



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE CILINDROS EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN PLANTA
PERFILES, SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**

Sebastián Javier Ramírez Méndez

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, Julio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE CILINDROS EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN PLANTA
PERFILES, SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SEBASTIÁN JAVIER RAMÍREZ MÉNDEZ
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JULIO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL I | Ing. Ángel Roberto Sic García |
| VOCAL II | Ing. Pablo Christian de León Rodríguez |
| VOCAL III | Ing. José Milton de León Bran |
| VOCAL IV | Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez |
| VOCAL V | Br. Carlos Enrique Gómez Donis |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda |
| SECRETARIA | Inga. Lesbia Magalí Herrera López |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE CILINDROS EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN PLANTA
PERFILES, SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 6 de junio de 2016.



Sebastián Javier Ramírez Méndez



Guatemala, 21 de mayo de 2018
REF.EPS.DOC.414.05.18.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

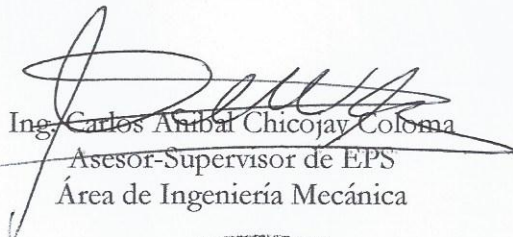
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Sebastián Javier Ramírez Méndez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201213250, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CILINDROS EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN PLANTA PERFILES, SIDERÚRGICA DE GUATEMALA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 21 de mayo de 2018
REF.EPS.D.192.05.18

Ing. Carlos Roberto Pérez Rodríguez
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

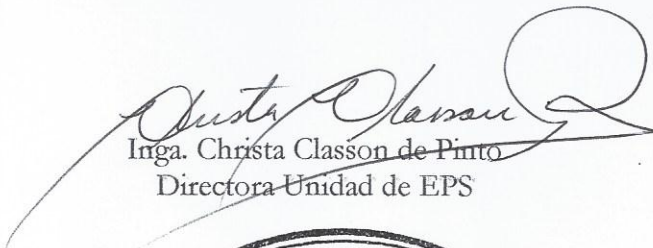
Estimado Ingeniero Pérez Rodríguez:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CILINDROS EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN PLANTA PERFILES, SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Sebastián Javier Ramírez Méndez** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS

CCdP/ra



Ref.E.I.M.197.2018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CILINDROS EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN PLANTA PERFILES, SIDERÚRGICA DE GUATEMALA.** del estudiante **Sebastián Javier Ramírez Méndez, CUI No. 2107010480906, Reg. Académico No. 201213250** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, julio de 2018

/aej

Universidad de San Carlos
De Guatemala

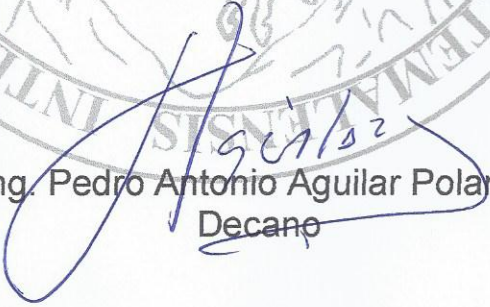


Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.242.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE CILINDROS EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN EN PLANTA PERFILES, SIDERÚRGICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Sebastián Javier Ramírez Méndez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, julio de 2018



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la oportunidad de culminar mis estudios y alcanzar esta meta.
- Mis padres** Héctor Javier Ramírez y Ramírez y Alicia María Méndez Rojas, por su amor y apoyo incondicional, siendo mi inspiración a ser cada vez mejor.
- Mis hermanos** Héctor, Juan Pablo, Cristina Ramírez Méndez, por ser parte importante de mi vida, por brindarme su apoyo y alegría.
- Mis abuelos** Por su cariño y sus sabios consejos, y a mis abuelos que ya no están dedico este triunfo porque sé que siempre estarán conmigo.
- Mis amigos** Henry Panteul, Marlon Ramírez, Renato Reyes, Erick Gallina, Ricardo Aguilar, Lester Morales, Hugo Hernández, Byron Pérez y a todos aquellos con quienes compartí a lo largo de mi carrera y me brindaron su confianza y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme la oportunidad de formarme como profesional, orgulloso de pertenecer a dicha casa de estudios.

Facultad de Ingeniería

Por brindarme los conocimientos y habilidades necesarias para desempeñarme como profesional.

**Escuela de
Ingeniería Mecánica**

Por compartir su experiencia y conocimientos a través de sus catedráticos.

Mi asesor

Ing. Carlos Aníbal Chicojay, por compartir sus conocimientos y experiencia en la elaboración de este trabajo.

**Aceros de
Guatemala, S. A.**

Por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación, especialmente al Ing. Mario Valenzuela y el Ing. Hugo Larios por darme las herramientas necesarias.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XI |
| GLOSARIO | XIII |
| RESUMEN | XV |
| OBJETIVOS | XVII |
| INTRODUCCIÓN | XIX |
| | |
| 1. ANTECEDENTES GENERALES | 1 |
| 1.1. Descripción de la empresa | 1 |
| 1.2. Ubicación | 1 |
| 1.3. Historia de la empresa | 2 |
| 1.3.1. Visión | 5 |
| 1.3.2. Misión | 5 |
| 1.4. Estructura organizacional | 5 |
| 1.5. Tipos de productos que comercializa | 8 |
| 1.5.1. Planta de barras y alambrón | 11 |
| 1.5.2. Planta de perfiles y barras | 12 |
| 1.5.3. Planta de corte y doble | 15 |
| 1.5.4. Planta de trefilación | 16 |
| 1.5.5. Planta de malla electro-soldada | 19 |
| 1.6. Departamento de Cajas & Guías | 21 |
| 1.6.1. Actividades | 21 |
| 1.6.2. Organigrama del departamento | 22 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2. | FASE DE INVESTIGACIÓN | 23 |
| 2.1. | Información técnica..... | 23 |
| 2.1.1. | Tipos de perfiles | 23 |
| 2.1.1.1. | Angular | 23 |
| 2.1.1.2. | Cuadrado..... | 24 |
| 2.1.1.3. | Planos (hembra)..... | 25 |
| 2.1.1.4. | Redondo liso..... | 27 |
| 2.1.2. | Diagrama de flujo de operaciones del proceso de laminación..... | 27 |
| 2.1.3. | Descripción del proceso de laminación..... | 31 |
| 2.1.3.1. | Temperatura del acero | 34 |
| 2.1.3.2. | Forma geométrica de la barra..... | 35 |
| 2.1.3.3. | Etapas del proceso | 35 |
| 2.1.4. | Descripción de maquinaria de planta perfiles | 36 |
| 2.1.4.1. | Horno..... | 36 |
| 2.1.4.2. | Cajas de laminación | 37 |
| 2.1.4.3. | Trenes de laminación | 40 |
| 2.1.4.4. | Cama de enfriamiento..... | 42 |
| 2.1.4.5. | Corte, enderezado y atado..... | 43 |
| 2.1.5. | Eficiencia | 43 |
| 2.1.6. | Características técnicas del hierro negro | 45 |
| 2.1.6.1. | Ventajas de utilizar tubería de acero negro | 47 |
| 2.1.6.2. | Desventajas de utilizar tubería de acero negro | 47 |
| 2.1.7. | Características técnicas del acero galvanizado | 48 |
| 2.1.8. | Características técnicas del acero inoxidable | 51 |
| 2.1.9. | Aspersor..... | 53 |
| 2.1.9.1. | Aspersores para tren de laminación | 54 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| 2.1.10. | Descripción del sistema de refrigeración..... | 55 |
| 2.1.10.1. | Agua indirecta..... | 55 |
| 2.1.10.2. | Agua directa | 56 |
| 3. | FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL | 59 |
| 3.1. | Condición actual del sistema de refrigeración..... | 59 |
| 3.2. | Presión necesaria para utilizar cilindros de acero rápido..... | 65 |
| 3.3. | Selección de los aspersores adecuados según la presión de trabajo | 70 |
| 3.3.1. | GX baja capacidad | 71 |
| 3.3.2. | GX estándar y alta capacidad | 72 |
| 3.3.3. | Pase de laminación | 76 |
| 3.4. | Dimensionamiento de la tubería | 80 |
| 3.5. | Distribución de los aspersores en cada tubería | 84 |
| 3.6. | Funcionamiento de bomba centrífuga KSB etanorm..... | 89 |
| 3.6.1. | Esquema de diseño y función | 91 |
| 3.6.2. | Características del ruido producido por este tipo de bomba..... | 94 |
| 3.7. | Bomba <i>Booster</i> | 100 |
| 3.8. | Comparación de la eficiencia propuesta y actual | 107 |
| 3.8.1. | Fundición estática | 107 |
| 3.8.2. | Fundición centrífuga | 108 |
| 3.8.3. | Cilindros para posiciones de desbaste..... | 110 |
| 3.8.4. | Cilindros para posiciones intermedias..... | 112 |
| 3.8.5. | Cilindros para las posiciones de acabado..... | 114 |
| 3.8.6. | Fundición nodular | 115 |
| 3.8.7. | Acero rápido..... | 116 |
| 3.8.8. | Desgaste por microgrietas..... | 120 |
| 3.8.9. | Desgaste por fricción o erosión | 120 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 3.9. | Costo del sistema propuesto | 122 |
| 3.9.1. | Preparativos iniciales..... | 123 |
| 3.9.2. | Alcances de la empresa que ejecutará dicho proyecto | 124 |
| 3.9.3. | Alcances de Sidegua | 124 |
| 3.9.4. | Características de los trabajos a realizar | 125 |
| 3.10. | Costos por pérdidas..... | 127 |
| 3.10.1. | Paradas programadas | 127 |
| 4. | FASE DE DOCENCIA..... | 131 |
| 4.1. | Importancia del cumplimiento de los estándares de calidad.. | 131 |
| 4.2. | Capacitación al personal de operación | 134 |
| 4.3. | Importancia de mantener una presión adecuada en el sistema de refrigeración | 138 |
| 4.4. | Presentación de la propuesta de mejora y avances para el proceso de laminación..... | 143 |
| 5. | MEDIO AMBIENTE | 149 |
| 5.1. | Reducción del consumo de agua utilizada en el proceso de laminación..... | 149 |
| 5.2. | Control de la calidad del agua | 152 |
| 5.3. | Impactos ambientales potenciales | 154 |
| | CONCLUSIONES..... | 157 |
| | RECOMENDACIONES | 159 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 161 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Ubicación geográfica de planta perfiles de Aceros de Guatemala. | 2 |
| 2. | Estructura organizacional de la Corporación Aceros de Guatemala. | 6 |
| 3. | Estructura organizacional de planta perfiles de Aceros de Guatemala. | 7 |
| 4. | Diagrama de proceso de producción de palanquilla de acero. | 10 |
| 5. | Diagrama de proceso de producción de barras. | 12 |
| 6. | Diagrama de proceso de producción de perfiles. | 14 |
| 7. | Diagrama de proceso de producción de corte y doble. | 16 |
| 8. | Diagrama de proceso de producción de trefilación. | 18 |
| 9. | Diagrama de proceso de producción de malla electro soldada. | 20 |
| 10. | Estructura organizacional del departamento de Cajas y Guías. | 22 |
| 11. | Diagrama de flujo de operaciones del proceso de laminación. | 28 |
| 12. | Molino de laminación armado. | 33 |
| 13. | Esquema de un molino de laminación. | 33 |
| 14. | Proceso de deformación. | 36 |
| 15. | Horno. | 37 |
| 16. | Cilindros para laminar planos. | 38 |
| 17. | Cilindros para laminar perfiles. | 38 |
| 18. | Partes del cilindro de laminación. | 39 |
| 19. | Esquema de pasadas. | 41 |
| 20. | Cama de enfriamiento. | 42 |
| 21. | Bodega de producto terminado. | 43 |
| 22. | Tubería de refrigeración de acero negro. | 48 |

| | | |
|-----|---|----|
| 23. | Esquema tren de laminación. | 54 |
| 24. | Esquema de tuberías de refrigeración. | 59 |
| 25. | Guía de laminación. | 60 |
| 26. | Tubería montada sobre bastidor. | 62 |
| 27. | Tubería acoplada a un molino de laminación. | 63 |
| 28. | Ranuras en los tubos de descarga. | 64 |
| 29. | Tubería de refrigeración reparada. | 64 |
| 30. | Tubería del área de desbaste. | 67 |
| 31. | Tubería rectangular. | 68 |
| 32. | Presión de bomba, cuarto de bombas. | 70 |
| 33. | Esquema de aspersor de baja capacidad. | 72 |
| 34. | Esquema de aspersor de estándar y alta capacidad respectivamente. | 73 |
| 35. | Boquillas sistema de enfriamiento, actuales. | 75 |
| 36. | Pase de laminación (perfil angular). | 76 |
| 37. | Sección de refrigeración área desbaste. | 77 |
| 38. | Tubería rectangular con doble hilera de boquillas. | 78 |
| 39. | Cilindros para varilla corrugada. | 79 |
| 40. | Cilindro para tren intermedio (angular 3"). | 79 |
| 41. | Longitud ideal para tuberías de refrigeración. | 80 |
| 42. | Plano de tubería de refrigeración. | 81 |
| 43. | Tubería sujeta con abrazaderas especiales. | 81 |
| 44. | Tubería para producción de varilla corrugada a 2 hilos. | 82 |
| 45. | Distancia entre aspersores para tubería rectangular con doble hilera. | 83 |
| 46. | Plano de tubería de refrigeración, sección rectangular vista 1. | 83 |
| 47. | Plano de tubería de refrigeración, sección rectangular vista 2. | 84 |
| 48. | Mal direccionamiento de los aspersores. | 85 |
| 49. | Rebote del agua mal direccionado. | 86 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 50. | Dirección ideal de los aspersores..... | 87 |
| 51. | Direccionamiento ideal. | 87 |
| 52. | Ángulo de inclinación del aspersor..... | 88 |
| 53. | Sección de aplicación del enfriamiento. | 89 |
| 54. | Cuarto de Bombas, planta perfiles. | 90 |
| 55. | Esquema de diseño. | 92 |
| 56. | Plano de fundición de bases de bomba KSB. | 95 |
| 57. | Plano de ubicación de las bombas nuevas. | 96 |
| 58. | Plano cuarto de bombas, planta perfiles. | 97 |
| 59. | Plano sección de la base de la bomba..... | 98 |
| 60. | Datos dimensionales bomba <i>Booster</i> | 103 |
| 61. | Dimensiones de una bomba <i>Booster</i> serie BT4..... | 104 |
| 62. | Fundición centrifugada horizontal..... | 110 |
| 63. | Cilindro para posiciones de desbaste..... | 112 |
| 64. | Composición de cilindros de acero rápido..... | 117 |
| 65. | Interface del núcleo y capa exterior del cilindro. | 118 |
| 66. | Análisis químico y propiedades mecánicas..... | 118 |
| 67. | Gráfico de desgaste en un laminador..... | 120 |
| 68. | Plano de tanque y acople de bombas nuevas. | 128 |
| 69. | Ubicación del tanque (agua limpia listo para uso)..... | 129 |
| 70. | Montaje de tuberías al armar molino de laminación..... | 134 |
| 71. | Acoples donde se conectan las mangueras..... | 135 |
| 72. | anguera de 1- ¼”, conectada de línea principal hacia molino de laminación..... | 135 |
| 73. | Cilindro de tren intermedio fracturado. | 136 |
| 74. | Esquema estrés térmico. | 138 |
| 75. | Gráfico temperatura del cilindro vs tiempo. | 139 |
| 76. | Temperatura absorbida por el cilindro de laminación. | 140 |
| 77. | Ciclo de calentamiento y enfriamiento de un cilindro. | 141 |

| | | |
|-----|---|-----|
| 78. | Gráfico de ciclo de calentamiento y refrigeración. | 143 |
| 79. | Placa de información de bombas actualmente en operación. | 144 |
| 80. | Esquema filtro de arena..... | 145 |
| 81. | Esquema de las bombas operando..... | 146 |
| 82. | Esquema de sistema propuesto. | 147 |
| 83. | Separador de aceite y sólidos. | 150 |
| 84. | Grúa que limpia la fosa de cascarilla..... | 151 |
| 85. | Extracción de lodo (cascarilla)..... | 151 |

TABLAS

| | | |
|--------|---|-----|
| I. | Especificaciones técnicas del perfil angular..... | 24 |
| II. | Especificaciones técnicas del perfil cuadrado..... | 25 |
| III. | Especificaciones técnicas del perfil plano (hembra). | 26 |
| IV. | Especificaciones técnicas del perfil redondo liso. | 27 |
| V. | Presiones agua de refrigeración, tren de laminación..... | 66 |
| VI. | Tipos de aspersores según su aplicación. | 71 |
| VII. | Códigos de ángulo de pulverización. | 74 |
| VIII. | Tipo de boquilla según la presión..... | 74 |
| IX. | Placa de la bomba KSB..... | 99 |
| X. | Especificaciones de la bomba KSB..... | 100 |
| XI. | Capacidad de bomba <i>Booster</i> de hierro fundido..... | 105 |
| XII. | Capacidad de bomba <i>Booster</i> de acero inoxidable. | 106 |
| XIII. | Bitácora de rendimientos de cilindros de laminación. | 115 |
| XIV. | Datos obtenidos de presión tren de laminación. | 122 |
| XV. | Costo del sistema propuesto. | 127 |
| XVI. | Estándar de fabricación varilla corrugada. | 131 |
| XVII. | Rendimiento de los calibres. | 132 |
| XVIII. | Comparación de velocidades de distintas campañas. | 133 |

| | | |
|------|--|-----|
| XIX. | Formato de verificación de sistema de refrigeración en tren de laminación..... | 137 |
| XX. | Cotización de cilindros de acero rápido..... | 148 |
| XXI. | Informe técnico de calidad del agua..... | 154 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|--------------------------|---|
| HSS | Acero rápido |
| Q | Caudal |
| °C | Grados centígrados |
| °F | Grados Fahrenheit |
| gr/m² | Gramos por metro cuadrado |
| GPM | Galones por minuto |
| HP | <i>Horse power</i> o caballos de fuerza |
| KW | Kilowatt |
| Kg/cm² | Kilogramo por centímetro cuadrado |
| Psi | Libras por pulgada cuadrada |
| m | Metro |
| m/s | Metro por segundo |
| mm | Milímetro |
| m³/h | Metro cúbico por hora |
| mc/h | Metro cúbico por hora |
| mcu/h | Metro cúbico por hora |
| “ | Pulgada |
| % | Porcentaje |
| rpm | Revoluciones por minuto |
| ton | Toneladas |
| t/h | Toneladas por hora |
| bar | Unidad de presión |
| V | Voltios |

GLOSARIO

| | |
|---------------------|---|
| Acero rápido | Acero especial de alto rendimiento con elevada dureza y elevada resistencia al desgaste gracias a elementos de aleación como el tungsteno, molibdeno, vanadio y cromo capaces de formar carburos. |
| Acritud | Deformación mecánica de un material que se produce a temperaturas relativamente bajas. |
| Aspersor | Dispositivo mecánico que transforma un flujo líquido presurizado en rocío, expulsándolo a presión donde sus capacidades de presión de salida y tipo de boquilla se lo permitan. |
| Calibre | Es el pase de laminación o canal con la figura del perfil que se desea laminar. |
| Cizalla | Herramienta mecánica que se utiliza para cortar metal. |
| Corrosión | Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico en su entorno. |

| | |
|------------------------|--|
| Forja | Es un proceso de fabricación de objetos conformado por deformación plástica que puede realizarse en caliente o frío. |
| Grout | Relleno estructural sin contracción para la colocación bajo estructuras y maquinaria, adhiere el equipo a su base para formar un monolito que contrapone la vibración. |
| Lingote | Barra de metal fundida en planta de acería, utilizada para fabricación de perfiles y varillas corrugadas. |
| PH | Coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa. |
| <i>Stand-by</i> | Modo de espera o en reposo que adoptan determinados equipos cuando no están completamente encendidos. |
| Smaw | Es un proceso de soldadura por arco en el que se produce coalecencia de metales por medio de calor de un arco eléctrico que se mantiene entre la punta de un electrodo cubierto y la superficie del metal base en la unión que se está soldando. |

RESUMEN

El propósito de este trabajo es presentar una propuesta de mejoramiento de la eficiencia del sistema de refrigeración, para que el proceso de laminación proporcione un aumento en la vida útil de los cilindros de laminación utilizados durante el proceso.

Se inició con el reconocimiento de las instalaciones de la planta, su personal, así como también las actividades que se realizan en el proceso de laminación dentro de la planta, seguidamente se presenta el estado actual de la planta y del proceso en sí, a continuación se analizan los indicadores que determinan el rendimiento de cada calibre con el sistema de refrigeración actual.

Posteriormente se presenta la metodología de implementación de la propuesta siguiendo la secuencia establecida de las actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto, así como un estudio financiero donde se evalúa la factibilidad económica de cambiar la tubería que actualmente se está utilizando en cada uno de los molinos de laminación y un estudio técnico donde se determina el ahorro que representa un aumento en la vida útil de cada cilindro de laminación al utilizar cilindros de acero rápido (HSS).

Para finalizar se presenta la propuesta a los operadores ya que son ellos los encargados de darle seguimiento a la mejora continua de la calidad del proceso, que permita garantizar que los objetivos de producción se alcancen mediante el control de la eficiencia del sistema de refrigeración, por medio de

paros programados que se realizan diariamente, para que los objetivos se mantengan dentro de los estándares establecidos para el control de calidad.

OBJETIVOS

General:

Propuesta de mejora de la eficiencia del sistema de refrigeración de cilindros en el proceso de laminación en planta perfiles, Sidegua.

Específicos:

1. Rediseñar el sistema de refrigeración, principalmente en la parte de las duchas que son las que están en contacto directamente con los cilindros.
2. Analizar las propiedades físicas del hierro galvanizado y del acero inoxidable en comparación con las del hierro negro, para verificar si es factible su utilización teniendo en cuenta el costo que estos representan.
3. Optimizar la presión de agua que llega a las tuberías que están en contacto con los cilindros para que el enfriamiento abarque la mayor parte posible del cilindro.
4. Analizar el rendimiento de los cilindros de laminación convencionales y compararlo con cilindros de acero rápido en cuestión de tiempo de vida útil.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas que se dedican a la siderurgia en general han ido evolucionando, con el propósito de entregar producto de la más alta calidad.

Actualmente en planta perfiles debido a las condiciones de operación originales, el sistema de refrigeración de cilindros en el proceso de laminación ha mostrado deficiencia, y en algunas ocasiones por tratar de mejorar el sistema se ha llegado a realizar modificaciones empíricas que no benefician al rendimiento de los calibres de los cilindros.

Debido a que día con día la tecnología sigue avanzando, la planta perfiles tiene que estar a la vanguardia, es por eso que se plantea la propuesta de mejora de la eficiencia del sistema de refrigeración para aumentar el rendimiento del calibre en cada cilindro utilizado en el proceso de laminación, por motivo de utilizar cilindros de acero rápido en el área del tren acabador, los cuales demandan un aumento de presión de agua en las últimas 5 cajas acabadoras, ya que ofrecen el doble de vida útil en el rendimiento de los calibres.

Por tal motivo se ve la necesidad de mejorar la eficiencia del sistema mediante el diseño de un plan de acciones, páralo cual la recaudación de información y análisis dará como resultado un panorama claro de los datos que actualmente se obtienen y los resultados que se podrán obtener luego de establecer el nuevo diseño y los beneficios que representa para la empresa.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Descripción de la empresa

Aceros de Guatemala es una empresa de la industria siderúrgica con 63 años de actividad en el mercado, dedicada a la fabricación de distintos tipos de productos que evidencia de manera concreta la importancia del aporte que realiza al desarrollo económico nacional, al proveer de materia prima al sector de la construcción y a otros segmentos industriales.

Un componente importante de esta industria lo conforma la línea dedicada a la producción de perfiles, ya que es en este proceso donde se fabrica una amplia variedad de productos destinados principalmente a la industria de herrería y otras áreas de construcción, que son distribuidos a nivel guatemalteco y centroamericano.

Así como también es un importante colaborador a la economía del país ya que muchos de los pequeños y medianos empresarios que reciclan la chatarra son beneficiados con la compra del mismo, el cual es utilizado como materia prima para la fundición de acero.

1.2. Ubicación

En 1990 comenzó a operar la planta de laminación de perfiles en las instalaciones de Aceros de Guatemala, en zona 12. Debido al crecimiento que ha tenido la corporación, actualmente opera en una planta mucho más moderna

y automatizada en el parque industrial Sidegua, ubicada en Km. 65,5 carretera antigua a puerto San José, Masagua, Escuintla.

Figura 1. **Ubicación geográfica de planta perfiles de Aceros de Guatemala**



Fuente: Google maps. <https://www.google.com.gt/maps/place/SIDEGUA/@14.2331285,-90.8179007,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x8588e3cc17b69a79:0x11cace1f79e87b80!8m2!3d14.2331233!4d-90.815712?hl=es>. Consulta: 25 de mayo de 2017.

1.3. Historia de la empresa

El primer clavo, el que encierra toda una historia, el que concentra la energía de los sueños del hombre, energía de gente con deseos de unir sus recursos naturales, étnicos y culturales a los avances tecnológicos que el mundo ofrece. Energía que se transforma, que cambia la historia para lograr que un país sea capaz de reconocer su grandeza y se integre hoy al mundo de forma competitiva y profesional, esta energía se llama visión.

Gracias a esta visión a partir de una pequeña máquina para fabricar clavos se inicia en 1963 la historia de la corporación Aceros de Guatemala.

La primera empresa fundada para la producción de clavos, rápidamente se amplía hacia otros productos de acero como grapas, alambre espigado, y varilla para construcción.

En 1971 con el objetivo de hacer la producción más competitiva la corporación se amplía con una planta galvanizadora de alambre y lámina, así como dos hornos de arco eléctrico para la fabricación de lingote de acero, para 1979 la fábrica de laminación se duplica para producir varilla de construcción lo que llevaría a la corporación a ocupar un lugar importante en el mercado, en 1982 se amplía la red de distribución a mayoreo y detalle hasta contar a la fecha con nueve distribuidoras, años más tarde en 1987 la corporación adquiere Intupersa, industria de tubos y perfiles.

Buscando una mayor eficiencia en la fabricación de los diferentes productos se crea Sidegua, siderúrgica de Guatemala, uno de los proyectos más importantes en la historia de la industria del acero en Centro América, esta inicia operaciones en 1994 llevando a cabo el proceso de fabricación de lingote de acero desde la recolección de chatarra y empleando los métodos más avanzados en tecnología y cuidado del medio ambiente.

Es así como al contar la corporación con su propia materia prima, es capaz de alcanzar una mayor productividad, simultáneamente con el fin de satisfacer los requerimientos de energía eléctrica, se inicia en 1995 la construcción del centro de energía Escuintla.

Este no solo garantizará el suministro de energía eléctrica a las empresas de la corporación, sino además venderá al sistema nacional y al mercado de mayoreo, contribuyendo así a proporcionar herramientas para que Guatemala y Centro América tengan la energía necesaria para aceptar los retos que este nuevo mundo les plantea.

Igualmente en 1995 la corporación adquiere Indeta, empresa dedicada a la fabricación de varilla de construcción, alambres, clavos, y otros productos, basados en el creciente mercado de la construcción, el cual constituye uno de los de mayor crecimiento en la economía del país, la corporación Aceros de Guatemala ha desarrollado sus diferentes productos, satisfaciendo parte importante del mercado de Guatemala y Centro América.

Gracias al suministro del centro de energía Escuintla y los nuevos procesos de reingeniería de producción y mercadeo podrán acelerarse los planes de expansión a otros mercados, de esta forma lo que en un inicio era un proyecto, es hoy una realidad que por medio de productos de calidad y costos competitivos a nivel mundial, contribuye a la construcción de una Guatemala integrada a la globalización. Es así gracias al temple y esfuerzo de cada integrante, lo que se inició en 1963 como un sueño, en una pequeña máquina de clavos, es hoy una realidad.

Corporación Aceros de Guatemala donde día y noche más de dos mil hombres y mujeres trabajan en una misma dirección, que lleva a Guatemala a unir las piezas necesarias para alcanzar su desarrollo.

1.3.1. Visión

Obtener el liderazgo total en Guatemala y Centroamérica en nuestras líneas de productos, y lograr una participación importante en nuevos mercados tales como el sur de México, el Caribe, norte y Sudamérica.

Surtir desde nuestro moderno parque industrial en Escuintla y otras instalaciones usando la más alta tecnología, nuestros productos básicos de acero y nuevos productos afines y verticalmente integrados por medio de nuestra red de distribución amplia y ágil que abarca todos los mercados que cubrimos.

Tener una empresa altamente profesional, rentable y respetada que fortalece su competitividad por medio de alianzas estratégicas con las empresas más dinámicas y prestigiosas del sector. (Corporación Aceros de Guatemala).

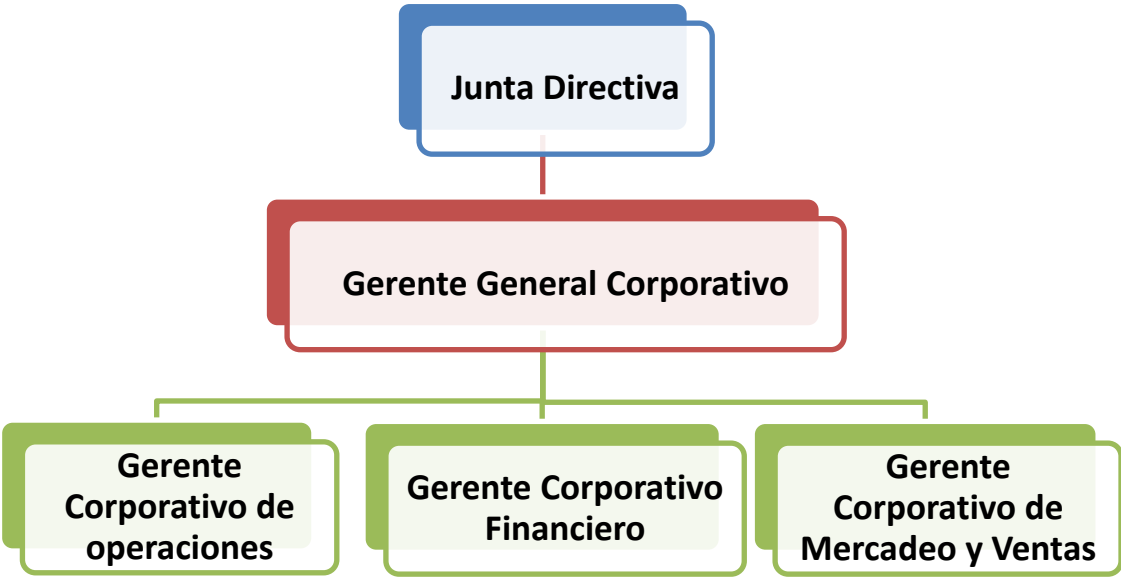
1.3.2. Misión

La misión de la corporación es dedicarse a la investigación, compra, producción, financiamiento y distribución de productos básicos de acero y productos afines para la construcción en Centroamérica, el sur de México. (Corporación Aceros de Guatemala).

1.4. Estructura organizacional

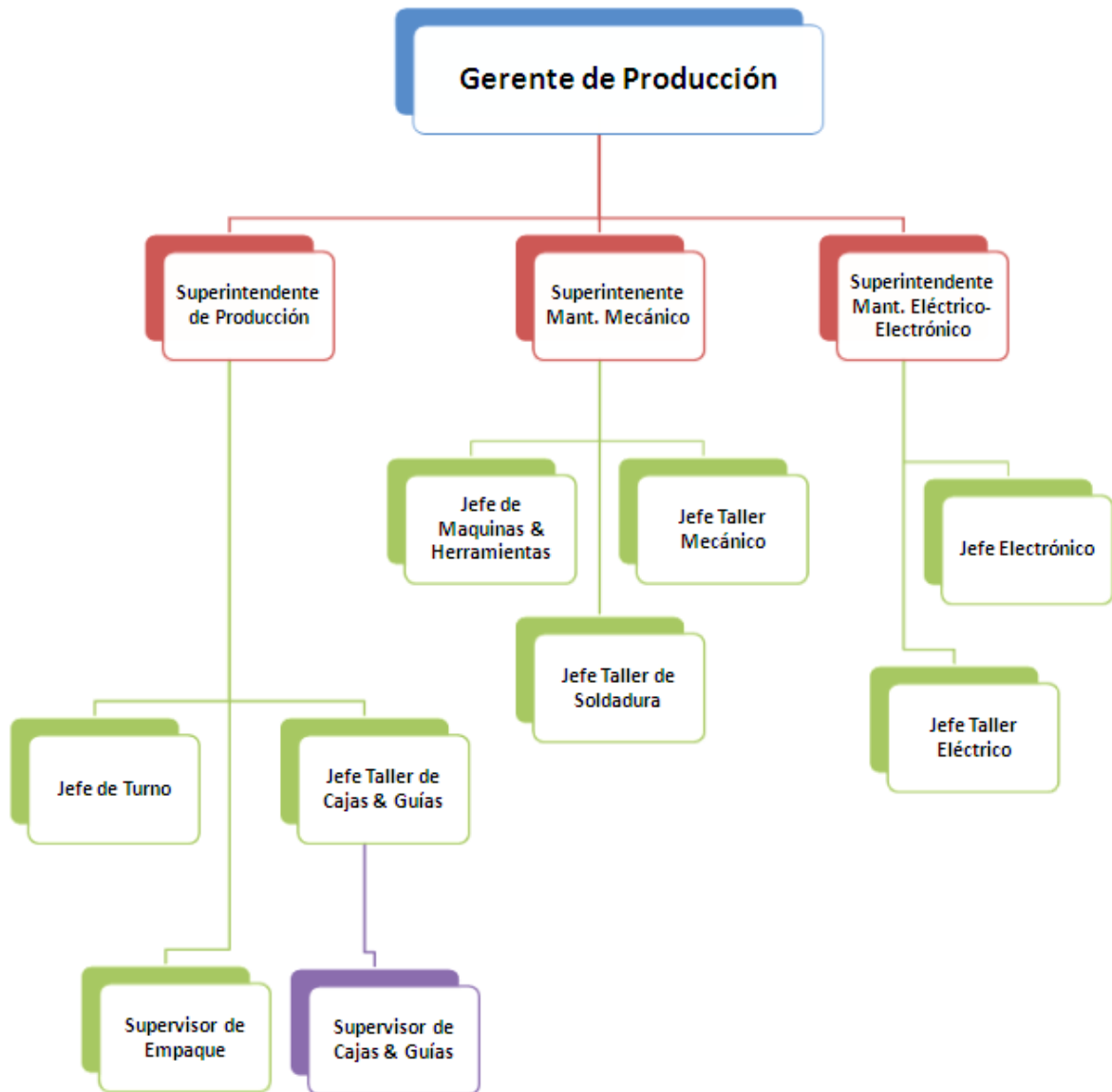
La empresa Aceros de Guatemala está organizada de la siguiente forma:

Figura 2. **Estructura organizacional de la Corporación Aceros de Guatemala**



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

Figura 3. Estructura organizacional de planta perfiles de Aceros de Guatemala



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

1.5. Tipos de productos que comercializa

En la corporación Aceros de Guatemala, se producen gran variedad de productos dentro los cuales podemos mencionar:

- Alambres
 - Amarre.
 - Espigado.
 - Galvanizado.
 - Trefilado.

- Clavos
 - Para madera.
 - Para lámina.
 - Grapa AG.

- Perfiles
 - Angulares.
 - Planos (hembra).
 - Cuadrados.

- Varillas
 - Lisa.
 - Corrugado.

- Tubería industrial
 - De hierro negro.
 - Galvanizada.
 - Costaneras.

Debido a la cantidad de productos que produce la corporación se cuenta con 6 plantas ubicadas en el Parque Industrial Sidegua. Las cuáles son las siguientes:

- Planta de acería.
- Planta de barras y alambrón.
- Planta de perfiles y barras.
- Planta de corte y doble.
- Planta de trefilación.
- Planta de malla electro-soldada.

