

# **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

## **CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

### **“EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y DIAGNÓSTICO DE LA INTEGRIDAD EN LOS SISTEMAS DE AGUAS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA ANDEC S.A”**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

HENRY DANIEL NUÑEZ RIOS

MARCO DANIEL SILVA CISNEROS

DIRECTOR: ING. OSWALDO MARIÑO

CODIRECTOR: ING. JOSÉ PÉREZ

**Sangolquí, 2013 - SEPTIEMBRE**

## **CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto “Evaluación Energética y Diagnóstico de la Integridad en los Sistemas de Aguas utilizados en los Procesos de Producción de la Empresa ANDEC S.A” fue realizado en su totalidad por Henry Daniel Núñez Ríos y Marco Daniel Silva Cisneros, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

---

**Ing. Oswaldo Mariño**  
**DIRECTOR**

---

**Ing. José Pérez**  
**CODIRECTOR**

Sangolquí, 2013-06-30

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

**NOSOTROS, HENRY DANIEL NUÑEZ RIOS Y MARCO DANIEL SILVA  
CISNEROS**

### **DECLARAMOS QUE:**

La tesis / proyecto de grado titulado **“EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y DIAGNOSTICO DE LA INTEGRIDAD EN LOS SISTEMAS DE AGUAS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA ANDEC S.A.”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis/proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 23 de Agosto de 2013

---

Henry Daniel Núñez Ríos

C.I.:171583938-5

---

Marco Daniel Silva Cisneros

C.I.:171529030-8

## **A U T O R I Z A C I Ó N**

**NOSOTROS, HENRY DANIEL NUÑEZ RIOS Y MARCO DANIEL  
SILVA CISNEROS**

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “**EVALUACIÓN ENERGÉTICA Y DIAGNOSTICO DE LA INTEGRIDAD EN LOS SISTEMAS DE AGUAS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA ANDEC S.A.**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 23 de Agosto de 2013.

---

**Henry Daniel Núñez Ríos**  
**C.I.171583938-5**

---

**Marco Daniel Silva Cisneros**  
**C.I.171529030-8**

## DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado en su totalidad a nuestros padres y familias ya que con su ayuda logramos concluir este trabajo que refleja los conocimientos obtenidos a lo largo de nuestra amada carrera, además a todas las personas que hicieron posible que el sueño de ser Ingenieros Mecánicos se cumpla.

## AGRADECIMIENTO

El agradecimiento más grande a Dios ya que en su infinita misericordia nos ha dirigido a lo largo de nuestra vida para así alcanzar este sueño tan anhelado de ser Ingenieros.

A nuestras familias que con su apoyo y ayuda a lo largo de toda nuestra vida estudiantil nos demostraron que el ejemplo supremo es el trabajo y amor en el hogar.

A los Ingenieros Nelson Perugachi y Ángel Sánchez, los mismos que nos brindarnos su confianza y la oportunidad de trabajar en ANDEC para que este trabajo llegue a feliz término.

Y a todos los profesores que en las aulas impartieron sus conocimientos para así llegar a ser profesionales competentes de nuestra querida alma mater, la ESPE

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
PORTADA .....	i
CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxii
ÍNDICE FIGURAS .....	xxviii
ÍNDICE DE DIAGRAMAS .....	xxix
RESUMEN.....	xxxi
ABSTRACT.....	xxxii
<b>CAPÍTULO I. GENERALIDADES .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3. OBJETIVOS .....	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	6
1.5. ALCANCE.....	6
<b>CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA PALANQUILLA.....	7
2.1.1. INTRODUCCIÓN.....	7
2.1.2. PROCESO EN HORNO ELÉCTRICO.....	8
2.1.3. PROCESO DE AFINO.....	9

2.1.4. PROCESO DE COLADA CONTINUA.....	10
2.2. PROCESO DE LAMINACIÓN DE VARILLA.....	11
2.2.1. INTRODUCCIÓN.....	11
2.2.2. PROCESO DE PRECALENTAMIENTO.....	12
2.2.3. PROCESO DE LAMINACIÓN.....	13
2.3. SISTEMA DE AGUA INDUSTRIAL.....	14
2.3.1. AGUA DE PROCESO.....	15
2.3.2. AGUA RESIDUAL.....	16
2.3.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA.....	17
2.3.3.1. BALANCE ENERGÉTICO.....	17
2.3.3.2. Evaluación energética.....	18
2.3.3.3. Eficiencia energética.....	18
2.3.3.4. Determinación de eficiencia energética en sistemas combinados.....	18
2.4. BOMBAS E INSTALACIONES DE BOMBEO.....	21
2.4.1. INTRODUCCIÓN.....	21
2.4.2. CABEZA DE SUCCION POSITIVA NETA (NPSH).....	22
2.4.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE BOMBEO.....	24
2.5. TUBERÍAS & ACCESORIOS.....	25
2.5.1. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN TUBERÍAS.....	26
2.5.2. ACCESORIOS.....	27
2.5.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN ACCESORIOS.....	27
2.6. INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	29
2.6.1. INTRODUCCIÓN.....	29
2.6.2. TIPOS DE INTERCAMBIADORES.....	29
2.6.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN INTERCAMBIADORES DE..... CALOR.....	30
2.6.4. BALANCE ENERGÉTICO EN INTERCAMBIADORES DE..... CALOR.....	31
2.7. TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	33
2.7.1. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN TORRES DE ENFRIAMIENTO.	

(Occidente).....	33
2.8. INTEGRIDAD DE TUBERÍAS.....	34
2.8.1. TIPOS DE DESGASTE DE TUBERÍAS DE ACERO.....	34
2.8.2. MÉTODOS PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN TUBERÍAS.....	35
2.8.3. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE TUBERÍAS PARA..... CAMBIO.....	35
<b>CAPITULO 3. ESTUDIO Y VALORACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA....</b>	
<b>DE AGUA ACTUAL EN ACERÍA.....</b>	38
3.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESO.....	38
3.2. SISTEMAS DE BOMBEO.....	42
3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	43
3.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FLUIDO BOMBEADO..... (Anexo B).....	47
3.2.3 EQUIPOS EN OPERACIÓN Y DATOS DE FUNCIONAMIENTO... POR EQUIPO.....	48
3.2.4. CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA.....	49
3.2.5. CÁLCULO DE LA POTENCIA HIDRÁULICA.....	50
3.2.6. RELACIÓN Y CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL... SISTEMA DE BOMBEO.....	51
3.3. SISTEMAS DE TRANSPORTE.....	52
3.3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE TUBERÍAS.....	52
3.3.2. BALANCE DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE.....	54
3.4. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN.....	55
3.4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS (Anexo D).....	55
3.4.2. CÁLCULOS TÉRMICOS .....	60
3.5. PLANOS DE LOS SISTEMAS.....	64
<b>CAPITULO 4. ESTUDIO Y VALORACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA</b>	
<b>DE AGUA ACTUAL EN LAMINACIÓN.....</b>	65
4.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESO.....	65

4.2.	SISTEMAS DE BOMBEO.....	68
4.2.1.	CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO.....	69
4.2.2.	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FLUIDO BOMBEADO.....	
	(Anexo B).....	73
4.2.3.	EQUIPOS EN OPERACIÓN Y DATOS DE FUNCIONAMIENTO... POR EQUIPO .....	74
4.2.4.	CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA.....	75
4.2.5.	CÁLCULO DE LA POTENCIA HIDRÁULICA.....	76
4.2.6.	RELACIÓN Y CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL.... SISTEMA DE BOMBEO.....	76
4.3.	SISTEMAS DE TRANSPORTE.....	77
4.3.1.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE TUBERÍAS.....	78
4.3.2.	BALANCE DE ENERGÍA EN TUBERÍAS.....	79
4.4.	SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN (Anexo D).....	79
4.4.1.	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	79
4.4.2.	CÁLCULOS TÉRMICOS.....	82
4.5.	PLANOS DE LOS SISTEMAS .....	89
 <b>CAPITULO 5. ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LOS SISTEMAS.....</b>		
	<b>DE AGUAS.....</b>	90
5.1.	CÁLCULO DE EFICIENCIA EN EQUIPOS DE LAMINACIÓN.....	90
5.1.1.	BOMBAS (Anexo C).....	90
5.1.2.	INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	91
5.1.3.	TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	93
5.2	CÁLCULOS DE EFICIENCIAS EN EQUIPO DE ACERÍA.....	93
5.2.1	BOMBAS.....	93
5.2.2	INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	94
5.2.3	TORRES DE ENFRIAMIENTO.....	94
5.3	INDICADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO.....	95
5.3.1	INDICADORES DE LAMINACIÓN.....	96
5.3.2	INDICADORES DE ACERÍA.....	97

