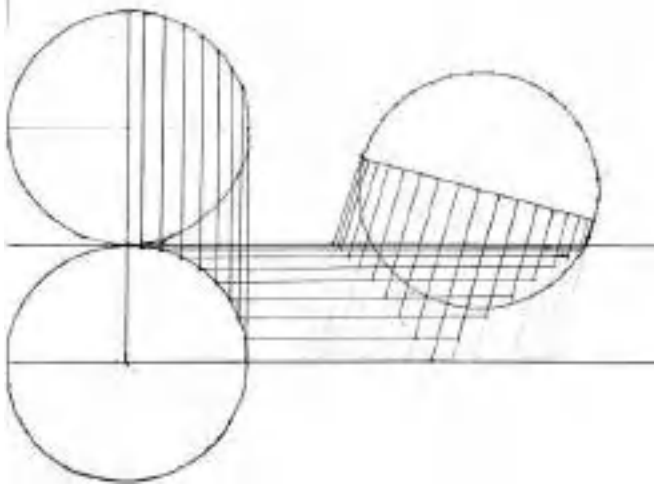
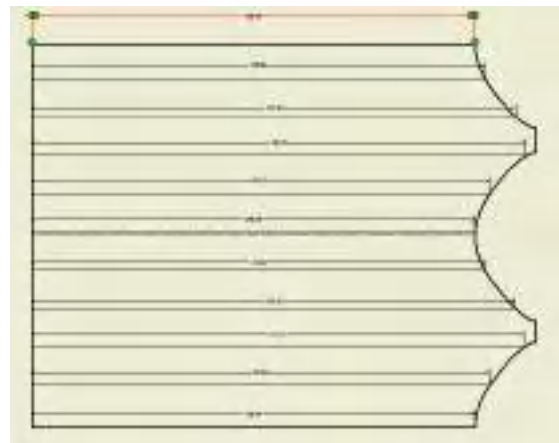


Figura 53.

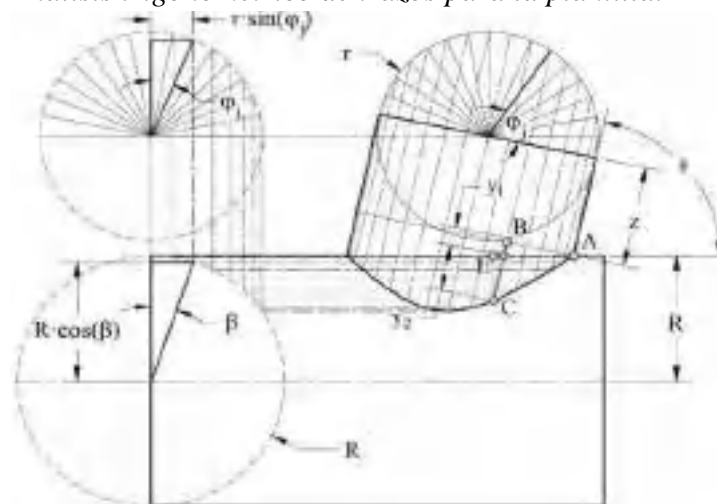
Plantilla de la galga.



Nota. Elaboración Propia del autor

Figura 54.

Análisis trigonométrico de trazos para la plantilla.



Nota. Elaboración propia del autor

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1.17.2 Ecuaciones del análisis trigonométrico de los insertos de tubería.

$$y_1 = \frac{L_{AB}}{\tan\theta}$$

$$y_1 = \frac{r - r\cos\varphi}{\tan\theta}$$

$$\varphi = \frac{\pi j}{N}$$

$$L_{EC} = R - R\cos\beta$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{r\sin\varphi}{R}\right)$$

$$L_{EC} = R\left\{1 - \cos\left[\sin^{-1}\left(\frac{r\sin\varphi}{R}\right)\right]\right\}$$

r: radio interno del tubo injerto

R: Radio externo del tubo base

Z: Distancia entre el eje del tubo injerto con respecto al punto A

Θ : Angulo del inserto

N: Numero de divisiones

La siguiente formula general es el resultado de la distancia de la plantilla en cada punto “j”

$$D_p(j) = \left(\frac{r - r\cos\left(\frac{\pi j}{N}\right)}{\tan\theta} + Z + R\left\{1 - \cos\left[\sin^{-1}\left(\frac{r\sin\left(\frac{\pi j}{N}\right)}{R}\right)\right]\right\}\right)$$

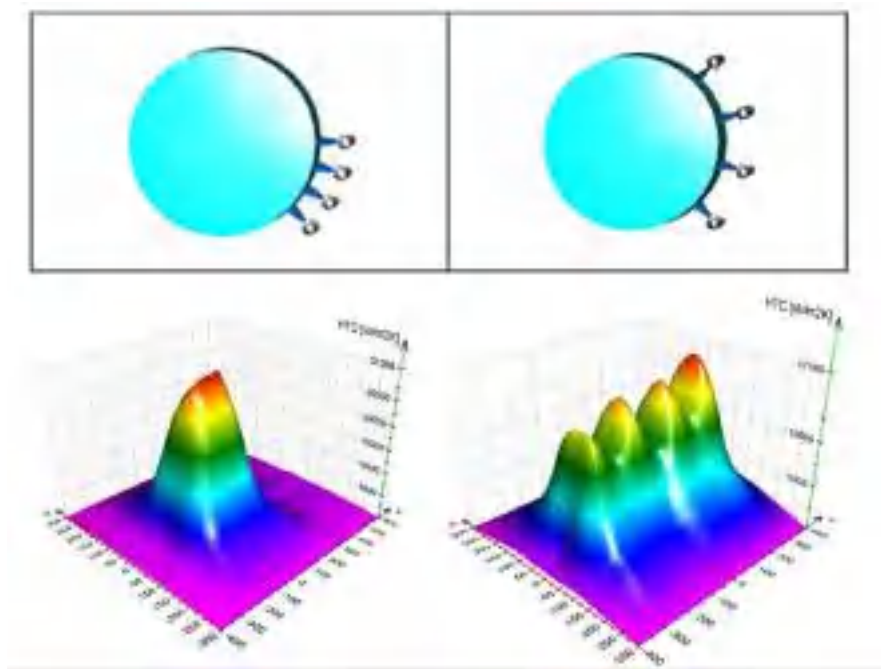
SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

5.1.18 Simulación

El enfriamiento óptimo de los rodillos se basa en dos aspectos, uno de ellos es la temperatura que disminuye la durabilidad de la capa superficial y la otra es la deformación plástica. En la figura 57 la posición de las boquillas en la distribución del perímetro del cilindro laminador, las boquillas deben estar lo más cerca posible, el objetivo es cumplir el máximo HTC. En las tres situaciones cuando las boquillas se encuentran más cerca el área es más pequeña y alcanza al valor máximo de HTC y no debe presentarse picos debido a que si se presentan discontinuidades la transferencia de calor no es constante y por ello la presencia de grietas térmicas y fátiga térmicas serán problemas más a futuro para el trabajo del cilindro laminador.