Así como también se cuenta con la Planta Intupersa, ubicada en la ciudad capital encargada de la fabricación de tubos y perfiles.

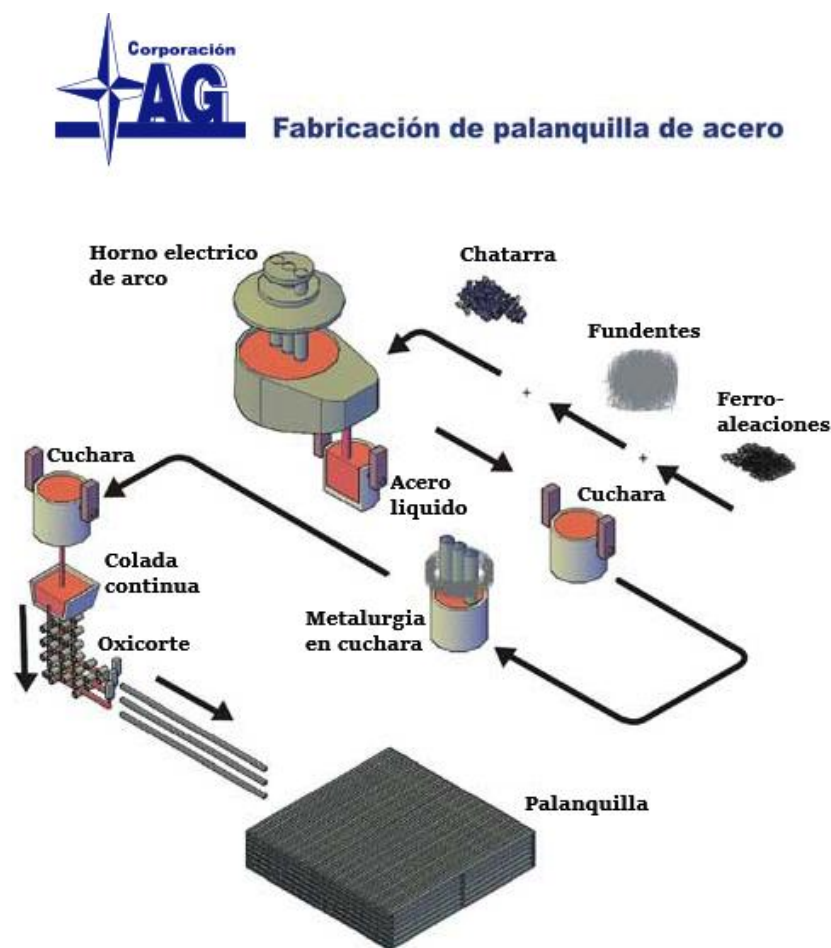
1.1.1. Planta acería

En 1974 la corporación aceros de Guatemala fundó la empresa Hornos, S.A. en la planta de aceros zona 12. Comenzó sus operaciones con la instalación de dos hornos eléctricos de arco y un sistema de lingoteras, cuyo producto intermedio es la producción de lingotes de acero a partir de chatarra como materia prima básica.

Su capacidad de producción era de 1 000 toneladas mensuales, la primera colada fue de 6 toneladas, pero en agosto de 1994 la planta de acería se trasladó al parque industrial Sidegua, para producir palanquilla en secciones de 150 x 150 mm, 130 x 130 mm y 100 x 100 mm, con una capacidad instalada de 500 000 toneladas por año.

La chatarra es la materia prima utilizada para obtener acero en un horno eléctrico de arco, sometida a estrictos controles e inspecciones, tanto en su lugar de origen como en el momento de su recepción en la fábrica. Así como también se cuenta con una planta que le permite triturar y procesar la chatarra clasificada como número 2 para convertirla en un producto de mayor densidad; es decir en chatarra número 1, además hay un separador magnético para separar los materiales ferrosos de los no ferrosos.

Figura 4. Diagrama de proceso de producción de palanquilla de acero



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.5.1. Planta de barras y alambrón

En 1975 se comienza a fabricar alambrón en la planta aceros de Guatemala de la zona 12, en 1981 se potencializa el tren de laminado para duplicar la producción y producir alambrón a 32 metros por segundo, generando una capacidad de 6 000 toneladas mes.

En 2008 se traslada la planta al parque industrial Sidegua, y en octubre de ese mismo año se comienza a operar con un nuevo laminador. El proceso para la producción de alambrón utiliza como materia prima palanquilla de acero de bajo carbono, fabricada en planta de acería.

En 1965 Aceros de Guatemala zona 12 realiza el montaje y arranque de una planta laminadora para la fabricación de hierro corrugado, con una capacidad de 320 ton por mes, en 1970 se instala un laminador con sistema de control y monitoreo electrónico de la casa J. Banning de Alemania con capacidad de 3 000 ton por mes para la producción de varilla corrugada y alambrón.

Figura 5. Diagrama de proceso de producción de barras



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.5.2. Planta de perfiles y barras

En 1990 comienza a operar la planta de laminación de perfiles en las instalaciones de aceros de Guatemala, en zona 12, y luego después de 23 años de producción de acero, cierra sus operaciones para dar vida a la evolución del proceso de fabricación de perfiles en una planta mucho más moderna y automatizada en el parque industrial Sidegua de Escuintla.

La nueva planta empieza a producir perfiles en 2013, utiliza como materia prima la palanquilla de acero al carbono, cuyas dimensiones son 130 mm x 130 mm de sección por 6 metros de largo.

El proceso comienza en el horno de recalentamiento que dispone de la capacidad para contener 151 palanquillas y evacuar 50 cada hora (40 t/hora). El horno de empuje tiene extracción lateral y funciona a base de bunker C (aceite combustible de bajo costo, derivado del petróleo).

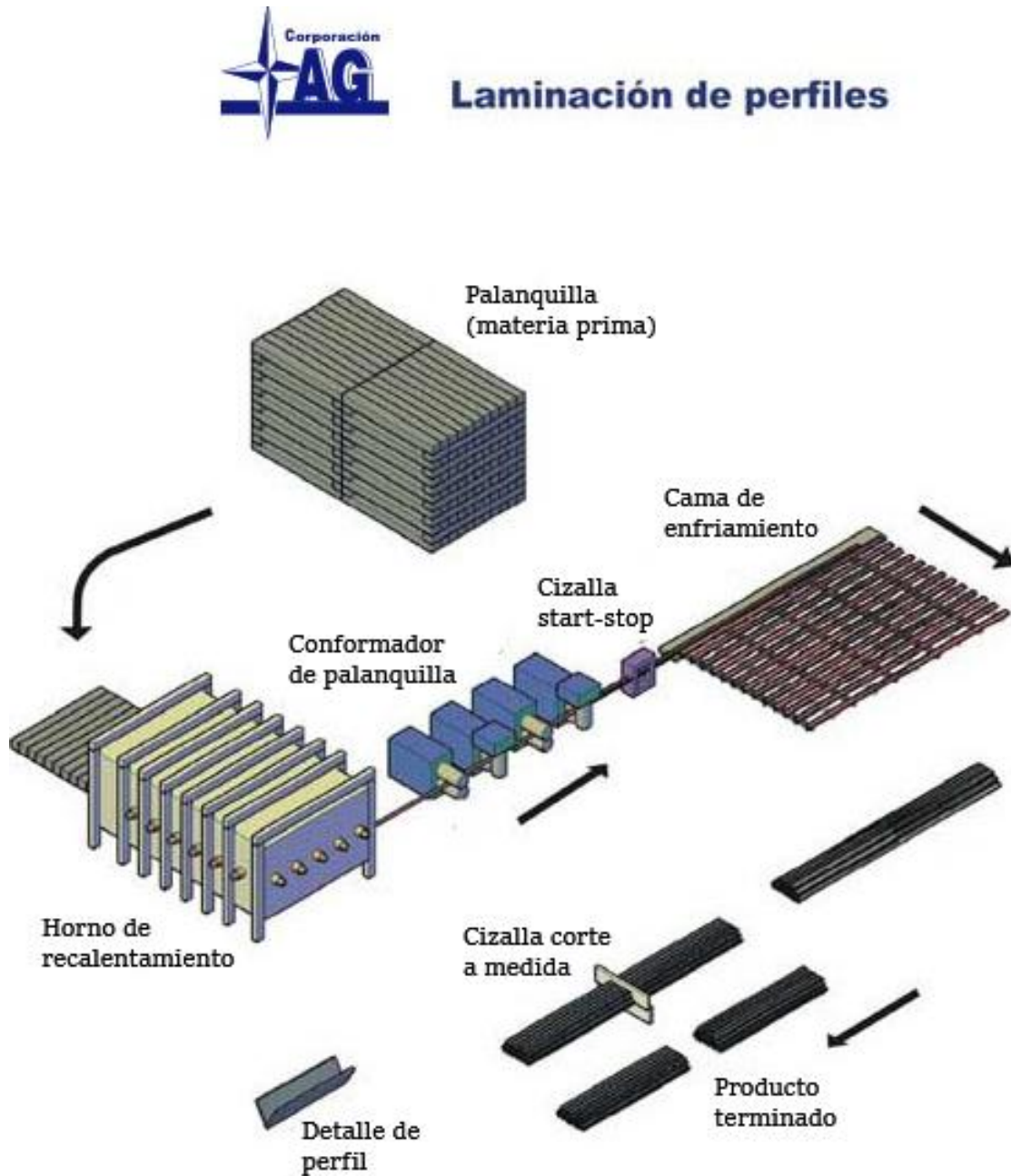
Su función principal es el recalentamiento de la palanquilla de forma controlada, en sus tres etapas:

- Precalentamiento.
- Calentamiento.
- Igualación, hasta alcanzar la temperatura de laminación de 1 150 °C.

Se trabaja con 20 molinos en un tren continuo y sin torsión: los primeros cinco son de desbaste, ocho conforman el tren intermedio y siete el tren acabador.

Se fabrica angular de 3/4" hasta 3", varilla corrugada y lisa de 3/8" a 1", planos (hembra) de 1" a 2", y cuadrados de 3/8" a 1/2", el angular necesita pasar por una máquina enderezadora de múltiples líneas. La temperatura para enderezar debe ser menor de 100 °C, luego para realizar los cortes de seis metros con un sistema automatizado de paquetes, pasa al área donde se empaqueta, fleja, amarra y etiqueta, posteriormente se traslada a la bodega de producto terminado.

Figura 6. Diagrama de proceso de producción de perfiles



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.5.3. Planta de corte y doble

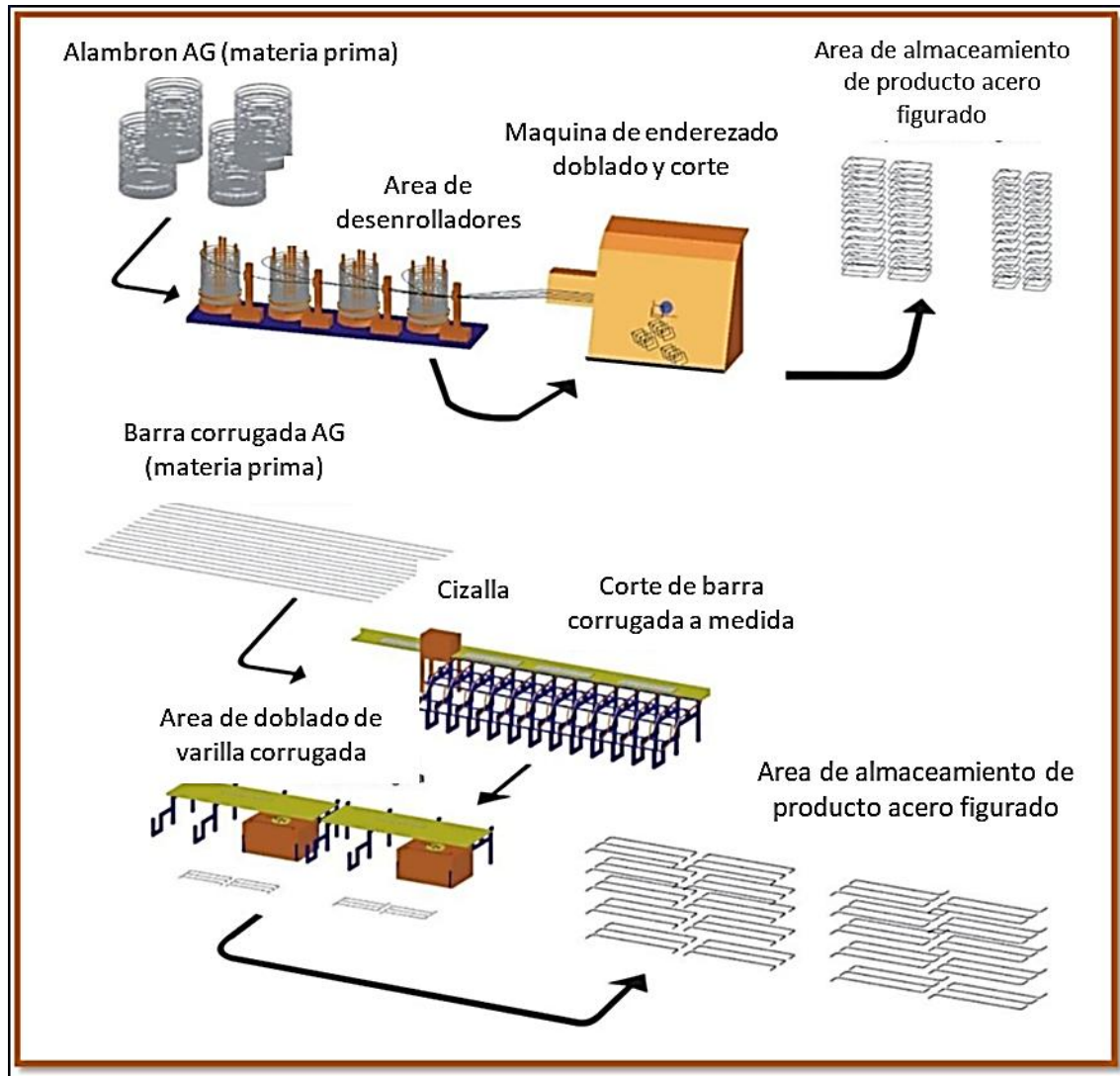
La planta de corte y doble de corporación Aceros de Guatemala empezó a trabajar en 2013 en el km 22,5 de la carretera a El Salvador. Procesaba en ese tiempo un promedio de 350 toneladas métricas mensuales.

En 2015, debido a la creciente demanda del servicio de corte y doble AG en Guatemala, comenzó a operar en una nueva planta ubicada en el parque industrial Sidegua, aumentando su capacidad de producción a 1 200 ton.

En la planta se lleva a cabo un proceso de conformado en frío de varilla corrugada, rollo de acero corrugado y rollo de alambrón. Para cada producto se hace un corte a medida para luego doblar y obtener las dimensiones, forma, ángulos y tolerancias requeridas por el diseño estructural.

Los productos de corte y doble AG brindan como principal beneficio el respeto de las propiedades mecánicas y químicas del acero estructural diseñado para proyectos constructivos. Obteniendo así una reducción de tiempo de armado estructural, evitando calentar las piezas para ser dobladas, así como la eliminación de desperdicios de materia prima por mala práctica realizada en la obra. El proceso consigue la concordancia y la precisión de dimensiones, curvaturas, diámetros, ángulos y arcos, según Normas nacionales e internacionales Coganor 36 011 2005, ASTM, A615 y ACI 318.

Figura 7. Diagrama de proceso de producción de corte y doble



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.5.4. Planta de trefilación

La producción de alambre trefilado inicia en 1966 en la planta Aceros de Guatemala zona 12 con trefiladoras de origen alemán marca Koch. Tres años

después se compra nueva maquinaria para incrementar su producción y en 1995 se adquiere la fábrica Indeta, lo que permite aumentar su capacidad de producción, en 2011 se cierra las operaciones de dichas plantas para ser trasladadas al parque industrial Sidegua, con una moderna distribución y altos estándares de seguridad.

La materia prima para el proceso de trefilación es:

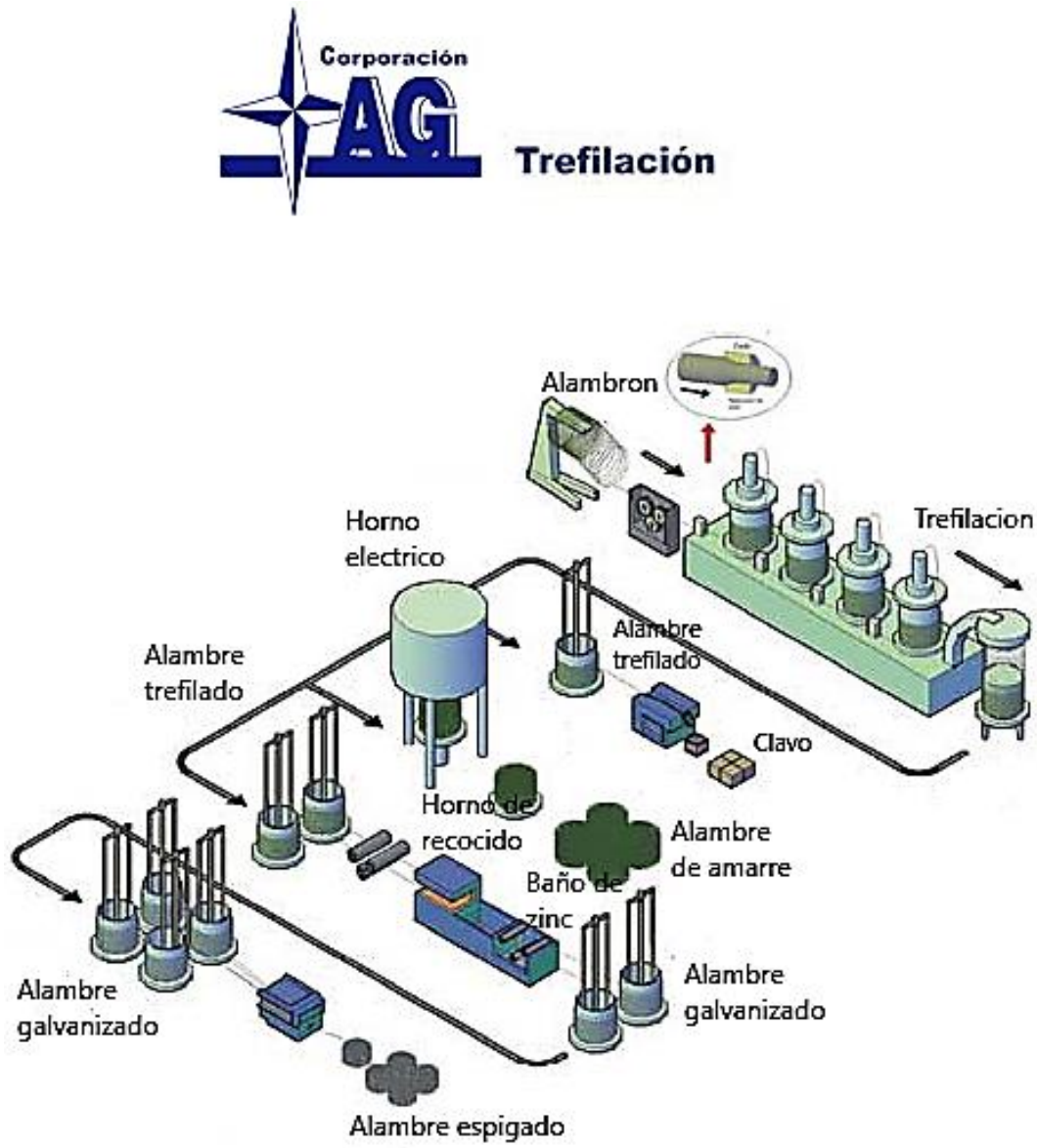
- Alambrón SAE 1006 y 1008.
- Diámetro de 5,5 mm y 8,0 mm.
- Rollos de 1,5 a 2 ton.

El proceso de trefilado modifica las propiedades mecánicas del alambre, incrementa la dureza, la fragilidad y la resistencia a la tensión por efecto de las deformaciones en frío, lo que se conoce como acritud, obteniendo excelentes tolerancias y acabados superficiales.

En el 2011 se inicia la producción de malla ciclón AG en la planta Indeta, un año después la maquinaria se traslada a las nuevas instalaciones en el parque industrial Sidegua.

Malla ciclón AG es una tela metálica fabricada con alambres de acero galvanizado calibre 13 $\frac{3}{4}$ " BWG entrelazado, que forman una malla continua con una figura de rombos. La presentación es de 1, 1,5 y 2 metros de altura por 25 metros de largo, para su comercialización.

Figura 8. Diagrama de proceso de producción de trefilación



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.5.5. Planta de malla electro-soldada

La planta para fabricar malla electro soldada opera desde octubre de 2000 en el parque industrial Sidegua. Produce mallas de 2,35 x 6 metros de largo y otras medidas a requerimiento del mercado, la planta está provista de una trefiladora, compuesta de dos devanadores, un juego de rodillos decapado mecánico, un depósito rotativo de polvo lubricante, dos cajas con rodillos de tungsteno, un juego reductor y uno formador, un monoblock y una bobinadora que recibe el producto terminado en carretes (alambre laminado en frío). En 2012 Aceros de Guatemala compra una nueva trefiladora, con la que aumenta su capacidad de producción.

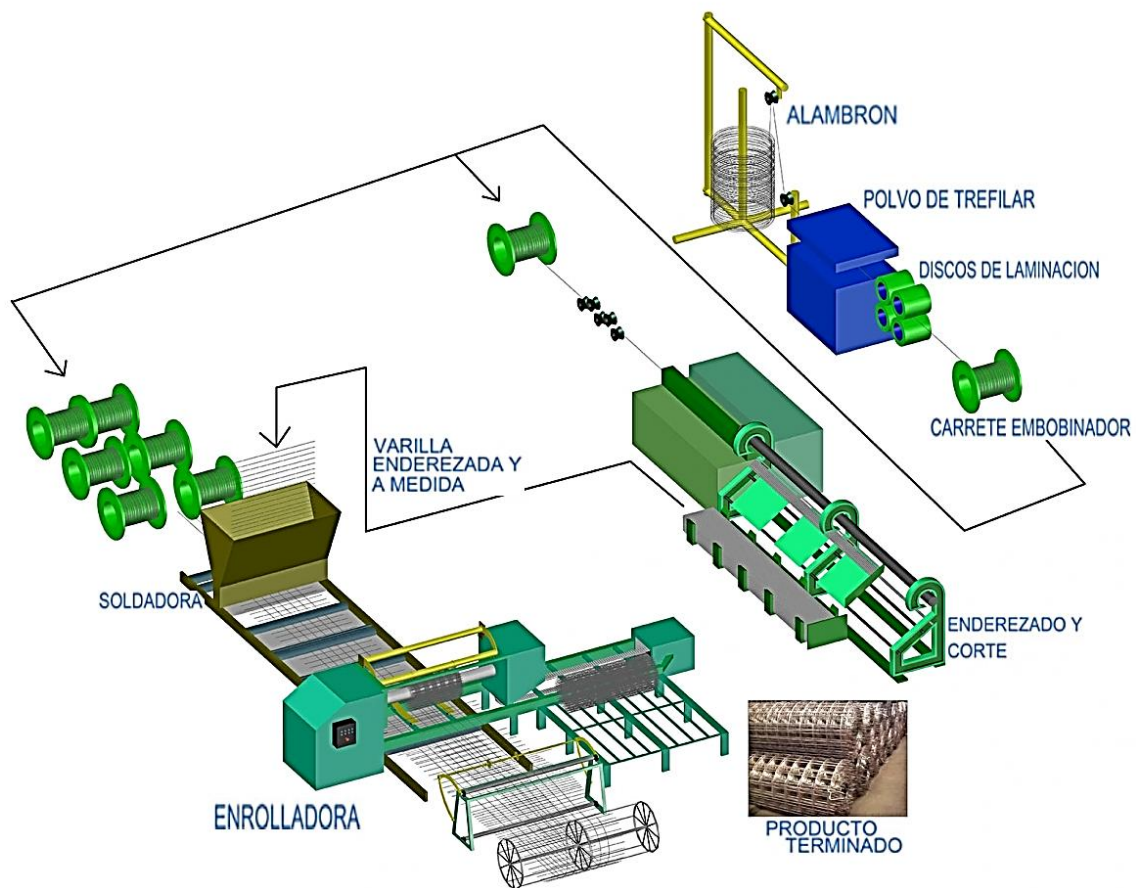
En agosto de 2003 Aceros de Guatemala reacondiciona una máquina enderezadora de varilla transversal para empezar a producir varillas de alta resistencia, en diámetros de 3,8 mm, 4,5 mm, 5,5 mm, 6,2 mm, 7,2 mm y 9,5 mm x 6m de largo.

En julio de 2004 se empezó a fabricar malla para la construcción en rollos de 40 m de largo x 2,35 m de ancho, con el objetivo de ayudar al constructor a evitar empalmes y contribuir al aprovechamiento del producto.

Figura 9. Diagrama de proceso de producción de malla electro soldada



PROCESO MALLA ELECTROSOLDADA



Fuente: Aceros de Guatemala.

1.6. Departamento de Cajas & Guías

Es la encargada del proceso de armado de los molinos de laminación, basándose en el programa de producción que es entregado por gerencia, dependiendo de las solicitudes emitidas por el departamento de planeación corporativa.

Asimismo, está encargada del taller de Máquinas & Herramientas, el cual debe entregar los cilindros de laminación ya maquinados, listos para utilizar en la siguiente campaña que el programa de producción disponga.

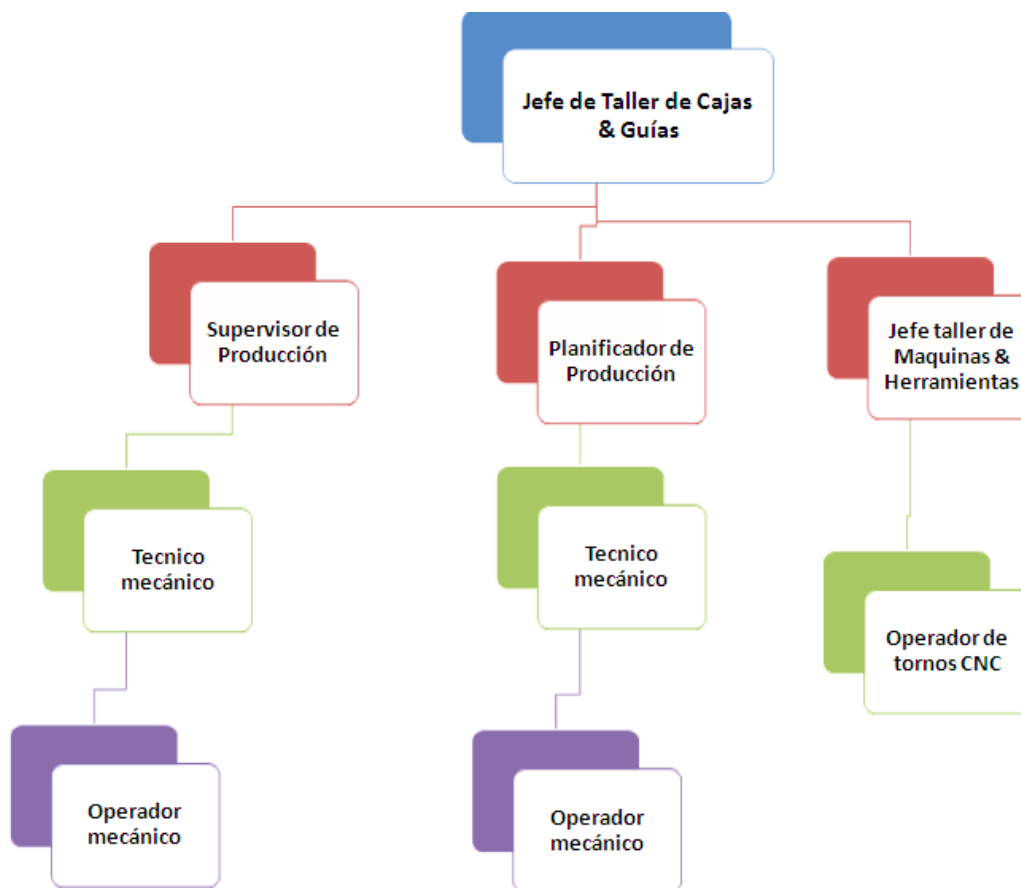
1.6.1. Actividades

- Lavado de molinos luego que salen del tren laminador.
- Verificación de figuras de los cilindros a utilizar en la campaña que se arma.
- Armado de guías (entrada y salida), que son montadas en los molinos de laminación.
- Rectificación de cilindros de laminación que tienen quemados todos los calibres.
- Planificación de armado de molinos según el ritmo de producción del tren laminador.
- Solicitar repuestos necesarios para mantenimiento de los molinos de laminación.
- Armado de cassette de la enderezadora utilizada para acomodar el producto al momento de pasar por la cizalla que le da el corte a la medida exacta según estándar y tipo de producto.

- Verificación de tubería de enfriamiento que no estén obstruidos por contaminación sólida y que está a su vez tape los orificios de los aspersores.
- Montaje y desmontaje de los molinos en el tren laminador al momento de haber cambio de producto.

1.6.2. Organigrama del departamento

Figura 10. Estructura organizacional del Departamento de Cajas y Guías



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Información técnica

Se detalla información de maquinaria utilizada para el proceso de laminación así como también tipos de perfiles laminados y como están compuestos los molinos de laminación.

2.1.1. Tipos de perfiles

A continuación se detallan los productos que son laminados específicamente en planta de perfiles SIDEGUA.

2.1.1.1. Angular

Este tipo de perfil es laminado en caliente y tiene su sección en forma de L, sus lados son iguales y entre los mismos forman un ángulo de 90° entre sí. Este tipo de perfil se aplica en la construcción de estructuras metálicas livianas y pesadas, donde las partes van unidas por soldadura o con pernos y son capaces de soportar esfuerzos dinámicos.

Tabla I. Especificaciones técnicas del perfil angular

| PERFIL ANGULAR | | |
|---------------------------|-------------------------|---------|
| Descripción de angular | Medidas nominales (mm). | |
| | Ala | Espesor |
| ANGULAR 3/4" | | |
| 3/4" X 1/8" comercial | 1,8 | 2,2 |
| 3/4" X 1/8" milimétrico | 2,4 | 2,7 |
| 3/4" X 1/8" legítimo | 2,8 | 3,2 |
| ANGULAR 1" | | |
| 1" X 1/8" comercial | 1,8 | 2,2 |
| 1" X 1/8" milimétrico | 2,4 | 2,7 |
| 1" X 1/8" legítimo | 2,8 | 3,2 |
| 1" X 3/16" | 4,3 | 4,7 |
| 1" X 1/4" | 5,8 | 6,3 |
| ANGULAR 1 1/4" | | |
| 1 1/4" X 1/8" comercial | 1,8 | 2,2 |
| 1 1/4" X 1/8" milimétrico | 2,4 | 2,7 |
| 1 1/4" X 1/8" legítimo | 2,8 | 3,2 |
| 1 1/4" X 3/16" | 4,3 | 4,7 |
| 1 1/4" X 1/4" | 5,8 | 6,3 |

| PERFIL ANGULAR | | |
|---------------------------|-------------------------|---------|
| Descripción de angular | Medidas nominales (mm). | |
| | Ala | Espesor |
| ANGULAR 1 1/2" | | |
| 1 1/2" X 1/8" comercial | 1,8 | 2,2 |
| 1 1/2" X 1/8" milimétrico | 2,4 | 2,7 |
| 1 1/2" X 1/8" legítimo | 2,8 | 3,2 |
| 1 1/2" X 3/16" | 4,3 | 4,7 |
| 1 1/2" X 1/4" | 5,8 | 6,3 |
| ANGULAR 2" | | |
| 2" X 1/8" legítimo | 2,8 | 3,2 |
| 2" X 3/16" | 4 | 4,7 |
| 2" X 1/4" | 5,8 | 6,3 |
| ANGULAR 2 1/2" | | |
| 2 1/2" X 3/16" | 4,3 | 4,7 |
| 2 1/2" X 1/4" | 5,8 | 6,3 |
| ANGULAR 3" | | |
| 3" X 3/16" | 4,3 | 4,7 |
| 3" X 1/4" | 5,8 | 6,3 |

Fuente: elaboración propia.

2.1.1.2. Cuadrado

Este tipo de producto es laminado en caliente y su sección transversal es un cuadro, con sus cuatro lados iguales y formando entre los mismos 90°, el uso estructural es poco utilizado debido a la dificultad que representa la unión de estos en estructuras pesadas, se utiliza acero cuadrado como elemento de tracción y como perfil de relleno.

Tabla II. **Especificaciones técnicas del perfil cuadrado**

| PERFIL CUADRADO | |
|-------------------------|-------------------------|
| | Medidas nominales (mm). |
| Descripcion de cuadrado | |
| CUADRADO 1/2" | |
| Comercial | 10,9 |
| Milimétrico | 11,3 |
| Legítimo | 12,7 |
| CUADRADO 3/8" | |
| Legítimo | 9,5 |

Fuente: elaboración propia.

2.1.1.3. Planos (hembra)

Este tipo de perfil conocido también como hembra tiene su sección transversal de forma rectangular y su principal uso es para estructuras donde se requiere una capacidad de soporte de carga alta.

Tabla III. Especificaciones técnicas del perfil plano (hembra)

| PERFIL PLANO (hembra) | | |
|------------------------------|-------------------------|--|
| | Medidas nominales (mm). | |
| Descripcion de hembra | Figura | |
| HEMBRA 1" | | |
| 1" x 1/8" | 3,2 X 25,4 | |
| 1" x 3/16" milimétrico | 4 X 25,4 | |
| 1" X 3/16" legitimo | 4,7 X 25,4 | |
| 1" X 1/4" | 6,3 X 25,4 | |
| HEMBRA 1 1/4" | | |
| 1 1/4" X 1/8" | 3,2 X 31,8 | |
| 1 1/4" X 3/16" | 4,7 X 31,8 | |
| 1 1/4" X 1/4" | 6,3 X 31,8 | |
| HEMBRA 1 1/2" | | |
| 1 1/2" X 1/8" | 3,2 X 38,1 | |
| 1 1/2" X 3/16" | 4,7 X 38,1 | |
| 1 1/2" X 1/4" | 6,3 X 38,1 | |
| HEMBRA 2" | | |
| 2" X 1/8" | 3,2 X 50,8 | |
| 2" X 3/16" | 4,7 X 50,8 | |
| 2" X 1/4" | 6,3 X 50,8 | |

Fuente: elaboración propia.

2.1.1.4. Redondo liso

Este tipo de perfil es utilizado para la fabricación de eslabones, estribos y otros trabajos de herrería, tiene sección transversal redonda de distintas medidas.