5.4	DETERMINACIÓN DE SISTEMAS DE MAYOR CONSUMO.....	
	ENERGÉTICO.....	98
5.4.1	AGUA LAMINACIÓN.....	98
5.4.2	AGUA ACERÍA.....	100
<b>CAPITULO 6. ANÁLISIS DE INTEGRIDAD EN LAS LÍNEAS.....</b>		
<b>TUBERÍAS.....</b>		103
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	103
6.2.	PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE LA.....	
	INTEGRIDAD.....	103
6.3.	DETERMINACIÓN DEL ESPESOR TEÓRICO NECESARIO DE	
	LA TUBERÍA DE ACUERDO A CONDICIONES.....	
	OPERACIONALES ACTUALES.....	104
6.4.	DETERMINACIÓN DEL ESPESOR LÍMITE DE RETIRO.....	106
6.5.	DETERMINACIÓN DEL ESPESOR LÍMITE DE SEGURIDAD.....	107
6.6.	RESUMEN COMPARATIVO DE CÁLCULOS.....	108
6.7.	PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN (CAYETANO, 2011).....	109
6.7.1.	INSPECCIÓN VISUAL EXTERNA.....	109
6.7.2.	INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO (UT).....	111
6.8.	DATOS OBTENIDOS DE INSPECCIÓN.....	112
6.9.	CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN.....	117
<b>CAPITULO 7. ANÁLISIS ECONÓMICO.....</b>		119
7.1.	DETALLE DE CONSUMOS Y COSTOS.....	119
7.2.	COSTOS EQUIPOS DE MEDICIÓN.....	120
7.3.	COSTOS DE DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS.....	121
7.4.	COSTO TOTAL.....	121
7.5.	COSTO DE EVALUACIÓN.....	122
<b>CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		124
8.1.	CONCLUSIONES.....	124
8.2	RECOMENDACIONES.....	126

BIBLIOGRAFÍA .....	127
--------------------	-----

**ANEXOS**

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS INSTRUMENTACIÓN HMI

ANEXO B: ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS DE LAS AGUAS DE  
ANDEC

ANEXO C: DIAGRAMAS DE BOMBAS

ANEXO D: HOJAS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR Y TORRES  
DE ENFRIAMIENTO

ANEXO E: DOCUMENTOS DE ANÁLISIS DE INTEGRIDAD

ANEXO F: COTIZACIONES DE MEDIDAS DE PARÁMETROS DE  
CAUDAL

ANEXO G: PLANOS

ANEXO H: EJEMPLO DE TABLAS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS  
MEDIDOS EN CAMPO

ANEXO I: FOTOGRAFÍAS DE EQUIPOS Y TOMAS DE ESPESORES

<b>Índice de Tablas</b>	<b>Pág</b>
Tabla 2.1. Horno Eléctrico KGYV – 15 t / Características técnicas.....	8
Tabla 2.2. Horno cuchara LFA 025 – 1 – 09 ESTÁNDAR Dt / .....	
Características técnicas.....	9
Tabla 2.3. Colada continua CONCAST / Características técnicas.....	
Horno BROBU - BASCOTECNIA / Características técnicas...	10
Tabla 2.4. Tren laminador BASCOTECNIA - DANIELI /.....	12
Tabla 2.5. Características Técnicas.....	13
Tabla 2.6. Sistema Tempcore / Características técnicas.....	14
Tabla 2.7. Características técnicas químicas necesarias agua.....	
primario Acería.....	15
Tabla 2.8. Características técnicas químicas necesarias.....	
agua secundario Acería.....	15
Tabla 2.9. Características técnicas químicas necesarias agua planta....	
CENK acería.....	15
Tabla 2.10 Características técnicas químicas necesarias agua planta....	
AGA acería.....	16
Tabla 2.11 Características técnicas químicas necesarias agua de tipo...	
“A” laminación.....	16
Tabla 2.12 Características técnicas químicas necesarias agua tipo “B”...	
laminación.....	16
Tabla 2.13 Presión de vapor del agua.....	23
Tabla 2.14 Presión atmosférica del agua.....	23
Tabla 3.15 Características técnicas bombas agua primario.....	43
Tabla 3.16 Características técnicas bombas agua secundario.....	43
Tabla 3.17 Características técnicas bombas agua secundario.....	44
Tabla 3.18 Características técnicas bombas agua secundario .....	44
Tabla 3.19 Características técnicas bombas agua CENK .....	45
Tabla 3.20 Características técnicas bombas agua CENK.....	45
Tabla 3.21 Características técnicas bombas agua CENK.....	46

Tabla 3.22	Características técnicas bombas agua AGA.....	46
Tabla 3.23	Datos de equipos en operación – Acería.....	48
Tabla 3.24	Datos de potencia eléctrica medida con el motor en..... operación – Acería.....	49
Tabla 3.25	Datos de potencia hidráulica calculados en operación –..... Acería.....	50
Tabla 3.26	Relación potencia eléctrica y potencia hidráulica (pérdidas)...	- 51
Tabla 3.27	Acería.....	52
Tabla 3.28	Componentes sistema de transporte agua primario – acería...	53
Tabla 3.29	Componentes sistema de transporte agua secundario.....	53
Tabla 3.30	– acería..... Componentes sistema de transporte agua CENK – acería....	54
Tabla 3.31	Componentes sistema de transporte agua planta AGA..... – acería.....	54
Tabla 3.32	Balance de energía tuberías de acería / Q desde la salida de	55
Tabla 3.33	la bomba hasta el usuario	56
Tabla 3.34	Características porta lingotera –	56
Tabla 3.35	acería..... Características técnicas intercambiadores de calor-acería....	57
Tabla 3.36	Requerimientos técnicos de aspersores de lingote -	58
Tabla 3.37	acería....	58
Tabla 3.38	Características técnicas torre de enfriamiento..... -	58
Tabla 3.39	acería.....	59
Tabla 3.40	Características técnicas intercambiadores de calor –	59
Tabla 3.41	acería...	59
Tabla 3.42	Características técnicas intercambiadores de calor –	60
Tabla 3.43	acería...	61
Tabla 3.44	Características técnicas intercambiadores de calor –	62
Tabla 3.45	acería...	63

Tabla 3.46	Características técnicas torre de enfriamiento – acería.....	64
	Características técnicas intercambiador de calor – acería.....	
Tabla 4.47	Características técnicas torre de enfriamiento – acería.....	69
Tabla 4.48	Datos tomados en operación - porta lingotera.....	69
Tabla 4.49	(tomado como un intercambiador de calor).....	70
Tabla 4.50	Datos tomados en operación - torres MARLEY.....	70
Tabla 4.51	Resultados calor transferido agua primario.....	71
	Parámetros de diseño de los equipos.....	
Tabla 4.52	Eficiencia de intercambiadores de calor transferido.....	71
	sistema de agua acería.....	
Tabla 4.53	Características técnicas bombas agua tipo A – laminación....	72
	Características técnicas bombas agua tipo A – laminación....	
Tabla 4.54	Características técnicas bombas agua tipo B – laminación....	72
	Características técnicas bombas agua tipo B – laminación....	
Tabla 4.55	Características técnicas bombas agua tipo B – fosa.....	73
	laminación.....	
Tabla 4.56	Características técnicas bombas agua tipo B – fosa-.....	74
	laminación.....	
Tabla 4.57	Características técnicas bombas agua tipo B –Tempcore.....	75
	filtros de graba – laminación.....	
Tabla 4.58	Características técnicas bombas agua tipo B – Tempcore –..	76
	laminación.....	
Tabla 4.59	Características técnicas bombas agua tipo B – Tempcore.....	77
Tabla 4.60	Booster – laminación.....	78
	Datos de caudal, temperatura, voltaje y corriente nominales..	
Tabla 4.61	en operación de equipos.....	78
	Datos de potencia eléctrica medida con el motor en.....	
	operación.....	
Tabla 4.62	Datos de potencia hidráulica calculados en.....	
	operación.....	79
	Relación potencia eléctrica y potencia hidráulica (pérdidas)...	