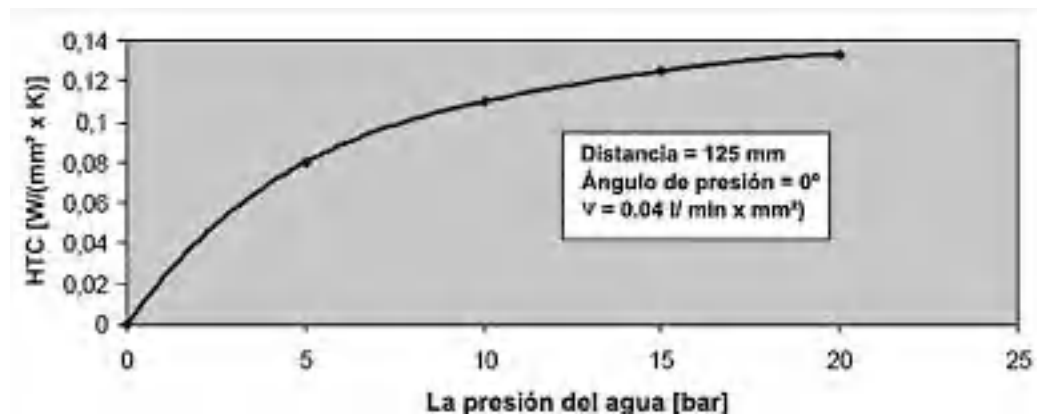
Figura 55.

Distancia entre boquillas.



Nota. Fuente: P. Kotrbacek, J. H. (2013). OPTIMIZATION OF WORKING ROLL COOLING IN HOT ROLLING

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

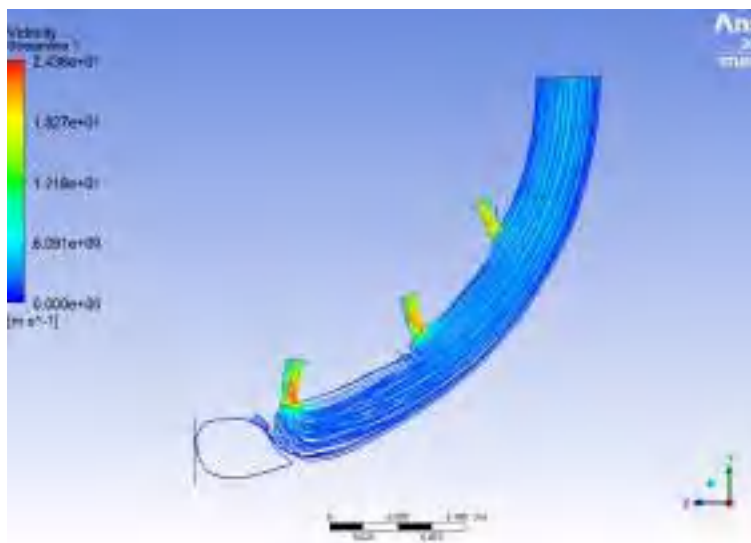
Figura 56.*Influencia de la presión en HTC*

Nota. Tomado de(Ikeda, Cilindros, Anillo y Guías- Escuela tecnica de laminacion, 2013)

El valor medio de HTC es utilizado como criterio de intensidad de enfriamiento; el HTC aumenta a medida que aumenta la refrigeración entre un rango de 3 a 8 bares; y las boquillas están diseñadas para soportar estas presiones. La presión es proporcional al aumento del caudal. Se exportado el archivo de solid Word 2019 a ANSYS 2024, poniendo condiciones de geometría, flujo laminar, las condiciones de contorno del volumen infinito con método de épsilon, para identificar velocidades y presiones en un estado estacionario.

Figura 57.

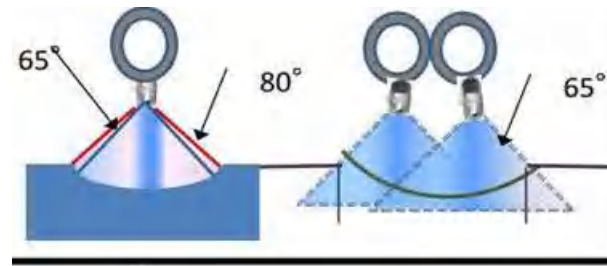
Simulación en ANSYS del sistema de refrigeración



Nota. Fuente: Elaboración propia del autor

Parámetros de diseño

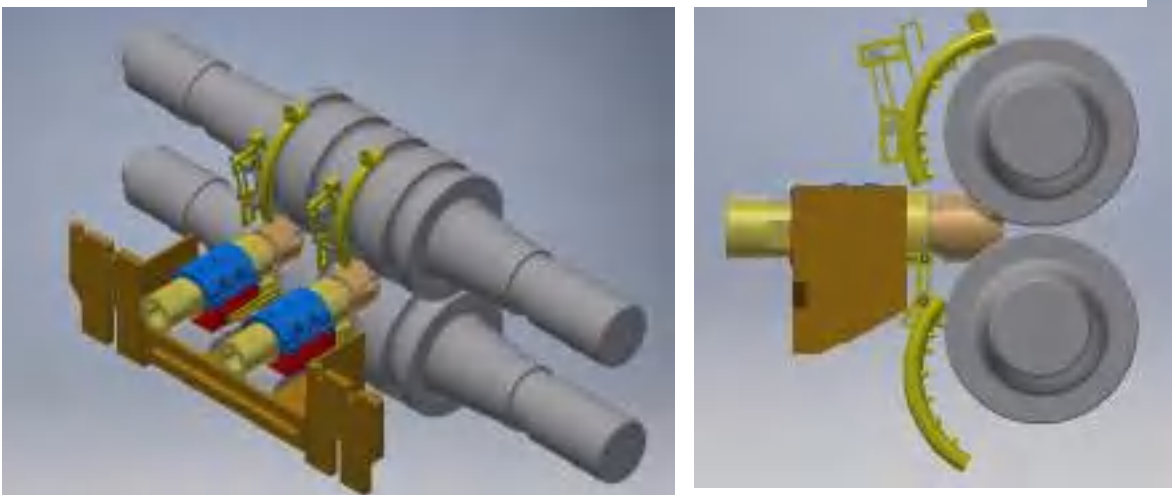
Angulo de cobertura	120°
Espaciamiento entre toberas	15°
Diámetro de tubería	1 “
Boquilla	Se escogieron las boquillas de Aspersión de cono lleno, Veejet HH25, Sistemas de atomizadores, utilizados en refrigeración de cilindros $C_d = 0,95$.