Tabla IV. Especificaciones técnicas del perfil redondo liso

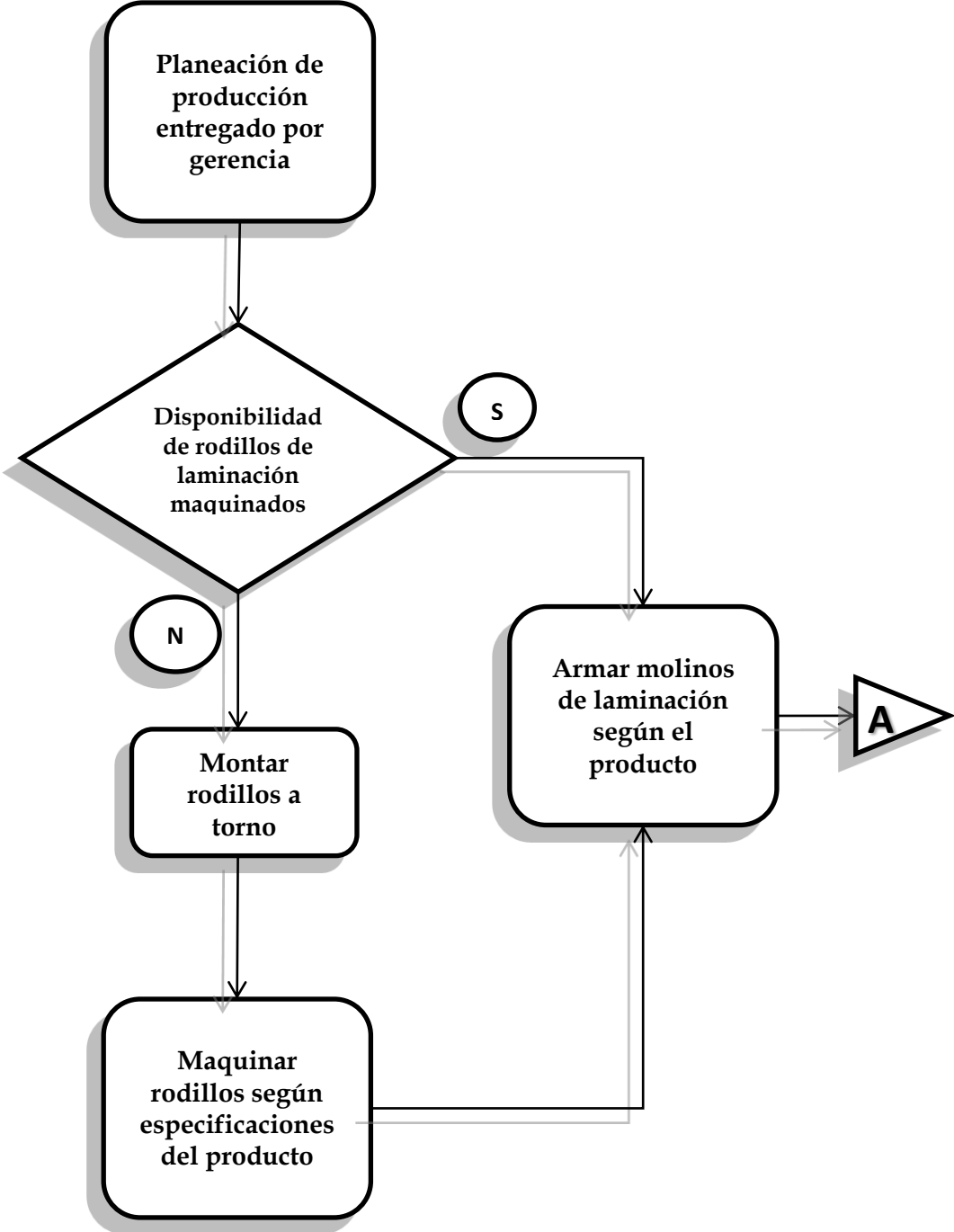
| PERFIL REDONDO LISO | |
|------------------------|------------------------|
| | Dimensión nominal (mm) |
| Descripcion de varilla | |
| varilla 3/8 | 9,5 |
| varilla 12 mm | 12 X 12 |
| varilla 1/2" | 12,8 |
| varilla 15 mm | 15 X 15 |
| varilla 5/8" | 15,8 |
| varilla 3/4" | 19,1 |
| varilla 1" | 25,48 |

Fuente: elaboración propia.

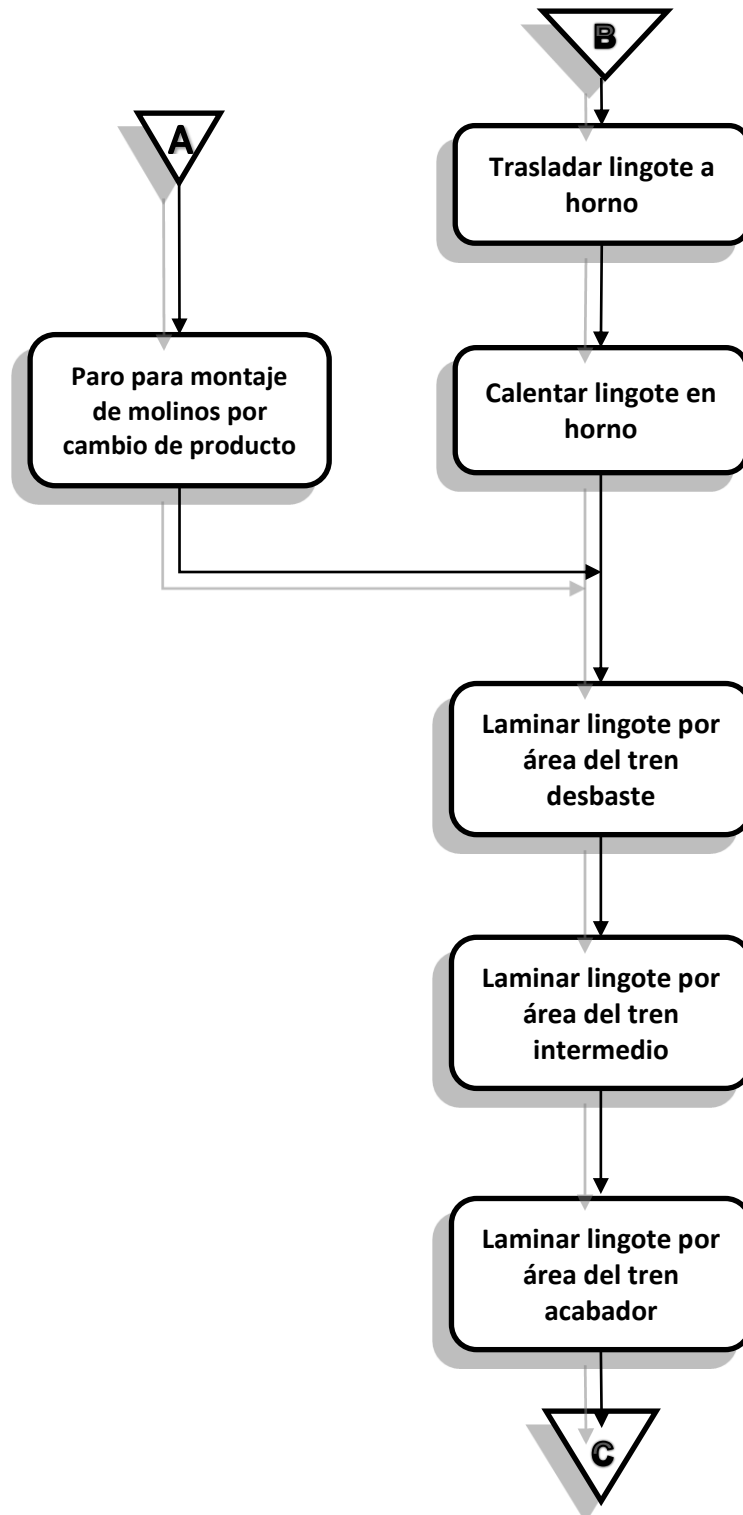
2.1.2. Diagrama de flujo de operaciones del proceso de laminación

El proceso de laminación consta de varios pasos que van desde el horno y llegan hasta la cama de enfriamiento para luego ser almacenado el producto terminado.

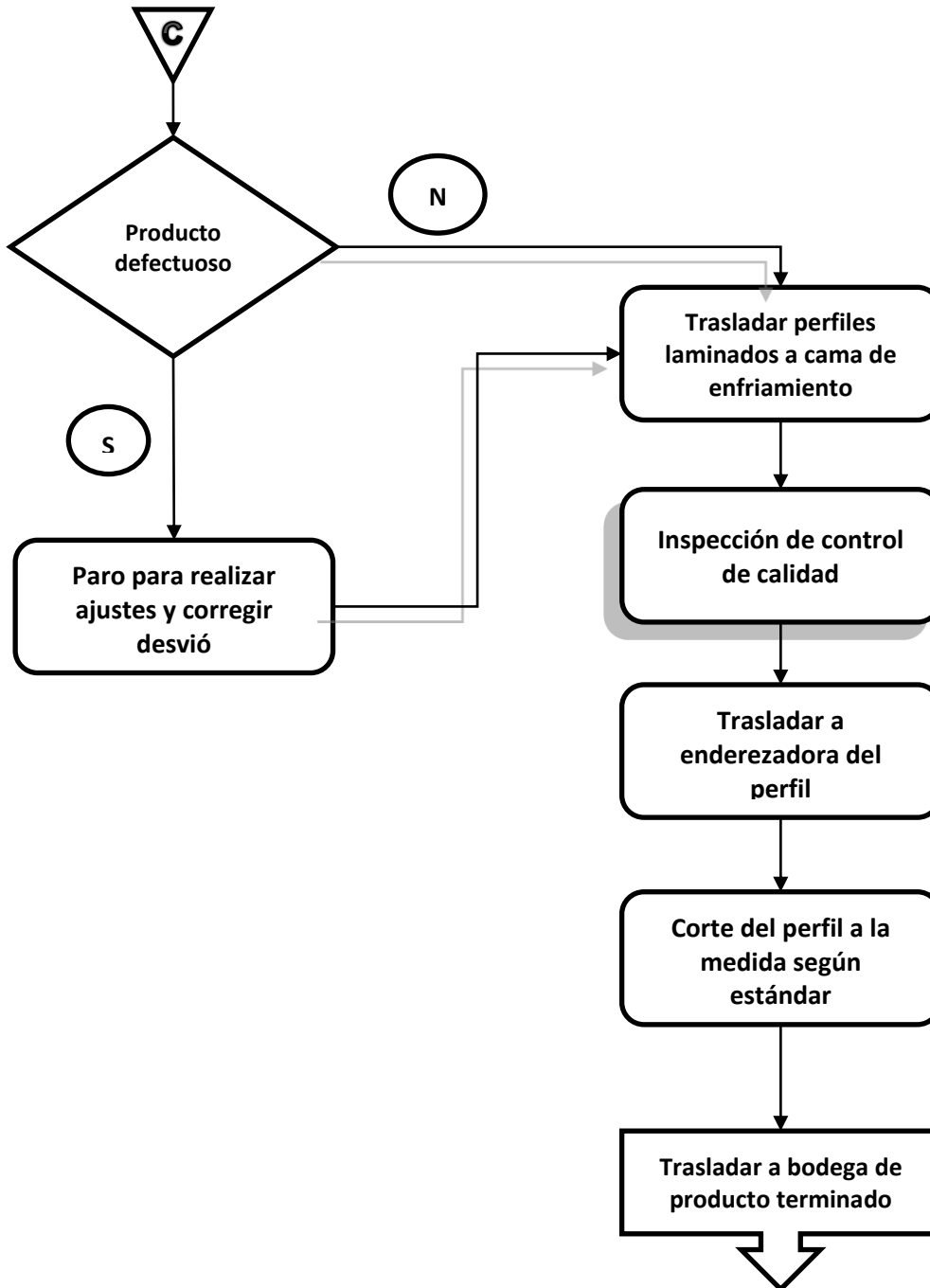
Figura 11. Diagrama de flujo de operaciones del proceso de laminación



Continuación de la figura 11.



Continuación de la figura 11.



Fuente: elaboración propia, empleando Visio 2016.

2.1.3. Descripción del proceso de laminación

El proceso de laminación es la parte de la metalúrgia que se ocupa principalmente de la respuesta de los metales frente a las fuerzas o cargas que se les aplican en un momento dado.

Los metales en la tecnología moderna tienen gran importancia económica debido principalmente a la facilidad con que se les puede dar formas útiles, existen centenares de procesos para trabajar los metales destinados a funciones específicas a los cuales la metalúrgia mecánica los agrupa como procesos de conformación que a su vez se clasifican con base en la forma en cómo se aplican las fuerzas de conformación y son:

- Proceso de compresión directa.
- Proceso de compresión indirecta.
- Proceso de tracción.
- Proceso de plegado o flexión.
- Proceso de cizallamiento.

En los procesos de compresión directa, la fuerza se aplica a la superficie de la pieza de metal que se trabaja y este fluye formando un ángulo recto con la dirección de la compresión, los ejemplos más representativos de estos procesos son la forja y la laminación.

La definición de que el proceso de laminación es un proceso de conformación mediante compresión directa es incompleta, ya que la forja comparte las mismas características, por lo tanto, se tendrá que definir la laminación como un proceso de conformación de los metales por compresión directa efectuado al hacer pasar a la pieza de metal entre dos rodillos

(cilindros), que giran uno en sentido contrario al otro, y durante el cual se deben de dar los fenómenos de reducción que se deben de dar los fenómenos de reducción del espesor, alargamiento, longitudinal y ensanchamiento lateral de la pieza que se trabaja.

Todas estas características se obtienen también en la forja, por ello se dice que la laminación es un proceso de forja continua, la diferencia existe entonces en que el metal que se trabaja debe pasar entre dos rodillos soportados en un molino para que exista la laminación.

De acuerdo a la definición de laminación se requieren por lo menos dos rodillos para que este proceso se efectúe, estos rodillos necesariamente deben de estar soportados o instalados en alguna especie de armazón con la suficiente resistencia para soportar las cargas del proceso que suelen ser bastante grandes, en algunos casos hasta de miles de toneladas, se sobreentiende que dicha armazón deberá de ser sumamente robusta y resistente, la cual funcionara en conjunto con los rodillos como si fuera de una sola pieza.

Esta armazón recibe muchos nombres siendo los más comunes: castillo, estante o caja, cuando se encuentra instalada con sus rodillos montados, su transmisión y motor, sus herrajes y equipos auxiliares, entonces se le llama molino.

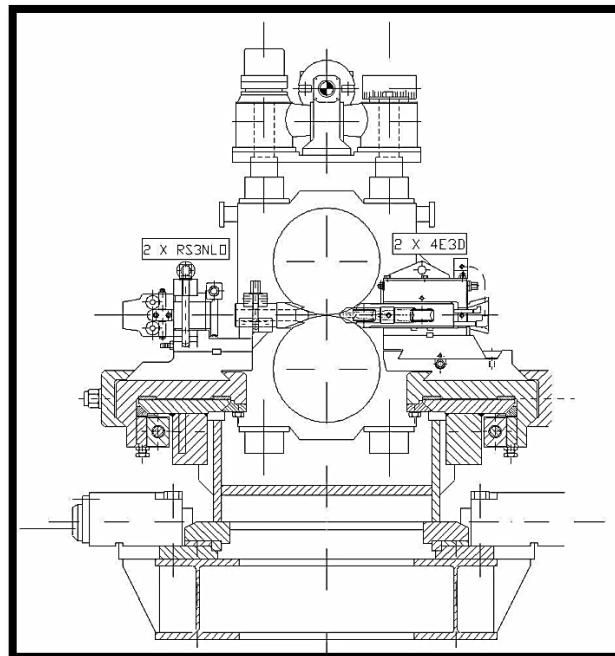
Aunque mucha gente lo sigue nombrando como cuando se refiere a la armazón, es decir castillo o caja.

Figura 12. **Molino de laminación armado**



Fuente: Aceros de Guatemala. *Planta perfiles.*

Figura 13. **Esquema de un molino de laminación**



Fuente: Corporación Gerdau.

Con el desarrollo de la laminación y la necesidad de mayor producción se vio la conveniencia de usar simultáneamente más de un molino y entonces nació el tren de laminación, se le llama tren de laminación a un conjunto de molinos que trabajan sobre una barra o varias al mismo tiempo. Un tren de laminación es un conjunto de por lo menos dos molinos mínimo que trabajan simultáneamente sobre una misma barra, en la actualidad no existen plantas laminadoras que trabajen con un tren de dos molinos, a excepción de algunos trenes para placa o templadores, por lo general actualmente el mínimo necesario para producción aceptable son 5 molinos y el máximo no más de 26 molinos.

La laminación de los metales como proceso de conformación se divide en varios tipos y etapas de acuerdo a determinadas circunstancias o condiciones, siendo las principales:

- La temperatura del acero.
- La forma geométrica de la barra.
- La etapa del proceso.

2.1.3.1. Temperatura del acero

La laminación de acero se divide en laminación en caliente y en frío, la laminación en caliente se define como una deformación en condiciones tales de temperatura y velocidad de deformación que se producen simultáneamente la deformación y la restauración del grano, por lo contrario la laminación en frío es realizada en condiciones tales, que no es posible que se produzcan eficazmente los procesos de restauración, generalmente la laminación en caliente se efectúa entre 1 300 °C y 900 °C, mientras que la laminación en frío se efectúa entre 200 °C y la temperatura ambiente.

2.1.3.2. Forma geométrica de la barra

Por lo que respecta a la forma geométrica que mantiene la barra durante el proceso, la laminación se divide en plana y no plana.

Laminación plana es cuando la barra mantiene una relación de espesor a ancho menor a 1, en cualquier etapa de la laminación.

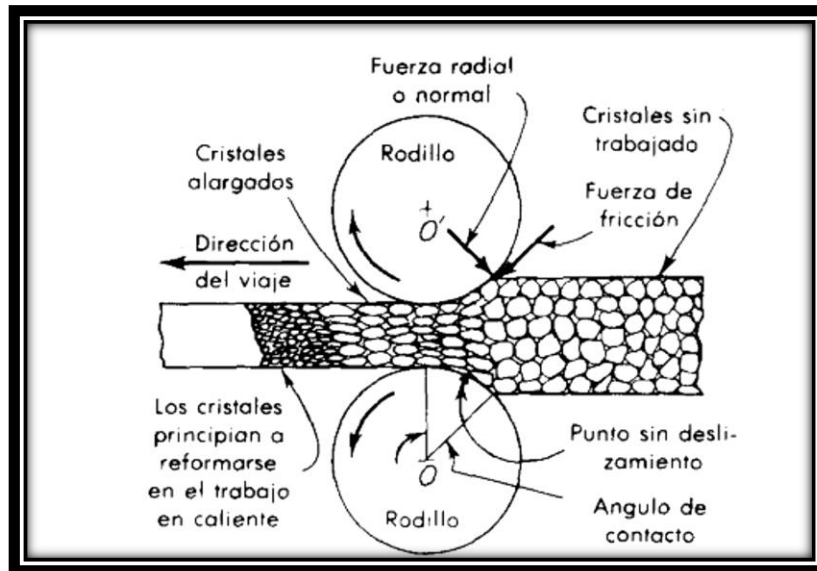
Laminación no plana, es cuando la forma de la sección transversal cambia en cada paso de la laminación, generalmente adoptando figuras planas, en la laminación de no planos se incluye lo que se conoce como laminación de formas, esto quiere decir que la sección en cada paso es diferente a cualquier figura geométrica plana.

2.1.3.3. Etapa del proceso

Con relación a la etapa de proceso, la laminación se divide generalmente en desbaste, intermedia y acabador, la laminación del desbaste consiste en reducir la materia prima rápidamente a una sección adecuada y manejable para los procesos siguientes. La laminación intermedia es un proceso que se efectúa antes de dar el acabado final, la reducción es mínima comparada con el desbaste. La laminación de acabado es la etapa del proceso donde se obtiene el producto terminado.

El laminado es un proceso de deformación en el cual el metal pasa entre dos rodillos y se comprime mediante fuerzas de compresión ejercidas por los rodillos, los cuales giran para jalar el material y simultáneamente apretarlo entre ellos.

Figura 14. **Proceso de deformación**



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

2.1.4. **Descripción de maquinaria de planta perfiles**

Se presenta una breve descripción de los equipos utilizados durante el proceso de laminación que van desde el área del horno hasta el área de corte, enderezado y atado.

2.1.4.1. **Horno**

El horno de capacidad para producción de 12 toneladas por hora se encarga del calentamiento de palanquillas a 1 275 °C, en el mismo se ingresan los lingotes o palanquillas de hierro para ser procesados, el combustible utilizado es bunker, actualmente existen lingotes de diferentes medidas según la necesidad del producto siendo las mismas:

- Lingotes de 2 metros.
- Lingotes de 2,05 metros.
- Lingotes de 2,14 metros.

Figura 15. Horno



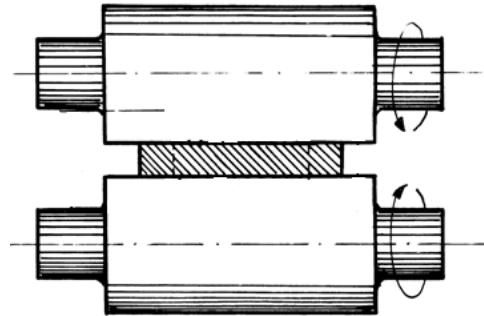
Fuente: Aceros de Guatemala. *Planta perfiles.*

2.1.4.2. Cajas de laminación

El equipo elemental para laminar se conoce como caja de laminación, consta de una estructura que sirve de chasis y unos cilindros que realizan la laminación, los componentes principales de una caja son los cilindros.

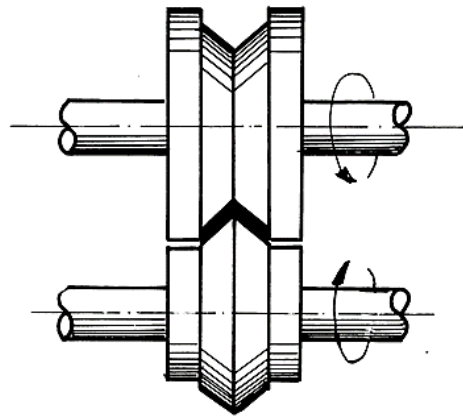
Los cilindros para laminar planos son de tabla lisa (figura 16), mientras que los destinados a obtener otras formas son perfilados (figura 17).

Figura 16. **Cilindros para laminar planos**



Fuente: monografías sobre tecnologías del acero. p. 4. Consulta: 22 de agosto de 2017.

Figura 17. **Cilindros para laminar perfiles**



Fuente: monografías sobre tecnologías del acero. p. 4. Consulta: 22 de agosto de 2017

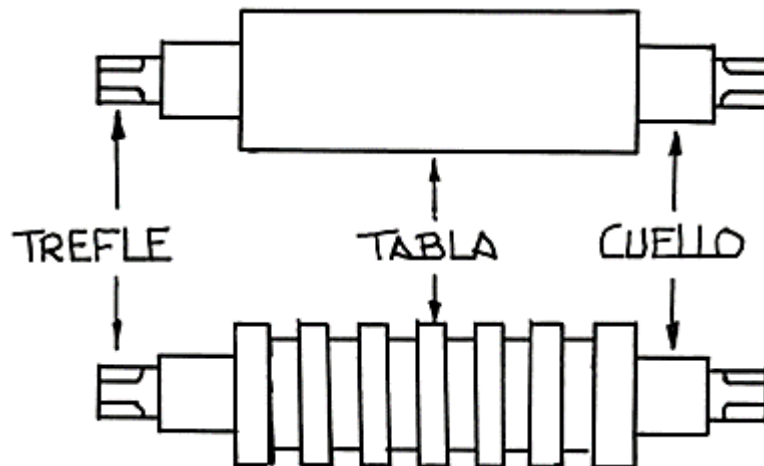
Para evitar la flexión de los cilindros por efecto de los elevados esfuerzos de la componente vertical, la longitud de la tabla no debe superar más de 3,5 veces el diámetro.

La superficie de los cilindros de laminación debe ser muy dura para reducir el desgaste. No obstante el material debe ser tenaz, pues se ve sometido a fuertes sollicitaciones dinámicas durante el trabajo.

Partes esenciales de un cilindro:

- Tabla: es la parte comprendida entre los cojinetes, suele ocupar la mayor parte del cilindro y es donde se realiza el trabajo de laminación. En los cilindros para laminación de planos la tabla es lisa y en los de largos, la tabla tiene mecanizadas unas estrías que dan forma al perfil.
- Cuello: son las dos partes cilíndricas que giran alojadas en los cojinetes.
- Trefles o trebedes: son los extremos en los que se realiza el acoplamiento en el terminal del árbol que transmite el giro producido por el motor de accionamiento.

Figura 18. **Partes del cilindro de laminación**



Fuente: monografías sobre tecnologías del acero. p. 5. Consulta: 22 de agosto de 2017.

2.1.4.3. Trenes de laminación

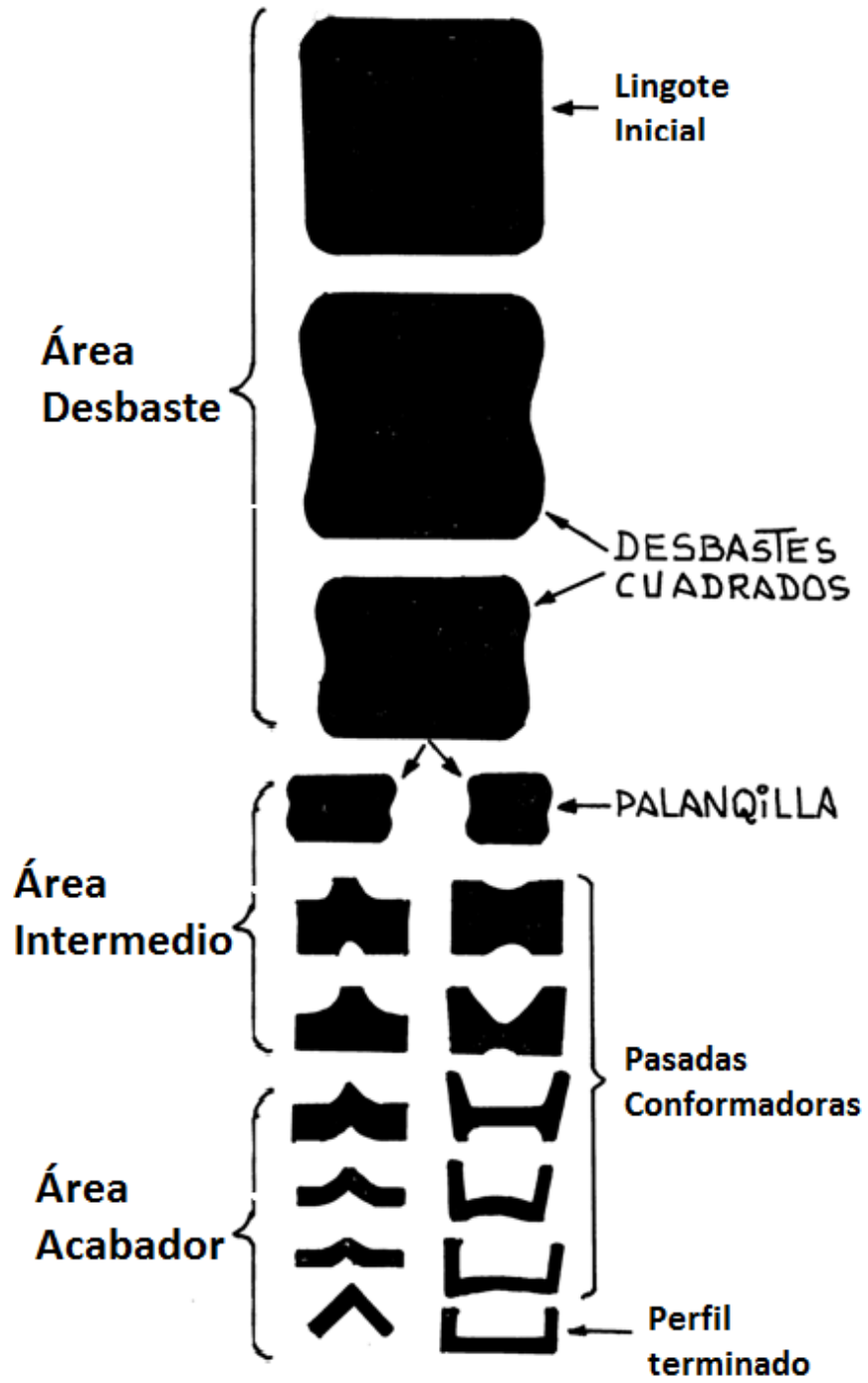
Se denomina así al conjunto de cajas y elementos auxiliares como motores de accionamiento de los cilindros, caminos de rodillos comandados para entrada y salida del material, cizallas, escarpadoras, entre otros. La anchura útil de trabajo de los cilindros de laminación se denomina tabla.

Hay cajas dispuestas unas a continuación de otras con separación tal que el perfil que se está laminando se encuentra simultáneamente bajo la acción de dos o más de ellas.

En cada pasada al disminuir la sección aumenta la longitud y por consiguiente cada caja debe absorber una longitud mayor que la anterior, para compensar esta circunstancia la velocidad de giro de los cilindros va aumentando proporcionalmente en las sucesivas cajas.

En la figura 19 se esquematizan las pasadas para la obtención de un perfil (angular o U), partiendo de un lingote procedente del horno, para luego pasar por el área del tren desbaste, intermedio y por el último el área de tren acabador.

Figura 19. Esquema de pasadas



Fuente: monografías sobre tecnologías del acero. p. 64. Consulta: 30 de agosto de 2017.

2.1.4.4. Cama de enfriamiento

Su función principal es la de transportar los perfiles ya laminados hacia la sección de corte, agrupándolos según sea el producto. En esta sección el perfil es enfriado desde su temperatura de laminado hasta alcanzar una temperatura más baja para ser cortado mediante una cizalla a las medidas establecidas por el estándar, los cuales pueden ser en este caso de 6m, 9m y 12m.

Figura 20. Cama de enfriamiento



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

2.1.4.5. Corte, enderezado y atado

En esta sección se procede a cortar el perfil con las medidas estipuladas por el estándar, las cuales pueden ser de 6, 9 o 12 metros, según sea la necesidad del producto, para esto el equipo utilizado es una cizalla que tiene cuchillas de metal que ejercen presión sobre el material, luego pasa a la enderezadora para después ser empacados y ser trasladados a la bodega de producto terminado.

Figura 21. Bodega de producto terminado



Fuente: Aceros de Guatemala. *Planta perfiles.*

2.1.5. Eficiencia

La eficiencia de la planta de perfiles está determinada por una serie de indicadores, y uno de ellos es el sistema de refrigeración de cilindros, por eso ningún cilindro aun cuando sea de excelente calidad puede asegurar los

mejores resultados si no se ejecutan todas las disposiciones que condicionan su rendimiento.

Una refrigeración eficiente deberá ser capaz de hacer que los cilindros trabajen dentro del régimen térmico, manteniendo la temperatura de los cilindros en el intervalo de 50 a 60 °C.

Dado al cambio de material que se está tomando en consideración de cilindros de acero nodular a cilindros de acero rápido (de alta velocidad), es que se requiere implementar un rediseño en el sistema de enfriamiento aplicado a los rodillos laminadores a lo largo de todo el tren de laminación.

Por ello la refrigeración con agua debe ser abundante debido a las exigencias que demanda este nuevo material, y estar efectuada en forma tal que cada punto de la superficie de trabajo del cilindro ceda un máximo de calor al agua refrigerante y por consiguiente, sea mínimo el calor que penetre en el interior del cilindro.

Caudal y presión no son siempre factores determinantes para obtener un enfriamiento justo, a continuación se mencionan otros factores relacionados a la refrigeración de cilindros:

- Material laminado.
- Tipos de canales en los cilindros.
- Temperatura de laminación.
- Características de cilindros.
- Velocidad de laminación.
- Deformación.
- Fuerza de separación.

- Temperatura del agua.
- PH del agua de refrigeración.
- Ángulo de ataque del spray (aspersor) en los cilindros.
- Dirección del spray (aspersor) de agua.
- Flujo o caudal del agua de refrigeración.

2.1.6. Características técnicas del hierro negro

Es comúnmente conocido como el acero básico, es decir, hierro normal y corriente que sale directamente del proceso de fundición, este tipo de hierro no ha pasado o sufrido algún tratamiento como:

- Galvanizado: proceso electroquímico en el cual se cubre el hierro con otro metal.
- Inoxidable: cuando existe una aleación de hierro con cromo.
- Zincado: tratamiento en el cual por medio de una electrólisis se le añade zinc al hierro para protegerlo de la corrosión.
- Lacado: es cuando se le añade pinturas o pigmentos al hierro.

Existen diferentes tipos de hierro negro que se definen por su composición de carbono y su dureza creando diferentes calidades en el hierro negro.

El hierro negro es un material sumamente utilizado para la fabricación de tuberías, una de los defectos de las tuberías de acero negro o hierro negro es que en contacto con el agua, se oxidan cubriéndose con una película de color pardo oscuro, la forma más práctica de evitarlo es añadirle una protección a la tubería.

Cuando se somete a una circulación de agua es decir a un ambiente húmedo el primer compuesto que se forma es el hidróxido ferroso, el cual es respectivamente soluble, posteriormente se transforma en óxido férrico, que es menos soluble y ayuda a la circulación progresiva del agua.

Las tuberías de acero negro tienen una alta resistencia a la tensión lo que las vuelve adecuadas para diversas y exigente aplicaciones. La dureza de los tubos de acero negro evita la formación de grietas y permite una alta capacidad de carga, una propiedad muy importante de estos tubos es su uniformidad, la resistencia a la tensión del acero negro es uniforme a lo largo del tubo, lo que asegura diámetros consistentes y predecibles.

En comparación con las estructuras reticulares atornilladas la instalación de tuberías de acero negro puede ser más rápida y sencilla. La construcción con extremos a rosca, con rebordes o soldadura permite a los diseñadores hacer ajustes según se requiera, además de su fortaleza los tubos de este material pueden fabricarse en exteriores y se puede trabajar con ellos en cualquier longitud.

La disponibilidad de múltiples componentes y accesorios de acero negro reduce los costos y puede acelerar la fabricación de estructuras, dependiendo de su aplicación y diámetro estas tuberías pueden enroscarse o soldarse.

Para una red de sistema de agua pueden utilizarse diversos materiales, la elección del mismo va a depender de:

- Las pérdidas.
- Los costos.
- Resistencia a la corrosión.

- Posibilidad de desarme.
- Ambiente (temperatura, agua, polvo, vapores corrosivos, entre otros).

2.1.6.1. Ventajas de utilizar tubería de acero negro

La principal ventaja es que son mucho más económicas que las otras, además se consiguen fácilmente en el mercado, por lo que la utilización y mantenimiento son de mayor ventaja.

2.1.6.2. Desventajas de utilizar tubería de acero negro

No hay gran resistencia a la corrosión en estos materiales, otra dificultad es que para unir estas tuberías es necesario soldarlas con conexiones roscadas y esto produce cascarillas o fragmentos de oxidación que deben ser retirados por lo tanto, se hace necesario una unidad de mantenimiento.

Figura 22. **Tubería de refrigeración de acero negro**



Fuente: Aceros de Guatemala. *Planta perfiles.*

2.1.7. Características técnicas del acero galvanizado

Los aceros galvanizados es caliente están formados por un sustrato de acero sobre el que se aplica un recubrimiento de zinc (cincado), mediante un proceso continuo de galvanizado por inmersión en baño caliente. Este tipo de

materiales están disponibles en distintos grados de acero que van, desde aceros para aplicaciones propias de plegado y embutición profunda a aceros estructurales de alto límite elástico, es posible la fabricación de un acabado superficial brillante obtenido mediante condiciones específicas de proceso de temperizado.

Los aceros galvanizados ofrecen una excelente resistencia a la corrosión así como una muy buena aptitud de conformado, el tipo de proceso empleado en el recubrimiento permite la fabricación de espesores del zinc empleado que pueden alcanzar hasta los 725 gr/m^2 (total por ambas caras).

Los aceros galvanizados se suministran en estado pasivado ya aceitado con el fin de limitar temporalmente el riesgo de formación de óxido blanco, durante las acciones propias de transporte y almacenamiento se deberán adoptar medidas para mantener el material seco y evitar la aparición de condensación, y es por lo cual estos aceros llevan una película protectora contra la oxidación.

En el procesamiento de los productos de acero galvanizado se utilizan las mismas técnicas de laminación y ensamblaje que las utilizadas en los aceros convencionales.

No obstante es muy importante seleccionar un recubrimiento de zinc que sea compatible con los procesos de conformación y ensamblaje previstos teniendo siempre en cuenta el grado deseado de protección contra la corrosión.

La verdadera instancia de galvanizado del proceso se sumerge por completo el material en un baño de zinc fundido, el baño contiene al menos 98 % de zinc puro y se lo calienta a aproximadamente $449 \text{ }^\circ\text{C}$ ($840 \text{ }^\circ\text{F}$).