Tabla 4.63	Componentes sistema de transporte agua tipo.....	79
	A – Laminación.....	79
Tabla 4.64	Componentes sistema de transporte agua tipo.....	
	B – Laminación.....	80
Tabla 4.65	Balance de energía tuberías de Laminación / Q desde la.... salida por sistema.....	80
Tabla 4.66	Características técnicas intercambiadores agua tipo.....	
	A – Laminación.....	81
Tabla 4.67	Características técnicas intercambiadores agua tipo.....	
	A – Laminación.....	82
Tabla 4.68	Características técnicas intercambiadores agua tipo.....	
	A – Laminación.....	87
Tabla 4.69	Tabla 4.66. Características técnicas torre de enfriamiento agua tipo A – Laminación.....	88
Tabla 5.70	Características técnicas torre de enfriamiento agua tipo.....	
	B – Laminación.....	91
Tabla 5.71	Parámetros de diseño de los equipos de enfriamiento de...	92
Tabla 5.72	Laminación.....	93
Tabla 5.73	Eficiencia de intercambiadores de calor transferido sistema	93
Tabla 5.74	de agua acería.....	94
Tabla 5.75	Eficiencias de las bombas en funcionamiento agua.....	94
Tabla 5.76	tipo A y B laminación.....	96
Tabla 5.77	Eficiencia en los intercambiadores de calor laminación.....	96
Tabla 5.78	Eficiencia en sistemas de bombeo acería.....	97
Tabla 5.79	Eficiencia en el sistema de bombeo acería.....	97
Tabla 5.80	Eficiencia en intercambiadores de calor acería.....	97
Tabla 5.81	Eficiencia de Torres de Enfriamiento Acería.....	99
Tabla 5.82	Consumo sistema de bombeo agua tipo A.....	
	Consumo sistema de bombeo agua tipo B.....	99
Tabla 5.83	Consumo sistema de bombeo agua primaria – acería.....	
	Consumo sistema de bombeo agua secundaria – acería.....	100

Tabla 5.84	Consumo sistema de bombeo agua tipo B.....	100
Tabla 5.85	Eficiencia total por sistema de agua tipo A laminación.....	101
Tabla 5.86	Eficiencia total por sistema de agua tipo B rodillos / .....	101
Tabla 5.87	laminación.....	102
Tabla 6.88	Eficiencia total por sistema de agua tipo B Tempcore/.... Laminación.....	
	Eficiencia total por sistema de agua primario / acería.....	105
Tabla 6.89	Eficiencia total por sistema de agua secundaria / acería..... Eficiencia total por sistema de agua CENK / acería..... Eficiencia total por sistema de agua AGA / acería	106
Tabla 6.90	Selección de cedula de las líneas de tubería.....	107
Tabla 6.91	y determinación de espesor remanente entre espesor de..... diseño y espesor comercial.....	108
Tabla 6.92	Selección de cédula de las líneas de tubería.....	109
Tabla 6.93	y determinación de espesor remanente entre espesor de..... diseño y espesor comercial.....	112
Tabla 6.94	Espesores de retiro de las diferentes líneas de tubería..... Determinación de espesor de retiro y espesor remanente en. relación con el espesor de seguridad.....	114
Tabla 6.95	Resumen comparativo de cálculo de espesores..... Resumen comparativo de cálculo de espesores..... Espesores medidos con UT y comparativos de espesor.....	116
Tabla 6.96	inicial (ti), espesor de seguridad (ts), espesor de retiro (tr).....	117
Tabla 6.97	Espesores medios con UT y comparativos de espesor....	117
Tabla 6.98	Inicia (ti), espesor de seguridad (ts), espesor de retiro (tr).....	117
Tabla 6.99	(RESUMEN – ACERÍA).....	118
Tabla 6.100	Espesores medidos con UT y comparativos de espesor.....	118
Tabla 7.101	inicial (ti), espesor de seguridad (ts), espesor de retiro (tr).... (RESUMEN - LAMINACIÓN)..... Velocidad de corrosión agua primario..... Velocidad de corrosión agua secundario.....	119

Tabla 7.102	Velocidad de corrosión agua CENK.....	120
Tabla 7.103	Velocidad de corrosión agua tipo A.....	120
Tabla 7.104	Velocidad de corrosión agua tipo B.....	121
Tabla7.105	Consumo eléctrico y de caudal sistema de aguas de.....	122
Tabla7.106	Laminación.....	122
	Consumo eléctrico y de caudal sistema de aguas de acería..	128
	Costo y cantidad de equipos adquiridos para el estudio.....	
	Costo de depreciación de los equipos adquiridos.....	
	Costo total del consumo energético de laminación por año...	
	Costo total del consumo energético de acería por año.....	
	Costo total del consumo energético de laminación por año...	
	Costo total del consumo energético de acería por año.....	

## ÍNDICE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Varilla corrugada con marcación característica.....	2
Figura 1.2. Esquema de operación de acería.....	3
Figura 1.3. Esquema de operación de laminación.....	4
Figura 2.4. Curvas características de bombas centrifuga.....	22
Figura 2.5. Volumen de control en tuberías.....	26
Figura 2.6. Volumen de control en accesorios.....	28
Figura 2.7. Volumen de control para intercambiadores.....	30
Figura 2.8. Intercambiador de flujo cruzado.....	31
Figura 2.9. Espesores encontrados en las tuberías de agua de proceso..	37
Figura 3.10. Aspersores de lingote – acería.....	56
Figura 3.11. Rodillos y mesa de enfriamiento - acería.....	57
Figura 3.12. Sistema de refrigeración agua tipo B con los diferentes..... subsistemas.....	67
Figura 4.13. Gráfica de bombas agua tipo “A” .....	90
Figura 6.14. Posiciones del sensor para las mediciones de espesores... con UT.....	112

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2.1. Procesos productivos de la Gerencia de Materia Prima...	7
Diagrama 2.2. Procesos productivos de la Gerencia de Laminación/..... Formado y corte de varilla.....	11
Diagrama 2.3. Procesos productivos de la Gerencia de Laminación/..... venta.....	12
Diagrama 2.4. Funcionamiento de equipos en serie.....	19
Diagrama 2.5. Funcionamiento de equipos en paralelo.....	20
Diagrama 2.6. Accesorios encontrados en líneas de tuberías típicas.....	27
Diagrama 2.7. Clasificación de intercambiadores utilizada en la..... maquinaria de acería y laminación.....	29
Diagrama 2.8. Sistema de refrigeración colada continua con los ..... diferentes sub sistemas/planta AGA .....	40
Diagrama 2.9. Sistema de refrigeración hornos y planta de humo..... con los diferentes sub sistemas.....	41
Diagrama 3.10. Sistema de refrigeración agua tipo A con los diferentes sub sistemas.....	66

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

### **ANEXOS**

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS INSTRUMENTACIÓN HMI

ANEXO B: ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS DE LAS AGUAS DE  
ANDEC

ANEXO C: DIAGRAMAS DE BOMBAS

ANEXO D: HOJAS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR Y TORRES  
DE ENFRIAMIENTO

ANEXO E: DOCUMENTOS DE ANÁLISIS DE INTEGRIDAD

ANEXO F: COTIZACIONES DE MEDIDAS DE PARÁMETROS DE  
CAUDAL

ANEXO G: PLANOS

ANEXO H: EJEMPLO DE TABLAS DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS  
MEDIDOS EN CAMPO

ANEXO I: FOTOGRAFÍAS DE EQUIPOS Y TOMAS DE ESPESORES

## RESUMEN

El presente estudio propone un modelo teórico – práctico de una evaluación energética en líneas de transporte y bombeo de agua en plantas industriales ya que por la complejidad de los procesos y régimen de trabajo es el método más óptimo para la realización de este trabajo, además se realiza un análisis del estado actual de las líneas de tubería en función a la norma ASME B 31 – 3 que es utilizada para el diseño y evaluación en tuberías de proceso, el resultado más importante es generar información para la utilización de ANDEC S.A. para conocer el estado actual en el consumo de energía en sus sistemas de bombeo además utilizar esta información para futuros proyectos de ampliación de capacidad instalada y mejorar el manejo en función a la eficiencia de cada sistema estudiado de los recursos económicos y físicos que posee la empresa .

## **ABSTRACT**

This study proposes a theoretical model - practical energy assessment transmission lines and pumping water in industrial plants because of the complexity of the processes and work system is the optimal method for performing this work, and is an analysis of the current state of pipelines according to the ASME B 31-3 is used for him in piping design and evaluation process, the most important outcome is to generate information for the use of ANDEC SA to know the current state of energy consumption in pumping systems also use this information for future projects to expand capacity and improve management efficiency according to each system studied economic and physical resources owned by the company .

## **CAPÍTULO I. GENERALIDADES**

### **1.1. ANTECEDENTES**

A finales de los años sesenta, la necesidad de instalar una planta laminadora que suministre varilla para la construcción de excelente y óptima calidad se convertía cada vez en una urgencia para el mercado local, por lo que Acerías Nacionales del Ecuador se creó, el 19 de octubre de 1969, para atender la demanda del sector de la construcción.

El compromiso de liderar el mercado con productos de calidad, personal capacitado y atención al cliente, impulsó a ANDEC S.A., en 1994, a realizar cambios en sus procesos de producción y técnicas de ejecución en la planta industrial.

El 31 de julio de 2003, la familia ANDEC S.A. consigue la Certificación ISO 9001:2000 al Sistema de Gestión de Calidad, y en el año 2005, ANDEC S.A. incorporó a su filial FUNASA, como una división encargada de la fundición.

ANDEC S.A. en sus cuarenta años de existencia ha ido ampliando su capacidad instalada de producción por lo que también ha generado una necesidad de consumo de agua mayor a la diseñada en el inicio de las operaciones de la planta, en vista también de las políticas ambientales vigentes sobre el manejo y uso adecuado de los recursos naturales, la Gerencia General, la Gerencia de Mantenimiento y la Gerencia de Medio Ambiente de la empresa, se ha visto en la necesidad de mejorar el manejo y tratamiento de tan preciado y costoso recurso, para con ello evaluar, diagnosticar y monitorear los problemas en los sistemas de transporte y tratamiento de agua, para a partir de esa información poder determinar el estado actual de la planta en el consumo y manejo de agua en los procesos.