Posición de las boquillas**Angulo de inclinación de toberas**

30°

5.1.19 Diseño en Inventor

El programa asistido por computador (Inventor) ha sido el software utilizado para realizar el diseño basado en los cálculos determinados anteriormente. De acuerdo con las dimensiones de las cajas laminadoras actuales, se adapta el prototipo a la forma de los cilindros según el plano y el bastidor brindados por acerías paz del rio S.A.S.

Figura 58.*Bocetos*

Nota. Fuente: Elaboración propia

6 Construcción del Sistema de Refrigeración

Se desarrollan diferentes procesos para la construcción del sistema de refrigeración:

- Proceso preoperacional
- Construcción del prototipo
- Resultados

6.1 Proceso Preoperacional

Las actividades preoperacionales pertinentes para llevar a cabo el proceso de construcción del prototipo presentado, como:

- Alistamiento de materiales.
- Diligenciamiento de los formatos de inspección preoperacional de equipos.
- Delegación de funciones a los operadores encargados del apoyo en diferentes áreas.
- Socialización planos de construcción y ensamblaje.

6.2 Materiales

6.2.1.1 Tubería. Es la materia prima principal en el proceso de fabricación del sistema de refrigeración. En el taller de herramientas se cuenta con acero negro 1 ¼ in, ½ in y ¼ in y en acero galvanizado de 1 in, 1 ½ in y 2 in. La tubería galvanizada astm A53, está destinada a las aplicaciones mecánicas y de altas presiones, al igual que es aceptable en usos ordinarios para la conducción de vapor, agua y gas.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Tabla 25.*Precios de materiales*

Tubería	precios
Tubo galvanizado de 2" x 6,40 mts	\$ 215.258 pesos
Tubo 1 ½"	\$ 156.000 pesos
Tubo de 1"	\$ 99.040 pesos

Figura 59.*Tubería.*

Nota. Elaborado por el autor

6.2.1.2 Láminas. Este producto es importante para la fabricación de las ranuras que permite el movimiento de traslación de la posición de la refrigeración.

Figura 60.

Patio de lámina.



Nota. Elaboración propia del autor

6.2.1.3 Boquillas. Las boquillas veetjet h $\frac{1}{4}$ u es un elemento principal en el aspersor del chorro que permite el flujo direccionado del fluido refrigerante.

Figura 61.

Almacenamiento de boquilla.



Nota. Elaboración propia del autor

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

6.2.1.4 Niples y codos. Los niples son elementos elaborados en el taller de herramientas en el torno convencional fabricado bajo el libro de casillas de rosca briggs americana para tubos de gas, agua y vapor, que tiene un numero de hilos por pulgada de 11 ½ para un diámetro nominal 1 ½ in, según casillas. Los codos de 1 ½ in son solicitados en fabrica. La fabricación cuesta 40000 x niple.

Figura 63.

Medición de Niple



Figura 62.

Acople rápido ½ in



Nota. Elaboración Propia del autor.

6.2.1.5 Dobladora de tubos. Es un equipo hidráulico, accionado por un motor eléctrico de 115 v como fuente motriz, conectado a una bomba hidráulica de engranajes de 1 hp, que alimenta un cilindro pistón, el cual acciona tanto la entrada como la salida de la cámara del vástago de accionamiento manual; cuenta con varias matrices de curvado compuestas por 2 piezas de posición variable en la dobladora, las cuales se adaptan según el radio específico. La matriz de curvatura tiene varios diámetros de tubería, estos pueden cambiar de posición según el rango de diámetro. Tiene un precio de 12'000.000 de pesos, precio por cada doblado es de 40.000 por cada tubo sch 40 independiente del diámetro.

Figura 64.

Dobladora de tubos.



Nota. Elaboración propia del autor

6.2.1.6 Equipos de soldadura. El equipo de soldadura Lincon electric es un equipo multiprocesos de corriente continua, y tiene un precio en el mercado de \$ 1'479.900 de pesos donde se puede regular la intensidad a través del electrodo que se utilice para soldar. Los Cables de masa y pinza porta electrodo se deben ubicar de la siguiente manera: Cable negativo en polo a tierra(masa) y cable positivo se conecta a la pinza. Se utilizan diferentes tipos de electrodos como chaflan, electrodo 6010, 6013. El electrodo chafla esta diseñado para biselar, chaflanear ranuras o perforar cualquier tipo de material ferroso. El electrodo 6010 es adecuado para cordones de raíz en las estructuras, tanques, laminas gruesas y el electrodo 6013 es utilizado en aceros al bajo carbono. Precio x día de 150.000 y el soldador 1 A 300.000 el día.

Figura 65.

Equipo de soldadura.



Nota. Equipo de soldadura Lincon Electric. Fuente de las fotografías elaboración propia.

6.3 Formatos de Inspección de Equipos

Los formatos operacionales son documentos que permiten verificar el estado actual de los equipos. El operador debe diligenciarlos con el fin de llevar un registro o evidencia del estado de estos. Para todos los equipos como pulidoras, esmeriladora, taladro, cortadora de tubos, torno y equipo de soldadura se cuenta con un formato preoperacional.

6.4 Construcción del Prototipo

El desarrollo de los prototipos consiste en la mejor continua, basados cada una de las pruebas y errores, los primeros prototipos no han cumplido con las especificaciones requeridas del diseño por diferentes causas, pero en el transcurso del proceso se han implementado acciones de mejora en cada una de las fallas, hasta lograr el prototipo adecuado.