Mientras está sumergido en la caldera el zinc reacciona con el hierro en el acero y forma una serie de capas intermetálicas de aleación zinc/hierro, una vez que se completa el crecimiento del revestimiento de los artículos fabricados, se les puede retirar del baño de galvanizado y se elimina el exceso de zinc mediante drenaje, vibración o centrifugado.

Se ha demostrado el rendimiento de los revestimientos galvanizados varía bajo diversas condiciones ambientales, la resistencia a la corrosión de revestimientos de zinc se determina principalmente por el espesor del revestimiento, pero varía con la severidad de las condiciones ambientales.

Muchas sustancias y otros factores como el pH, la temperatura y el movimiento afectan la estructura y la composición de los productos de corrosión que se forman en la superficie de zinc expuesta.

Los revestimientos galvanizados tienen un buen rendimiento bajo temperaturas frías y calientes extremas, los revestimientos galvanizados no muestran ninguna diferencia importante en la tasa de corrosión en temperaturas por debajo de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, en temperaturas más elevadas el revestimiento puede verse afectado, en la exposición continua a largo plazo la temperatura máxima recomendada es de $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($392\text{ }^{\circ}\text{F}$).

La exposición continua a temperaturas por encima de esta puede causar que la capa exterior de zinc libre se descascare de la capa de aleación zinc/hierro subyacente, sin embargo la capa de aleación zinc/hierro restante brindará una buena resistencia a la corrosión y seguirá protegiendo el acero por un largo tiempo según su espesor.

2.1.8. Características técnicas del acero inoxidable

El acero inoxidable es una aleación de hierro y carbono que contiene por definición un mínimo de 10,5 % de cromo, algunos tipos de acero inoxidable contienen además otros elementos aleantes, principalmente son el níquel y el molibdeno.

Es un tipo de acero resistente a la corrosión, el cromo que contiene posee gran afinidad por el oxígeno y reacciona con él, formando una capa pasivadora que evita la corrosión del hierro contenido en la aleación. Sin embargo, esta película puede ser afectada por algunos ácidos dando lugar a un ataque y oxidación del hierro por mecanismos inter granulares o picaduras generalizadas.

Existen muchos tipos de acero inoxidable y no todos son adecuados para aplicaciones estructurales, particularmente cuando se llevan a cabo operaciones de soldadura. Hay cinco grupos básicos de acero inoxidable clasificados de acuerdo con su estructura metalúrgica:

- Austeníticos.
- Ferríticos.
- Martensíticos.
- Dúplex
- Endurecimiento por precipitación.

Todos los aceros inoxidables contienen el cromo suficiente para darles características de inoxidables, muchas aleaciones inoxidables contienen además níquel para reforzar aún más su resistencia a la corrosión.

Estas aleaciones son añadidas al acero en estado de fusión para hacerlo inoxidable en toda su masa, por este motivo los aceros inoxidables no necesitan ser ni chapeados, ni pintados, ni de ningún otro tratamiento superficial para mejorar su resistencia a la corrosión, en el acero inoxidable no hay nada que se pueda pelar, ni desgastar, ni saltar y desprenderse.

El acero ordinario, cuando queda expuesto a los elementos se oxida y se forma óxido de hierro pulverulento en su superficie, si no se combate la oxidación sigue adelante hasta que el acero este completamente corroído.

También los aceros inoxidables se oxidan, pero en vez de óxido común lo que se forma en la superficie es una tenue película de óxido de cromo muy densa que constituye una coraza contra los ataques de la corrosión. Si se elimina esta película de óxido de cromo que recubre los aceros inoxidables, se vuelve a formar inmediatamente al combinarse el cromo con el oxígeno de la atmosfera ambiente.

Son cinco los riesgos que amenazan el éxito del uso de los aceros inoxidables, estos son:

- Corrosión intergranular.
- Corrosión bimetalica o galvánica.
- Corrosión por contacto.
- Corrosión por picaduras.
- Corrosión bajo tensión.

La medida más importante a tomar para prevenir los problemas que puede ocasionar la corrosión es seleccionar adecuadamente el grado de acero inoxidable con los procedimientos de fabricación idóneos para el ambiente que

se prevea, en cualquier caso tras la selección adecuada de un determinado acero se conseguirá hacer uso de todo el potencial de resistencia a corrosión que puede ofrecer dicho acero, si tal selección viene acompañada por buenos detalles constructivos.

2.1.9. Aspersor

Es un dispositivo mecánico que en la mayoría de los casos transforma un flujo líquido presurizado, el agua asperjado es un conjunto aleatorio de agua que es expulsado de un medio presurizado a otro con presión atmosférica donde este conjunto de agua pulverizada guarda direcciones similares y velocidades diferentes (esto a causa de los tipos de boquillas) con el único objetivo de conseguir una cortina de agua lanzada al espacio de la manera más uniforme posible.

El chorro es un volumen de líquido a presión que al ser emitido por una boquilla adopta diferentes formas: cónica, de abanico, u otras, y finalmente se presenta como un conjunto de gotas. El aspersor o boquilla de aspersión hidráulica es una pieza o conjunto de piezas que permiten obtener la aspersión mediante el paso de un líquido a presión, a través de un orificio.

Existen varios tipos de aspersores o boquillas dependiendo de la aplicación de los mismos entre las cuales están:

- B. de aspersión para la industria automotriz.
- B. de aspersión para plantas generadoras de electricidad.
- B. de aspersión para industria de fabricación de papel.
- B. de aspersión para procesos químicos.
- B. de aspersión para protección contra fuego.

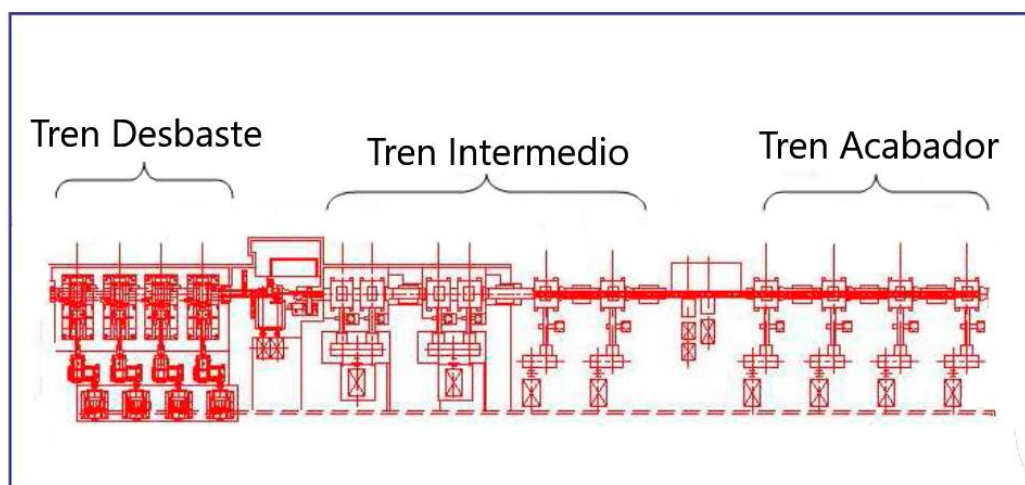
- B. de aspersión para la industria farmacéutica.
- B. de aspersión para procesamiento de alimentos.
- B. de aspersión para pretratamiento de metales.
- B. de aspersión para fabricación de acero.

2.1.9.1. Aspersores para tren de laminación

Teniendo en cuenta que el tren de laminación se divide en tres secciones el tipo de aspersores son los mismos para las tres áreas, lo único distinto para la selección de los aspersores es el ángulo de pulverización, ya que son utilizados en él:

- Tren desbaste.
- Tren intermedio.
- Tren acabador.

Figura 23. Esquema tren de laminación



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

2.1.10. Descripción del sistema de refrigeración

Este sistema cuenta con dos circuitos de agua:

- Agua directa.
- Agua indirecta.

2.1.10.1. Agua indirecta

Este circuito es la encargada del enfriamiento de los motores de las cajas de laminación, así como también se encarga de enfriar la central de lubricación, por lo que es prácticamente un circuito cerrado que no recoge ninguna escoria durante todo el proceso y recorrido que realiza.

Este mismo circuito es también utilizado para el *flushing* del circuito de agua directa el cual durante su recorrido ha dejado escoria dentro de la tubería por la que circula después de haber pasado por el tren de laminación, por lo que esta porción de agua llega para limpiar la tubería que ha quedado con residuos de escoria.

Por lo tanto este circuito solo recibe un tratamiento químico para eliminar las impurezas que ha recogido durante todo su recorrido, así como también es utilizado para realizar retro lavado a los filtros por el cual pasa el agua del circuito directo.

Equipos de enfriamiento indirecto:

- Bombas horizontales.
- Torre de enfriamiento.

- Estación de dosificación.
- Instrumentación varía.
- Cuadro eléctrico de mando y control de la planta.

2.1.10.2. Agua directa

Este circuito es la encargada de refrigerar los cilindros de laminación para evitar mayor desgaste de los cilindros y alargar la vida útil de dichos cilindros de laminación, es también la encargada de refrigerar los rodillos de las guías que van montadas en los molinos de laminación.

Componentes de la cual está compuesta el sistema de refrigeración de agua directa actualmente:

- Bombas horizontales.
- Bombas sumergibles.
- Bomba para elevación de aceite.
- Desaceitadores.
- Cangilón.
- Malacate.
- Puente vaivén.
- Soplador.
- Filtros de arena.
- Torre de enfriamiento.
- Estación de dosificación.
- Espesador estático de fangos.

El agua en circulación en dicho circuito se concentra por evaporación, por lo tanto, las sales contenidas se encuentran en una situación de desequilibrio;

surgen así fenómenos de depósito y corrosión. Las condiciones operativas presentan problemas además a causa del contacto con sus sustancias contaminantes como aceites, grasas, óxidos de hierro o sólidos suspendidos con el consiguiente agravamiento de la corrosión, ensuciamiento inorgánico y desarrollo biológico.

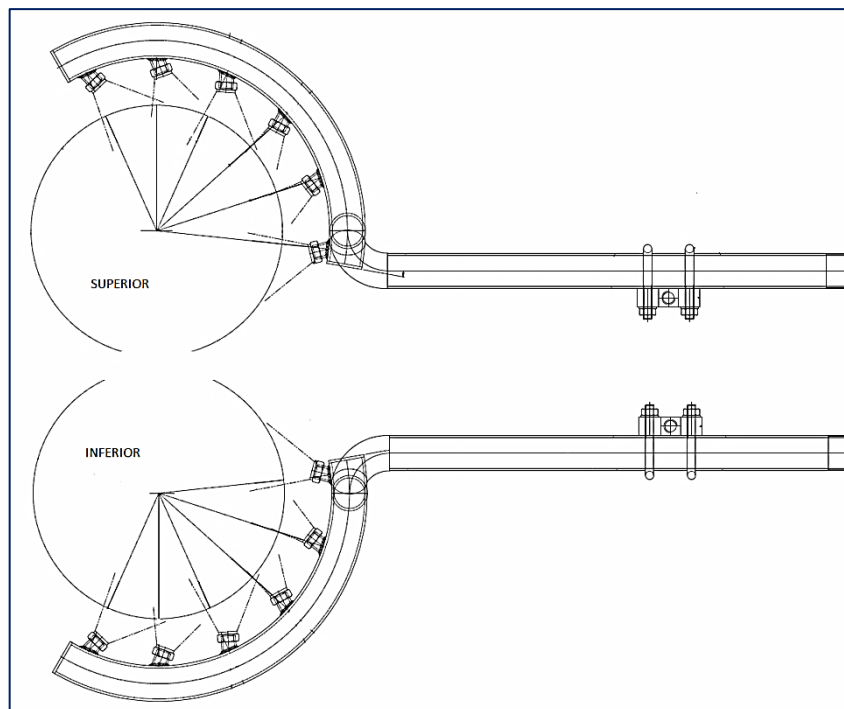
Por supuesto esto perjudica las características del producto terminado, es por eso que se tienen que prever en el proyecto varios elementos del equipo (sedimentador, filtros), que tengan la finalidad de reducir las sustancias contaminantes de modo que sus efectos negativos puedan ser disminuidos al mínimo por medio de un acondicionamiento químico adecuado.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

3.1. Condición actual del sistema de refrigeración

Actualmente el sistema de refrigeración de cilindros se encuentra distribuido entre 20 molinos de laminación, en el cual cada molino cuenta con dos tuberías de refrigeración, uno superior y uno inferior como se muestra en la figura 24.

Figura 24. Esquema de tuberías de refrigeración



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Sin embargo, uno de los inconvenientes más notables es la falta de presión así como también la falta de caudal en cada molino de laminación, esto se debe que al inicio del montaje el diseño contemplaba únicamente la refrigeración de los cilindros pero durante el avance del montaje se necesitaba también una derivación de la tubería de enfriamiento para enfriar las guías utilizadas en el proceso de laminación.

Estas guías van montadas sobre los molinos de laminación como se muestra en la figura 25, y debido al contacto que tienen con la palanquilla, la cual pasa a altas temperaturas es necesario que las mismas sean refrigeradas para evitar mayor desgaste en los rodillos que utilizan, es por esta derivación de la tubería que se le resta presión y caudal a la tubería que enfría los cilindros de laminación.

Figura 25. **Guía de laminación**



Fuente: Aceros de Guatemala. *Planta perfiles.*

En la figura 25 se logra apreciar los rodillos de la guía por los cuales pasa el lingote cuando se está laminando, como consecuencia por el paso del lingote en esta sección se eleva la temperatura, por lo tanto, es necesario refrigerar esta área ya que si no se hace, se reduciría el tiempo de vida útil de los rodillos o en el peor de los casos que se fracturen los mismos.

Por lo tanto es de vital importancia incrementar la presión y el caudal para compensar esta derivación y asimismo, aumentar la vida útil de los cilindros de laminación.

Cabe mencionar que actualmente el sistema de refrigeración cuenta con dos bombas centrifugas operando marca KSB, una con una capacidad de 280 m³/h, y la otra con una capacidad de 350 m³/h.

También es importante mencionar que la tubería utilizada figura 26 varios ya cuentan con oxidación en su superficie, así como también dentro de las mismas, esto lo que ocasiona es que en algunos casos se tape o que haya pérdida de presión y caudal si la tubería esta picada por la oxidación.

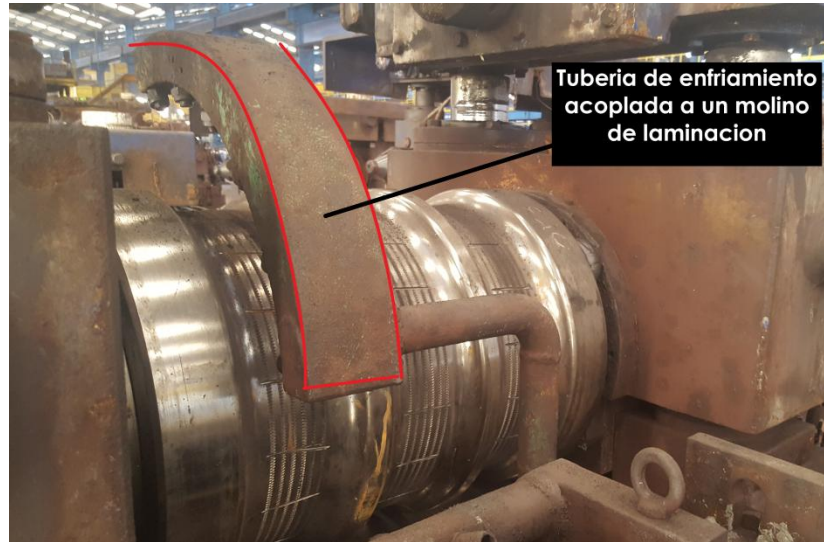
Figura 26. **Tubería montada sobre bastidor**



Fuente: Aceros de Guatemala. *Planta perfiles.*

Durante el tiempo que lleva la planta de perfiles de estar operando se han venido dando cambios principalmente en las tuberías de descarga, específicamente las que están ubicadas sobre los cilindros de laminación como se muestra en la figura 27.

Figura 27. **Tubería acoplada a un molino de laminación**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

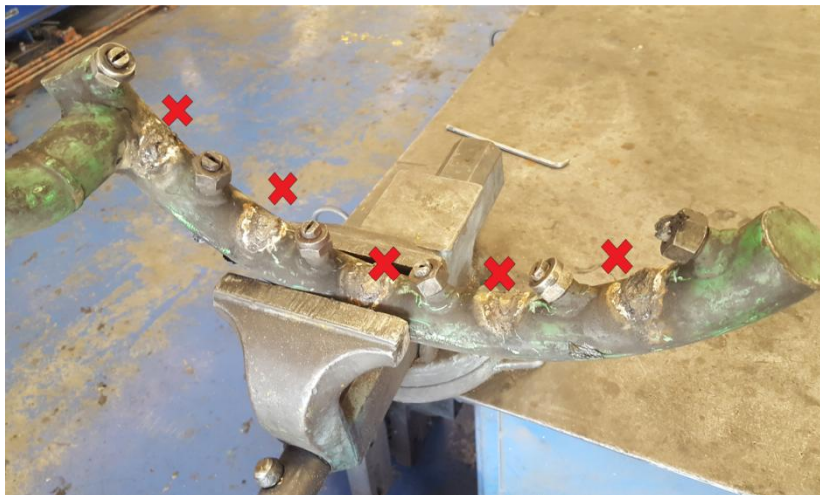
En algunas ocasiones por obtener que los calibres de cada cilindro aumenten en rendimiento, se ha tratado la manera de proporcionar más agua en la descarga de la tubería para que de esta manera se disipe más rápido el calor que ha ganado el calibre durante el paso del material entre los dos cilindros por lo que se ha optado hacerle ranuras a las tuberías de enfriamiento.

Figura 28. **Ranuras en los tubos de descarga**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Figura 29. **Tubería de refrigeración reparada**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Como se puede apreciar en la figura 29 se optó por sellar las ranuras que se le hicieron a las tuberías debido a que no cumplían con lo esperado que era

aumentar el rendimiento de los calibres de los cilindros, si no que se tenía una gran pérdida de agua dado que llegaba pero no a presión y no abarcaba solo el calibre porque no estaba direccionado, por eso mismo es tan importante la utilización de las boquillas de aspersion según sea la sección en la cual se desea utilizar (desbaste, intermedio, acabador).

3.2. Presión necesaria para utilizar cilindros de acero rápido

No existe una fórmula que determine la presión de agua para refrigerar los canales de los cilindros, porque cuando el agua de refrigeración entra en contacto con la superficie de los mismos y debido a la alta temperatura, se forma una película de vapor en la superficie, interfiriendo la extracción de calor del cilindro por la dificultad del contacto del agua fría con los canales.

La presión y dirección del spray (aspersor) de agua deben ser capaces de romper esta película de vapor. Una presión teórica necesaria para romper esta película de vapor es de $2,5 \text{ kg/cm}^2$ (2,5 bar), sin embargo, se utiliza una presión mayor que este valor para que además de refrigerar los cilindros ayude a la extracción de la escoria incrustada en los canales de los cilindros.

Actualmente la presión que se maneja a lo largo del tren laminación se detalla en la tabla V, la cual se obtuvo por la toma de datos en las distintas campañas según el producto que se lamina.

En el mismo se hace notar que en algunas secciones (desbaste, intermedio, acabador), la presión cambia según el tipo de producto debido a que en algunas campañas depende del tipo de pase de laminación que este maquinado en el cilindro de laminación.

Tabla V. Presiones agua de refrigeración, tren de laminación

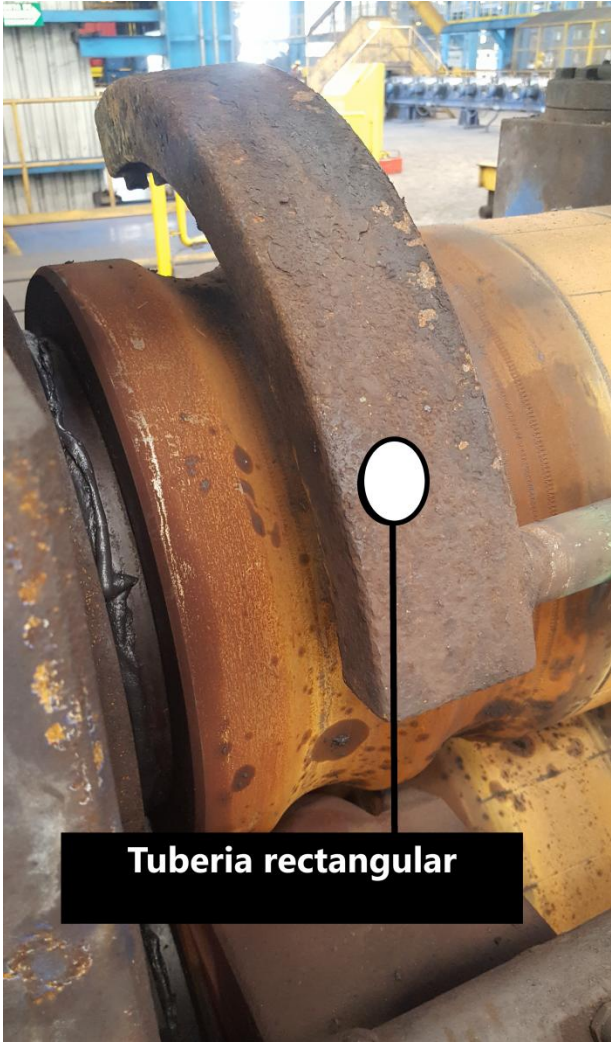
| PRODUCTO | PRESION (BAR) | | |
|-------------------------|---------------|------------|----------|
| | DESBASTE | INTERMEDIO | ACABADOR |
| Angular 3/4 | 1 | 1 | 2,5 |
| Angular 1 | 1 | 1,5 | 2,5 |
| Angular 1 1/4 | 1 | 1,5 | 2,5 |
| Angular 1 1/2 | 1 | 1,5 | 2,5 |
| Angular 2 | 1 | 2 | 2 |
| Angular 2 1/2 | 1 | 2,5 | 0 |
| Angular 3 | 1 | 2,5 | 0 |
| Hembra 1 | 1 | 1 | 2,5 |
| Hembra 1 1/4 | 1 | 1 | 2,5 |
| Hembra 1 1/2 | 1 | 1 | 2,5 |
| Hembra 2 | 1 | 1 | 2,5 |
| Cuadrado 3/8 | 1 | 1 | 2,5 |
| Cuadrado 1/2 | 1 | 1 | 2,5 |
| Liso 3/8 | 1 | 1 | 2,5 |
| liso 1/2 | 1 | 1 | 2,5 |
| Liso 12 mm | 1 | 1 | 2,5 |
| Liso 5/8 | 1 | 1 | 2,5 |
| Liso 15 mm | 1 | 1 | 2,5 |
| Liso 3/4 | 1 | 1 | 2,5 |
| Liso 1 | 1 | 1 | 2,5 |
| Varilla corrugada 5/8 | 1 | 1 | 2,5 |
| Varilla corrugada 3/4 | 1 | 1 | 2,5 |
| Varilla corrugada 11 mm | 1 | 1 | 2,5 |
| Varilla corrugada 1/2 | 1 | 1 | 2,5 |

Fuente: elaboración propia.

Todo elemento que cambie la dirección y la velocidad del agua ocasiona pérdida de presión.

Usar duchas (aspersores) o tuberías de forma distinta a la tubería alimentadora como tuberías de sección rectangulares como se muestra en la figura 30, ocasiona pérdidas de presión.

Figura 30. Tubería del área de desbaste



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Figura 31. **Tubería rectangular**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Este tipo de tuberías es más utilizada en el área del tren desbaste, ya que en esta sección el cual consta de 5 cajas de laminación la velocidad de rotación de los mismos es baja, por lo tanto en esta sección lo que se necesitan más es caudal y no tanta presión.

Es por eso que la tubería en esta área si puede ser rectangular por el tamaño de los calibres maquinados en los cilindros de laminación, mientras que en el área del tren intermedio y acabador no es recomendable la utilización de estas tuberías, ya que en esta sección si es muy importante la presión del agua con la cual llega a tener contacto con los cilindros debido a que en estas áreas se le empieza a dar forma al perfil según sea el producto.

De acuerdo con el material de los nuevos cilindros que desean implementar, estos exigen una mayor presión de agua para que disipen más rápidamente el calor absorbido por el núcleo del cilindro y asimismo, aumentar el rendimiento de cada calibre.

Es casi imposible que el agua disipe todo el calor pues una parte de este indudablemente será absorbido por el núcleo, pero no debe superar un valor determinado y estas traslaciones de calor no tienen que efectuarse bruscamente. Para una utilización eficiente, la temperatura en el cilindro nunca debe superar 55 °C, manteniéndola por todo el periodo de trabajo.

Generalmente no es posible evitar que se vaya aumentando poco a poco la temperatura en las partes internas del cilindro, pero lo esencial es impedir que se produzcan choques térmicos en la capa superficial y que existan variaciones térmicas bruscas entre las diversas capas del cilindro.

Actualmente se tienen instaladas dos bombas (KSB etanorm G150-315 G10), una de 280 m³/h y otro de 350 m³/h, dejando una en (stand-by) y la otra en funcionamiento con:

- Presión de regulación de 4 bar.
- Potencia del motor eléctrico 86 kW.

Figura 32. **Presión de bomba, cuarto de bombas**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

3.3. Selección de los aspersores adecuados según la presión de trabajo

Existen varios tipos de aspersores según sea la necesidad como se muestra en la tabla VI.

Tabla VI. **Tipos de aspersores según su aplicación**

| Tipo | Conexión | Propiedades | Aplicación |
|-------------|---------------------|-----------------------------|-----------------------|
| F | Rosca, macho/hembra | Alto impacto | Lavado a alta presión |
| GA | Rosca, macho. | distribución parabólica | Propósito general |
| GX | Tuerca y boquilla | Ventilador plano orientable | Propósito general |
| GY | Tuerca y boquilla | Orientación fija | Propósito general |
| HT | Conexión rápida | Reemplazo rápido | Propósito general |
| J | Rosca, macho | Propósito general | Propósito general |
| K | Rosca, macho | Alto impacto | Lavado a baja presión |
| K | Rosca, macho | Muy amplio ángulo | Lavado y enfriamiento |

Fuente: Catálogo SPRAY NOZZLES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (PNR).

Analizando las propiedades que se muestran en la tabla VI y tomando en cuenta que lo que se necesita es que se pueda orientar las boquillas hacia el área en contacto con la palanquilla se revisa el aspersor del tipo GX.

Este tipo de aspersor se divide en baja, estándar y alta capacidad, por lo que se analizan los tres tipos para determinar el adecuado.

3.3.1. GX baja capacidad

Las puntas de las boquillas de chorro plano se montan generalmente en una tubería utilizando un tubo soldado 3/8" niple o una abrazadera y asegurado en su lugar con una tuerca de retención. Los sellos están disponibles para operaciones de presión más alta, esto significa que pueden ser reemplazados fácilmente y que el jet puede ser convenientemente orientado en la dirección deseada.

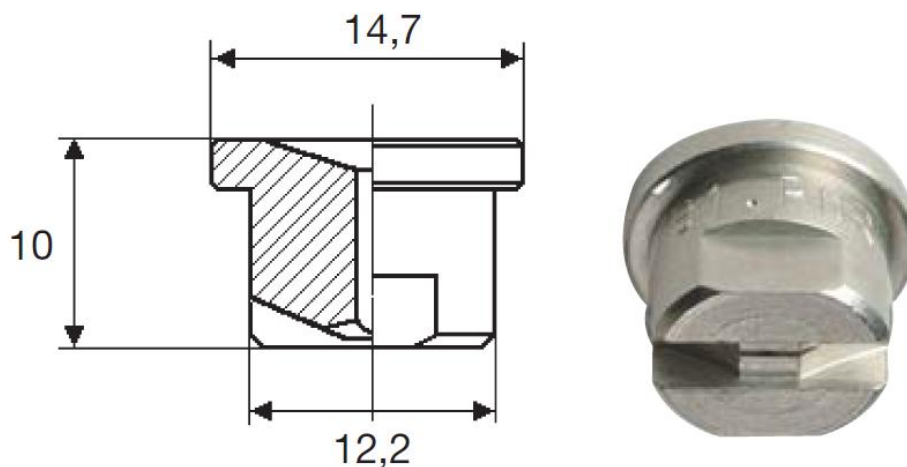
Los modelos que se muestran a continuación brindan valores de flujo muy bajos, los orificios mecanizados con precisión pueden protegerse contra el

riesgo de obstrucción mediante el uso de un filtro que se adapta perfectamente a los nipples PNR y abrazaderas específicamente diseñados para este propósito.

Materiales:

- B1 AISI 303 acero inoxidable.
- B31 AISI 316L acero inoxidable.
- T1 Latón.

Figura 33. **Esquema de aspersor de baja capacidad**



Fuente: Catálogo SPRAY NOZZLES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (PNR).

3.3.2. **GX Estándar y alta capacidad**

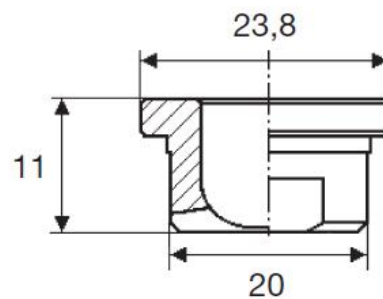
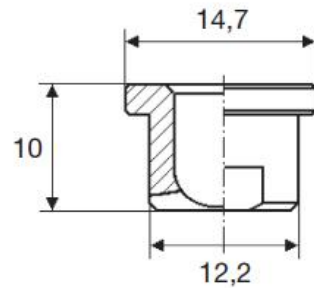
Las puntas de las boquillas de chorro se montan generalmente en una tubería con un tubo soldado de 3/8" o una abrazadera y asegurada en su lugar con una tuerca de retención. Están disponibles para operaciones de presión

más alta, esto significa que pueden reemplazarse fácilmente y que la boquilla puede estar convenientemente orientada en la dirección deseada.

Materiales:

- B1 AISI 303 acero inoxidable.
- B31 AISI 316L acero inoxidable.
- T1 latón.

Figura 34. **Esquema de aspersor de estándar y alta capacidad respectivamente**



Fuente: Catálogo SPRAY NOZZLES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (PNR).

Tabla VII. **Códigos de ángulo de pulverización**

| GXA | GXF | GXM | GXQ | GXU | GXW |
|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 0° | 30° | 45° | 60° | 90° | 120° |

Fuente: Catálogo SPRAY NOZZLES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (PNR).

Las puntas de la boquilla mostradas se pueden suministrar con seis diferentes ángulos de rociado, con valores de flujo indicados por el tercer dígito en el código de la boquilla.

Los códigos para los diferentes valores de ángulo de pulverización se enumeran en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Tipo de boquilla según la presión**

| GXA | GXF | GXM | GXQ | GXU | GXW | Code | Capacity at different pressure values | | | | | | | | lpm bar |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| | | | | | | | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 7.0 | |
| | • | • | • | • | • | 1190 | 0.78 | 1.10 | 1.34 | 1.55 | 1.90 | 2.19 | 2.45 | 2.90 | 3.47 |
| | • | • | • | • | • | 1233 | 0.95 | 1.35 | 1.65 | 1.90 | 2.33 | 2.69 | 3.01 | 3.56 | 4.25 |
| • | • | • | • | • | • | 1310 | 1.27 | 1.79 | 2.19 | 2.53 | 3.10 | 3.58 | 4.00 | 4.74 | 5.66 |
| • | • | • | • | • | • | 1385 | 1.57 | 2.22 | 2.72 | 3.14 | 3.85 | 4.45 | 4.97 | 5.88 | 7.03 |
| • | • | • | • | • | • | 1490 | 2.00 | 2.83 | 3.46 | 4.00 | 4.90 | 5.66 | 6.33 | 7.48 | 8.95 |
| • | • | • | • | • | • | 1581 | 2.37 | 3.35 | 4.11 | 4.74 | 5.81 | 6.71 | 7.50 | 8.87 | 10.6 |
| • | • | • | • | • | • | 1780 | 3.18 | 4.50 | 5.52 | 6.37 | 7.80 | 9.01 | 10.1 | 11.9 | 14.2 |
| • | • | • | • | • | • | 1980 | 4.00 | 5.66 | 6.93 | 8.00 | 9.80 | 11.3 | 12.7 | 15.0 | 17.9 |
| • | • | • | • | • | • | 2124 | 5.06 | 5.85 | 8.77 | 10.1 | 12.4 | 14.3 | 16.0 | 18.9 | 22.6 |
| • | • | • | • | • | • | 2153 | 6.25 | 7.20 | 10.8 | 12.5 | 15.3 | 17.7 | 19.8 | 23.4 | 27.9 |
| • | • | • | • | • | • | 2194 | 7.96 | 9.20 | 13.8 | 15.9 | 19.5 | 22.5 | 25.2 | 29.8 | 35.6 |
| • | • | • | • | • | • | 2245 | 10.0 | 11.5 | 17.3 | 20.0 | 24.5 | 28.3 | 31.6 | 37.4 | 44.7 |

Fuente: Catálogo SPRAY NOZZLES FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS (PNR).

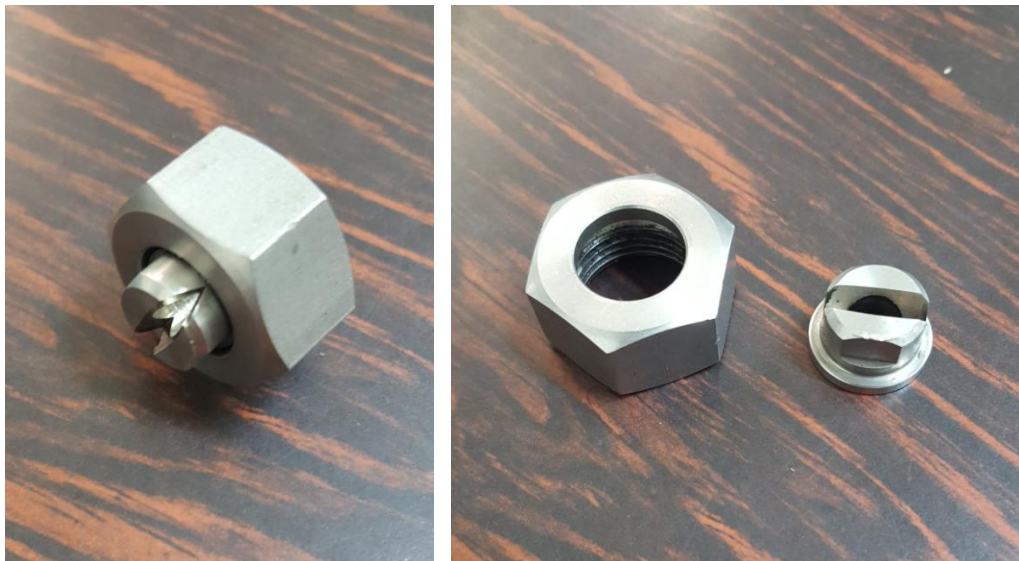
Actualmente se volvió a utilizar los aspersores ya que con las ranuras el rendimiento de los calibres de los cilindros de laminación disminuyó debido a que por el tamaño de la ranura se perdía presión al momento de laminar.

Las boquillas actualmente utilizadas son:

- GXM
- GXQ
- GXU

Son 3 tipos diferentes debido al ángulo de aplicación según sea el pase de laminación, a continuación se muestran las boquillas utilizadas.