Figura 1.1. Varilla corrugada con marcación característica  
Fuente: [www.andecsa.com](http://www.andecsa.com)

El proceso de fusión que se realiza en ANDEC se utiliza como materia prima fundamental chatarras, fundiéndolas en la acería constituida por hornos eléctrico, para así obtener acero en forma de semi producto denominado palanquilla.

Posteriormente este semi producto es procesado en los trenes de laminación para obtener productos acabados como varilla corrugada y alambón, su importancia hace que nuestra empresa dedique la máxima atención al grado de calidad que ofrezca, dado que su incidencia es directa en la obtención de aceros adecuados.

Este "grado de calidad", se consigue mediante la búsqueda de los mercados más convenientes y con un exhaustivo control de calidad en todas las etapas de la línea de producción y así todo ello está dirigido al logro de una garantía de calidad y de una óptima productividad.

## **ACERÍA**

La acería, consta de tres instalaciones fundamentales: Horno Eléctrico, Horno Cuchara y Colada Continua. En el Horno Eléctrico, se realiza la fusión de la chatarra y demás materias primas, necesarias para obtener la composición química deseada. Esta se controla durante el proceso mediante espectrómetros de emisión de moderno diseño y lectura directa.

El acero líquido se vuelca en el Horno Cuchara, y en este, libre ya de escoria, se realiza el afino y ajuste definitivo de la composición química del acero,

tomando tantas muestras como sean necesarias, hasta obtener la composición química "exactamente" deseada.

El último paso consiste en transformar el acero líquido en semiproducto. Para ello, el acero líquido se vierte en un sistema que alimenta la colada continua, donde se lleva a cabo la solidificación del acero y la obtención de la palanquilla.

Se vigila especialmente, la cuadratura de la sección, la ausencia de defectos externos y la longitud de las palanquillas obtenidas, cuyo corte se realiza automáticamente.

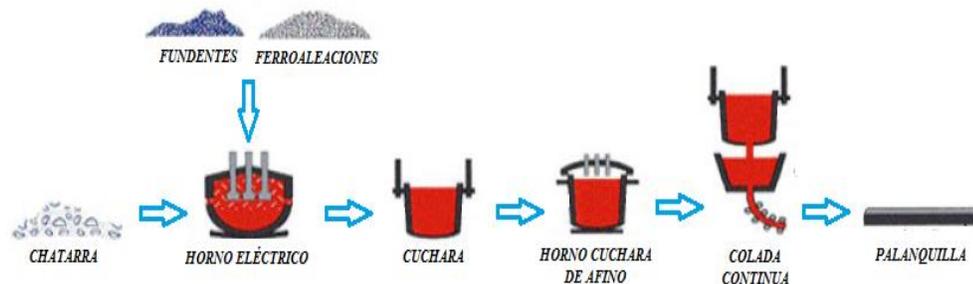


Figura 1.2. Esquema de operación de acería

## LAMINACIÓN

En la laminación, las palanquillas son introducidas automáticamente en un horno para su precalentamiento.

Una vez que han obtenido la temperatura adecuada y mediante sucesivas pasadas entre los cilindros de laminación, que llevan canales tallados en una secuencia cuadrado/óvalo - óvalo/redondo, van reduciendo su sección a la vez que aumentan su longitud.

Este proceso tiene lugar en un "tren continuo", de tal forma que la velocidad está automáticamente controlada, para que aumente en cada pasada, en la misma proporción en que se redujo la sección en la anterior.

Este "tren continuo" que es de dos líneas, se halla formado por el tren de desbaste, seguido del tren intermedio: a partir de aquí se ramifica en dos trenes acabadores, según el material a obtener sean varilla corrugada o alambrión en rollos.

Durante todo el proceso, tanto de acería, como de laminación, el material está identificado y separado por coladas, siendo las mismas la unidad básica de referencia para todos los efectos del Control de Calidad, desde el inicio, hasta el final.

Durante la laminación, se vigilan los parámetros básicos de la misma y especialmente los que afectan al enfriamiento controlado por el sistema Tempcore.

Las barras ya laminadas, se depositan en una mesa pendulante para su enfriamiento; posteriormente son cortadas a la longitud deseada, empaquetadas y expedidas al almacén de productos acabados. Los rollos, con otro sistema de formación y evacuación, se empaquetan previa compactación, antes de su almacenaje definitivo. Todos estos procesos son totalmente automáticos.

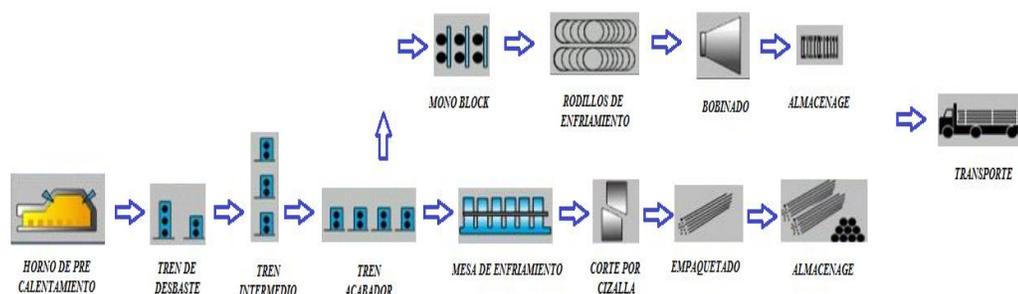


Figura 1.3. Esquema de operación de laminación

## **1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Los futuros proyectos de ANDEC S.A. requieren información actual de cómo se encuentra los sistemas de aguas, para así presentar soluciones a las necesidades generadas, ya que la empresa desea mantenerse como líder indiscutible en la fabricación y comercialización de sus productos a nivel nacional.

En el aspecto económico la empresa ANDEC S.A. invierte muchos recursos en el mantenimiento y tratamiento de las aguas industriales de laminación y acería, los cuales son un problema para las maquinas si el fluido que las abastece no cumplen con los parámetros de funcionamiento establecidos por los fabricantes de las maquinas; por lo cual este proyecto pretende identificar las oportunidades de mejora en las líneas de distribución de agua para así reducir costos en la operación de estos sistemas, en vista que la empresa debe ser más eficiente en el manejo de la energía y el compromiso social con la comunidad, nace la idea de realizar una EVALUACION ENERGETICA Y DIAGNOSTICO DE LA INTEGRIDAD EN LOS SISTEMAS DE AGUAS INDUSTRIALES UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCION DE LA EMPRESA ANDEC S.A ya que la visión de la planta es evaluar la situación actual y proyectarse así firmemente a los objetivos a futuro.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar una evaluación energética en los sistemas de bombeo, transporte y refrigeración de agua de proceso, y verificar la integridad de los sistemas de tuberías de agua de proceso utilizados en ANDEC S.A.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recolectar datos en campo y evaluar el funcionamiento y consumo energético de los equipos de los sistemas de bombeo de Laminación y Acería.
- Diagnosticar la eficiencia térmica de las máquinas que utilizan agua como refrigerante.
- Analizar el consumo de agua y energía de los sistemas de distribución y enfriamiento de agua en la planta.
- Analizar la integridad de las tuberías mediante equipo de ultrasonido.
- Levantar planos a través de información técnica recolectada en campo de los sistemas distribución y enfriamiento de las aguas.
- Presentar recomendaciones para proyectos futuros de la empresa utilizando el trabajo realizado.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

La empresa ANDEC S.A. a lo largo de su vida institucional a tenido grandes cambios en su capacidad instalada, motivo por el cual los sistemas de transporte y bombeo de agua han sufrido cambios en el desarrollo de proyectos para el beneficio de la empresa, en virtud a esto se genera la necesidad de un levantamiento técnico de información en campo y evaluación energética para la posterior utilización en los diferentes proyectos que la empresa ha trazado para la ampliación de capacidad instalada.

Con este proyecto se pretende contribuir a que la empresa ANDEC S.A. mejore el uso de la energía en los sistemas de bombeo, transporte y refrigeración de agua en las áreas de laminación y acería, además de verificar el estado actual de las líneas de tuberías.

#### **1.5. ALCANCE**

Evaluar el consumo energético de los sistemas de bombeo, distribución y enfriamiento del agua industrial, en función a su uso actual

Determinar la eficiencia de los sistemas de aguas industriales en las áreas de laminación y acería, para así presentar recomendaciones en futuros proyectos dentro de la empresa.

Evaluar el estado actual de los sistemas de tuberías aplicando UT industrial, y establecer las zonas que necesitan cambio o mejoras en las líneas de tubería de laminación y acería.