6.4.1 Primera Fabricación del Prototipo

Procedimiento. Se utiliza una broca de $\frac{3}{4}$ in en el taladro y se realiza la primera perforación

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

en las flautas de refrigeración, específicamente en la tubería de 1 ½ in de acero galvanizado. Se tuvo que fabricar una matriz con electrodos con ángulos de 30 ° de separación para poder posicionar fácilmente las uniones de las boquillas. Los resultados generales son positivos pero el tiempo de perforación es de aproximadamente 1 hora y requiere cambios de posición en la perforación lo que hace que no sea eficiente la producción de varios prototipos. El servicio del taladro 10.000 por perforación de 5/16” hasta ½”, 30.000 en adelante

Figura 67.

Taladro.



Nota. Elaboración propia del autor

El acabado superficial se realiza usando la electroerosionadora, una herramienta de mecanizado que utiliza energía eléctrica para mejor precisión.

Figura 68.*Electroerosionadora.*

Nota. Elaboración propia del autor

Se realiza corte con pulidora makita de las uniones de $\frac{3}{4}$ de carbono con un ángulo de 30° para unir las por medio de soldadura 6010 como raíz.

Figura 69.*Unión $\frac{1}{4}$.*

Nota. Elaboración propia del autor

Figura 70.*Matriz de posicionamiento boquillas 30°* 

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

El operador pailero especializado en cortes de tubería marcaciones precisas y conocimientos básicos de diseño y marcación realizando cortes precisos \$180.000 pesos x día

Figura 72.

Pulidora.



Figura 71.

Electrodo Chaflanarco.



Nota. Fuente: Elaboración del autor

6.4.2 Segunda Fabricación del Prototipo

Procedimiento. En el segundo proceso de fabricación del prototipo, se mantiene el diámetro de tubería de 1 ½ in con la continuidad de un tubo de 1 in que permite el ángulo de cobertura de 120°. El número de boquillas aumentó y los ángulos del chorro cumplen el área de cobertura de la superficie del canal, pero la reducción de la tubería a 1 in no cumple con los requerimientos técnicos, igualmente el cuerpo de la alimentación es rígido y no puede variar el desplazamiento de la flauta en cuanto disminuye el diámetro del cilindro por rectificado.

6.4.3 Tercera Fabricación del Prototipo

Procedimiento. La tercera fabricación del prototipo se realiza con tubería de 1 ½ in de

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

manera uniforme cumpliendo con el ángulo de cobertura y los números de boquillas. La distancia de la tabla a la boquilla posee un rango muy bajo en el desplazamiento de la flauta. Las refrigeraciones están soportadas por eslabones correderas para su desplazamiento, según el diámetro del cilindro.

Resultados. La sujeción de la refrigeración es favorable y el espacio dimensional es exacto para su funcionamiento.

6.4.4 Cuarta Fabricación del Prototipo

Procedimiento. A diferencia de los prototipos anteriores, en este caso se variaron los diámetros de las tuberías con el fin de lograr la presión requerida, del mismo modo, dimensionalmente su ubicación dentro de las cajas laminadoras permite una traslación con rangos de carreras de acuerdo con la especificación del diámetro del cilindro.

Figura 74.

Cuarto prototipo.



Nota. Elaboración propia del autor

Resultados. En este último prototipo se mejoró usando la soldadura mig, adicionalmente se mejoraron la dirección de las boquillas y el ángulo de cobertura fue acertado. El montaje,

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

desmontaje y mantenimiento del prototipo por parte del operador laminador es funcional. Además, cumple con todos los procedimientos técnicos, las pruebas de dimensión, de presiones, los ángulos de chorro y demás requerimientos.

Tabla 26.

Costo neto de fabricación de prototipo




Materiales	precios
Tubo de 2"x 20cm	\$ 6.700 pesos
Tubo de 1"x 2 mts	\$ 30.950 pesos
Lamina de ½" 25cm x 10cm	\$ 9.259 pesos
Boquillas veet jet 1/4	\$ 33.000 pesos
Doblado de 2 tubos	\$ 40.000 pesos
Operador x dia	\$ 180.000 pesos
Alquiler equipo de soldadura	\$ 150.000 pesos
Acople rápido Parte A OPW 1 1/2"	\$ 43.260 pesos
Acople rápido Parte D OPW 1 1/2"	\$ 60.000 pesos
Uniones Simple rosca NPT 1/4" acero al carbon.	\$ 1.450 pesos
Total	\$ 582.160 pesos

Nota. Elaboración propia del autor

6.4.5 Evolución

Tabla 27.

Tabla evolutiva.

Prototipos	Fotografía
<p style="text-align: center;">Diseño Actual</p> <p>El primer diseño es el que actualmente se encuentra implementado y presenta inconvenientes en dimensiones de la distribución de la refrigeración.</p>	
<p style="text-align: center;">Diseño 1</p> <p>Se aumenta la presión a 13 psi, incumple el ángulo de cobertura, al igual que el direccionamiento de las boquillas. \$ 550.000 pesos</p>	
<p style="text-align: center;">Diseño 2</p> <p>Se aumenta el número de boquillas, al igual que se adiciona ángulo de cobertura, la parte de la alimentación no cumple la uniformidad de la distribución. \$ 520.000 pesos</p>	

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

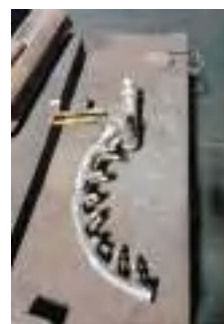
Diseño 3

El diseño es versátil y adaptable según posición requerida. Al igual que la parte de la alimentación se establece en la parte superior. \$ 540.000 pesos



Diseño 4

El último prototipo cumple los estándares de los ángulos de cobertura, número de boquillas, presión y caudal. \$ 582.160 pesos



6.5 Lista de costos

En la tabla 29 se especifica los costos de los materiales e insumos del estudiante que ha costeado la empresa Acerías Paz del rio S.A para el sustento de seis meses del estudiante en la empresa, al igual que equipos, papelería, transporte, alimentación y elementos de protección personal.

Tabla 28.

Presupuesto del estudiante en la práctica empresarial.

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Computador	1	\$ 829.000	\$ 829.000
Papelería		\$ 50.000	\$ 50.000
Elementos de protección personal		\$ 300.000	\$ 300.000
Salario		\$ 1.300.000	\$ 7.800.000
Transporte	6	\$ 200.000	\$ 1.200.000
Alimentación	6	\$ 45.000	\$ 270.000
			\$ 10.449.000
		Total	

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Nota. Fuente: Elaboración propia del autor

En la Figura 30 se observa el costo de materiales en SAP, en la empresa Acerías paz del rio, donde las especificaciones de cada producto con la referencia y su valor unitario, al igual que cantidades de diferentes productos y el costo total de la manufactura del prototipo.