Figura 35. **Boquillas sistema de enfriamiento, actuales**



Fuente: Aceros de Guatemala. *Planta perfiles.*

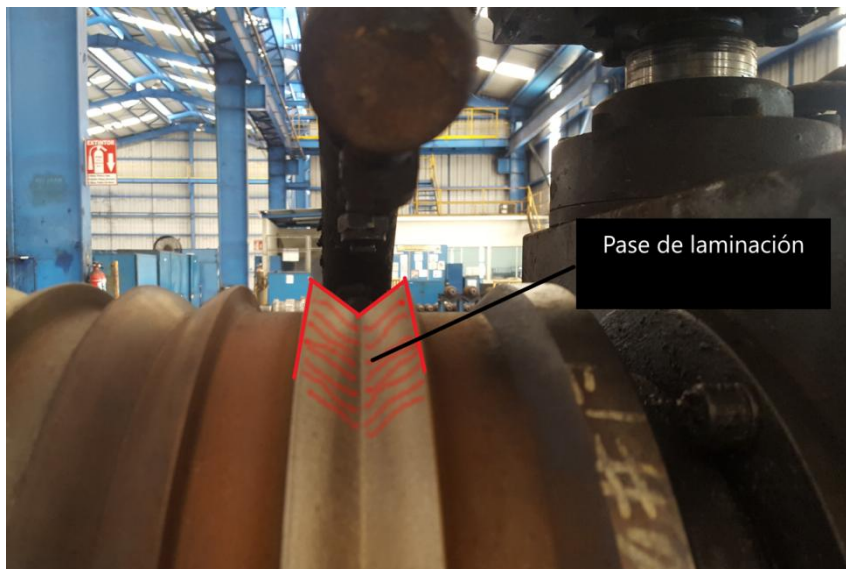
El ángulo de pulverización es muy importante, lo cual va relacionado con el tipo de pase de laminación.

3.3.3. Pase de laminación

Así se le denomina a la forma que tiene el canal por donde pasa el material que se está laminando, el cual puede ser de distinta forma (óvalos, planos, entre otros), el área que se tiene sobre el canal o pase de laminación es fundamental para distribuir el agua de refrigeración.

Es recomendable que cuando el pase de laminación es más ancho se colocarán hileras de sprays, hasta cubrir el total del ancho del canal, así como también se recomienda colocar estas hileras desfasadas para que el agua que sale de los sprays no sufra interferencias.

Figura 36. **Pase de laminación (perfil angular)**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

En la figura 36 se observa el área del pase de laminación el cual debe ser cubierto por el ángulo de pulverización de los sprays para evitar el desgaste excesivo en el canal, pero según el tipo de producto así varían los pases de laminación en los cilindros, por lo tanto, se tienen diferentes tuberías según el área de aplicación.

Figura 37. **Sección de refrigeración área desbaste**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Para un cilindro de área de tren desbaste por lo general se utilizan tuberías de sección rectangular, ya que estas cuentan con doble hilera de sprays debido a que el área de aplicación es más ancha, por lo que se necesita un mayor suministro de agua.

Figura 38. **Tubería rectangular con doble hilera de boquillas**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Según sea el tipo de pase de laminación así será la tubería que se utilizará para su enfriamiento, aunque no solo los cilindros del tren desbaste utilizan

tuberías con doble hilera sino también los cilindros del tren intermedio y del tren acabador como por ejemplo un juego de cilindros para producto angular de 3" por lo grande de la figura es necesario que la refrigeración abarque todo el canal, así como también varilla corrugada a doble hilo.

Figura 39. **Cilindros para varilla corrugada**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Figura 40. **Cilindro para tren intermedio (angular 3")**



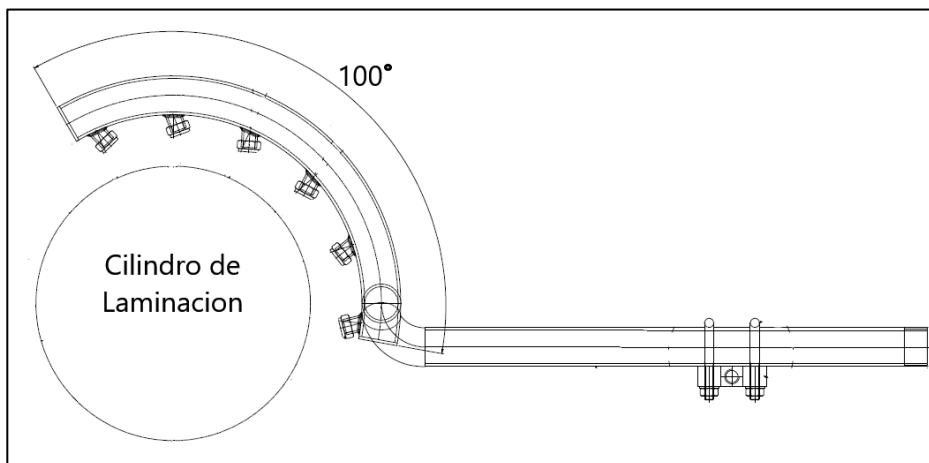
Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Como se observa en las figuras 39 y 40 para producir varilla corrugada se necesita de una tubería de doble hilera, así como para producción de angular de 3" es necesario de una tubería rectangular.

3.4. Dimensionamiento de la tubería

Actualmente se cuentan con tuberías de hierro negro las cuales el inconveniente que presentan es el desgaste por la corrosión y por tantas modificaciones que han tenido, por lo tanto, es necesario cambiar las tuberías basándose en las necesidades que se necesitan cubrir, ya sea que sean fabricados de hierro negro, acero galvanizado o acero inoxidable, siempre y cuando se respeten las medidas recomendadas por el fabricante.

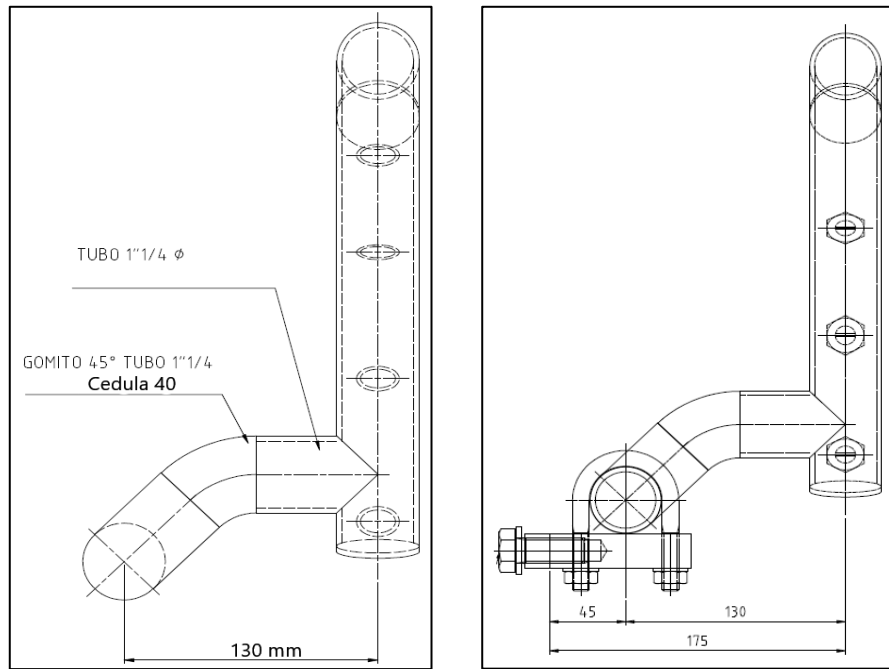
Figura 41. Longitud ideal para tuberías de refrigeración



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

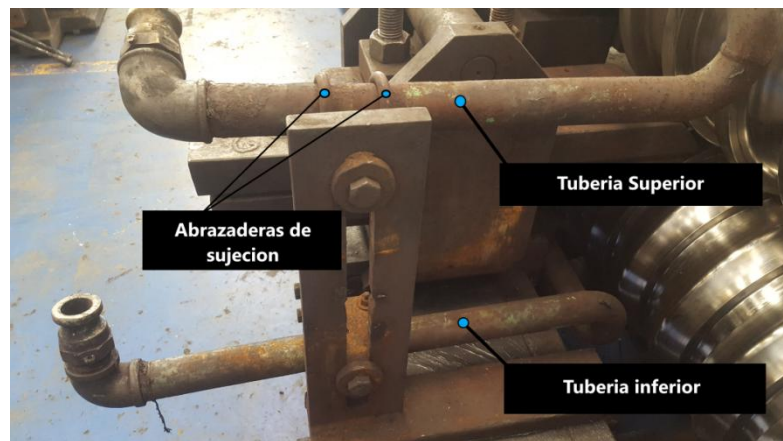
La longitud ideal de las tuberías de refrigeración es de 100 grados debido a que si excede esta longitud el agua se pierde porque no refrigera la sección del cilindro que recién está en contacto con el lingote, así como también debe ser tubería con un diámetro de 1 ¼" y de preferencia de cédula 40 como se muestra en las figuras 42 y 43.

Figura 42. **Plano de tubería de refrigeración**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 43. **Tubería sujeta con abrazaderas especiales**

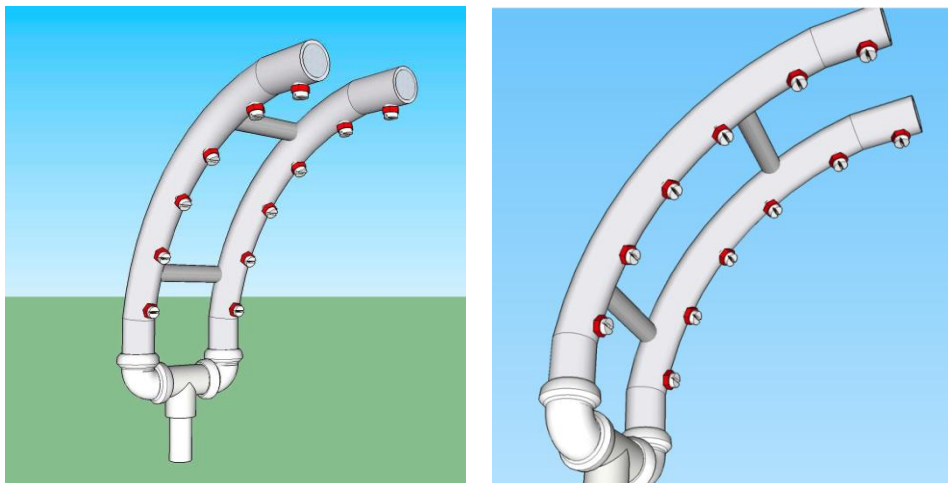


Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

La tubería debe estar sujeta por abrazaderas adecuadas para que al llegar la presión de agua no sufran movimiento alguno, así como también deberán resistir las altas temperaturas a las que son expuestas.

Para producción de varilla corrugada a dos hilos se necesita tubería de dos hileras con cierta separación entre las mismas.

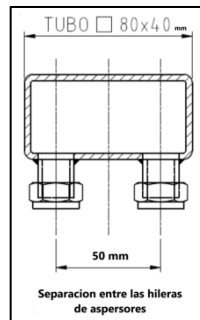
Figura 44. **Tubería para producción de varilla corrugada a 2 hilos**



Fuente: elaboración propia, empleando Sketch Up 2016.

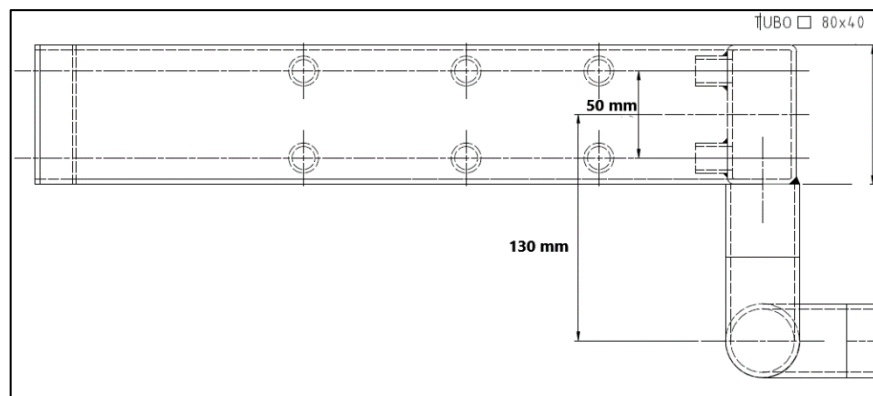
En el caso de los cilindros utilizados para el área del desbaste o incluso también para el área acabador en productos angulares de 3" se necesitan tuberías de sección rectangular con 12 aspersores para tener una mejor cobertura de refrigeración.

Figura 45. **Distancia entre aspersores para tubería rectangular con doble hilera**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

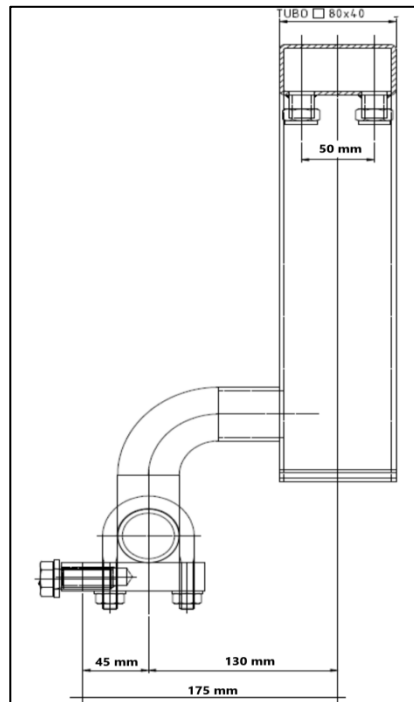
Figura 46. **Plano de tubería de refrigeración, sección rectangular vista 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

La tubería rectangular debe tener una sección de 80 x 40 mm, teniendo en cuenta que la tubería antes de acoplarse a la sección rectangular es de 1 ¼" de diámetro.

Figura 47. **Plano de tubería de refrigeración, sección rectangular vista 2**



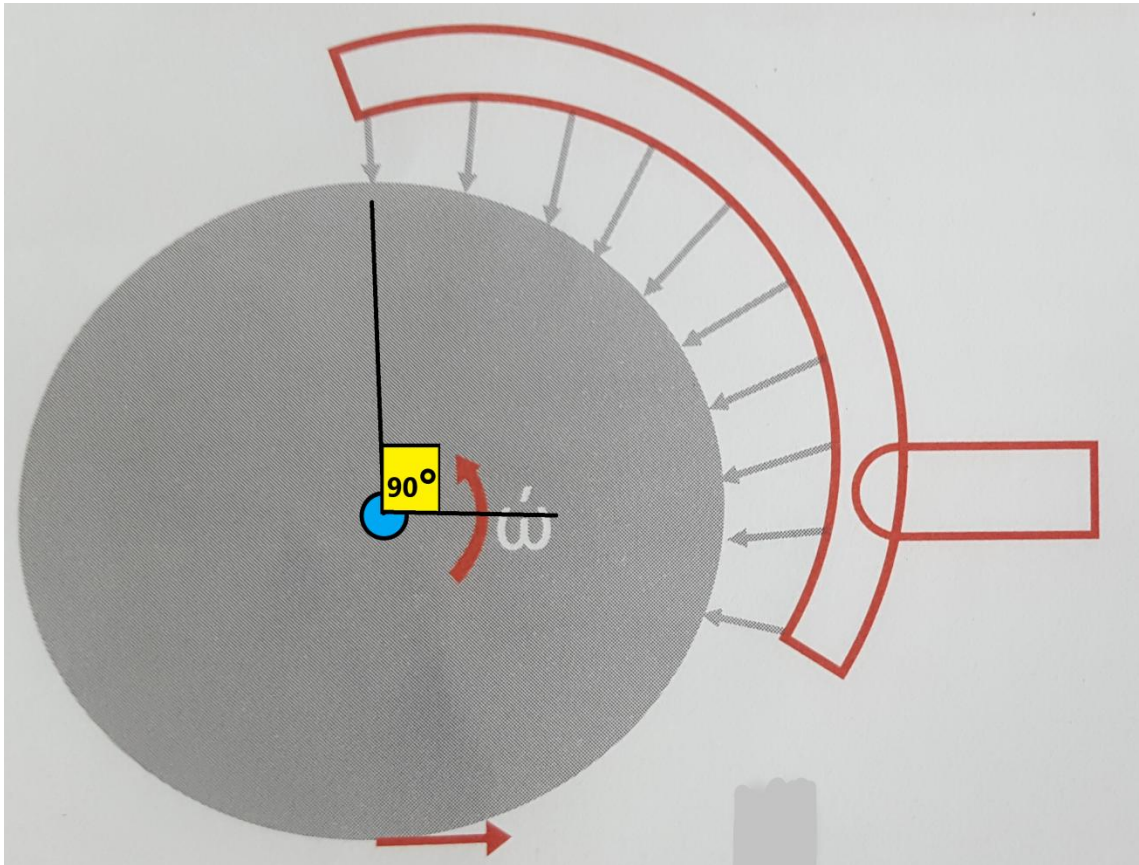
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

3.5. **Distribución de los aspersores en cada tubería**

La distribución de los aspersores es muy importante para aprovechar al máximo la presión del agua.

Uno de los errores más comunes es colocar los aspersores perpendiculares al cilindro, ya que esto ocasiona que el agua rebote directamente a los aspersores lo cual ocasiona un choque y no se aprovecha al máximo la refrigeración.

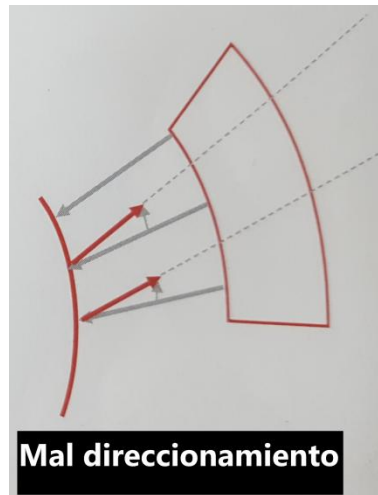
Figura 48. **Mal direccionamiento de los aspersores**



Fuente: Global rolls Ltd.

En la figura 50 se muestra que al dejar direccionado los aspersores en forma perpendicular esta rebota hacia la tubería y se pierde eficiencia ya que no cumple su finalidad.

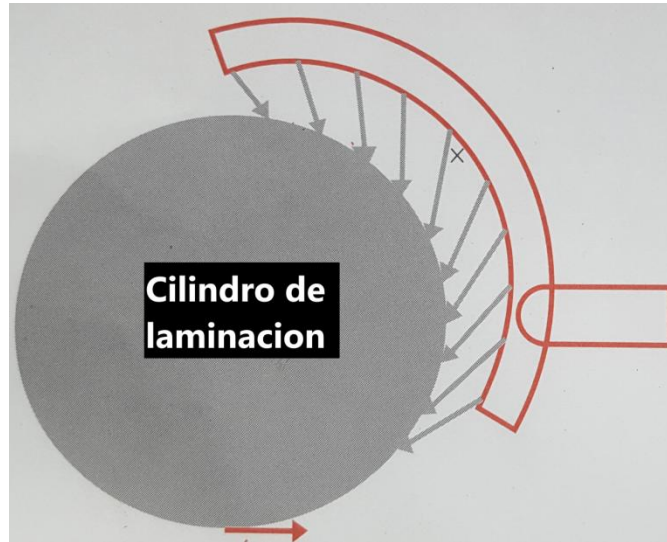
Figura 49. **Rebote del agua mal direccionado**



Fuente: Global rolls Ltd, empleando Visio 2016.

La posición ideal de los aspersores en la tubería de enfriamiento es de forma secante al cilindro para este cree una pequeña turbulencia que se mantiene por unos segundos pegado al cilindro de laminación.

Figura 50. **Dirección ideal de los aspersores**



Fuente: Global rolls Ltd, empleando Visio 2016.

Figura 51. **Direccionamiento ideal**

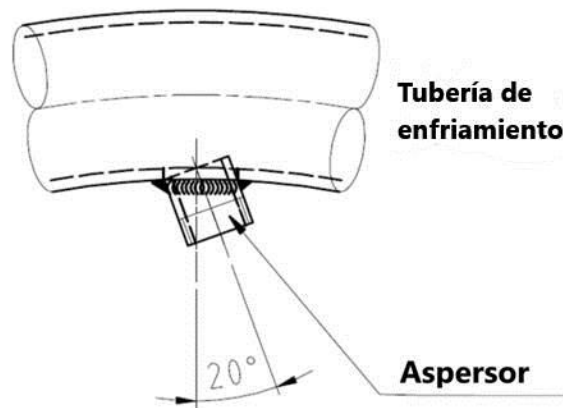


Fuente: Global rolls Ltd.

En la figura 53 se observa que los aspersores acoplados de forma secante al cilindro, se aprovecha de mejor manera la eficiencia del agua ya que se mantienen en la superficie del cilindro por más tiempo.

Esto es en relación entre los aspersores y el cilindro de laminación pero cuando se acoplan los aspersores a la tubería de refrigeración hay cierto ángulo que se debe utilizar para que el agua obtenga un contacto secante con el cilindro.

Figura 52. **Ángulo de inclinación del aspersor**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

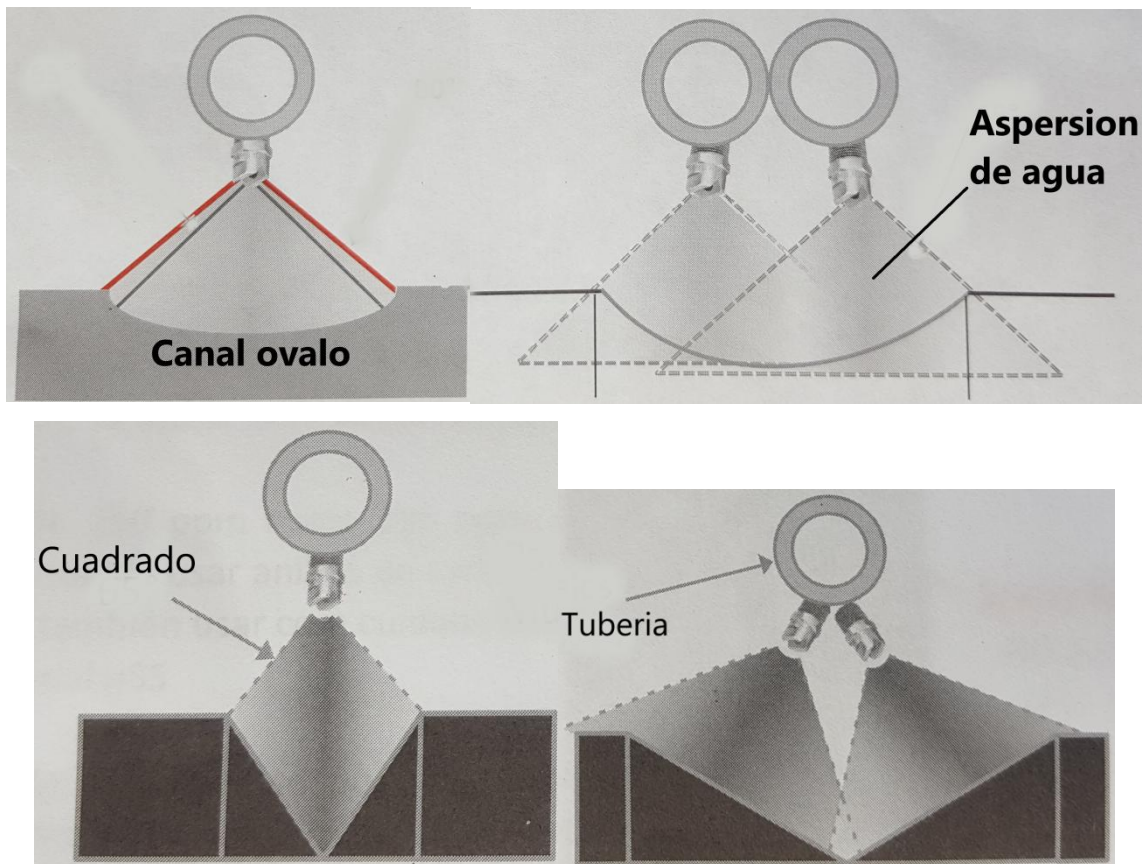
El ángulo que tiene la boquilla del aspersor es muy importante seleccionar el adecuado, para que este cubra la mayor sección posible de cada calibre de los cilindros de laminación según sea el tipo de producto.

Entre los cuales se pueden mencionar:

- Óvalos

- Planos
- Redondos
- Cuadrados

Figura 53. **Sección de aplicación del enfriamiento**



Fuente: Global rolls Ltd.

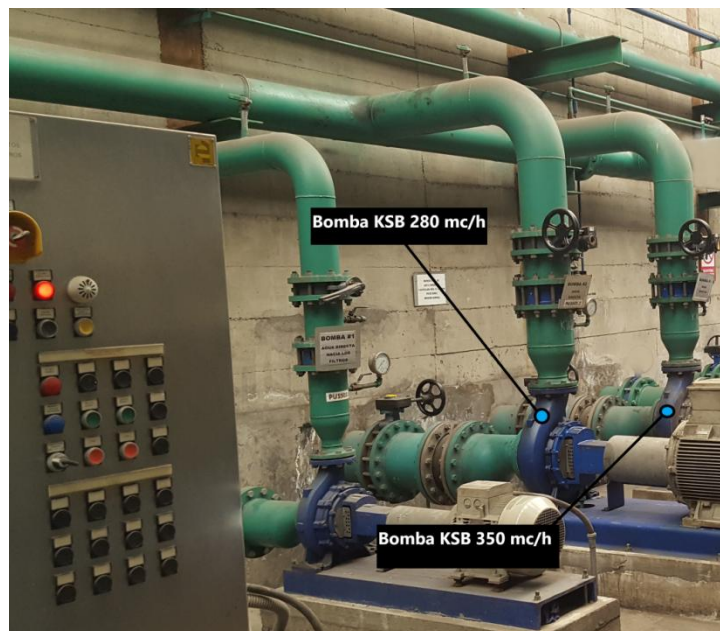
3.6. **Funcionamiento de bomba centrífuga KSB etanorm**

Este tipo de bomba es la utilizada actualmente en planta perfiles, ya que tiene diferentes aplicaciones entre los cuales se mencionan algunos:

- Abastecimiento de aguas
- Agua de refrigeración
- Agua de piscinas
- Sistemas contra incendios
- Riegos por aspersión
- Drenajes

Actualmente se utilizan dos bombas centrífugas una de 350 m³/h y la otra de 280 m³/h dejando una en *stand-by* cuando la otra tiene su mantenimiento o sufre alguna falla, se ubican en el cuarto de bombas y son las encargadas de enviar agua de refrigeración a todos los castillos (molinos) de laminación para asegurar la vida útil de los cilindros y reducir el desgaste que estos sufren.

Figura 54. **Cuarto de Bombas, planta perfiles**



Fuente: Aceros de Guatemala, elaboración propia empleando Visio 2016.

3.6.1. Esquema de diseño y función

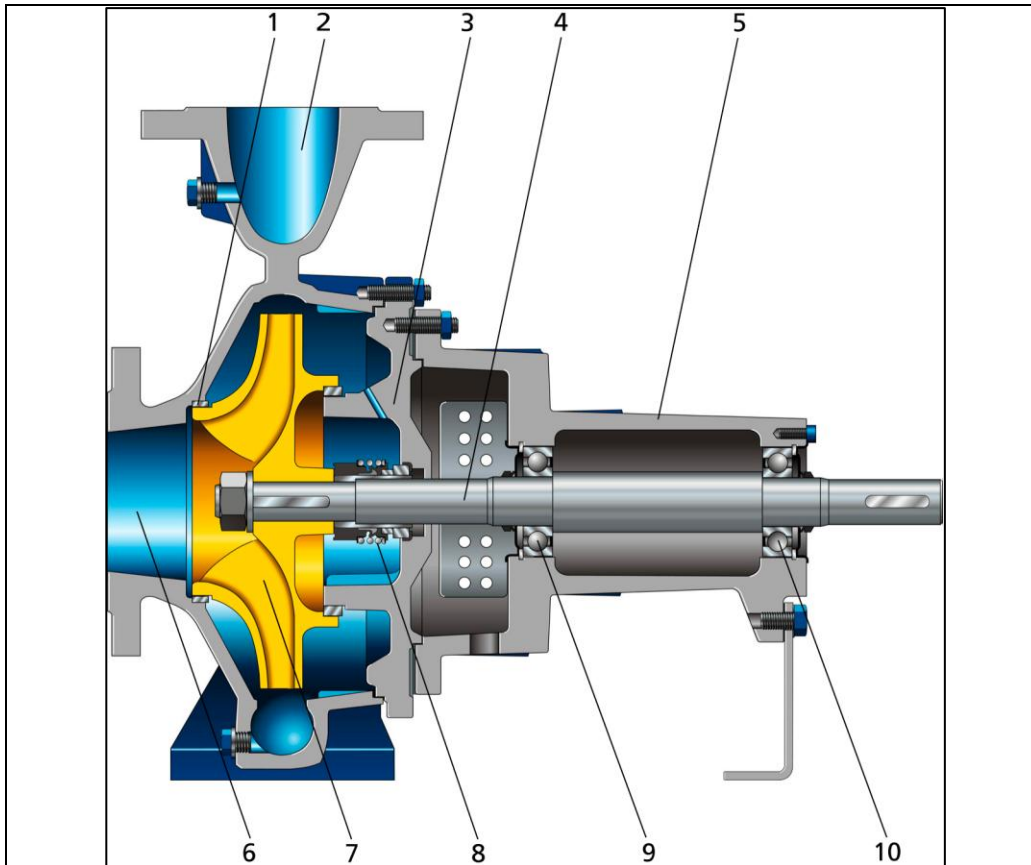
La bomba está diseñada con una entrada de fluido axial y una salida radial, el sistema hidráulico funciona con sus propios cojinetes y está conectado al motor mediante un acoplamiento de eje.

El fluido entra en la bomba axialmente a través de una boquilla de succión y se acelera hacia afuera en un flujo cilíndrico por el impulsor giratorio, el perfil de flujo de la carcasa de la bomba convierte la energía cinética del fluido en energía de presión.

El fluido se bombea a la boquilla de descarga donde sale de la bomba, el espacio libre impide que cualquier fluido fluya desde la carcasa hacia la entrada. En la parte posterior del impulsor, el eje entra en la carcasa a través de la cubierta de la carcasa.

El paso del eje a través de la tapa está sellada hacia la atmósfera, el eje corre en cojinetes de elemento rodante que están sujetos por un soporte de cojinete vinculado con la cubierta de la bomba o cubierta de la carcasa.

Figura 55. **Esquema de diseño**



Partes:

- 1) Espacio libre.
- 2) Boquilla de descarga.
- 3) Cubierta de la carcasa.
- 4) Eje.
- 5) Soporte de cojinetes.
- 6) Boquilla de succión.
- 7) Impulsor.
- 8) Sello de eje.
- 9) Rodamiento del elemento rodante, extremo de la bomba.
- 10) Rodamiento del elemento rodante, motor fin.

Fuente: Manual KSB etanorm. p. 16. Consulta: 13 de octubre de 2017.

Detalles de diseño:

- **Diseño**
 - Bomba de carcasa de voluta.
 - Diseño de extracción hacia atrás.
 - Instalación horizontal.
 - Etapa única.
 - Dimensiones de acuerdo con EN 733

- **Carcasa de la bomba**
 - Carcasa de voluta radialmente dividida.
 - Anillos de desgaste de la carcasa reemplazables.
 - Carcasa de voluta con base de bomba de fundición integral.

- **Tipo de impulsor**
 - Impulsor radial cerrado con paletas curvas múltiples.

- **Rodamientos**
 - Rodamientos de bolas radiales.
 - Lubricación con grasa.
 - Opcional lubricación con aceite.

- **Sello de eje**
 - Eje equipado con camisa de eje reemplazable/ manguito de protección del eje.
 - Sello mecánico estandarizado.
 - Embalaje de glándulas.

3.6.2. Características del ruido producido por este tipo de bomba

Debido al ruido que producen este tipo de bombas es por la que se ubican junto con las que están destinadas para el circuito indirecto en el cuarto de bombas, en la cual se albergan también las bombas utilizadas para el retro lavado de los filtros, a continuación se muestra los niveles de presión acústica según sea la bomba medida en decibeles.

Tabla VII. Niveles de presión acústica según el tipo de bomba

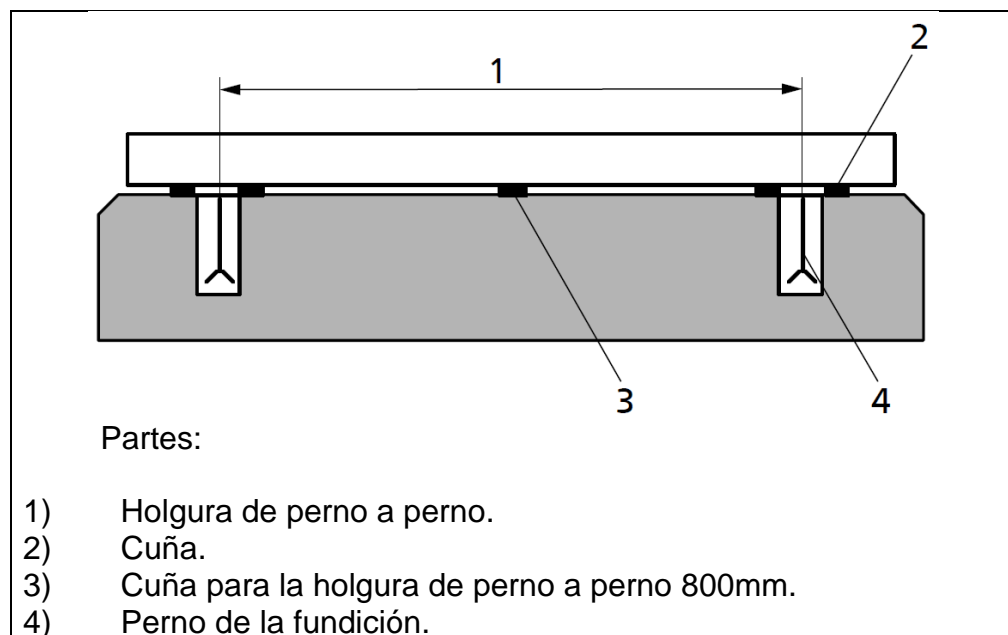
| Entrada de potencia nominal P_N [kW] | Bomba | | Conjunto de bomba | |
|--|------------------|------------------|-------------------|------------------|
| | 1450 rpm [dB] | 2900 rpm [dB] | 1450 rpm [dB] | 2900 rpm [dB] |
| 0.55 | 47 | 48 | 55 | 64 |
| 0.75 | 48 | 50 | 56 | 66 |
| 1.1 | 50 | 52 | 57 | 66 |
| 1.5 | 52 | 54 | 58 | 67 |
| 2.2 | 54 | 56 | 59 | 67 |
| 3 | 55 | 57 | 60 | 68 |
| 4 | 57 | 59 | 61 | 68 |
| 5.5 | 59 | 61 | 62 | 70 |
| 7.5 | 60 | 62 | 64 | 71 |
| 11 | 62 | 64 | 65 | 73 |
| 15 | 64 | 66 | 67 | 74 |
| 18.5 | 65 | 67 | 68 | 75 |
| 22 | 66 | 68 | 69 | 76 |
| 30 | 67 | 70 | 70 | 77 |
| 37 | 68 | 71 | 71 | 78 |
| 45 | 69 | 72 | 73 | 78 |
| 55 | 70 | 73 | 74 | 79 |
| 75 | 72 | 75 | 75 | 80 |
| 90 | 73 | 76 | 76 | 81 |
| 110 | 74 | 77 | 77 | 81 |

Fuente: Manual KSB etanorm. p. 17. Consulta: 17 de octubre de 2017.

Actualmente para aumentar la eficiencia del sistema de refrigeración debido a la utilización de cilindros de acero rápido en el área del tren acabador se necesita la instalación de 2 bombas centrífugas KSB etanorm para aumentar la presión de trabajo, la cual para este tipo de cilindros de mayor rendimiento es indispensable para que su rendimiento sea óptimo.