## **CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. PROCESOS DE FABRICACIÓN DE LA PALANQUILLA**

#### **2.1.1. INTRODUCCIÓN**

Dentro del proceso productivo de la gerencia de materia prima tenemos los siguientes procesos:

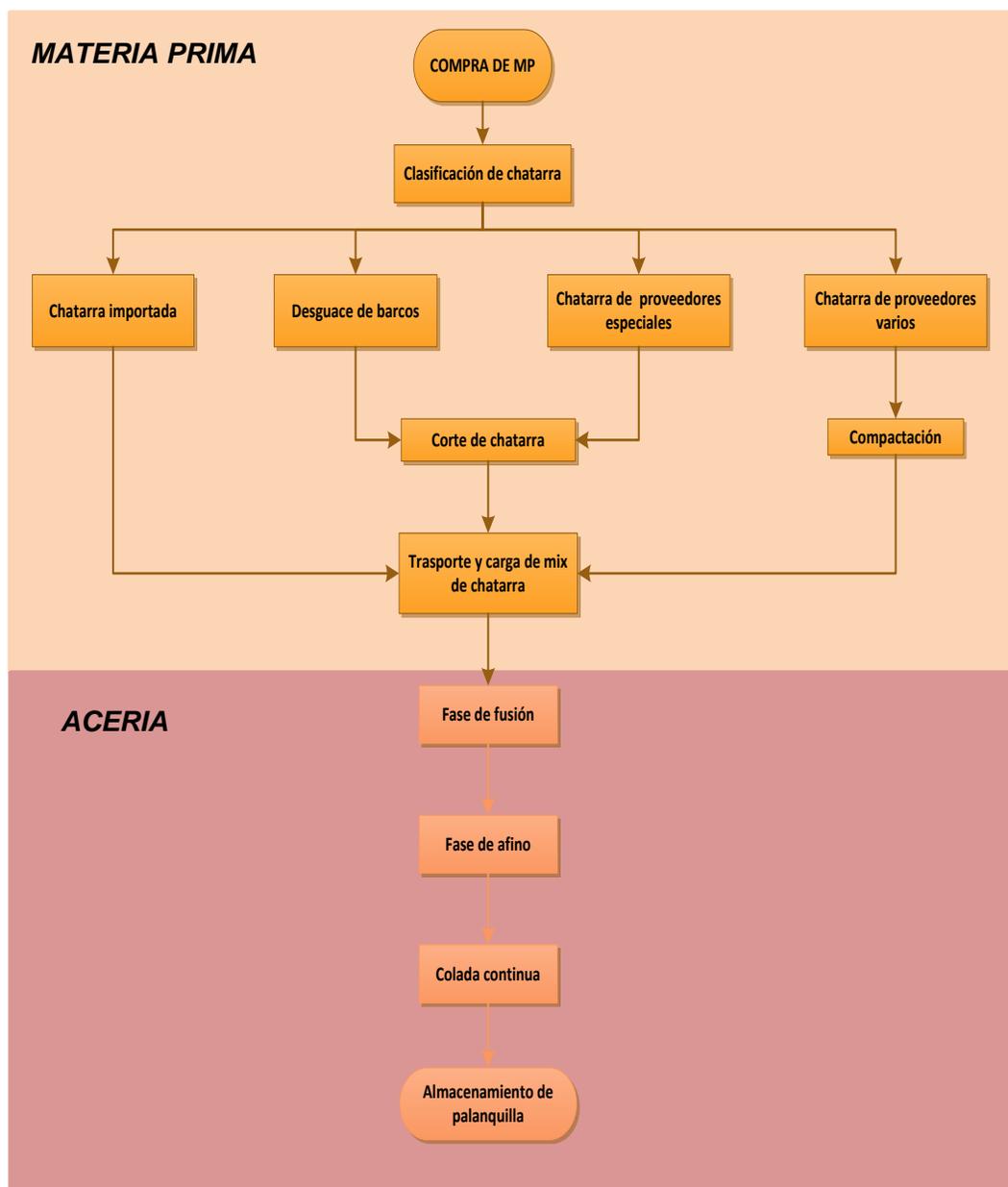


Diagrama 2.1. Procesos productivos de la Gerencia de Materia Prima

### 2.1.2. PROCESO EN HORNO ELÉCTRICO

Es el primer proceso en el cual se funde la chatarra con propiedades generales de la colada controlando componentes como el fósforo y azufre



<b>Equipo</b>	Horno eléctrico KGYV
<b>Capacidad</b>	15 t
<b>Bóveda</b>	deslizante
<b>Carga</b>	Por cestas
<b>Temperatura máxima de fusión</b>	1700 °C
<b>Diámetro</b>	3700 mm
<b>Capacidad anual</b>	100000 t/año
<b>Diámetro de electrodos</b>	350 mm
<b>Refrigeración</b>	agua
<b>Consumo de agua</b>	353 m <sup>3</sup> /h
<b>Consumo eléctrico</b>	900 KVA
<b>Alimentación al área de laminación</b>	40 %

Tabla 2.1. Horno Eléctrico KGYV – 15 t / Características técnicas

### 2.1.3. PROCESO DE AFINO

Proceso en el cual se afina la colada para obtener los diferentes productos utilizados en la fabricación de la palanquilla utilizada para de varilla soldable



<b>Equipo</b>	Horno cuchara LFA 025 – 1 – 09 ESTÁNDAR DANIELI
<b>Capacidad</b>	18,5 t a 25 t
<b>Inyección de gas</b>	Argón
<b>Alimentación</b>	Por cuchara
<b>refrigeración</b>	Agua
<b>Consumo de agua</b>	682 m <sup>3</sup> /h
<b>Consumo eléctrico</b>	7.5 MVA

Tabla 2.2. Horno cuchara LFA 025 – 1 – 09 ESTÁNDAR Dt / Características técnicas

#### 2.1.4. PROCESO DE COLADA CONTINUA

Proceso en el cual se forma y se corta la palanquilla de acuerdo a las necesidades comúnmente se forma palanquilla de 6 m, en este proceso se debe evitar al máximo que la palanquilla tome la forma de ovalo



<b>Equipo</b>	Colada continua CONCAST
<b>Capacidad</b>	25 t
<b>Velocidad de producción</b>	2.4 m/min
<b>Alimentación</b>	Por cuchara
<b>Refrigeración</b>	Agua
<b>Consumo de agua</b>	595 m <sup>3</sup> /h
<b>Producto</b>	Palanquilla cuadrada de 140 x 140 mm.
<b>Líneas de producción</b>	3

Tabla 2.3. Colada continua CONCAST / Características técnicas

## 2.2. PROCESO DE LAMINACIÓN DE VARILLA

### 2.2.1. INTRODUCCIÓN

Dentro de la gerencia de laminación tenemos los siguientes procesos

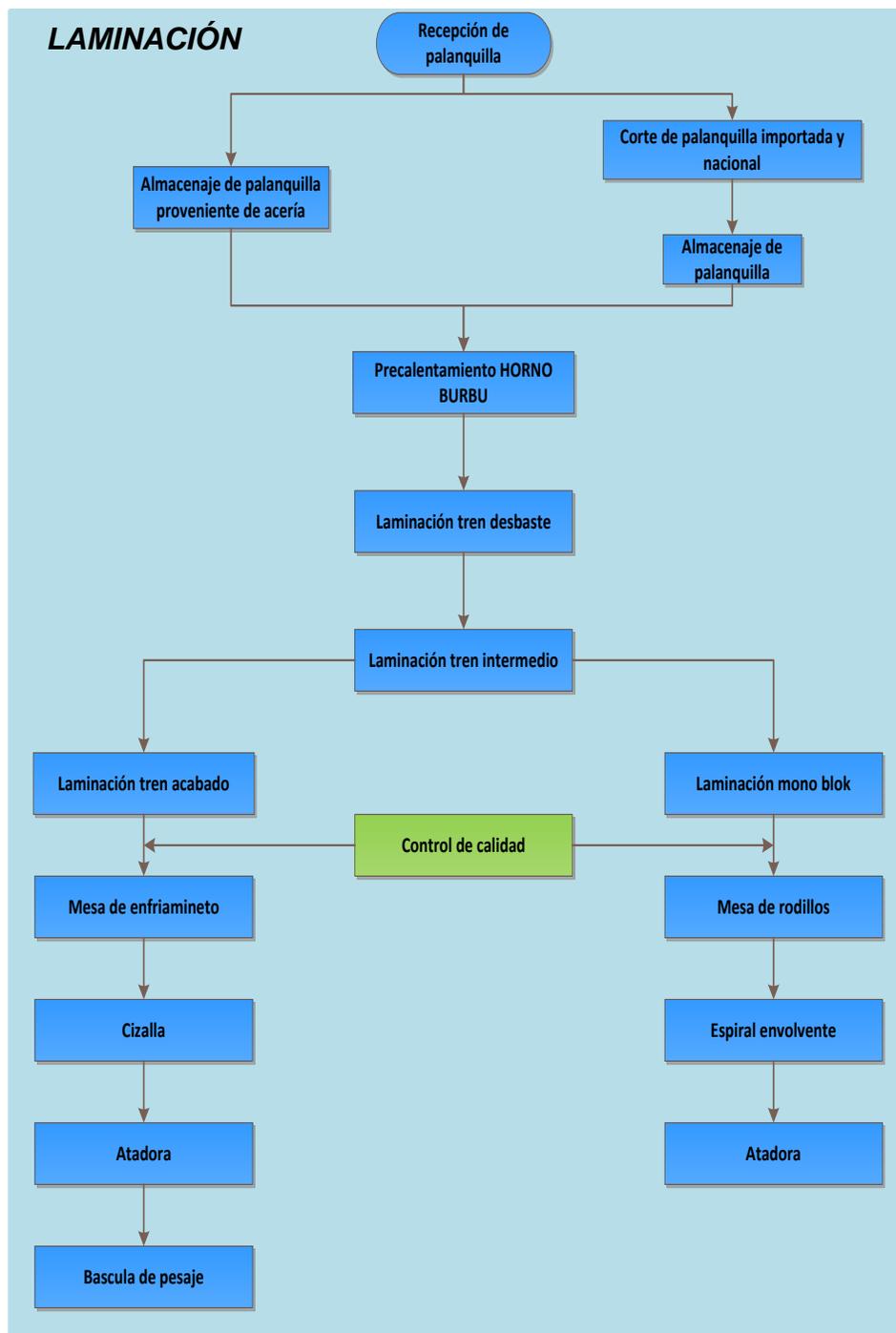
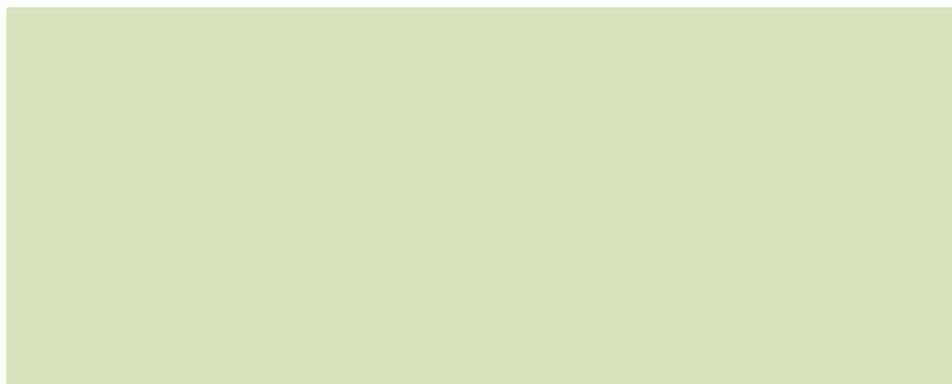