Tabla 29.

Presupuesto de materiales y construcción

Concepto	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Tubería 1 1/2" x 6 m	7	\$ 28.000	\$ 196.000
Boquillas aspersores 1/4 veet H 1/4 U ss 80 40 Npt	20	\$ 33.000	\$ 660.000
Uniones Simple rosca NPT 1/4" acero al carbon.	20	\$ 1.450	\$ 29.000
Acople rápido Parte A OPW 1 1/2"	4	\$ 43.260	\$ 173.040
Acople rápido Parte D OPW 1 1/2"	4	\$ 60.000	\$ 240.000
Manómetro de glicerina de 10 bares	1	\$ 146.000	\$ 146.000
		Total	\$ 1.298.040

Nota. Fuente: Elaboración propia del autor

La empresa Acerías Paz del rio brinda los materiales y mano de obra para la construcción del prototipo de refrigeración. Se hace un estimado alrededor de todo lo que se ha gastado durante la practica empresarial en la empresa y es un estimado de \$ 11'747.040 de pesos, Once millones setecientos cuarenta y siete mil cuarenta pesos.

7 Resultados

La fabricación del primer prototipo en la figura 74. En el taladro tiene lapsos de tiempo de perforación de 30 seg, para el cambio del ajuste de la pieza, los tiempos se aproximan al minuto, de igual forma los tiempos de cambios de broca de $\frac{1}{4}$ in como guía de penetración a $\frac{3}{4}$ in son extensos en comparación con otros métodos. La geometría como el ángulo de cobertura, la distancia entre la tabla y la boquilla no coinciden, por ello la evaluación del diseño es defectuoso y no cumple con los estándares requeridos. La resistencia al flujo que opone las flautas de refrigeración con el sistema de boquillas de chorro plano alcanza a una presión de los 12 psi. Se recomienda utilizar diámetros de tubería menores para la elevación de la presión al igual que mayor rango de posición en cuanto los diámetros de los cilindros varíen según su maquinado.

Figura 75.

Elaboración del primer prototipo



Nota: Elaboración propia del autor

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

En la fabricación del segundo prototipo representando en la figura 75; La presión permanece en los 12 psi; la ubicación de la alimentación de las flautas no permite una distribución uniforme de la presión lo cual hace que en la parte más alta de la flauta no alcance a alimentar con la presión suficiente, pero incrementa el ángulo de cobertura. Se concluye un diseño fallido.

Figura 76.

Fabricación del segundo prototipo



Nota. Elaboración propia del autor

En la fabricación del tercer prototipo que muestra en la figura 76; cumple características técnicas para el cilindro inferior y adaptar al cuerpo de la guía como facilidad del operador para trasladar cada vez que tenga que ser reducido el cilindro laminador. No he logrado elevar la presión y el sistema de alimentación se encuentra en condiciones no ergonómicas para el operador.

Figura 77.

Fabricación del tercer prototipo



Nota. Elaboración propia del autor

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

En la figura 77 es el resultado mas eficiente y optimo del diseño de refrigeración; completamente adaptable para cilindro superior e inferior, cumple con características de diseño como geometría, presiones, caudales, ángulo de incidencia de chorro, ángulo de chorro, paso entre boquillas, correderas, fácil manejo para el operador de instalación para mantenimiento, bajo precio de materiales y fácil manufactura.

Figura 78.

Fabricación del cuarto prototipo



Nota. Elaboración propia del autor

Los resultados a partir de las implementaciones de las mejoras de los sistemas de refrigeración no son inmediatos, se llevan un elevado ciclo de laminación y tonelaje producido por los cilindros laminadores, la variación de los diámetros de los cilindros laminadores cambia respecto a su radio después del rectificado. En Acerías Paz del Río S.A. la medición de desgaste en los cilindros laminadores es una forma de control para llevar a cabo un historial, documentación del rectificado y la vida útil que es realizado por el taller de cilindros. En la figura 81 los costos por mm rectificados en acerías paz del río .S.A es de los siguientes precios para los diferentes cajas laminadoras.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Tabla 30.*Costos por rectificado*

Caja	Mm vida útil	\$ mm	Total
1-5	64	\$323.653	\$20.713.792

Nota. Elaboración propia del autor**Tabla 31.***Control maquinado de cilindros.*

Paso	Desgaste de pasos (mm)		Barras laminadas
	Inferior	Superior	
1	1.3	0.9	5834
2	0.6	0.7	4644
3	1.5	1.3	5760
4	1.2	0.8	4785

Nota. Elaboración Propia del autor

Los costos aproximadamente por cada ciclo de trabajo del cilindro laminador antes de la implementación del sistema de refrigeración, el cual los mm rectificadas tienen una cantidad aproximada de entre el cilindro superior e inferior es de 8,3 mm en 33.636 toneladas de palanquilla y el costo de rectificado es \$ 2'589.224 de pesos.

Tabla 32.

Control de maquinado después de la implementación de la refrigeración

Paso	Desgaste de pasos (mm)		Barras laminadas
	Inferior	Superior	
1	1	0.6	5955
2	0.4	0.4	4870
3	1.2	1	6046
4	0,9	0.5	5029

Nota. Elaborado por el autor

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

La tabla 29 muestra los resultados de la última medición de los cilindros, donde los valores de los desgastes son de 6 mm en 35.040 toneladas equivale a \$ 1'941.918 de pesos, es uno de los resultados a partir de la implementación del sistema de refrigeración. En ello representan una mejora de \$ 647.306 pesos de ahorro por cada cambio de cilindro y un aumento de productividad es del 4 %.

El procedimiento que se lleva a cabo es por medio de plantillas en aluminio, el cual se realiza la medición según la luz que revela entre la plantilla y la canal del cilindro.

Figura 79.

Plantilla de medición.



Nota. Elaboración propia

La medición es realizada por el calibrador, el cual es registrada antes de realizar el mecanizado.

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Figura 80.

Medición del desbaste.



Nota. Elaboración propia

Después del mecanizado se realiza un ensayo no destructivo por tintas penetrantes, en donde la inspección es con el fin de identificar discontinuidades, grietas terminas o fisuras en las superficies de los materiales. Se aplica un líquido fluorescente sobre la superficie, dando un tiempo de espera aproximadamente 5 min, para aplicar el revelador el cual absorbe el líquido penetrador.

Figura 81.

Tintas penetrantes sobre cilindros laminadores.