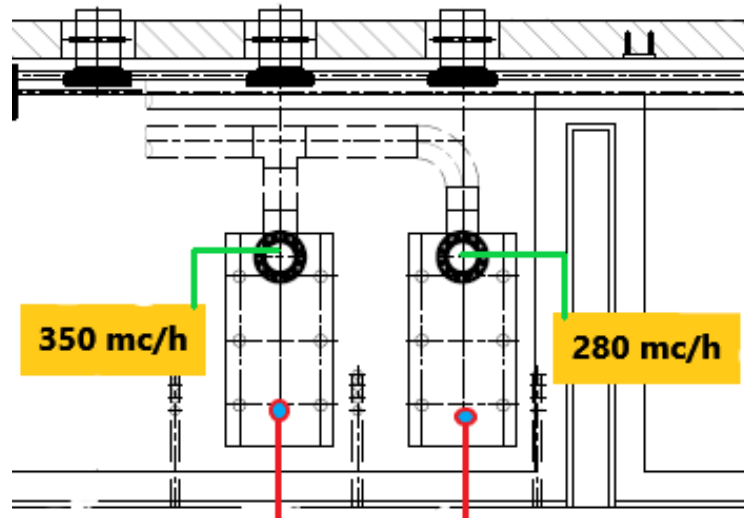
Debido a esto es importante la instalación de la base de la bomba, y respecto a esto no hay problema ya que las bombas que se deben instalar son de la misma capacidad, de las cuales ya se encuentran en uso por lo mismo se fundirán bases similares a las actuales como se muestra a continuación.

Figura 56. **Plano de fundición de bases de bomba KSB**



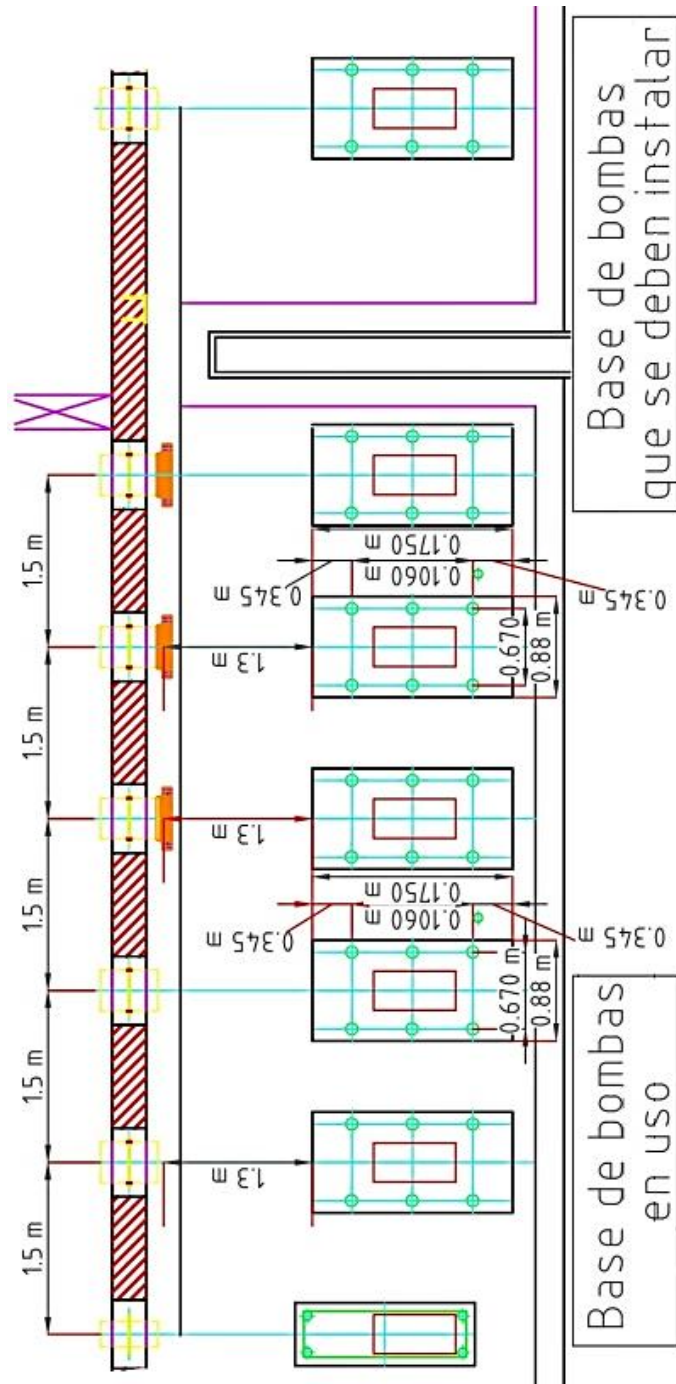
Fuente: Manual KSB etanorm. p. 19. Consulta: 17 de octubre de 2017.

Figura 57. **Plano de ubicación de las bombas nuevas**



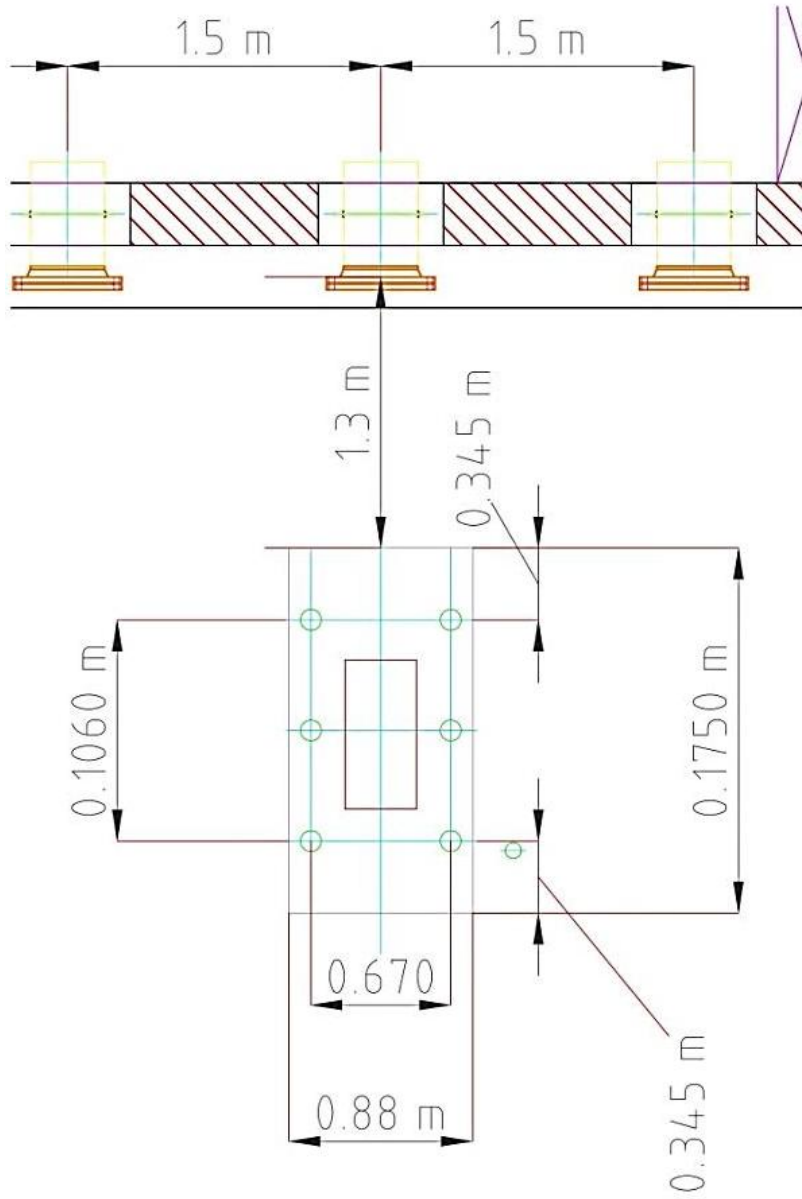
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 58. Plano cuarto de bombas, planta perfiles



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Figura 59. Plano sección de la base de la bomba



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

En las figuras 57 y 58 se muestra la ubicación y las dimensiones que debe tener la base de las bombas centrífugas que se deben instalar para aumentar la presión de agua para la utilización de los cilindros de acero rápido.

Las bases tienen las mismas dimensiones que las que están operando actualmente, ya que son del mismo tamaño así como también de la misma capacidad, el montaje de estos equipos será en el cuarto de bombas.

Este tipo de bomba está diseñado para manejar fluidos limpios o agresivos que no son químicamente o mecánicamente agresivos para los materiales de la bomba, a continuación se detalla la designación que tiene cada dato adherida en una placa a la bomba.

Esta placa indica los datos más importantes de la bomba, teniendo en cuenta la necesidad que se tiene de acuerdo a lo que se requiere, ya que con las dos bombas que se necesitan, se tendrán 4 bombas disponibles para el sistema de refrigeración, específicamente para el circuito de agua directa que es la que se encarga del enfriamiento de los cilindros de laminación.

Tabla IX. **Placa de la bomba KSB**

| | | |
|--------------------------|----------|---------------------------|
| Étanorm | G125-315 | G1 |
| 0005551976 | 001000 | 01 |
| Q 280 m ³ /h | | H 52 m |
| V 0,7 mm ² /s | | n 1 785 min ⁻¹ |
| 2011 | | |
| PU 1501,01 | | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Especificaciones de la Bomba KSB**

| | | |
|-------------|--------|--|
| Etanorm | —————> | Tipo de serie |
| G | —————> | Material de la carcasa G: fundicion gris |
| 125 | —————> | Diametro nominal de la boquilla de descarga (mm) |
| 315 | —————> | Diametro nominal del impulsor (mm) |
| G1 | —————> | Codigo de sello, sello mecanico Q Q X GG |
| 5551976 | —————> | Numero de pedido KSB |
| 1000 | —————> | Numero de articulo del pedido |
| 1 | —————> | Numero consecutivo |
| Q 280 m /h | —————> | Caudal |
| H 52.00 m | —————> | Altura |
| V 0.7 mm /s | —————> | Viscosidad cinematica del fluido |
| n 1785 min | —————> | Velocidad |
| 2011 | —————> | Año de fabricacion |

Fuente: elaboración propia.

3.7. **Bomba *Booster***

Este tipo de bomba es un equipo que aumenta la presión de un fluido, se pueden usar con líquido o gases, pero los detalles de construcción varían dependiendo del tipo de fluido. Generalmente es un mecanismo más simple que a menudo tiene solo una etapa de compresión, y se usa para aumentar la presión de un fluido.

Actualmente en los proyectos de construcción y modernización, este tipo de bomba de presión de agua se utiliza para proporcionar una presión de agua adecuada a los pisos superiores de los proyectos de gran altura, y suelen ser de pistón compresor tipo embolo.

Un amplificador de acción simple de una sola etapa es la configuración más simple y comprende un cilindro diseñado para resistir las presiones de funcionamiento, con un pistón que se impulsa hacia adelante y hacia atrás dentro del cilindro, la culata esta provista de puertos de suministro y descarga, a los que están conectadas las mangueras de suministro y descarga o las tuberías con una válvula antiretorno en cada uno que restringe el flujo en una dirección desde el suministro hasta la descarga.

Este tipo de bombas de alta presión están diseñadas para tener una larga durabilidad, su sistema patentado de impulsores flotantes minimiza las cargas axiales permitiendo una operación continua sin daño a los baleros, el sello mecánico y los componentes hidráulicos.

Sus principales materiales y características son:

- Impulsor: acetal.
- Difusor: policarbonato.
- Succión y descarga: hierro fundido.
- Sello mecánico: carbón-cerámica, con buna-N.
- Elastómeros: buna-N.
- Cuerpo de la bomba: acero inoxidable.
- Flecha motor-bomba: acero inoxidable.
- Motor: ½ - 2 HP.
- Máxima presión de entrada: 80 psi.

- Temperatura máxima del fluido: 140 °F.

Aplicaciones:

- Lavado a presión de edificios y pisos.
- Granjas avícolas.
- Equipos de enfriamiento por aspersión.
- Riego de céspedes y campos de cultivo.
- Sistemas de enfriamiento por evaporización/rociadores.
- Circulación de agua.
- Bombeo en general.
- Osmosis inversa.
- Filtración.

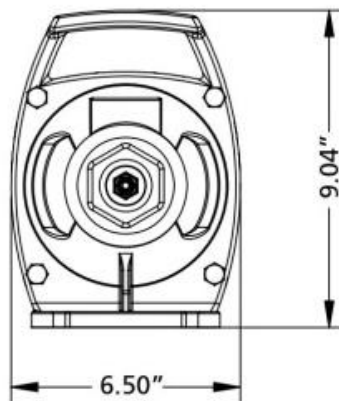
Características de las bombas de hierro fundido:

- Diseñadas para aumentar la presión de agua en una variedad de sistemas.
- Cabezal de descarga de acero inoxidable en todos los modelos.
- Soporte para motor en acero inoxidable con pie de soporte robusto para montaje horizontal o vertical y manija para portabilidad.
- La succión de 1-1/4" y la descarga de 1" son iguales en toda la línea, facilitando su instalación y mantenimiento.
- Esta bomba Booster está construida bajo la patente de Franklin Electric (patente U.S. 729,984) de sistema de etapa flotante TRI-SEAL, para máxima eficiencia, longevidad y rendimiento.
- Ensambladas con materiales de construcción de más alta calidad, como Celcon® para los impulsores, Noryl® para los difusores y acero inoxidable serie 300 para el eje, sello de ojo y la carcasa.

- Fácil servicio mediante un diseño de tapa trasera removible que no afecta la ubicación original de la tubería y la bomba.
- Motores con brida cuadrada A.O. Smith probados por la industria.
- Los motores de ½ a 3 hp son de dos voltajes y están listos para operar con una potencia de entrada de 115 V o 230 V, mientras que los de 3 hp son de 230 V únicamente.
- Presión a válvula cerrada de hasta 270 PSI, gastos de 5 25 gpm y temperaturas hasta 120 °F / 49 °C.

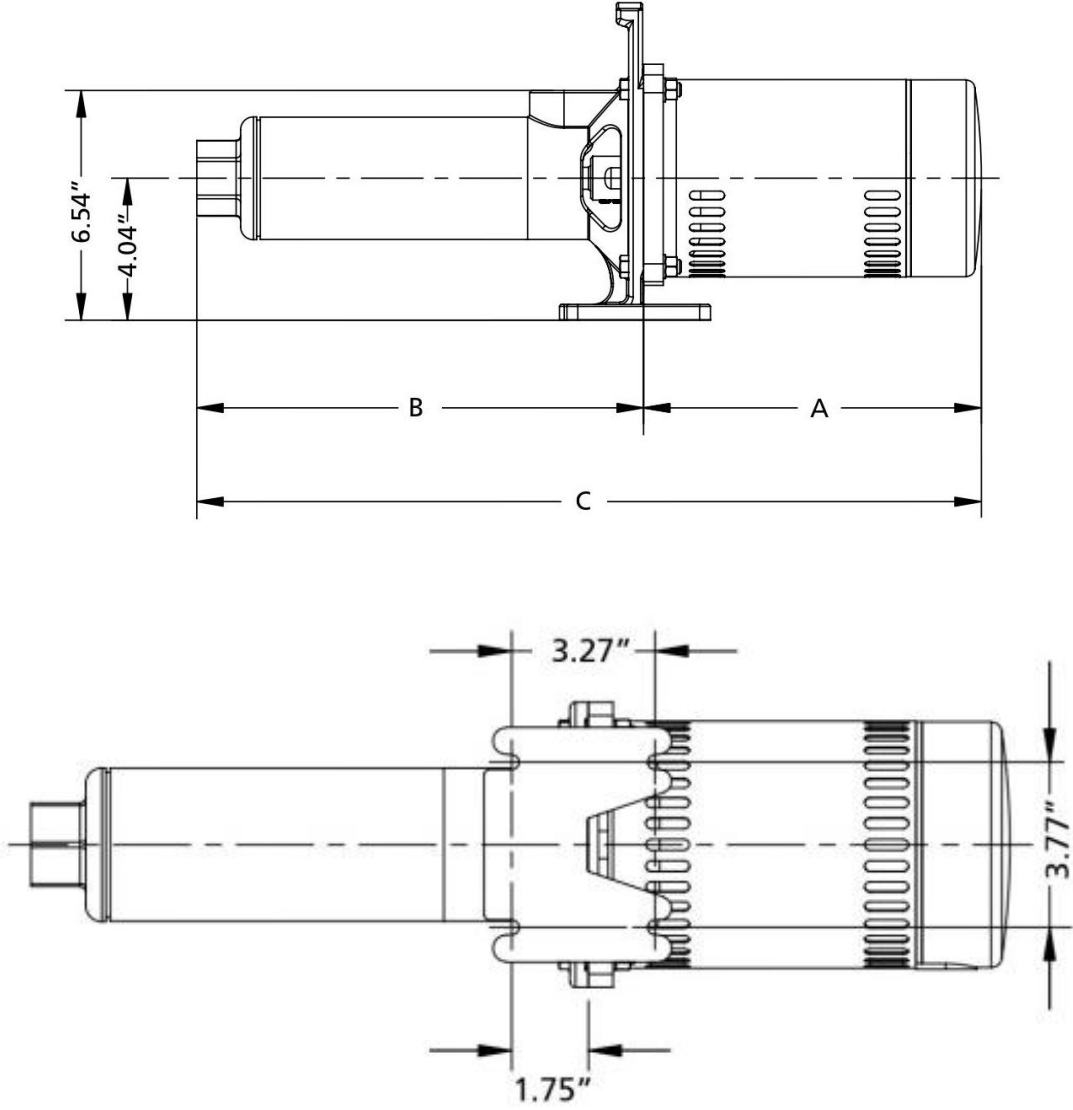
Datos dimensionales.

Figura 60. **Datos dimensionales bomba Booster**



Fuente: Catálogo de bombas no sumergibles. p. 9. Consulta: 10 de noviembre de 2017.

Figura 61. Dimensiones de una bomba Booster serie BT4



Fuente: Catálogo de bombas no sumergibles. p. 9. Consulta: 10 de noviembre de 2017.

Tabla XI. **Capacidad de bomba Booster de hierro fundido**

| GPM | HP | Etapas | A | B | C |
|------------|-----------|---------------|----------|----------|----------|
| 5 | 1/2 | 7 | 9.63" | 13.49" | 23.12" |
| | 3/4 | 9 | 10.38" | 15.14" | 25.52" |
| | 1 | 12 | 11.00" | 17.60" | 28.60" |
| 7 | 1/2 | 6 | 9.63" | 12.67" | 22.30" |
| | 3/4 | 8 | 10.38" | 14.31" | 24.69" |
| | 1 | 10 | 11.00" | 15.96" | 26.96" |
| | 1.5 | 14 | 11.88" | 19.24" | 31.12" |
| 10 | 1/2 | 5 | 9.63" | 12.27" | 21.90" |
| | 3/4 | 7 | 10.38" | 14.07" | 24.45" |
| | 1 | 8 | 11.00" | 14.98" | 25.98" |
| | 1.5 | 11 | 11.88" | 17.69" | 29.57" |
| | 2.0 | 15 | 12.63" | 21.31" | 33.94" |
| 15 | 3/4 | 5 | 10.38" | 12.27" | 22.65" |
| | 1 | 6 | 11.00" | 13.17" | 24.17" |
| | 1.5 | 8 | 11.88" | 14.98" | 26.86" |
| | 2.0 | 12 | 12.63" | 18.59" | 31.22" |
| 20 | 3/4 | 4 | 10.38" | 12.64" | 23.02" |
| | 1 | 5 | 11.00" | 13.87" | 24.87" |
| | 1.5 | 7 | 11.88" | 16.31" | 28.19" |
| | 2.0 | 10 | 12.63" | 19.99" | 32.62" |
| | 3.0 | 15 | 13.18" | 26.11" | 39.29" |
| 25 | 1 | 4 | 11.00" | 12.64" | 23.64" |
| | 1.5 | 6 | 11.88" | 15.09" | 26.97" |
| | 2.0 | 8 | 12.63" | 17.54" | 30.17" |
| | 3.0 | 13 | 13.18" | 23.66" | 36.84" |

Fuente: Catálogo de bombas no sumergibles. p. 9. Consulta: 10 de noviembre de 2017.

Tabla XII. **Capacidad de bomba Booster de acero inoxidable**

| GPM | HP | Es | A | B | C |
|------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
| 5 | 1/2 | 9 | 10.38" | 15.14" | 25.52" |
| | 3/4 | 12 | 11.00" | 17.60" | 28.60" |
| | 1 | 15 | 11.88" | 20.06" | 31.94" |
| 7 | 1/2 | 8 | 10.38" | 14.31" | 24.69" |
| | 3/4 | 10 | 11.00" | 15.96" | 26.69" |
| | 1 | 14 | 11.88" | 19.24" | 31.12" |
| | 1.5 | 19 | 12.63" | 23.35" | 35.98" |
| 10 | 1/2 | 7 | 10.38" | 14.07" | 24.45" |
| | 3/4 | 8 | 11.00" | 14.98" | 25.98" |
| | 1 | 11 | 11.88" | 17.69" | 29.57" |
| | 1.5 | 15 | 12.63" | 21.31" | 33.94" |
| | 2.0 | 18 | 12.63" | 24.02" | 36.65" |
| 15 | 3/4 | 6 | 11.00" | 13.17" | 24.17" |
| | 1 | 8 | 11.88" | 14.98" | 26.86" |
| | 1.5 | 12 | 12.63" | 18.59" | 31.22" |
| | 2.0 | 15 | 12.63" | 21.31" | 23.94" |
| 20 | 3/4 | 5 | 11.00" | 13.87" | 24.87" |
| | 1 | 7 | 11.88" | 16.31" | 28.19" |
| | 1.5 | 10 | 12.63" | 19.99" | 32.62" |
| | 2.0 | 12 | 12.63" | 22.43" | 35.06" |
| | 3.0 | 15 | 13.18" | 26.11" | 39.29" |
| 25 | 1 | 6 | 11.88" | 15.09" | 26.97" |
| | 1.5 | 8 | 12.63" | 17.54" | 30.17" |
| | 2.0 | 10 | 12.63" | 19.99" | 32.62" |
| | 3.0 | 13 | 13.18" | 23.66" | 36.84" |

Fuente: Catálogo de bombas no sumergibles. p. 9. Consulta: 10 de noviembre de 2017.

3.8. Comparación de la eficiencia propuesta y actual

La eficiencia actual se refleja en el rendimiento de los cilindros de laminación que son utilizados actualmente, ya que debido a este factor se necesita aumentar la presión de agua, así como también el caudal del mismo para la utilización de cilindros de laminación de acero rápido.

Se tiene un aumento del 25 % en la producción de una campaña que dura 4 días aproximadamente, reduciendo el tiempo de cambios de calibre ya que los nuevos cilindros brindan el doble de rendimiento en su vida útil.

Toda fundición se lleva a cabo mediante hornos de inducción de frecuencias variables, estos modernos hornos tienen una potencia automática para maximizar la eficiencia de la fundición y un control minucioso de la composición y la temperatura de la carga.

Las fundiciones están bien equipadas y especialmente diseñadas para fabricar cilindros pequeños y medianos, ya sea mediante el método estático o el centrifugado.

3.8.1. Fundición estática

Los moldes de metal se utilizan para fundir en frío la capa exterior del cilindro, y así asegurar una rápida solidificación que dará como resultado un material resistente y rico en carburos, los cuellos de los cilindros se funden en moldes de arena para que el metal se solidifique lentamente y así pueda formarse un hierro suave y rico en grafito.

Los cilindros se vierten desde el fondo a través de un vaciadero interno tangencial, esto produce un movimiento rotativo del metal líquido segregando impurezas hacia la parte superior del molde, asegurando así la limpieza e integridad de la capa exterior del cilindro.

Para la fabricación de cilindros de acero y base de acero, la ruta de fundición estática es la misma que la del hierro excepto en que el diseño del molde es diferente.

La capa exterior se fundirá en moldes lijados mientras que los moldes de los cuellos están diseñados para que el metal se pueda verter adecuadamente y asegurar así su completa solidez.

Las diversas estructuras y grados de dureza que se requieren para las diferentes posiciones se obtienen mediante procesos de tratamiento térmico.

Los cilindros fabricados por el método de fundición estática son en su mayoría fundiciones de monobloque y están limitados a calidades estándares con menores contenidos de aleación y niveles de dureza.

- Capacidad de laminar secciones pesadas y profundas.
- Mayor disponibilidad y menores precios.

3.8.2. Fundición centrifugada

Debido a los extensos requisitos y demandas de cilindros que tienen los laminadores modernos se introdujo a las fábricas de fundición desde mediados de los años 90, un sistema de fundición centrifugada (CC) para producir cilindros de doble colada (dúplex).

Los cilindros de doble colada son desde hace mucho tiempo considerados como los principales cilindros para laminar producto plano. La razón principal para su utilización es la flexibilidad de escoger el material de mayor performance, en lo que respecta al núcleo y el cuello se utiliza un material más suave, dúctil, y de alta resistencia a las cargas.

Los mejores materiales de la capa exterior para la resistencia al desgaste son normalmente más duros, frágiles, y con menor resistencia a las cargas.

Hay diversos métodos para producir cilindros de doble colada, sin embargo, todos los cilindros de doble colada producidos por BRC son por el método de fundición centrifugada, este es el método más moderno y eficaz para producir este tipo de cilindros.

En la fundición centrifugada horizontal el molde que contiene el metal de la capa exterior se posiciona en una centrifugadora horizontal en movimiento rotativo, luego de la solidificación de la capa exterior, el molde se eleva a una posición vertical y se introduce el metal del núcleo y los cuellos.

Figura 62. **Fundición centrifugada horizontal**



Fuente: Global rolls Ltd.

3.8.3. Cilindros para posiciones de desbaste

Mientras que la mayoría de los fabricantes ofrecerán un compromiso de la mezcla de estas propiedades, BRC con su completa gama de fabricación, puede ofrecer cilindros convencionales, así como especiales con una combinación de propiedades que se adecuen a la aplicación.

El tamaño y la distribución de los nódulos de grafito que controlan la conductividad del calor durante el proceso de laminación, son el resultado de este proceso de fundición centrifugada, las propiedades mecánicas finales de resistencia al rompimiento y a la fatiga térmica se producen mediante un tratamiento térmico rigurosamente controlado.

En laminadores con mucha carga, en los que es necesario utilizar cilindros de acero, una larga exposición al calor resultará en grietas térmicas y grandes patrones de desgaste, para lograr el máximo uso de estos cilindros se debe incrementar su resistencia al rompimiento y a la fatiga térmica, y al mismo tiempo se deberá incrementar su dureza operacional para mejorar su resistencia al desgaste.

El cilindro de adamite GT con 50-60 shore C de BRC tiene un mayor nivel de carburo para mejorar la resistencia al desgaste, sin embargo, este carburo es no continuo y se encuentra disperso sobre la estructura, la no continuidad del carburo es lo que evita la propagación de las grietas.

En casos extremos en que se requieren altas reducciones, generalmente debido a que el tamaño del lingote excede el tamaño diseñado, se suele rasgar la superficie del cilindro con muescas, añadiendo soldaduras para incrementar su mordacidad y aspereza, esto lleva inevitablemente a la formación de grietas bajo la superficie que si se permite en exceso resultara en rompimiento.

En condiciones menos severas se usa la calidad de acero grafitico para incrementar la mordacidad y aspereza de los cilindros que tiene la ventaja de tener un incrementado contenido de carbono y por lo tanto mayor dureza, y al mismo tiempo una mayor lubricación proporcionando una mejor resistencia al desgaste.

Figura 63. **Cilindro para posiciones de desbaste**



Fuente: Aceros de Guatemala.

3.8.4. Cilindros para posiciones intermedias

Por lo general las posiciones intermedias tienen que corregir la producción de las posiciones de desbaste la cual está mal formada y marcada. Esto resulta en que los pases de los cilindros se sobrellenan y la vida de los mismos se acorta, para corregir esto los fabricantes de cilindros hacen ajustes en la metalurgia de los cilindros, pero debido a que la mayoría son fabricados por el método estático de mono bloque, es decir, de un solo metal las opciones son limitadas.

Estos cilindros tienen la alta fortaleza de la integridad del núcleo, y a su vez permiten controlar el metal de la capa exterior para proporcionar las propiedades metalúrgicas de mayor ventaja, es decir, manteniendo el perfil de dureza con una mínima reducción de dureza junto con propiedades de resistencia a las grietas térmicas.

Esta combinación de propiedades es particularmente importante en laminadores de alta velocidad que producen varillas en donde la condición de la superficie y el perfil es crítica, para laminadores que utilizan cilindros de acero rápido (HSS) y anillos de carburo de tungsteno en los trenes acabadores, la eficiencia de laminación en esas posiciones será afectada por el perfil de la superficie de la producción saliente de las posiciones intermedias.

Para laminar canales, vigas y ángulos, debido a los tamaños de las secciones laterales, y en algunos casos debido a las distintas velocidades de cilindros, las estructuras de los cilindros pueden cambiar entre el cilindro superior y el inferior para mantener un desgaste uniforme, es al laminar este tipo de secciones que el enfriamiento del agua y la posible lubricación de los pases se vuelven muy importantes.

Las calidades de cilindros para laminar secciones profundas tales como canales, vigas, y ángulos necesitan tener una dureza lo más similar posible a lo largo de toda la sección para asegurar un desgaste uniforme, en muchos de estos casos, los cilindros de BRC fabricados por el método de doble colada centrifugada (CC duplex) con su perfil de dureza casi plano, logran este objetivo.

En el caso de canales y vigas que requieren pases profundos donde el laminador está diseñado para usar anillos o camisas, las camisas de doble colada centrifugada proporcionan una óptima solución.

Las camisas pueden ser de cualquiera de las calidades deseadas ya sea hierro, grafito esferoidal (SG) o en las calidades de acero más adecuadas para las condiciones de laminación, cuando la camisa o anillo se encaja en el eje del

cilindro mediante un ajuste por contracción, se tendrá un mejor ajuste al eje mientras más suave sea el núcleo de la camisa.

Al compararse con una camisa de fundición estática en monobloque, el estrés residual de la camisa CC duplex es reducido y resultará en una incidencia de fractura menor, la capa exterior puede fabricarse a medida de la posición mientras que el núcleo mantiene su integridad.

3.8.5. Cilindros para las posiciones de acabado

Las propiedades más importantes requeridas en las posiciones de acabado son la resistencia al desgaste y el buen acabado de la superficie, por lo general la carga es relativamente baja y las grietas representan un problema menor.

El desgaste uniforme le da una forma adecuada al bloque acabador, así como cuando se lamina redondos, mientras que un buen acabado de la superficie asegurará que se cumpla con los requerimientos del cliente.

Para obtener la máxima resistencia al desgaste, la dureza tiene que incrementarse más allá del alcance que tendrá un cilindro producido por fundición estática en monobloque, pero manteniendo a la vez la integridad del centro del cilindro.

Los cilindros BRC de acero rápido (CC duplex HSS XT) tienen una metalurgia de la capa exterior que solo puede producirse y fundirse prácticamente mediante el método de fundición centrifugada, combinado con un ciclo controlado de tratamiento térmico de alta temperatura, la estructura de carburos complejos de vanadio, tungsteno, cromo y molibdeno en una matriz

martensítica, proporciona un material con extrema resistencia al desgaste, y de dureza uniforme a lo largo de la profundidad de capa exterior.

Tabla XIII. **Bitácora de rendimientos de cilindros de laminación**

| Fecha de primera maquinada | Fecha de última maquinada | Tipo de cilindros | Marca de cilindros | Medida producida | Caja donde trabajó | Diámetro inicial (mm) | Diámetro final (mm) | Toneladas producidas |
|----------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------|------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| 03-05-2014 | 01-01-2016 | ACICULAR | HORTON | PRODUCTOS VARIOS | 14 | 330 | 282 | 37 500 |
| 02-03-2014 | 01-01-2016 | ACICULAR | HORTON | HEMBRAS | 18 | 330 | 270 | 6 500 |
| 15-01-2015 | 23-02-2016 | ACICULAR | BRC | ANGULAR 1" | 15 | 331 | 277 | 4 500 |
| 08-01-2015 | 18-07-2015 | ACICULAR | BRC | ANGULAR 1" | 17 | 330 | 319,5 | 2 100 |
| 23-11-2013 | 03-02-2014 | FUNDICIÓN PERLÍTICA NODULAR | HORTON | ANGULAR 1 1/2" | 18 | 347 | 328,3 | 3 000 |
| 27-08-2014 | 27-07-2015 | FUNDICIÓN PERLÍTICA NODULAR | BRC | ANGULAR 1 1/2" | 17 | 330 | 294,3 | 3 000 |

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XIII se describe el rendimiento que tienen los cilindros ubicados en el área acabador del tren de laminación, se distingue que hay dos tipos de fundición como lo es: acicular y perlítica nodular.

3.8.6. Fundición nodular

Al contrario de una fundición gris, la cual contiene hojuelas de grafito, la fundición nodular tiene una estructura de colada que contiene partículas de grafito en forma de pequeños nódulos esferoidales en una matriz metálica dúctil, de ese modo la fundición nodular tiene una resistencia mucho mayor que

una fundición gris y un considerable grado de ductilidad, estas propiedades y otras tantas pueden mejorarse con la utilización de tratamientos térmicos.

Esta matriz proporciona una elevada templabilidad, permitiendo la ejecución de tratamientos térmicos como temple por inducción, normalización y otros, obteniéndose de esa manera, una amplia gama de combinaciones de propiedades mecánicas.

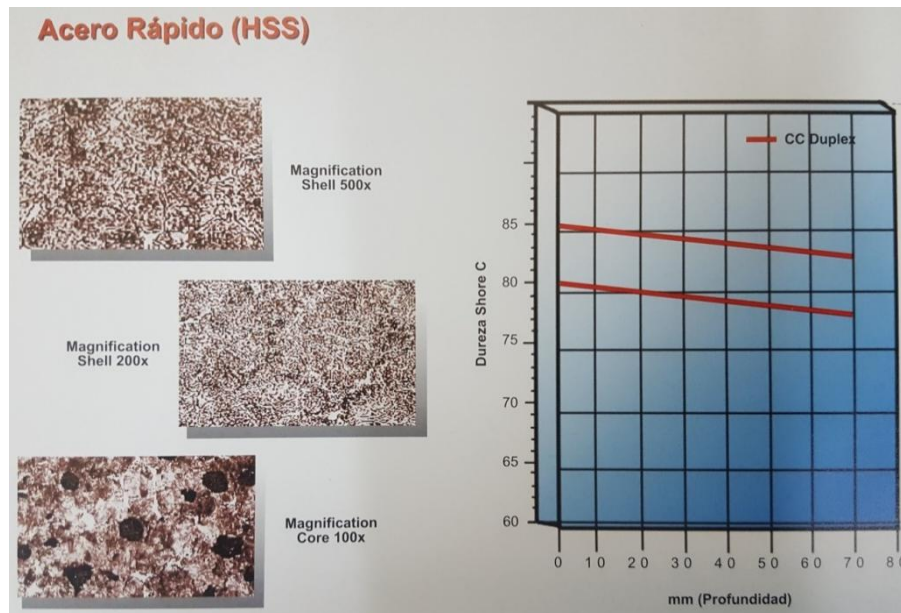
3.8.7. Acero rápido

Los cilindros de acero rápido (HSS) tienen altos niveles de dureza y muy buena resistencia al desgaste a altas temperaturas de laminación, esta calidad se produce por el método de doble colada centrifugada (CC duplex) y el material del núcleo es hierro de grafito esferoidal (SG) perlítico.

Su composición y subsecuente tratamiento térmico aseguran que la dureza de la capa exterior del material HSS alcanzará los 80/85 % shore C, con una dureza uniforme a lo largo de su vida útil, mientras que la estructura de carburos complejos de vanadio, tungsteno, niobio y molibdeno en una matriz martensítica asegura un desgaste uniforme, así como una alta resistencia al desgaste.

Este tipo de cilindro se utiliza en posiciones de acabado para incrementar los tiempos de campaña y obtener un mejor acabado en la superficie del producto laminado.