Diagrama 2.2. Procesos productivos de la Gerencia de Laminación/ formado y corte de varilla



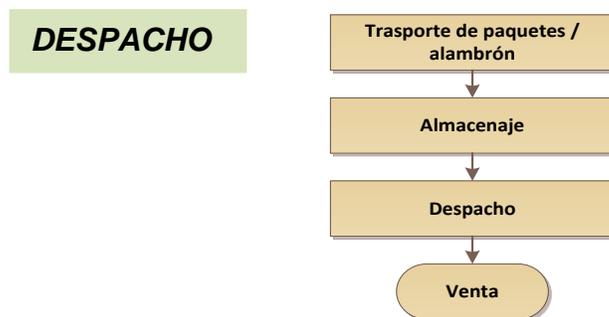


Diagrama 2.3. Procesos productivos de la Gerencia de Laminación/ venta

## 2.2.2. PROCESO DE PRECALENTAMIENTO

Proceso que se homogeniza la palanquilla y se la precalienta para el proceso de laminación en caliente



<b>Equipo</b>	Horno BROBU - BASCOTECNIA
<b>Capacidad</b>	40 t
<b>Quemadores</b>	20
<b>Alimentación</b>	Cilindros hidráulicos
<b>Refrigeración</b>	Agua / compuerta y válvula de tiro
<b>Consumo de agua</b>	80 m <sup>3</sup> /h
<b>Combustible</b>	Bunker
<b>Temperatura</b>	1200 ± 100 °C.

Tabla 2.4. Horno BROBU - BASCOTECNIA / Características técnicas

## 2.2.3. PROCESO DE LAMINACIÓN

Proceso en el cual se realiza el labrado de la varilla y además se le da el diámetro de acuerdo al portafolio de productos



<b>Equipo</b>	Tren BASCOTECNIA / DANIELI
<b>Total cajas</b>	21
<b>Tren de desbaste</b>	cajas de 1 a la 5
<b>Tren intermedio</b>	cajas de 6 a la 15
<b>Tren acabador</b>	cajas de 16 a la 21
<b>Refrigeración</b>	Agua / rodillos, centrales de lubricación y motores eléctricos
<b>Consumo de agua</b>	900 m <sup>3</sup> /h tipo B y 300 m <sup>3</sup> /h tipo A
<b>Temperatura</b>	1000 a 300 °C.

Tabla 2.5. Tren laminador BASCOTECNIA - DANIELI / Características técnicas

Proceso realizado para dar las características de sismo resistencia a la varilla formada



Equipo	Tempcore
Número de líneas	2
Presión de trabajo	16 bar
Tratamiento dado	Termo mecánico
Consumo de agua	30 - 360m <sup>3</sup> /h
Temperatura	800 a 300 °C.

Tabla 2.6. Sistema Tempcore / Características técnicas

## 2.3. SISTEMA DE AGUA INDUSTRIAL

Las aguas industriales son aguas que proceden de cualquier actividad industrial en cuyo proceso se utilice el agua ya sea de producción, transformación o manipulación, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje.

### 2.3.1. AGUA DE PROCESO

La misma es generada después de haber utilizado al agua como insumo en un proceso productivo, el agua utilizada no es desechada es reutilizada después de un proceso que ayuda a restablecer algunas de sus propiedades, en el proceso productivo en la planta de ANDEC tenemos los siguientes sistemas da agua:

- **Agua de alimentación** (agua potable)
- **Agua del primario de acería**

Parámetros	AGUA SIN CONTACTO
<b>Calidad del agua</b>	(A)
<b>PH</b>	7 - 8.5
<b>Dureza Ca (mg/l CaCO3)</b>	30 - 240

Tabla 2.7. Características técnicas químicas necesarias agua primario acería

- **Agua del secundario de acería**

Parámetros	AGUA CON CONTACTO
<b>Calidad del agua</b>	(AA)
<b>PH</b>	7 – 8.5
<b>Dureza Ca (mg/l CaCO3)</b>	0 - 60

Tabla 2.8. Características técnicas químicas necesarias agua secundario acería

- **Agua de planta CENK.**

Parámetros	AGUA SIN CONTACTO
<b>Calidad del agua</b>	(a)
<b>PH</b>	7 - 8.5
<b>Dureza Ca (mg/l CaCO3)</b>	30 - 240

Tabla 2.9. Características técnicas químicas necesarias agua planta CENK acería

- **Agua de planta AGA.**

Parámetros	AGUA SIN CONTACTO
------------	-------------------

<b>PH</b>	7 - 8,5
<b>Total de Sólidos Disueltos</b>	< 3000 mg/l
<b>Total de Sólidos Suspendidos</b>	<10 mg/l
<b>Total de Dureza</b>	100 - 900 mg Ca CO <sub>3</sub> /l

Tabla 2.10. Características técnicas químicas necesarias agua planta AGA acería

- **Agua tipo “A” de laminación.**

Parámetros	AGUA SIN CONTACTO
<b>Calidad del agua</b>	(a)
<b>PH</b>	7 – 8.5
<b>Dureza Ca (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	30 - 240

Tabla 2.11. Características técnicas químicas necesarias agua tipo “A” laminación

- **Agua tipo “B” de laminación.**

Parámetros	AGUA CON CONTACTO
<b>Calidad del agua</b>	(b)
<b>PH</b>	7 – 9
<b>Dureza Ca (mg/l CaCO<sub>3</sub>)</b>	30 - 360

Tabla 2.12. Características técnicas químicas necesarias agua tipo “B” laminación

### 2.3.2. AGUA RESIDUAL

El término agua residual define un tipo de agua que está contaminada con sustancias procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

### 2.3.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA

### 2.3.3.1. BALANCE ENERGÉTICO:

Aplicación del principio de conservación de la energía a un sistema determinado mediante todos los aportes y pérdidas de energía, experimentalmente o mediante cálculo, este tipo de sistema es útil para el estudio de un sistema y para identificar las etapas en las que mejorar el proceso.

El balance de energía es una derivación matemática de la ley de la conservación de la energía, primera Ley de La termodinámica, el balance de energía es un principio físico fundamental al igual que la conservación de masa, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema.