Nota. Elaboración propia del autor

Las inspecciones visuales son notables al momento de la implementación del sistema de refrigeración¹⁰. Observamos disminución de calamina, grietas terminas, porosidades e

¹⁰ GONZALES, E. A. (2017). OPTIMIZACION DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO EN LOS CILINDROS DE LA CAJA DE

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

incrustaciones de laminilla.

Figura 82.

Inspección visual.



Nota. Fuente GONZALES, E. A. (2017). OPTIMIZACION DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO EN LOS CILINDROS DE LA CAJA DE DESBASTE DEL TREN DE LAMINACION DOS EN LA PLANTA TUTA DE LA EMPRESA GERDAU DIACO. Universidad pedagogica y tecnologica de colombia, 84

8. Conclusiones

1. El sistema de refrigeración tiene un papel importante; porque no solo disminuye la temperatura y las grietas térmicas de la superficie, sino que también limpia la calamina incrustada en las superficies de los canales.
2. Los resultados en la tabla 27 denominada evolutiva es una forma cuantitativa de evidenciar los parámetros como ángulo de cobertura, ángulo de incidencia, sistema de alimentación, dimensiones de tubería, presiones y caudal, de forma de llevar el seguimiento del trabajo, con las habilidades blandas adquiridas en el planeamiento y control de las actividades.
3. El aumento de la productividad de los cilindros laminadores es 4 % el cual permite el incremento de vida útil en la operación y con ello resulta un ahorro en rectificado de \$ 647.000 pesos por cada ciclo de trabajo.
4. El prototipo final tiene un costo aproximado de \$ 582.160 pesos el cual costa sus componentes y basados en los precios actuales en ferreterías colombianas.
5. El cumplimiento de parámetros como la presión de 0 bares a 2 bares se la logrado disminuyendo los diámetros de la tubería, ángulo de incidencia de no tener dirección el chorro a ser direccionada a 30 ° con uniones de rosca npt y ángulo de cobertura de 120°; son el resultado de un trabajo en equipo.
6. La simulación permite medir las gradientes que identifica el comportamiento del coeficiente de transferencia de calor HTC, en donde la posición de las boquillas a través del perímetro del cilindro evidencia que el área de contacto en la salida de la barra es el régimen donde se extraerá el calor y donde debe predominar la refrigeración.
7. Los resultados se evalúan a partir de los mm/ton que se registra por el operador

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

encargado en la rectificadora e inspecciones visuales del cual, se espera soluciones después de los 3 meses.

9. Recomendaciones

1. Realizar un monitoreo continuo, se recomienda realizar una lista de chequeo rutinario para revisar el estado y funcionamiento de estos prototipos.
2. Realizar una capacitación a los operadores de taller de herramientas, sobre el mantenimiento y limpieza del estado de las boquillas.
3. Implementar aparatos electrónicos como sensores de caudales (flujómetros) que permite captar la señal en estado real de la presión y caudal, para el monitorio desde el centro de operación de los sistemas que abarca el área de operación de laminación, en caso de obstrucciones o taponamientos.
4. Mejorar los sistemas de manufactura de la fabricación de estos dispositivos, como la dobladora de tubos, cortadora de tubos, formas de soldadura.
5. Mejorar el sistema de tratamientos de agua para la reducción de lodos y laminilla, el cual es un problema que termina afectando el sistema de refrigeración.

Referencias

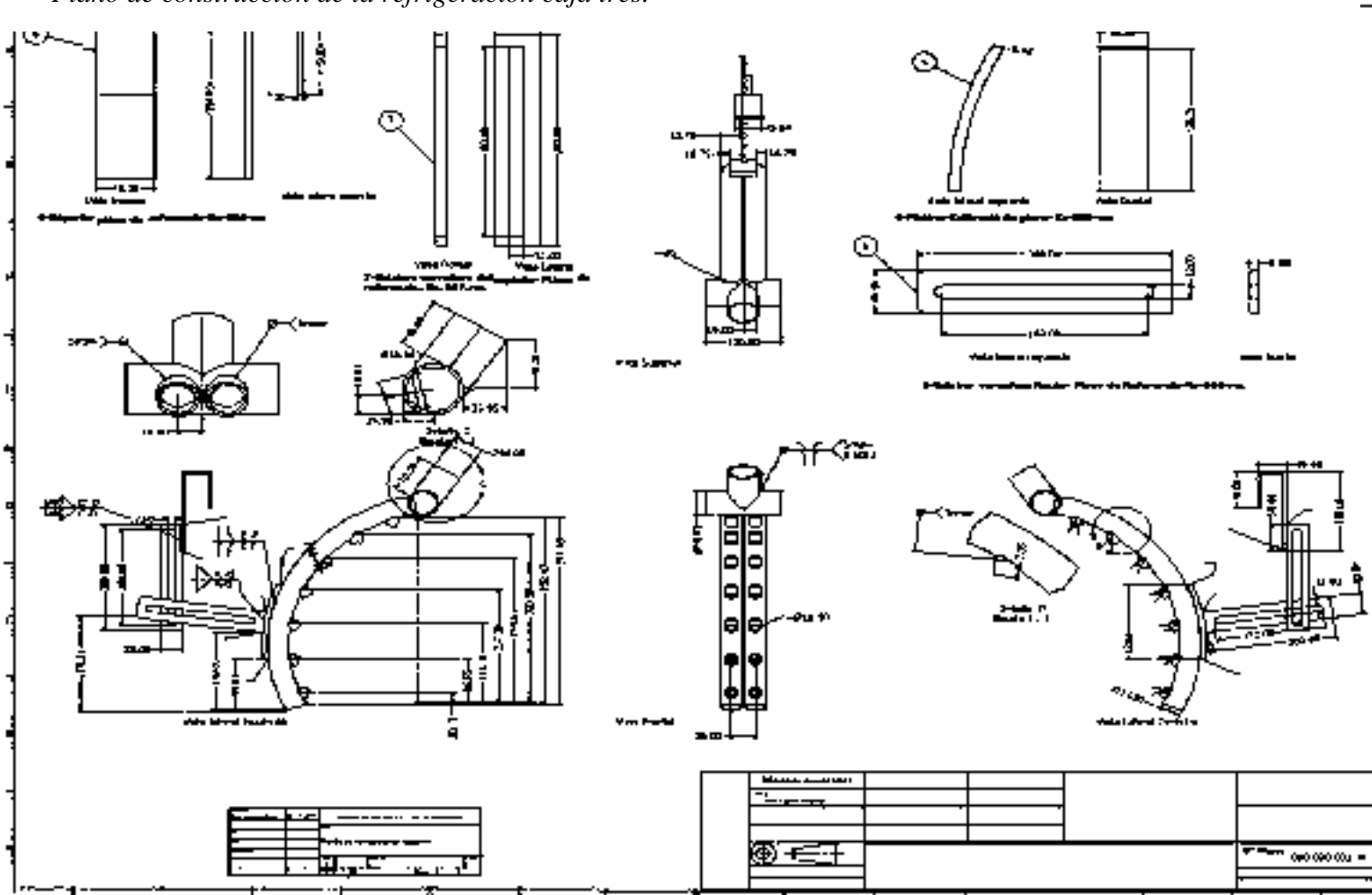
- (Votorantim), A. p. (s.f.). *Curso de laminacion*.
- Aguilar, S. H. (2022). Extractivismo, acero y ambiente: Acerías Paz del Río y el auge industrial en el Valle de Sogamoso, Boyacá (1954-1983). *Anuario de Historia Regional y de las Fronteras*.
- BRC Global rolls. (2022). *Refrigeracion de cilindros para productos largos*.
- Casillas, A. (1980). *Maquinas calculos de taller*.
- Gaitan, G. A. (2011). *Efecto de los parametros reologicos y petrograficos del carbon en la calidad del coque*.
- GONZALES, E. A. (2017). Optimizacion del proceso de enfriamiento en los cilindros de la caja de desbaste del tren de laminacion dos en la planta tuta de la empresa gerdau diaco. *Universidad pedagogica y tecnologica de colombia*, 84.
- Ikeda, P. K. (2013). *Cilindros, Anillo y Guias- Escuela tecnica de laminacion*.
- P. Kotrbacek, J. H. (2013). *Optimization of working roll cooling in hot rolling*.
- Raudensky, M. (2002). Enfriamiento óptimo de los rodillos en la laminación en caliente. *Elservier*.
- Schroder, K. H. (2003). Descripcion basica de los fundamentos mecanicos de los cilindros de laminacion.
- SILVA. (1994). *curso de laminacion y calibracion de productos no planos*. Sao Pablo.
- Stevens. (1971).