Figura 64. **Composición de cilindros de acero rápido**



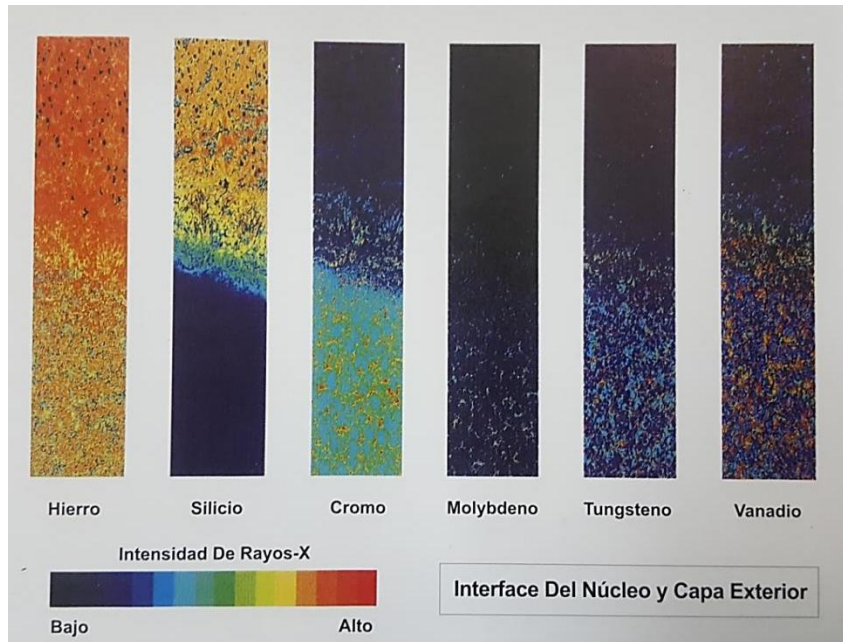
Fuente: catálogo de cilindros BRC.

Zona interfacial de los materiales de la capa exterior y el núcleo

Para asegurar una larga vida del cilindro y evitar alguna falla mecánica, es esencial la completa fusión de la capa exterior con el núcleo, por lo tanto, es necesario que la zona interfacial sea angosta y libre de porosidades.

Casi no hay migración de la aleación al material del centro y hay muy poca migración de la solución de la capa exterior al núcleo, asegurando de esta manera la integridad de los cuellos del cilindro.

Figura 65. **Interface del núcleo y capa exterior del cilindro**



Fuente: catálogo de cilindros BRC.

Figura 66. **Análisis químico y propiedades mecánicas**

| Análisis Químico de la capa exterior | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| C | Si | Mn | W | Cr | Mo | V | Nb | Ni |
| 1.6-2.0 | 0.3-1.0 | 0.3-1.0 | 1.5-2.5 | 4.0-8.0 | 4.0-6.0 | 4.0-6.0 | 0.5-1.5 | 0.5-1.5 |

| Propiedades Mecánicas y Físicas de la capa exterior | | | |
|---|---------------------------|-------------------------|--|
| Dureza | Resistencia a la Tracción | Resistencia al Desgaste | Módulo de Elasticidad |
| 80-85° HSC | 700-900 N/mm ² | 3-5 x AIC | 2.37x10 ⁴ N/mm ² |

| Análisis Químico de los materiales del núcleo y de los cuellos para los cilindros HSS de Doble Colada Centrifugada (CC Duplex) | | | | | | | |
|--|---------|---------|---------|---------|-------|---------|-------|
| Material | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | Mg |
| SG 3 | 3.2-3.6 | 1.9-2.3 | 0.3-0.7 | 0.5-1.0 | ≤0.20 | 0.2-0.5 | ≥0.05 |

Fuente: catálogo de cilindros BRC.

Actualmente se necesita utilizar este tipo de cilindros de laminación ya que tienen mayor resistencia al desgaste porque están compuestos por una capa externa hecha de acero de alta aleación y alto contenido de carbono y un núcleo interno hecho de hierro fundido de grafito esférico.

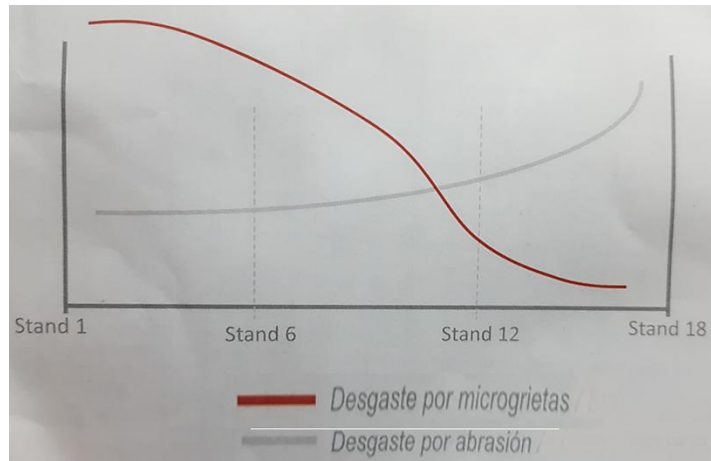
Los cilindros se fabrican con la tecnología de fundición centrífuga horizontal que otorga una microestructura homogénea y fina, las capas externas se caracterizan por la presencia de carburos primarios con alta dureza y matriz de martensita templada con alta resistencia a la temperatura.

Principales características:

- Dureza alta y uniforme.
- Alta resistencia al desgaste por abrasión.
- Alta resistencia a la adhesividad por la capa de óxido de la superficie.
- Alta resistencia a las grietas por calor y al estrés térmico.
- Estructura fina y uniforme sobre la capa externa.

Los cilindros en un laminador sufren de dos tipos de desgaste: desgaste por microgrietas y desgaste por abrasión.

Figura 67. **Gráfico de desgaste en un laminador**



Fuente: Global rolls Ltd.

3.8.8. **Desgaste por microgrietas**

Las microgrietas se producen por efecto de la temperatura, creciendo en función del tiempo de exposición a la alta temperatura, estas microgrietas deben cerrarse rápidamente y esto se logra refrigerando el punto caliente del cilindro o en la salida de la barra laminada.

No refrigerar la zona cercana a la guía de entrada porque el agua quedará atrapada en las microgrietas y agrandarlas.

Las microgrietas tienen diferente crecimiento según el material del cilindro.

3.8.9. **Desgaste por fricción o erosión**

No es posible controlarlo porque es parte inherente y necesaria de la laminación así como de la vida misma, sin embargo, la aplicación de agua a

presión para limpiar los materiales erosionados de la superficie, por la fricción, reduce el desgaste de canales.

El desgaste por fricción es función de todas las variables para el estudio de la laminación, dejar las partículas de la erosión pegadas, significa introducir una variable más, pero la variable fundamental para el desgaste por erosión es el material del cilindro y pueden haber dos dinámicas de erosión: estática y dinámica.

El uso de este tipo de cilindros se ve reflejado en un aumento en la vida útil del cilindro en comparación con los cilindros de hierro estándar, gracias a una mayor vida útil de los calibres de 2 a 3 veces mayor resistencia al desgaste y menor grosor de reparación o sea que necesita menores maquinadas de torno.

Tienen una reducción de grietas por calor y grietas por impacto mecánico en comparación con anillos de carburo de tungsteno, un aumento del tiempo de cambio entre campañas de producción y un mejor acabado superficial.

Los cilindros de acero de alta velocidad o acero rápido como es comúnmente llamado, se pueden utilizar en todos los *stands* o cajas de laminación para fabricar barras o varillas de alambre, especialmente en este caso en el área de acabado ya que se tiene el inconveniente en la varilla corrugada, porque el rendimiento de los calibre es muy bajo, por lo tanto, se consume muy rápido la vida útil del cilindro.

Respecto a la actualidad, el utilizar los nuevos cilindros requiere un sistema con una presión de agua no inferior a 5 bar y caudal no inferior a 180

l/min para cada caja, con la instalación de las dos bombas que se prevén se estaría llegando a 6 bar o más.

Se realizó una prueba colocando en funcionamiento las dos bombas ya existentes para verificar la presión a la cual llegaría, específicamente en el área de acabado.

Tabla XIV. **Datos obtenidos de presión tren de laminación**

| PRODUCTO | PRESION (BAR) | | |
|-------------------------|---------------|------------|----------|
| | DESBASTE | INTERMEDIO | ACABADOR |
| VARILLA CORRUGADA 5/8" | 2,5 | 2,5 | 6 |
| VARILLA CORRUGADA 3/4" | 2,5 | 2,5 | 6 |
| VARILLA CORRUGADA 11 mm | 2,5 | 2,5 | 6,3 |
| VARILLA CORRUGADA 1/2" | 2,5 | 2,5 | 6,3 |

Fuente: elaboración propia.

Como se detalló en la tabla XII, la duración de vida útil que tiene los cilindros convencionales es de 3 000 a 4 500 toneladas en promedio, mientras que con los de acero rápido se prevé obtener un aumento en el rendimiento de por lo menos el doble de vida útil.

3.9. Costo del sistema propuesto

Con respecto al costo del sistema propuesto se contempla la instalación de dos bombas KSB etanorm, con capacidad de Q280 m³/h y la otra de Q350 m³ /h respectivamente, en el cuarto de bombas y quedarán al lado de las dos

bombas que actualmente se utilizan en planta perfiles, para incrementar la presión de agua en las últimas 5 cajas acabadoras como consecuencia de utilizar cilindros de acero rápido.

Para dicho trabajo se establecieron ciertos lineamientos, los cuales debe cumplir la empresa que realice dicho proyecto.

3.9.1. Preparativos iniciales

- El personal debe contar con capacitaciones para trabajos en caliente, espacios confinados, alturas, EPP, entre otros, para cumplir con los lineamientos según Normas OHSAS 18000.
- Para cumplir con los requerimientos de tiempo de entrega, la empresa deberá emplear 1 turno de trabajo de 7:00 a 17:00 horas de lunes a viernes y sábado de 7:00 a 12:00 horas.
- La empresa deberá presentar una planificación, definiendo tiempos y actividades de todo el proyecto como su fecha de entrega, (tomando en cuenta que se podría ampliar el tiempo de entrega en caso sea necesario), adicionalmente se deberán realizar reportes semanales para evaluar tiempos y avances en conjunto.
- La empresa deberá comprometerse a utilizar todos los procedimientos de salud, higiene y seguridad.
- El equipo de seguridad obligatorio para el personal se detalla a continuación:
 - Casco debidamente identificado.
 - Cinturones tipo arnés.
 - Lentes de seguridad.
 - Tapones auditivos.
 - Zapatos con puntera de acero.

- Guantes de cuero.
- Arnés de seguridad.
- Uniforme debidamente identificado.

3.9.2. Alcances de la empresa que ejecutará dicho proyecto

- Suministrará todos los materiales de tubería, accesorios, válvulas, cheques, bridas, empaques, tornillería para el acoplamiento y conexión de tuberías de succión y descarga de bombas.
- Suministro de material de soportería de tuberías, insumos consumibles, electrodos, gases, abrasivos, pintura de tuberías, suministro de abrazaderas para fijación de tuberías.
- Bancos de trabajo, prensa de tubo, máquinas de soldar, equipos de cortar, equipos para aplicación de soldadura eléctrica (SMAW), pulidoras grandes y pequeñas, toda herramienta manual, extensiones eléctricas, polipastos, tableros y extensiones para alimentar eléctricamente todos los equipos requeridos para el proyecto.
- Transporte de personal y viáticos, junto con exámenes médicos.

3.9.3. Alcances de Sidegua

- Suministro de las 2 bombas con todo sus bancazos y pernos de anclaje.
- El vaciado del tanque (pileta) para conectar la succión de las bombas será por parte de Sidegua (planta perfiles).
- Suministro de energía eléctrica y servicios sanitarios para la ejecución de todos los trabajos en sitio.
- Suministro de una área segura para el resguardo de los equipos y herramientas de la empresa encargada del montaje.

3.9.4. Características de los trabajos a realizar

- Construcción de 2 bases para bombas KSB.
 - Las bases tienen las siguientes dimensiones:

Ancho = 0,88 m.
Largo = 1,76 m.
Altura = 0,26 m. (se deberá utilizar 0,05 m de *grouting*)
 - Se deberá utilizar concreto de 4 000 psi.
 - Instalación, alineación y nivelación de pernos de bombas.
 - Una vez fundida las bases, se montarán las bombas, se alinearán y nivelarán por medio de los pernos.
 - Alineadas las bombas se fundirán con *grout*, espesor de 0,05 m.

- Fabricación y montaje de cargadores:
 - Fabricación e instalación de soporteria para las tuberías de 10" por medio de vigas tipo C de 6" x 2" x ¼".
 - Toda la tubería se fijara mediante abrazaderas tipo U.
 - El procedimiento de soldadura para toda la soporteria será SMAW para acero al carbono.
 - Todo el material para estos soportes será suministrado por la empresa que ejecutara el proyecto.

- Montaje de tubería:
 - Se deberá instalar aproximadamente 3,8 m de tubería de 10" cédula (20) y aproximadamente 3 m de tubería de 14" cédula (40) para las tomas de carga y descarga de las bombas.

- Para la succión de cada bomba deberá llevar los siguientes equipos en 14": válvulas, junta flexible, bridas, reductor, tornillería y empaques.
 - Para la descarga llevara los siguientes equipos en 10": válvulas, cheque, bridas, codos, tees, reductores tornillería y empaques.
 - Las líneas de alimentación y descarga llevan sus líneas de purga de 1" con todo y su válvula.
 - Se instalará en la descarga de cada bomba un medidor de presión (manómetro) con todo y su línea de 1", accesorios y válvula.
 - Para el montaje de estas líneas de tubería, se utilizará procedimiento de soldadura SMAW para realizar todas las juntas de soldadura.
 - Aplicación de una capa de pintura según color de indicación de planta.
- Gestión de calidad del proyecto.
 - La empresa encargada del proyecto debe ofrecer soldadores certificados según procedimientos precalificados con base en sección IX del código ASME.
 - Realizar una inspección con ensayos no destructivos (inspección visual y líquidos penetrantes), para verificar que no tengan fisuras la uniones con soldadura.

Con los parámetros antes mencionados se procedió a realizar una cotización a una empresa de montaje de equipos, obteniendo así la inversión que se debe realizar, teniendo en cuenta que ya se dispone de las dos bombas KSB.

Tabla XV. **Costo del sistema propuesto**

| ITEM | DESCRIPCION | VALOR |
|------|--|-------------|
| 1 | Construcción de 2 bases y montaje de bombas. | Q2 000,00 |
| 2 | Suministro y montaje de tuberías de 14" y 10" para succión y descarga de 2 bombas con todos sus accesorios, soportería, válvulas, cheques, bridas, reductores, líneas de purga, tornillería, empaques y manómetro de acuerdo a detalles previstos en el sitio de construcción. | Q218 000,00 |
| | Valor total del proyecto | Q220 000,00 |

Fuente: elaboración propia.

3.10. Costos por pérdidas

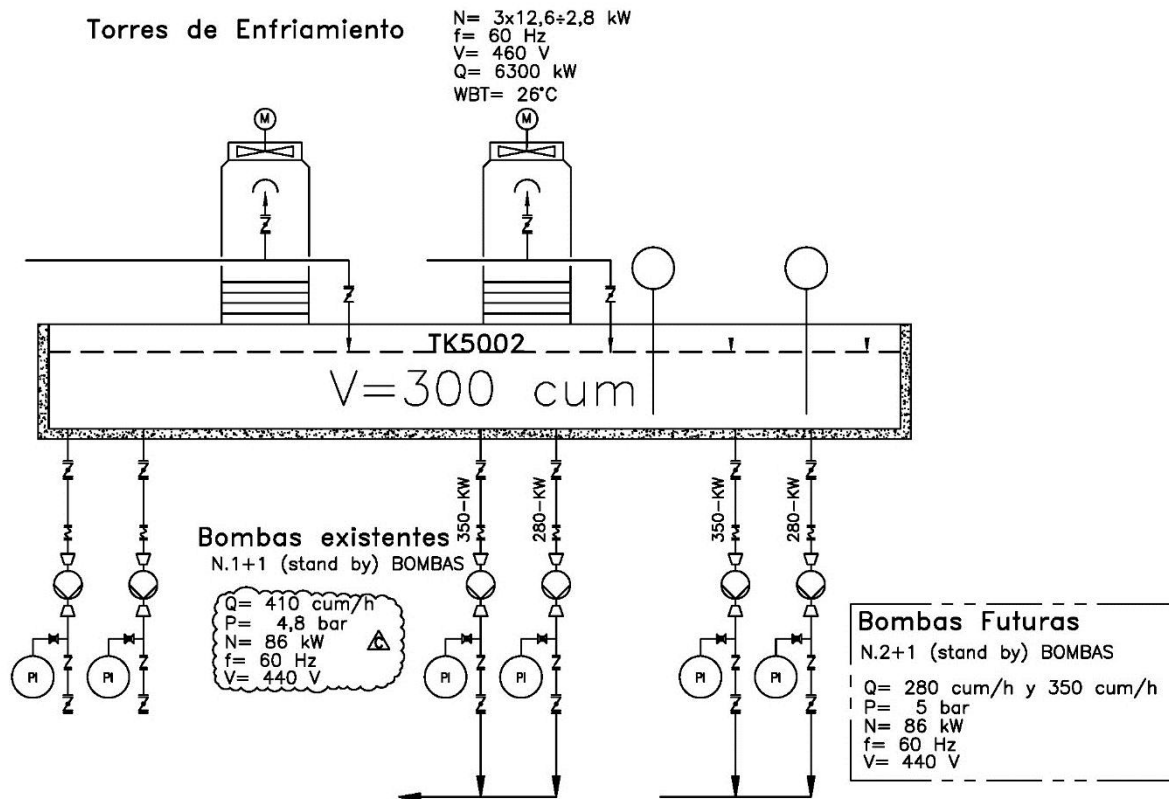
Las pérdidas se ven reflejadas en caso se tuviera algún inconveniente al momento de vaciar el tanque (pileta), ya que se tendría que parar más de lo necesario el tren de laminación, lo cual afectaría al ritmo de producción.

En la planta existe lo que es paradas programadas.

3.10.1. Paradas programadas

Son caracterizadas por su previsibilidad, es decir la programación anticipada. Son las horas de paradas previstas, programadas, para mantenimiento, cambios, entre otros, necesarias para el buen funcionamiento del equipo, para que una parada sea considerada como programada, debe ser definida con una antelación mínima de 24 horas.

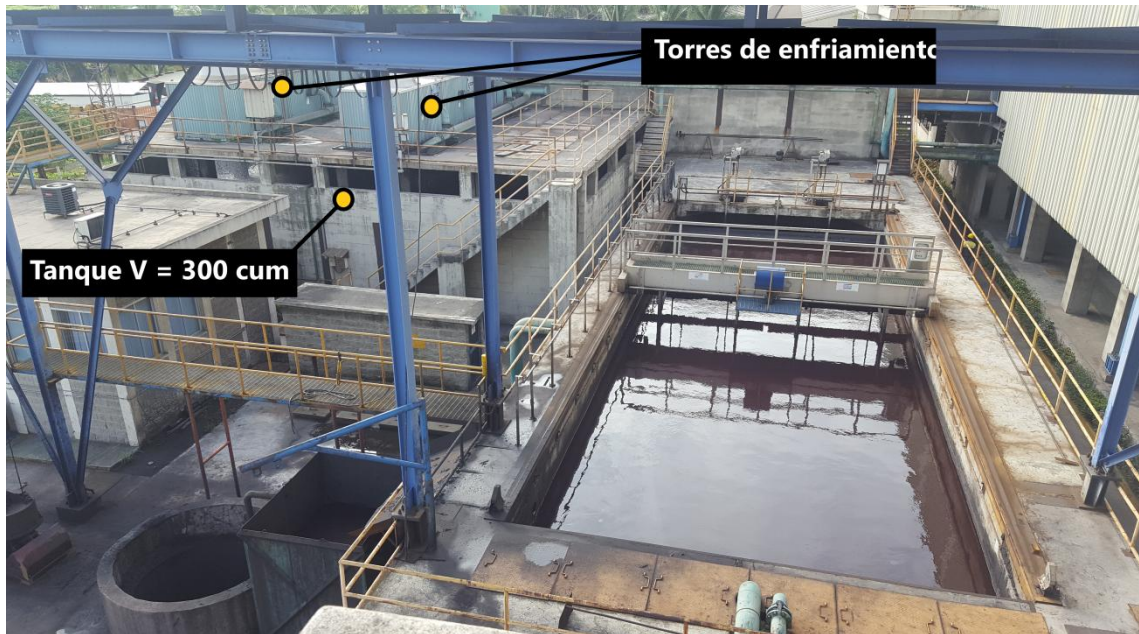
Figura 68. **Plano de tanque y acople de bombas nuevas**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2016.

Este tanque tiene una capacidad de $V = 300 \text{ m}^3$, el cual debe ser vaciado para realizar el acople de succión al momento de que estén montadas las nuevas bombas KSB.

Figura 69. **Ubicación del tanque (agua limpia listo para uso)**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.


















Para realizar dicha conexión se estima un aproximado de 2 días, los cuales entrarán en un paro programado que dará mantenimiento a ciertos equipos del tren de laminación para aprovechar este tiempo dado, sin embargo, si hubiese algún atraso, este afectaría al ritmo de producción teniendo en cuenta que se producen un promedio de 450 toneladas diarias.

4. FASE DE DOCENCIA

4.1. Importancia del cumplimiento de los estándares de calidad

Es de vital importancia cumplir con los estándares ya establecidos para no tener inconvenientes en el proceso de producción, ya que se ve reflejado en la velocidad a la cual trabajan los cilindros de laminación y esto podría afectar en el sistema de refrigeración debido a que ya se tienen parámetros establecidos de la presión de agua a cierta velocidad para los diferentes tipos de productos.



















Tabla XVI. Estándar de fabricación varilla corrugada

| | | ESTANDAR DE FABRICACION PARA CAMPAÑA VARILLA CORRUGADA 11 MM X 2 HILOS | | | | | Pag 2/2 | |
|------|---|--|-------------|--|------------------------------|------------------|-------------|------------------|
| | | | | | VERSION: 1 | | | |
| CAJA | NOMBRE DE FIGURA | TOLERANCIA (+/- mm) | GAP (mm) | | RENDIMIENTO CALIBRE (TON) | FACTOR RANURA | FACTOR R | VELOCIDAD M/S |
| 1H |  BOX1-1 | | | | 10,000 | | | 0.23 |
| 2V |  SQ2-1 | | | | 15,000 | | | 0.30 |
| 3H |  OP3-1-3 | | | | 10,000 | | | 0.22 |
| 4V |  IR4-1 | | | | 9,000 | | | 0.31 |
| 5H |  OV5-1 | | | | 7,000 | | | 0.41 |
| 6V |  IR6-1 | | | | 6,000 | | | 0.57 |
| 7H |  OV7-1-2 | | | | 5,000 | | | 0.80 |
| 8V |  IR8-1 | | | | 4,000 | | | 1.06 |
| 9H |  OV9-1-2 | | | | 1,500 | | | 1.43 |
| 10V |  IR10-1 | | | | 1,500 | | | 1.87 |
| 11H |  OV11-1-2 | | | | 1,000 | | | 2.47 |
| 12V |  IR12-1 | | | | 1,000 | | | 3.40 |
| 13H |  F13-1 | | | | 600 | | | 3.72 |
| 14V |  RP14-2-1 | | | | 600 | | | 4.06 |
| 15H |  HP15-2 | | | | 250 | | | 4.68 |
| 16V |  L16-2 | | | | 250 | | | 5.53 |
| 17H |  OVR18-6 | | | | 300 | | | 6.77 |
| 18V |  DR18-2 | | | | 300 | | | 8.00 |

Fuente: Aceros de Guatemala.

En la tabla XV se puede notar que las velocidades cambian conforme se avanza de caja, y esto se debe a que en el área de desbaste lo que más importa en el proceso de enfriamiento es el caudal y no tanto la presión, es por eso que se nota que los calibres en esta sección tienen un rendimiento mayor a los del área intermedio y acabado.

Tabla XVII. Rendimiento de los calibres

| CAJA | NOMBRE DE FIGURA | | RENDIMIENTO |
|------------|---|-----------------|---------------|
| | | | CALIBRE (TON) |
| 1H |  | BOX1-1 | 10,000 |
| 2V |  | SQ2-1 | 15,000 |
| 3H |  | OP3-1-3 | 10,000 |
| 4V |  | IR4-1 | 9,000 |
| 5H |  | OV5-1 | 7,000 |
| 6V |  | IR6-1 | 6,000 |
| 7H |  | OV7-1-2 | 5,000 |
| 8V |  | IR8-1 | 4,000 |
| 9H |  | OV9-1-2 | 1,500 |
| 10V |  | IR10-1 | 1,500 |
| 11H |  | OV11-1-2 | 1,000 |
| 12V |  | IR12-1 | 1,000 |
| 13H |  | F13-1 | 600 |
| 14V |  | RP14-2-1 | 600 |
| 15H |  | HP15-2 | 250 |
| 16V |  | L16-2 | 250 |
| 17H |  | OVR18-6 | 300 |
| 18V |  | DR18-2 | 300 |

Fuente: Aceros de Guatemala, *Producción*.

Es por eso que se deben de respetar los parámetros establecidos en los estándares de fabricación por la velocidad que se programa para cada caja o molino de laminación, ya que no es el mismo para cada caja, así como también varía cuando se cambia de producto y esto podría afectar el enfriamiento si no se tiene en cuenta el cambio de velocidades, ya que en algunos casos se necesita mucha más presión o caudal, la cual se debe graduar con las válvulas de paso.

Tabla XVIII. Comparación de velocidades de distintas campañas

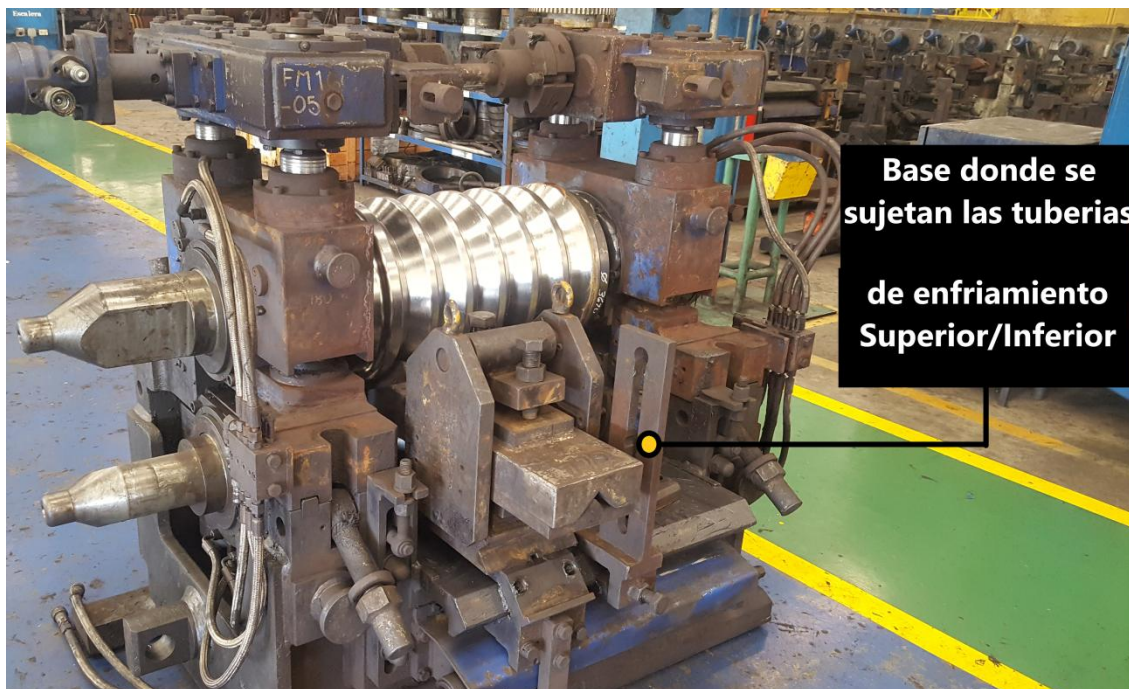
| ESTANDAR DE FABRICACION PARA CAMPAÑA DE ANGULAR 1" x 1/8" COMERCIAL (2.2 MM) | | | | | ESTANDAR DE FABRICACION PARA CAMPAÑA VARILLA CORRUGADA 11 MM X 2 HILOS | | | | |
|--|------------------|----------|---------------|-----------|--|------------------|----------|---------------|-----------|
| CAJA | NOMBRE DE FIGURA | | RENDIMIENTO | VELOCIDAD | CAJA | NOMBRE DE FIGURA | | RENDIMIENTO | VELOCIDAD |
| | | | CALIBRE (TON) | M/S | | | | CALIBRE (TON) | M/S |
| 1H | | BOX1-1 | 7,500 | 0.23 | 1H | | BOX1-1 | 10,000 | 0.23 |
| 2V | | SQ2-1 | 15,000 | 0.30 | 2V | | SQ2-1 | 15,000 | 0.30 |
| 3H | | OP3-1-2 | 8,000 | 0.14 | 3H | | OP3-1-3 | 10,000 | 0.22 |
| 4V | | IR4-1 | 9,000 | 0.19 | 4V | | IR4-1 | 9,000 | 0.31 |
| 5H | | OV5-1 | 7,000 | 0.28 | 5H | | OV5-1 | 7,000 | 0.41 |
| 6V | | IR6-1 | 6,000 | 0.38 | 6V | | IR6-1 | 6,000 | 0.57 |
| 7H | | OV7-1-2 | 3,500 | 0.54 | 7H | | OV7-1-2 | 5,000 | 0.80 |
| 8V | | IR8-1 | 4,000 | 0.75 | 8V | | IR8-1 | 4,000 | 1.06 |
| 9H | | OV9-1-2 | 900 | 0.95 | 9H | | OV9-1-2 | 1,500 | 1.43 |
| 10V | | IR10-1 | 900 | 1.28 | 10V | | IR10-1 | 1,500 | 1.87 |
| 11H | | OV11-1-2 | 700 | 1.62 | 11H | | OV11-1-2 | 1,000 | 2.47 |
| 12V | | IR12-4 | 700 | 2.04 | 12V | | IR12-1 | 1,000 | 3.40 |
| 13H | | A13-1 | 260 | 2.52 | 13H | | F13-1 | 600 | 3.72 |
| 14H | | A14-1 | 220 | 3.31 | 14V | | RP14-2-1 | 600 | 4.06 |
| 15H | | A15-2 | 160 | 4.14 | 15H | | HP15-2 | 250 | 4.68 |
| 16V | | A16-2 | 120 | 5.55 | 16V | | L16-2 | 250 | 5.53 |
| 17H | | A17-2 | 80 | 6.92 | 17H | | OVR18-6 | 300 | 6.77 |
| 18V | | A18-2 | 40 | 9.50 | 18V | | DR18-2 | 300 | 8.00 |

Fuente: Aceros de Guatemala, Producción.

4.2. Capacitación al personal de operación

Es muy importante capacitar al personal operativo que son los que están en contacto directo con todo lo referente al proceso de laminación, desde que se arma un molino de laminación, hasta que este sea acoplado a los castillos de laminación cuando se realiza un cambio de producto o cuando el molino que está operando se le terminan los calibres útiles para seguir laminando.

Figura 70. **Montaje de tuberías al armar molino de laminación**

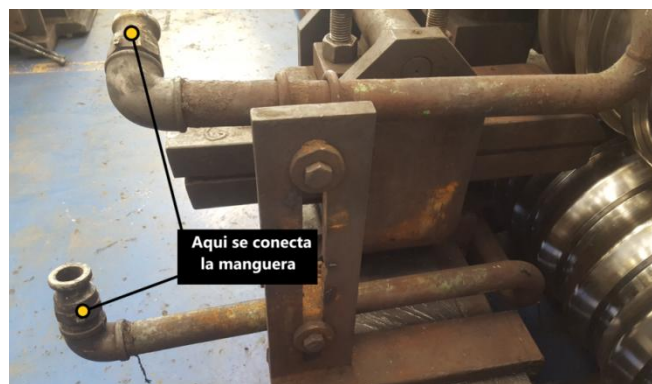


Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Es importante que los operadores sujeten bien las tuberías a la base, no solo al armar un molino si no también cuando se realiza un cambio de calibre cuando el molino se encuentra acoplado al tren de laminación.

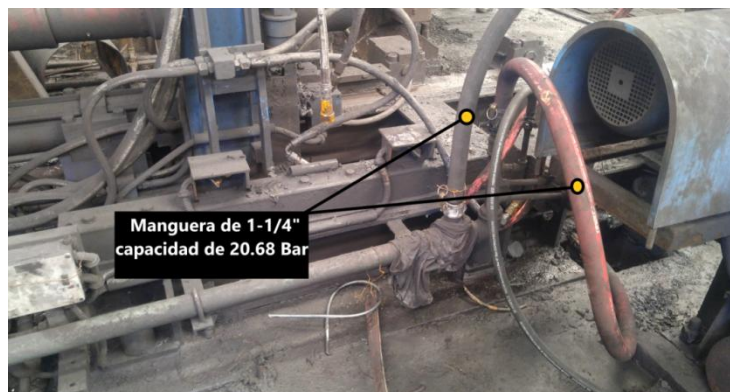
Al momento de realizar un cambio de campaña es muy importante que los operadores realicen una inspección visual a todos los acoples del sistema de enfriamiento, y que todas las mangueras estén conectadas para no tener desperdicio de agua al momento de arrancar el tren de laminación.

Figura 71. **Acoples donde se conectan las mangueras**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Figura 72. **Manguera de 1- 1/4", conectada de línea principal hacia molino de laminación**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Se observa que son dos mangueras de salida de descarga, ya que una es para tubería superior y la otra para el lado inferior, respectivamente.

Los operadores deben estar pendientes de que antes de iniciar el arranque del tren de laminación, las válvulas estén abiertas y que las mangueras estén conectadas para no tener el inconveniente de dejar un molino de laminación sin refrigeración cuando este comience a operar, ya que esto puede ocasionar que la barra (lingote de acero), pase entre los rodillos de laminación y queme el calibre lo cual perjudicaría la producción, ya que se tiene que parar para realizar un cambio de calibre o en su defecto si empieza a pasar la barra y de repente se dan cuenta los operadores y abren el agua bruscamente, aún cuando la barra sigue pasando podría ocasionar que uno de los cilindros se fracture.

Figura 73. **Cilindro de tren intermedio fracturado**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Para evitar que sucedan problemas con el sistema de refrigeración se tiene un formato que los operadores deben llenar en cada cambio de calibre, en cada cambio de campaña o en el paro programado que se realiza diariamente durante 15 minutos.