La expresión matemática del balance energético puede simbolizarse de la siguiente manera:

$$Q + W + \sum_{entrada} m_{entrada} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_{entrada} - \sum_{salida} m_{salida} \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_{salida} = \Delta E_{sistema} \text{ Ec. 1}$$

*Dónde:*

*Q: Calor intercambiado por el sistema a través del volumen de control (kW)*

*W: Trabajo intercambiado por el sistema a sus alrededores (J)*

*$\Delta E_{sistema}$ : Variación de energía del sistema  $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$*

*m: Masa en los puntos analizados (kg)*

*$h + \frac{v^2}{2} + gz$ : Energía por unidad de masa del flujo y comprende la entalpía, energía potencial y energía cinética (m)*

Nota.- debemos tomar en cuenta los criterios de signos termodinámicos

*Positivo (+), para el trabajo y el calor entregado al sistema.*

*Negativo (-), para el trabajo y el calor cedido por el sistema*

### 2.3.3.2. Evaluación energética:

Una evaluación energética es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía de un proceso o sistema con el objetivo de comprender la energía dinámica del sistema bajo estudio, con el fin de detectar oportunidades para el ahorro de energía.

#### **2.3.3.3. Eficiencia energética**

La eficiencia energética o ahorro de energía es una práctica empleada durante el consumo de energía que tiene como objeto procurar disminuir el uso de energía pero con el mismo resultado final. Es una optimización del consumo de energía

#### **2.3.3.4. Determinación de eficiencia energética en sistemas combinados**

La Eficiencia Energética se puede definir como las acciones que se planifican para lograr que los equipos alcancen el mayor rendimiento con el menor consumo de energía, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso y por tanto la protección del medio ambiente.

Lo más interesante de la eficiencia energética es que, además de existir un gran potencial de reducción de emisiones a través de este tipo de iniciativas, muchas son rentables, ya que el flujo de ahorros derivados del menor consumo energético es superior a los costes de las inversiones.

En función a ello se debe determinar la eficiencia en sistemas con un enfoque global, bajo el concepto de confiabilidad de un sistema utilizamos estas herramientas y modelos matemáticos de esta rama de la ingeniería del mantenimiento para así determinar en este trabajo la eficiencia total del sistema.

### **SISTEMA EN SERIE**

Los sistemas en serie se caracterizan por que el funcionamiento de cada componente depende directamente del funcionamiento del componente que lo antecede y precede; es decir, si uno de los componentes es menos eficiente, todo el sistema disminuye su eficiencia y por tanto el aprovechamiento de energía.



Diagrama 2.4. Funcionamiento de equipos en serie

La eficiencia del sistema está dada por:

$$\eta_s = \eta_1 * \eta_2 * \eta_3$$

Dónde:

$\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$  son las eficiencias de cada equipo

De la expresión anterior, se concluye que la eficiencia del sistema es el producto de las eficiencias individuales de sus componentes.

Generalizando para n componentes:

$$\eta_s = \prod_{j=1}^n \eta_j \quad \text{Ec. 2}$$

Dónde:

$\eta_s$ : Eficiencia del sistema.

$\eta_j$ : Confiabilidad de  $j$ -ésimo componente

Es el carácter multiplicativo de las eficiencias que hace a este sistema tan sensible a la evaluación.

Dado que la eficiencia de un sistema en serie es el producto de las eficiencias de sus componentes, se puede concluir que: Las eficiencia total de un sistema en serie es menor que las eficiencias de cualquiera de sus componentes.

## SISTEMA EN PARALELO

Según Lourival Tavares: “La confiabilidad final de un conjunto de equipos, será obtenida por la suma de los productos de las confiabilidades de cada ítem por sus capacidades de producción, dividido por la suma de las capacidades de producción de esos ítems”

En función a ese concepto y aplicando a las eficiencias de los equipos tenemos:



Diagrama 2.5. Funcionamiento de equipos en paralelo

Según la definición anterior, la eficiencia de un sistema en paralelo está dada por:

$$\eta_s = \left[ \frac{(\eta_1 * P_1) + (\eta_2 * P_2) + (\eta_3 * P_3)}{P_1 + P_2 + P_3} \right]$$

Dónde:

$\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ : Eficiencias de cada uno de los equipos.

$P_1, P_2, \dots, P_n$ : Son las participaciones de cada uno de los equipos en la producción del sistema evaluado.

Generalizando para  $n$  equipos en paralelo:

$$\eta_s = \frac{\sum_{j=1}^n (\eta_j * P_j)}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad \text{Ec. 3}$$

De la expresión anterior, se concluye que la disminución de la eficiencia de un equipo no implica la disminución de la eficiencia del sistema. Esta característica de los sistemas en paralelo se debe al carácter aditivo de las eficiencias ponderadas con funcionalidad de cada uno de ellos.

Con respecto a la participación en la producción de cada uno los equipos involucrados, es válida la siguiente observación: No necesariamente la sumatoria de las participaciones debe ser 100% pues, por lo general, las líneas de producción son sobredimensionadas.

## **2.4. BOMBAS E INSTALACIONES DE BOMBEO**

### **2.4.1. INTRODUCCIÓN**

Un sistema de bombeo consiste en un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos.

## Curvas características de las bombas centrifugas

Las curvas características de las bombas presentan datos similares independientemente del fabricante y en general incluyen los siguientes parámetros:

- La curva de carga vs. caudal (trazada para diferentes diámetros de impulsor y a velocidad constante).
- La curva de NPSH vs. caudal.
- La curva de eficiencia vs. caudal.
- La curva de potencia vs. caudal.

En caso de no contar con la información técnica del fabricante de la bomba que se desea evaluar, se utilizar curvas de referencia que contengan características similares de la bomba, es decir: diámetro y tipo de impulsor, velocidad, tamaño, etc.

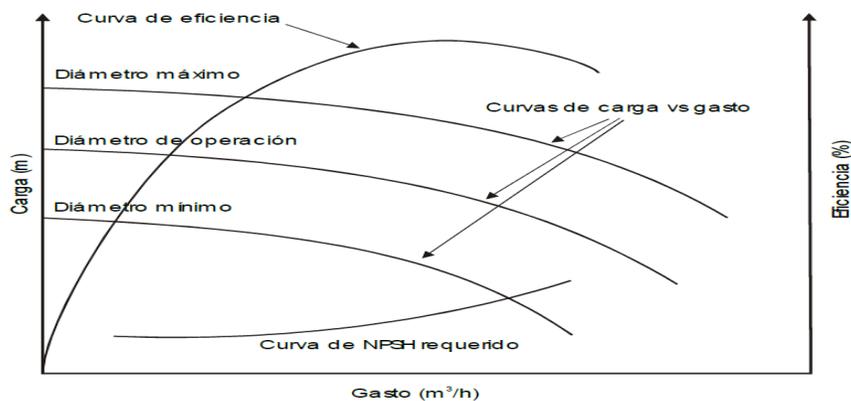


Figura 2.4. Curvas características de bombas centrifuga  
Fuente: Evaluación Energética De Bombas Centrifugas

### 2.4.2. CABEZA DE SUCCION POSITIVA NETA (NPSH)

Los fabricantes de bombas proporcionan datos acerca de la cabeza de succión positiva neta que se requiere para una operación satisfactoria. La persona que selecciona la bomba debe asegurarse que exista esta relación.

$$NPSH_{\text{disponible}} > NPSH_{\text{requerido}}$$

El valor de la NPSH disponible depende de la naturaleza del fluido que este bombeando, la tubería de succión, la ubicación del depósito del fluido, la presión aplicada al fluido en el depósito. El  $NPSH_{\text{disponible}}$  se puede calcular mediante la fórmula.

$$NPSH_{\text{disponible}} = h_{sp} + h_s - h_f - h_{vp} \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde:

$h_{sp}$  = Cabeza de presión estática aplicada al fluido (m).

$h_s$  = Diferencia de elevación desde el nivel del fluido en el depósito hacia la entrada a la bomba (m).

$h_f$  = Perdida por fricción de la tubería de succión (m).

$h_{vp}$  = Presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo (m).

t °C	Tv Kg./cm <sup>2</sup>	γ Kg./dm <sup>3</sup>	t °C	Tv Kg./cm <sup>2</sup>	γ Kg./dm <sup>3</sup>
0	0,0062	0,9998	60	0,2031	0,9831
5	0,0089	1,0000	62	0,2207	0,9821
10	0,0125	0,9996	64	0,2438	0,9810
15	0,0174	0,9990	66	0,2666	0,9800
20	0,024	0,9982	68	0,2912	0,9788
25	0,0323	0,9970	70	0,3177	0,9777
30	0,0432	0,9955	72	0,3463	0,9765
35	0,0573	0,9939	74	0,3769	0,9754
40	0,0752	0,9921	76	0,4098	0,9742
45	0,0977	0,9900	78	0,4451	0,9730
50	0,1258	0,9880	80	0,4829	0,9718
55	0,1605	0,9857	82	0,5234	0,9705