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

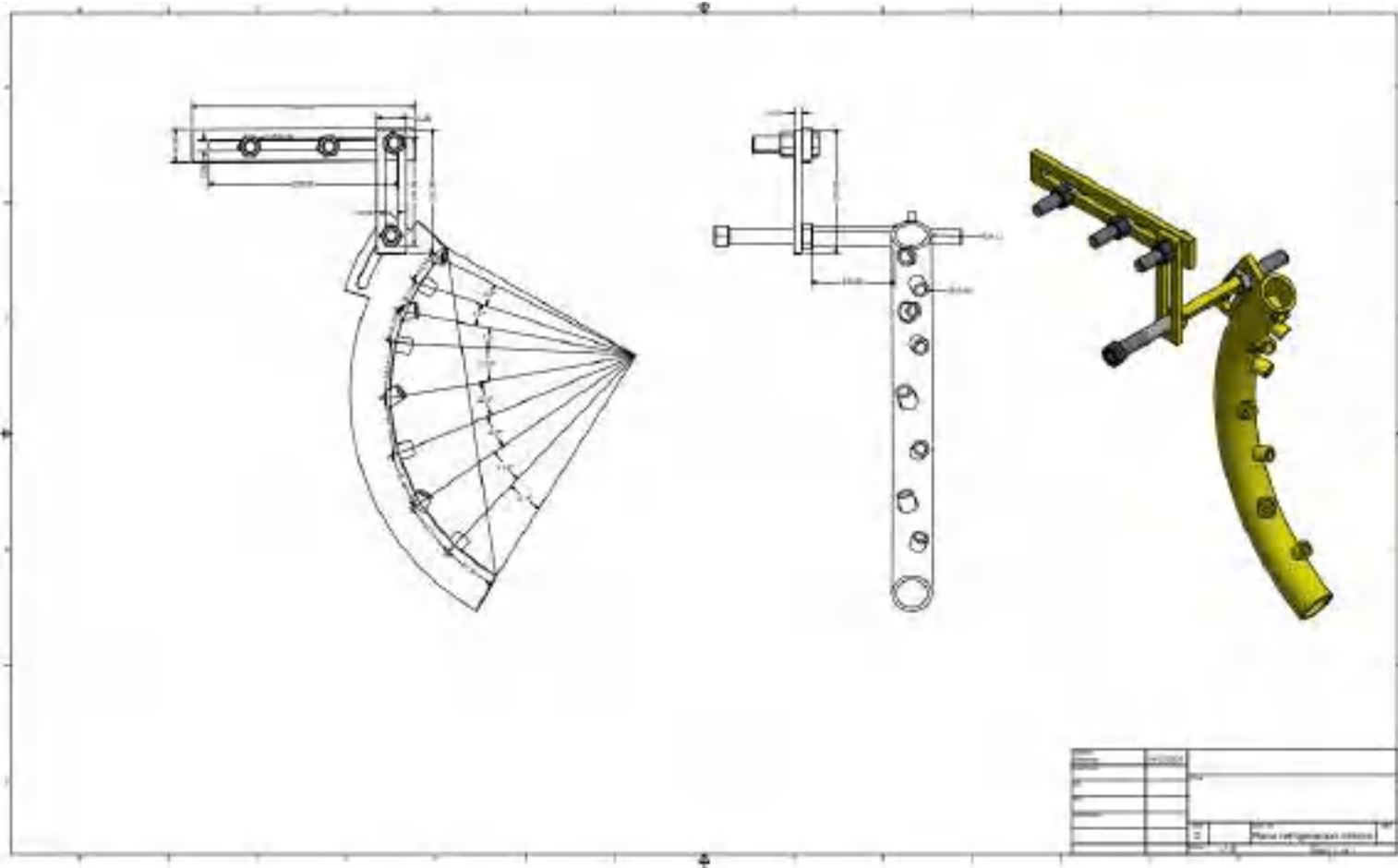
Apéndices

Apéndice A.

Plano de construcción de la refrigeración caja tres.