Tabla XIX. **Formato de verificación de sistema de refrigeración en tren de laminación**

| Verificación de Refrigeración en tren de laminación | | Pág. 1 de 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------------------|------|---------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|------------|--|------|---------|---|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|--|----------|--|------|---------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|
| | | Versión 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Fecha de aprobación 14,06,2017 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Producto: _____ Fecha: _____ Hora: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | A | NA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TREN DESBASTE (cajas 1 - 8) | a) Revisar presión actual de enfriamiento de calibres. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | b) Revisar que las boquillas se encuentren limpias. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | c) Revisar posición correcta de la ducha de enfriamiento. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | d) Revisar que las guías tengan enfriamiento. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | e) Revisar que las mangueras no estén sueltas y/o en mal estado. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TREN INTERMEDIO (cajas 9 - 14) | a) Revisar presión actual de enfriamiento de calibres. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | b) Revisar que las boquillas se encuentren limpias. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | c) Revisar posición correcta de la ducha de enfriamiento. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | d) Revisar que las guías tengan enfriamiento. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | e) Revisar que las mangueras no estén sueltas y/o en mal estado. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TREN ACABADOR (cajas 15 - 20) | a) Revisar presión actual de enfriamiento de calibres. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | b) Revisar que las boquillas se encuentren limpias. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | c) Revisar posición correcta de la ducha de enfriamiento. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | d) Revisar que las guías tengan enfriamiento. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | e) Revisar que las mangueras no estén sueltas y/o en mal estado. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Registro de presiones por cada caja de laminación | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">DESBASTE</th> </tr> <tr> <th>CAJA</th> <th>PRESION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>2</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>3</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>4</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>5</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>6</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>7</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>8</td><td>Bar</td></tr> </tbody> </table> | DESBASTE | | CAJA | PRESION | 1 | Bar | 2 | Bar | 3 | Bar | 4 | Bar | 5 | Bar | 6 | Bar | 7 | Bar | 8 | Bar | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">INTERMEDIO</th> </tr> <tr> <th>CAJA</th> <th>PRESION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>9</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>10</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>11</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>12</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>13</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>14</td><td>Bar</td></tr> </tbody> </table> | INTERMEDIO | | CAJA | PRESION | 9 | Bar | 10 | Bar | 11 | Bar | 12 | Bar | 13 | Bar | 14 | Bar | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ACABADOR</th> </tr> <tr> <th>CAJA</th> <th>PRESION</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>15</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>16</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>17</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>18</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>19</td><td>Bar</td></tr> <tr><td>20</td><td>Bar</td></tr> </tbody> </table> | ACABADOR | | CAJA | PRESION | 15 | Bar | 16 | Bar | 17 | Bar | 18 | Bar | 19 | Bar | 20 | Bar |
| DESBASTE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAJA | PRESION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INTERMEDIO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAJA | PRESION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ACABADOR | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CAJA | PRESION | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | Bar | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OBSERVACIONES: _____ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

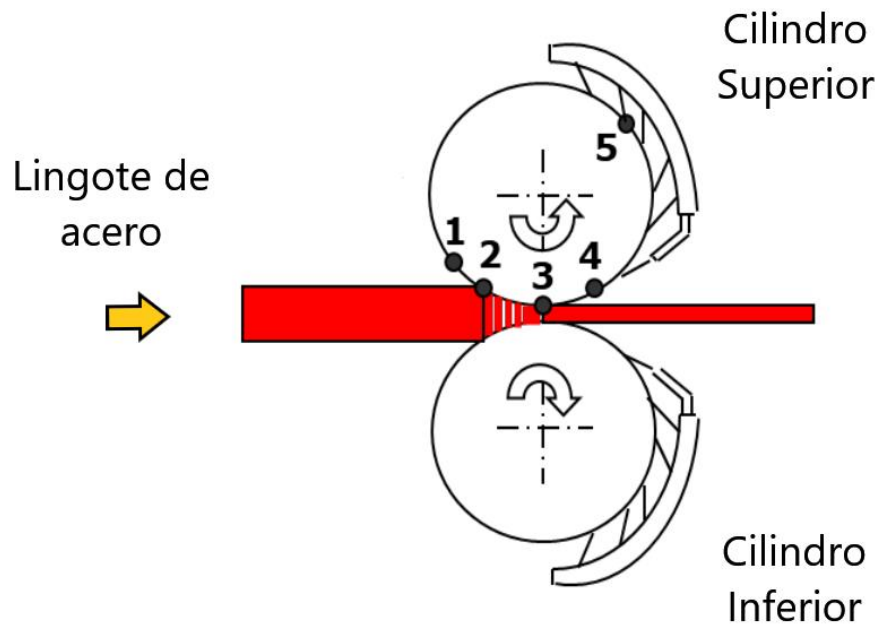
Fuente: elaboración propia.

4.3. Importancia de mantener una presión adecuada en el sistema de refrigeración

Es muy importante mantener la presión de agua, ya que debido a esto los cilindros rendirán a su nivel óptimo si el enfriamiento de agua es eficiente, el enfriamiento debe mantenerse bajo constante control y los cilindros deben inspeccionarse regularmente para evitar grietas anormales.

El estrés térmico es altamente peligroso debido al intenso calor que se produce durante la laminación. El estrés térmico en la superficie del cilindro resulta en grietas térmicas y en el peor de los casos en el rompimiento del cilindro.

Figura 74. Esquema Estrés térmico



Fuente: Global rolls Ltd, empleando Visio 2016.

Figura 75. **Grafico temperatura del cilindro vs tiempo**

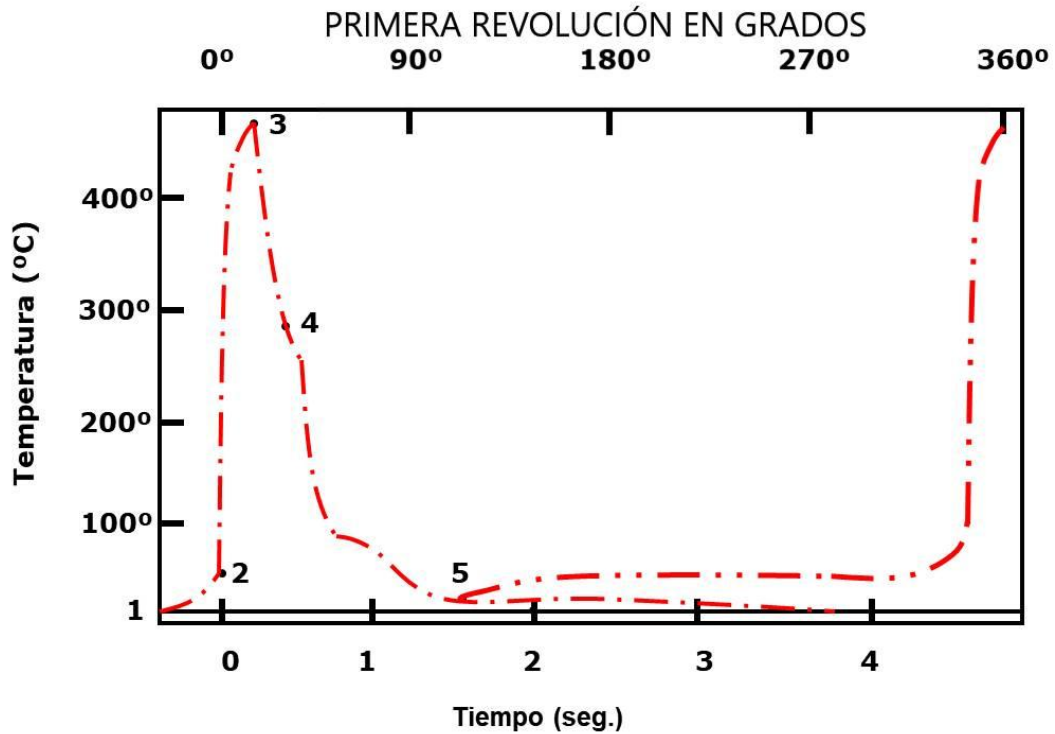


GRÁFICO- TEMPERATURA DEL CILINDRO DURANTE UNA REVOLUCIÓN DEL MISMO EN UN PROCESO DE LAMINACIÓN.

Fuente: Global rolls Ltd.

La presión adecuada ayudar a evitar que los calibres se desgasten muy rápidamente, porque no solo enfría si no que una buena y estable presión ayuda a limpiar los residuos que deja el lingote durante el tiempo que está en contacto con los cilindros de laminación, y es responsabilidad de los operarios tener control sobre las presiones de las distintas cajas de laminación.

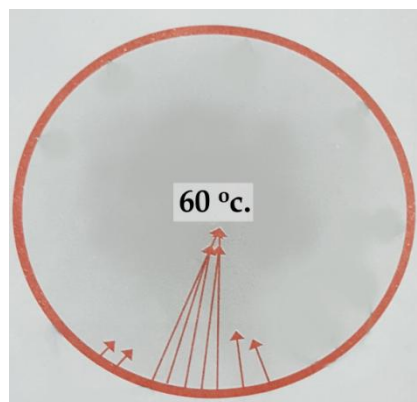
El criterio esencial para el rendimiento del cilindro es dirección, volumen y presión de agua correctos, demasiado volumen sin presión es tan malo como demasiada presión.

La presión del agua puede decaer en caso hubiese alguna fuga, ya sea en la tubería o en la manguera, esta última podría tener alguna abertura por la temperatura que lleva el lingote de acero y podría estar pegada al paso del mismo si no se tiene las precauciones del caso.

El choque térmico en la superficie de los cilindros debe minimizarse, la aplicación del agua a la presión adecuada en el lugar correcto es de vital importancia, la boquilla debe posicionarse a la salida del material laminado en el área de contacto con el cilindro, tanto en la parte superior como en la inferior, porque los cilindros alcanzan temperaturas elevadas cuando el tiempo de contacto es mayor a 0,015 segundos, la temperatura de la superficie del rodillo alcanza la mitad de la temperatura de la barra.

La profundidad hasta donde ingresa el calor es función de la refrigeración, una refrigeración eficiente con buena presión es cuando la temperatura del cilindro no supera los 60 °C.

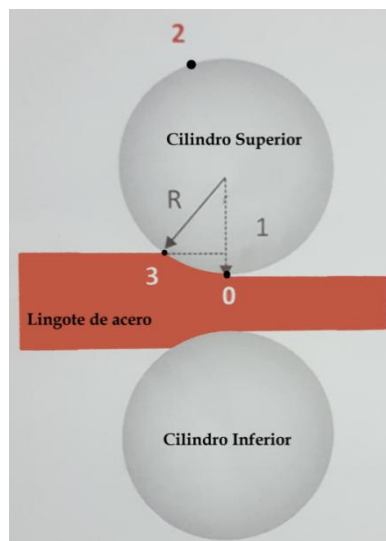
Figura 76. **Temperatura absorbida por el cilindro de laminación**



Fuente: Global rolls Ltd.

La zona de grietas térmicas se produce debajo o en la superficie de trabajo, la evaluación debe realizarse a cada caso dependiendo de la sección laminada y el tamaño de los cilindros, un cilindro con mínimas grietas térmicas es la mejor evidencia de un enfriamiento efectivo.

Figura 77. **Ciclo de calentamiento y enfriamiento de un cilindro**



Fuente: Global rolls Ltd.

La presión del agua debe ser estable para que el enfriamiento sea efectiva luego de que la barra deja de hacer contacto con los cilindros en el punto 0, como se indica en la figura 77.

En este proceso en el cual la barra hace contacto con los cilindros, se producen 3 tipos de transferencia de calor: conducción, convección, y radiación.

- Transferencia de calor:

Es el proceso de propagación del calor en distintos medios, la transferencia de calor se produce siempre que existe un gradiente térmico cuando dos sistemas diferentes temperaturas se ponen en contacto, el equilibrio persiste hasta alcanzar el equilibrio térmico, es decir, hasta que se igualan las temperaturas.

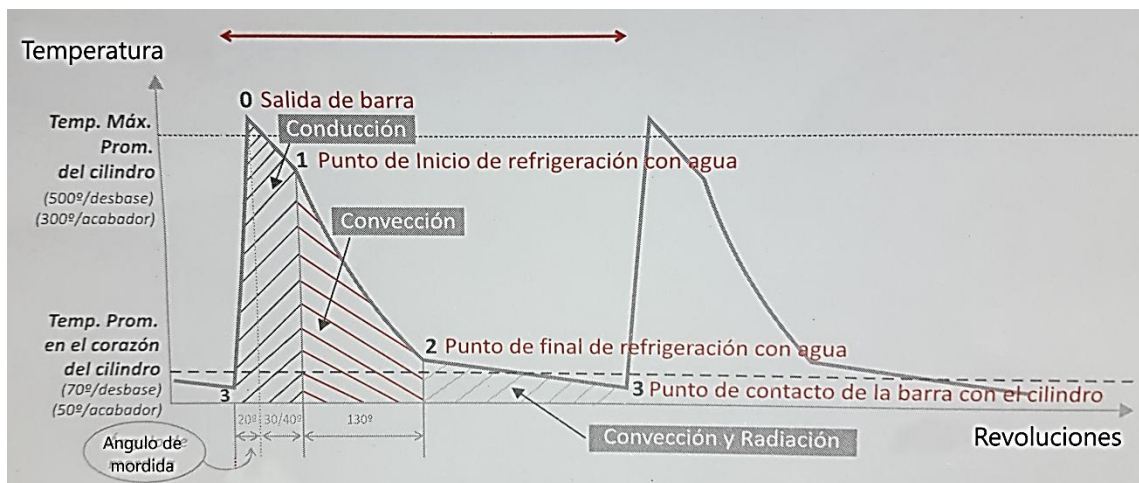
Cuando existe una diferencia de temperatura entre dos objetos o regiones lo suficientemente próximas, la transferencia de calor no puede ser detenida, solo puede hacerse más lenta.

- Modos de transferencia:

- Conducción: es la transferencia de calor que se produce a través de un medio material por contacto directo entre sus partículas, cuando existe una diferencia de temperatura y en virtud del movimiento de sus micro partículas.
- Convección: la transmisión de calor por convección se compone de dos mecanismos simultáneos, el primero es la transferencia de calor por conducción, debido al movimiento molecular a la que se superpone la transferencia de energía por el movimiento de fracciones del fluido que se mueven accionadas por una fuerza externa, que puede ser un gradiente de densidad, o una diferencia de presión producida mecánicamente o una combinación de ambas.
- Radiación: se puede atribuir a cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas constitutivas, en ausencia de un medio existe una transferencia neta de calor por radiación

entre dos superficies a diferentes temperaturas debido a que todas las superficies con temperatura finita emiten energía en forma de ondas electromagnéticas.

Figura 78. **Gráfico de ciclo de calentamiento y refrigeración**



Fuente: Global rolls Ltd.

4.4. **Presentación de la propuesta de mejora y avances para el proceso de laminación**

La propuesta se enfoca en la instalación dos bombas centrifugas KSB, de la misma capacidad de las que operan actualmente en la planta de perfiles y barras, por motivo de utilizar un nuevo tipo de cilindros de laminación, los cuales tienen una mayor resistencia al desgaste durante el proceso de laminación que los actuales cilindros.

Estos nuevos cilindros se pretenden utilizar para la producción de varilla corrugada, debido a la cantidad de producción que se le solicita a la planta de

este producto por lo que es vital importancia que los calibres de los cilindros tengan una mayor vida útil, lo cual ofrece los cilindros de acero rápido.

Los cilindros de acero rápido según su composición ofrecen aumentar la vida útil de los calibre de 2 a 3 veces más de lo actual, pero para que estos cilindros puedan alcanzar ciertos parámetros es vital un aumento en la presión del agua de refrigeración ya que sin este cambio no se aprovecha el rendimiento óptimo.

Las bombas a instalar son de la misma capacidad de los que actualmente operan.

Figura 79. **Placa de información de bombas actualmente en operación**

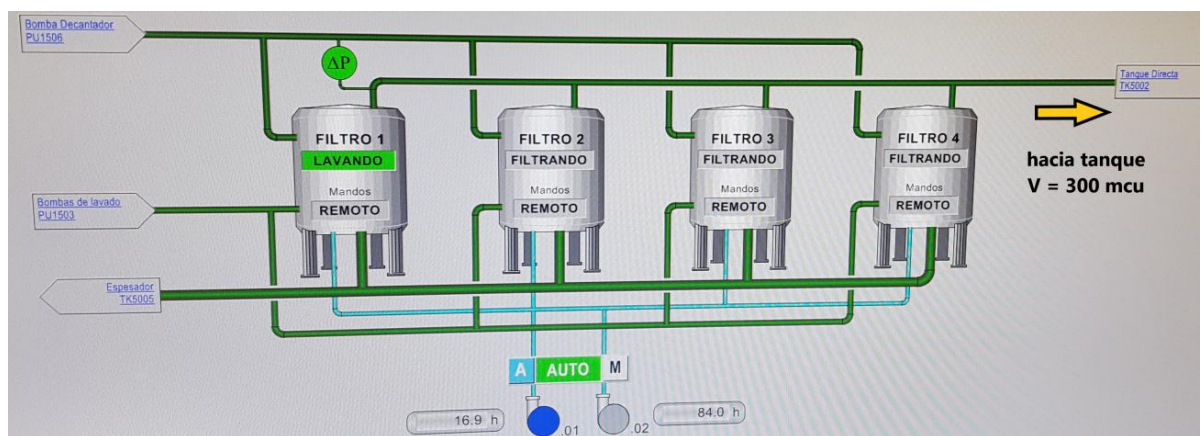


Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Los nuevos cilindros de acero rápido también necesitan no solo de buena presión y caudal que le será proporcionado mediante las 2 bombas nuevas, sino también que en la descarga las tuberías tengan sus aspersores para direccionar de una mejor manera el agua de refrigeración, el cual deberá alcanzar los 6 bares o más.

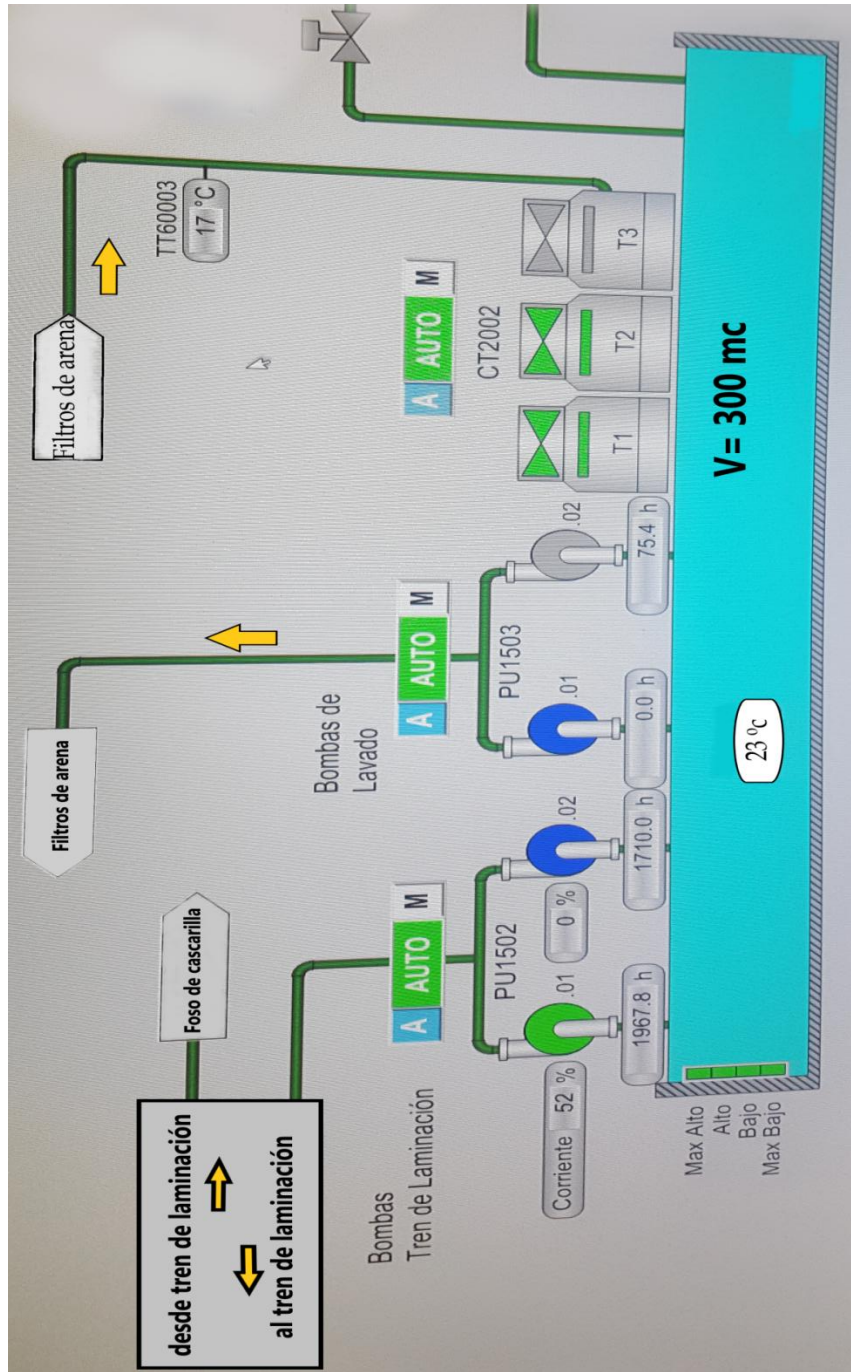
El sistema actual cuenta con 4 filtros de arena que reciben un retro lavado cada 48 horas, para mantener el sistema libre de impurezas lo más que se pueda para que no obstruya la tubería que en la descarga es de 1-1/4", y para que no obstruya los aspersores que podrían quedar tapados con la escoria.

Figura 80. Esquema filtro de arena



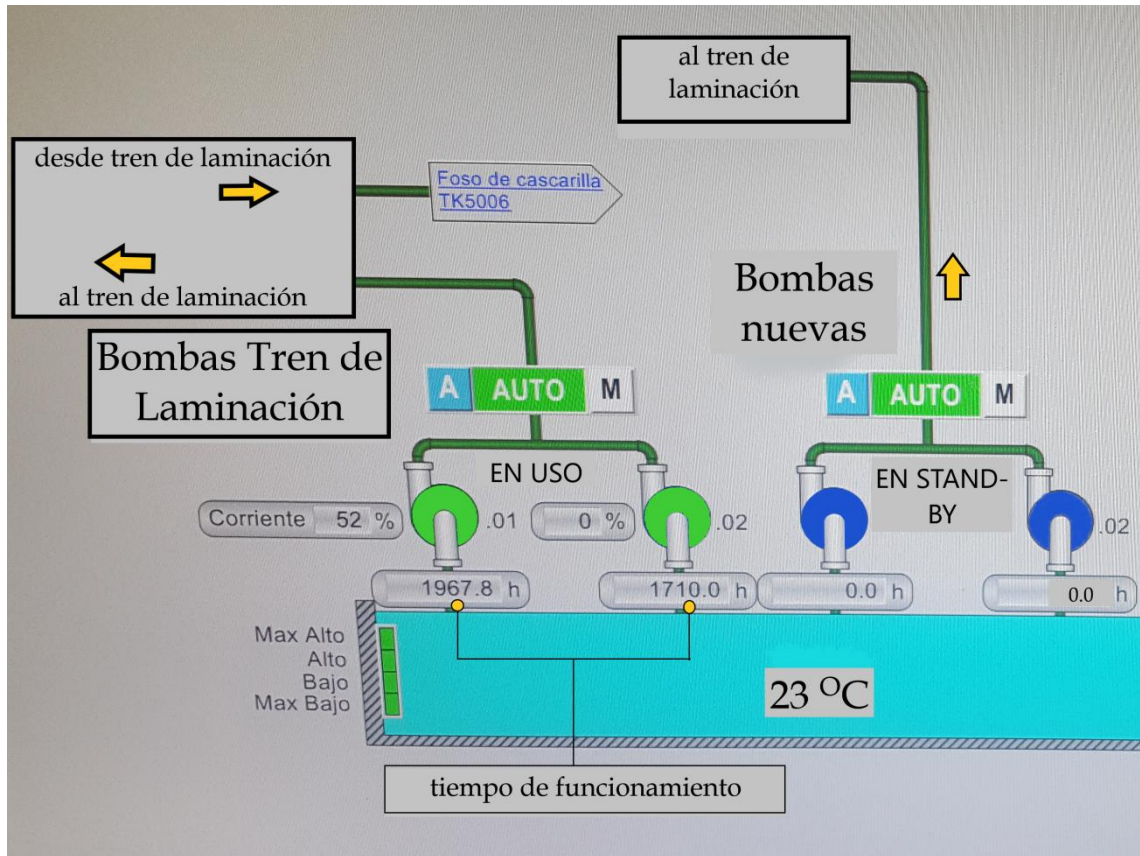
Fuente: Aceros de Guatemala, *Cuarto de control*.

Figura 81. Esquema de las bombas operando



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

Figura 82. Esquema de sistema propuesto



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

La propuesta es que dos bombas operen y las otras dos estén en *stand-by*, para alternar el funcionamiento de las bombas como se realiza hasta la fecha.

Los cilindros convencionales tienen una duración de entre 1 a 2 años aproximadamente y se espera que este tiempo se pueda duplicar, esto reflejaría un ahorro en la compra de cilindros.

Tabla XX. **Cotización de cilindros de acero rápido**

REQUERIMIENTO DE CILINDROS PLANTA PERFILES

| CALIBRACIÓN | TIPO DE CILINDRO | CAJA | POSICION | TIPO DE CALIBRE | DIAMETRO | LONGITUD TABLA | CALIDAD | DUREZA HSC |
|-------------|------------------|-------|----------|-----------------|----------|----------------|--------------|------------|
| GENERAL | CONVENCIONAL | 2 a 5 | FM240 | OV - IR - SQ | 520 | 600 | PRIME P + Mo | 53-58 |



| | | | | | | | | |
|-------------------|--------------|---------|-------|----------------|-----|-----|------------------|-------|
| ACABADORES PERFIL | ACERO RAPIDO | 14 a 20 | FM160 | FLAT, VFR Y QF | 330 | 600 | OPTIMA AC | 70-75 |
| GENERAL | CONVENCIONAL | 14 a 20 | FM160 | IR Y OV | 330 | 600 | NOCULAR ACICULAR | 65-70 |



| | BRC | | HISAR | | MBI | |
|--|-------------|---------------------|-------------|---------------------|-------------|---------------------|
| | UNIT PRICE | TIEMPO DE VIDA UTIL | UNIT PRICE | TIEMPO DE VIDA UTIL | UNIT PRICE | TIEMPO DE VIDA UTIL |
| | \$ 2,948.00 | 3.5 AÑOS | \$ 3,500.00 | 4.5 AÑOS | \$ 2,503.00 | 3.5 AÑOS |
| | \$1,915.00 | 3 AÑOS | \$2,400.00 | 4 AÑOS | \$1,262.00 | 3 AÑOS |
| | \$ 1,326.00 | 2 AÑOS | \$ 2,050.00 | 2 AÑOS | \$ 1,025.00 | 1.5 AÑOS |

Fuente: información de proveedores.

5. MEDIO AMBIENTE

5.1. Reducción del consumo de agua utilizada en el proceso de laminación

Uno de los factores para reducir el consumo de agua es que todo el sistema de refrigeración no tenga fugas, ya sea que alguna tubería este picada provocado por corrosión, alguna junta se haya aflojado por la presión que ejerce el agua hacia las paredes de las tuberías, mangueras rotas, entre otros.

También es importante que el agua que sale del tren de laminación, es decir, que ya ha pasado por las cajas de laminación y se redirige hacia el hidrociclón para que deposite todas las impurezas, desgaste de metal con metal entre la barra y el cilindro, grasa de los molinos, entre otros, sea dirigida en su totalidad para no tener pérdidas de agua, la cual puede volver a ser reutilizada.

En el hidrociclón el agua es separada de todas las impurezas antes mencionadas, comúnmente llamado (lodo); la función del hidrociclón es separar el lodo del agua por medio de densidades, por lo que el lodo cae hasta el fondo del hidrociclón mientras el agua es bombeado hacia el decantador, el cual es un tanque de $V = 70 \text{ m}^3$, donde se separa el aceite o grasa del agua mediante una barredora superior e inferior, así como también termina de separar lo más fino del lodo que no haya quedado en el hidrociclón.

Figura 83. **Separador de aceite y sólidos**



Fuente: Aceros de Guatemala, empleando Visio 2016.

El separador de aceite es la barredora que se encuentra en la parte superior como se muestra en la figura 83 y la ubicada en la parte inferior se encarga de depositar lo que queda del lodo fino en la parte de enfrente del tanque, para que con la grúa se pueda extraer el lodo y así dejar el agua con la mínima cantidad de impurezas para ser bombeado hacia los filtros de arena.

Figura 84. **Grúa que limpia la fosa de cascarilla**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Acá el lodo más fino es juntado en este extremo para que la grúa se encargue de extraer el lodo y depositarlo en una de las unidades para ser transportado hacia un área donde será almacenado.

Figura 85. **Extracción de lodo (cascarilla)**



Fuente: Aceros de Guatemala.

Los operadores son los encargados de realizar esta tarea cada cierto tiempo para mantener el tanque lo más limpio posible.

5.2. Control de la calidad del agua

La calidad y temperatura del agua depende mucho del lugar donde la planta se encuentra ubicada, sin embargo, en general el agua deberá estar limpia de impurezas y temperaturas entre 20 y 30 °C, cuando el agua está demasiado fría y la barra no está en contacto con los cilindros, el agua enfría mucho su superficie y en el momento que la barra caliente se aproxima a ser laminada, el efecto de choque térmico aumenta, si por el contrario el agua está caliente, esta pierde parte de su efecto de refrigerante.

Por eso cuanto mayor es la temperatura, así como la mayor cantidad de impurezas y sales disueltas en el agua, menor es la eficiencia del sistema de refrigeración, además de eso, incluso con un pH del agua estando en neutro las sales en solución se tornan corrosivas.

El pH es un tema muy importante principalmente en laminadores nuevos y también en la conservación de los tubos de agua de refrigeración.

- Un PH ácido es de 0,0 a 7,0
- Un PH básico es de 7,0 a 14,0

El agua de refrigeración debe ser ligeramente básico y se sugiere mantener el PH entre 7,5 a 8,5.

Para mantener un correcto control de la calidad del agua empleada en el proceso de laminación que proporcione estándares adecuados, se deben realizar las siguientes acciones:

- Neutralización de los efluentes ácidos y alcalinos.
- Sedimentación en los espesadores.
- Filtración de los sólidos suspendidos residuales.
- Separadores de aceite y agua.
- Control del contenido orgánico mediante tratamiento con carbón activo.
- Intercambio iónico para controlar los metales.
- Osmosis invertida para controlar los metales.
- Reutilización, reciclaje o evaporación del agua, empleando el calor residual.

En la planta se cuenta con el apoyo de una empresa encargada de medir los diferentes parámetros del agua para que el sistema de refrigeración opere de la manera más eficiente.

Tabla XXI. Informe técnico de calidad del agua

| SISTEMA DE ENFRIAMIENTO | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|------------------------|---------------------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|------------------------|----------------------------|---------------------|
| RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS | | | | | | | | | | | | |
| Muestras Agua | pH | Conductividad µS/cm | Dureza Total ppm | Dureza Ca ppm | Dureza Mg ppm | Alcalinidad Total ppm | Silice SiO2 ppm | Cloruros Cl ppm | Fosfonato ppm | Silice x Mg | Cielos de concentración | Indice Langelier |
| Agua de Repuesto | 7.30 | 200 | 90 | 50 | 40 | 80 | 84 | 4 | - | 3360 | - | -0.60 |
| DIRECTO | 7.80 | 560 | 200 | 120 | 80 | 20 | 29 | 90 | 1.9 | 2320 | 2.80 | -0.40 |
| INDIRECTO | 8.60 | 440 | 170 | 100 | 70 | 180 | 158 | 10 | 2 | 11060 | 2.20 | 1.30 |
| RANGOS QUÍMICOS SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO | | | | | | | | | | | | |
| DIRECTO E INDIRECTO | 8.0-9.0 | < 600 | - | - | - | - | < 180 | - | 1 a 6 | < 20,000 | max 2.0 | 0.00-2.00 |
| CONTROLES SISTEMA DE ENFRIAMIENTO | | | | | | | | | | | | |
| SISTEMAS | TEMP ENTRADA (oF) | TEMP SALIDA (oF) | TEMP BULBO HÚMEDO (oF) | EFICIENCIA TORRE ENFRIAMIENTO | Crecimiento Bacteriológico (ufc/ml) | DOSIS DE PRODUCTOS | | | | | | |
| DIRECTO | 91.0 | 84.0 | 81.0 | 70% | Sólidos suspendidos: 10 ppm. Rango máximo: 20 ppm; Hierro: 0.79 ppm. Rango máximo: 3 ppm | CT-2130: 35 gls por batch semanal | AG-471: 5 gls por semana alterna | KT-2891: 5 gls por semana alterna | CT-606: 2 gls diarios si hay producción | WT-PAC: 300 kgs/semana | | |
| INDIRECTO | 97.0 | 86.0 | 81.0 | 69% | - | CT-2130: 5 gls por batch semanal | AG-471: 2.5 gls por semana alterna | KT-2891: 2.5 gls por semana alterna | | | | |

Fuente: aceros de Guatemala. *Proveedor.*

5.3. Impactos ambientales potenciales

Durante la fundición de chatarra y fabricación de acero se producen grandes cantidades de aguas servidas y emisiones atmosféricas, los cuales si no se tratan de manera adecuada puede causar degradación de la tierra, agua y aire.

Para el adecuado manejo de desechos de la planta se sigue un proceso de clasificación y tratamiento con el objetivo de minimizar los efectos que estos producen sobre el ambiente y la salud de los colaboradores de la planta.

- Desechos sólidos

La planta de laminación de perfiles produce grandes cantidades de desechos sólidos, como escoria que es transportada por el agua de refrigeración hasta la fosa de cascarilla, en el cual se deposita para después ser extraída con la grúa y ser evacuada de la planta por una empresa tercera.

- Desechos líquidos

Los solventes y ácidos que se utilizan para el proceso de laminación son potencialmente peligrosos, y deben ser manejados, almacenados y eliminados como tal, es de vital importancia monitorear las fugas de líquidos y gases.

CONCLUSIONES

1. El sistema de refrigeración tiene un papel muy importante porque no solo enfría la sección de contacto entre la palanquilla y el cilindro, sino que limpia el cilindro para que la cascarilla producida por la fricción de los metales no quede adherida al cilindro.
2. La corrosión es uno de los factores que le restan vida útil a las tuberías de refrigeración, sin embargo, no se puede evitar más que solo reducirlo al máximo mediante solventes químicos con el control de calidad del agua.
3. Como resultado del proyecto de mejora se logrará incrementar la productividad debido a que con las dos bombas instaladas se tiene una presión superior a los 6 bares, para utilizar cilindros HSS, reduciendo el tiempo por cambio de calibres.
4. Los beneficios se reflejan en la adquisición de cilindros HSS, los cuales ofrecen un rendimiento más elevado en comparación de los cilindros convencionales, con una vida útil proyectada entre 2 a 3 veces la actual.

RECOMENDACIONES

1. Para un adecuado funcionamiento de las tuberías de refrigeración se debe llevar un control de revisión diario, el cual ayuda a identificar puntos críticos, para evitar que alguna caja de laminación se quede sin refrigeración, lo cual podría ocasionar la fractura de uno de los cilindros.
2. Motivar a la población guatemalteca a promover en sus actividades la reducción de residuos y la protección del medio ambiente, mediante la recolección de chatarra la cual puede ser reutilizada.
3. Se debe establecer un programa de capacitación con los colaboradores de la planta, motivándolos con las mejoras que se alcanzarán con la propuesta presentada, ya que son ellos los encargados directamente de armar y desarmar los molinos, por lo que deben estar atentos a que las tuberías se encuentren en buen estado, que lleven todas sus boquillas, y en general reportar cualquier anomalía en el sistema.
4. Alternar el uso de las bombas de alimentación del sistema de refrigeración (circuito directo), para que las dos bombas que estén en uso no se sobrecarguen por demasiadas horas de trabajo, y las que están en stand-by no se atasquen por falta de uso durante mucho tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACEROS DE GUATEMALA. *Laminación*. [en línea]. Disponible en web. www.acerosdeguatemala.com. Consulta: 20 de junio de 2017.
2. Asociación de tecnología del hierro y del acero AIST. *Hierro y Acero*. Revista publicada en abril 2013. [en línea]. Disponible en web. <https://issuu.com/aistmexico8/docs/hierroyaceroed54>. Consulta: 17 de noviembre de 2017.
3. ENRÍQUEZ BERCIANO, José Luis. *Monografías sobre tecnología del acero parte IV*. Madrid. 2010. 116 p.
4. HERNANDEZ CASTILLO, Luis Enrique. *Modelo bidimensional del enfriamiento de cinta de acero laminada en caliente*. Tesis de Ingeniería, Universidad Autónoma de Nuevo León. 2001. 79 p.
5. KSB, etanorm. *Installation/Operating Manual Etanorm*. 2010. 66 p.
6. SALAZAR CORDOVA, Pablo Anthony David. *Propuesta de mejoramiento de eficiencia del proceso de laminación de perfiles a través de la disminución de la pérdida metálica para la industria metalmeccánica*. Tesis Ingeniería Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala. 2011. 141 p.

7. SERVIN CASTAÑEDA, Rumualdo. *Caracterización y análisis de rodillos de laminación en caliente y frío*. Tesis Ingeniería, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León. 1999. 131 p.