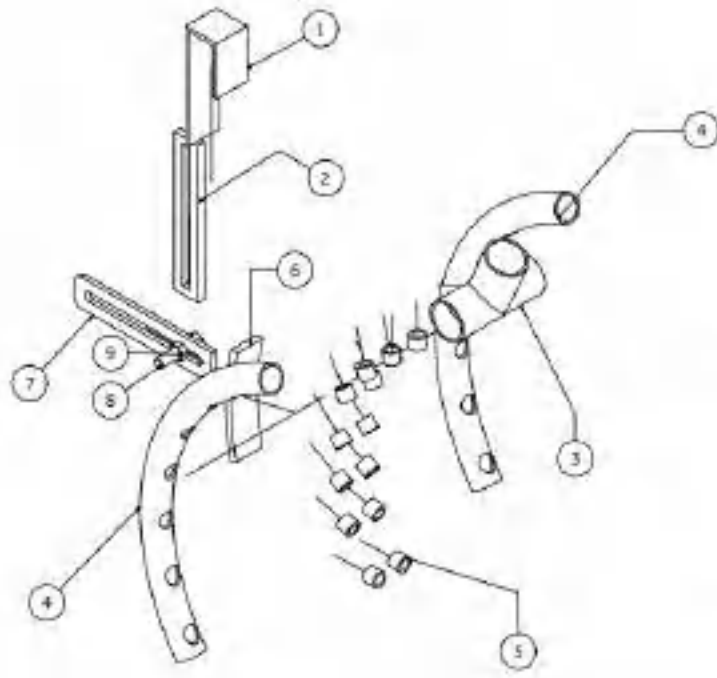
SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Apéndice B.*Plano construcción del sistema de refrigeración*

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Apéndice C.

Plano de ensamble del sistema de refrigeración caja 3

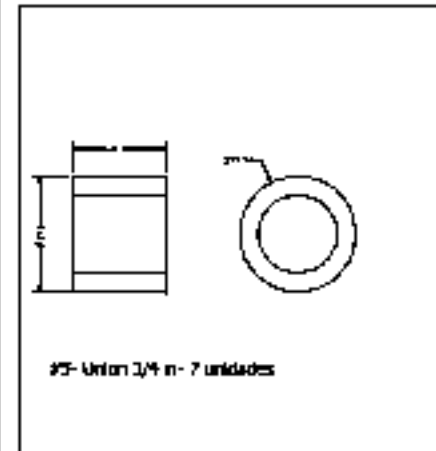
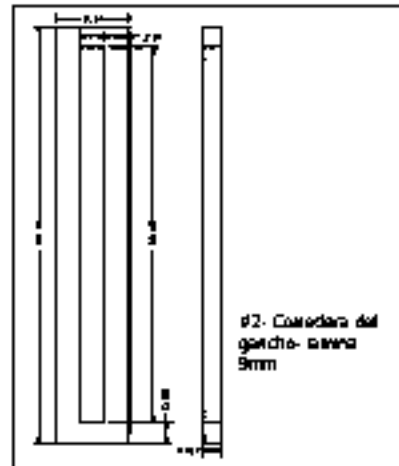
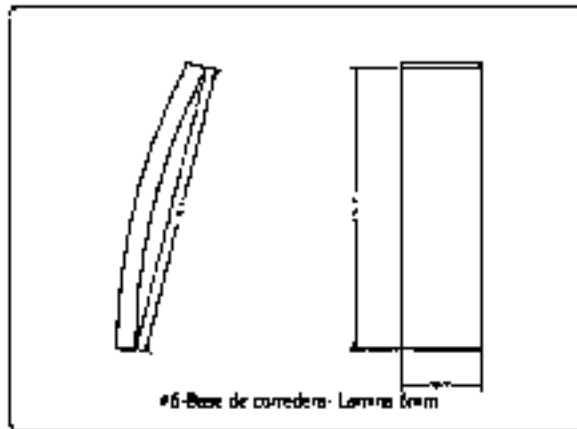
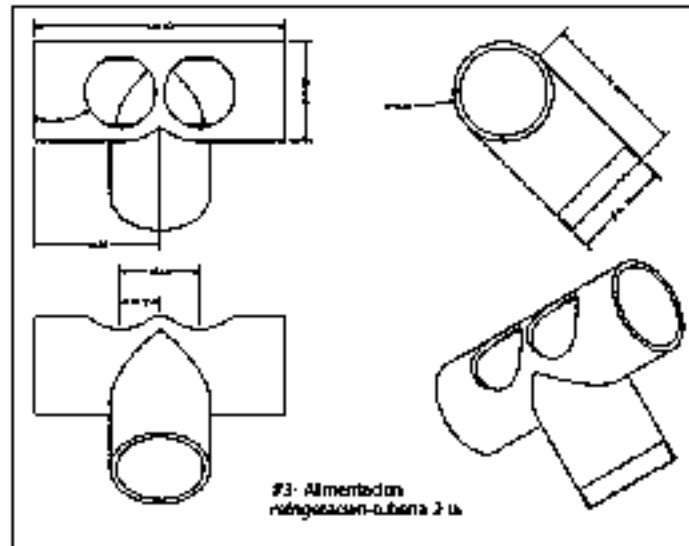
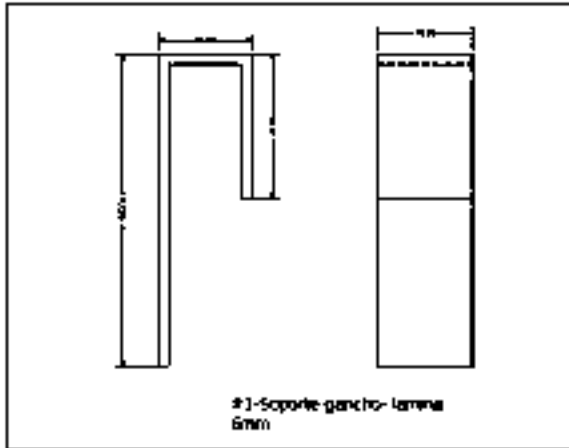


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1		soporte gancho
2	1		Corredora del gancho
3	1		Alimentacion refrigeracion Tuberia 1,3,4 in.
4	2		Flauta refrigeracion DM_1_1
5	14		union 3_4
6	1		lamina base de corredora 2
7	1		Corredora flauta_opcion 1
8	1	CRS 4322 - M12 x 50	Hex-Head Bolt
9	1	ISO B673 - M10 x 1	Hexagon nuts, style 1 - Product grades A and B

SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Apéndice D.

Plano de despiece de las partes del sistema de refrigeración de la caja tres



SISTEMA DE REFRIGERACION PARA ACERIAS PAZ DEL RIO

Apéndice E.

Partes del sistema de refrigeración caja 3