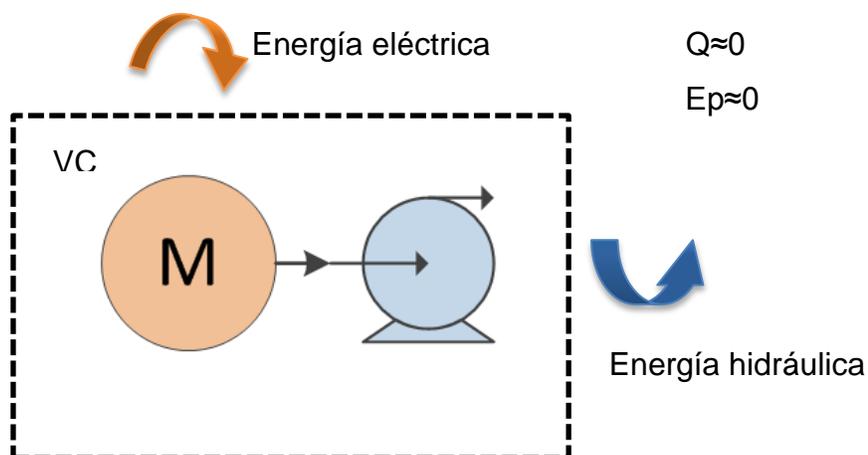
Tabla 2.13. Presión de vapor del agua

h (m)	P atm. (m)	h (m)	P atm. (m)	h (m)	P atm. (m)	h (m)	P atm. (m)
0	10,33	1000	9,11	2000	8,04	3000	7,10
100	<b>10,20</b>	1100	9,00	2100	7,94	3100	7,01
200	10,08	1200	8,89	2200	7,85	3200	6,93
300	9,92	1300	9,78	2300	7,75	3300	6,84
400	9,83	1400	8,67	2400	7,65	3400	6,76
500	9,69	1500	8,56	2500	7,56	3500	6,68
600	9,53	1600	8,45	2600	7,47	3600	6,60
700	9,43	1700	8,34	2700	7,37	3700	6,52
800	9,34	1800	8,24	2800	7,28	3800	6,43
900	9,23	1900	8,14	2900	7,19	3900	6,35

Tabla 2.14. Presión atmosférica del agua

### 2.4.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE BOMBEO

Se realizara el análisis de los sistemas de bombeo en función a dos métodos el analítico el cual nos ayuda a cuantificar la transformación de energía eléctrica en energía hidráulica, con ello podemos cuantificar las pérdidas de energía del sistema y para poder determinar la eficiencia en el funcionamiento de las bombas se realizara por medio de graficas constructivas de las bombas. Como método alternativo utilizaremos también para algunos sistemas aplicables software libre como es el software PUMP FLOW el mismo que nos ayuda a evaluar el funcionamiento real de las bombas y por medio de interacciones mejorar la eficiencia de los equipos



- **Potencia eléctrica**

$$P_E = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi * \eta_m \quad \text{Ec. 5}$$

Dónde:

$P_E$ : Potencia eléctrica (*Watts*)

$V$ : Tensión eléctrica (*Volt*)

$I$ : Corriente eléctrica (*Ampere*)

$\cos \varphi$ : Factor de potencia (*0,89 en la línea de alimentación*)

$\eta_m$ : Eficiencia del motor (%)

- **Potencia hidráulica**

$$\text{Potencia hidráulica (kW)} = \rho g Q H \quad \text{Ec. 6}$$

Dónde:

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$H$ : Carga total dinámica ( $m$ )

$\rho$ : Densidad del fluido ( $kg/m^3$ )

$g$ : Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

- **Eficiencia de sistemas de bombeo**

$$\eta_{\text{sistema de bombeo}} = \frac{P_H}{P_E} = \frac{\rho g Q H}{\sqrt{3} * V * I * \cos \varphi * \eta_m} \quad \text{Ec. 7}$$

Dónde:

$P_H$ : Potencia hidráulica ( $kW$ )

$P_E$ : Potencia eléctrica ( $kW$ )

$\eta_{\text{sistema de bombeo}}$ : Eficiencia del sistema (%)

## 2.5. TUBERÍAS & ACCESORIOS

Las tuberías de acero se identifican por su diámetro exterior y su espesor, el espesor se expresa por el número de lista (Schedule).

Existe una equivalencia entre número de lista y la terminología de peso Standard.

*Sch 40 = Peso Standard (S)*

*Sch 80 = Peso Extra Fuerte (XS)*

*Sch 160 = Peso Doble Extra Fuerte (XXS)*

### 2.5.1. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN TUBERÍAS

Con consideraciones pertinentes para un estudio de fluidos de estado estacionario en tuberías tenemos:

$$\frac{\partial E_{vc}}{\partial t} = Q + W + \sum_e \dot{m}_e \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_s$$

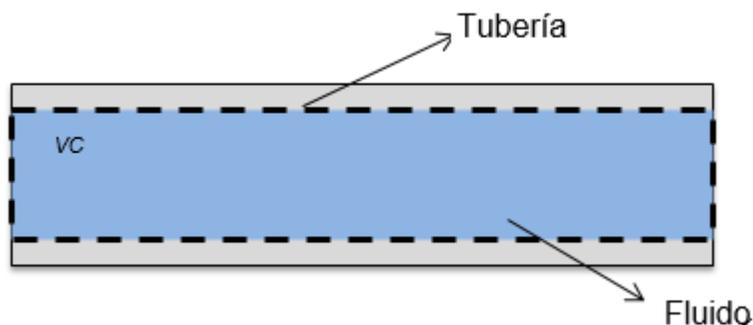


Figura 2.5. Volumen de control en tuberías

$$\frac{\partial E_{vc}}{\partial t} = Q + W + \sum_e \dot{m}_e \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_s$$

$$\therefore -Q = W + \sum_e \dot{m}_e (h + gz)_e - \sum_s \dot{m}_s (h + gz)_s \quad \text{Ec. 7}$$

*Dónde:*

$Q$ : Calor ganado o perdido en el movimiento del fluido ( $kW$ )

$W$ : Trabajo hidráulico transformado por la bomba al fluido ( $kW$ )

$\dot{m}$ : Masa transportada del sistema ( $kg/s$ )

$h$ : Entalpia del fluido ( $kJ/kg$ )

$g$ : Gravedad ( $9.8 m/s^2$ )

$z$ : Altura con respecto al nivel de referencia ( $m$ )

## 2.5.2. ACCESORIOS

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los conductos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso.

Los tipos de accesorios que entran en la planta son:

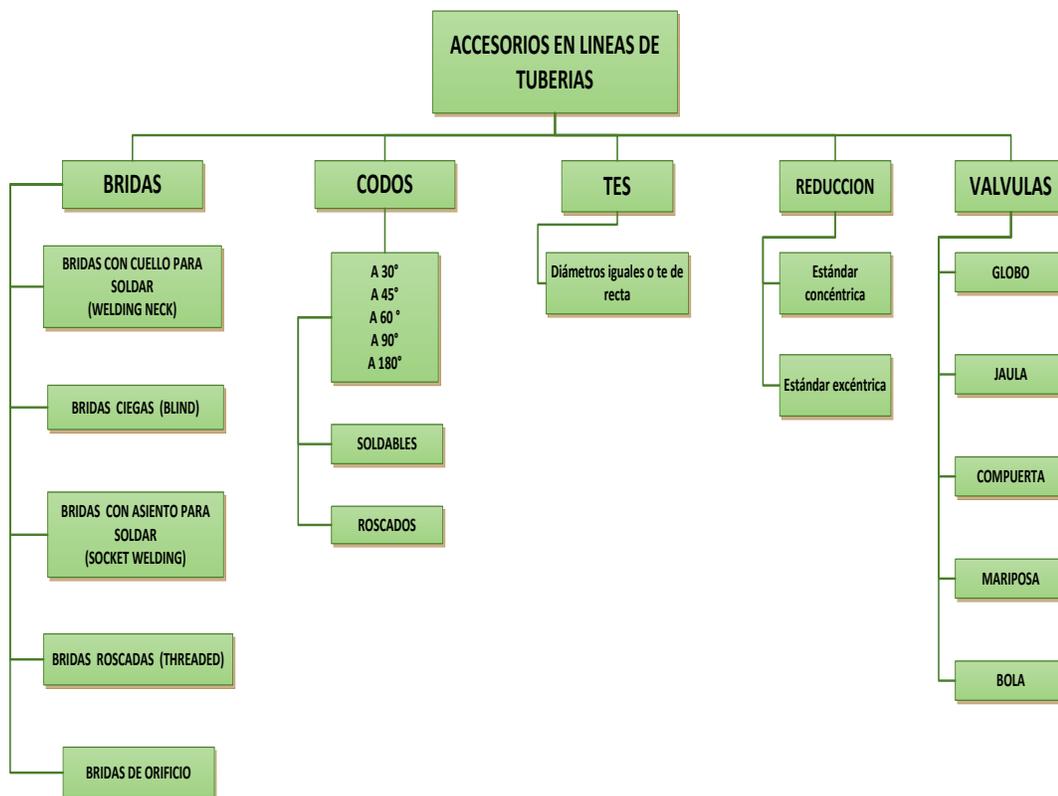


Diagrama 2.6. Accesorios encontrados en líneas de tuberías típicas

### 2.5.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN ACCESORIOS

Para el estudio realizado en la empresa se evaluara como ejemplo una de los accesorios de la planta CENK ya que la misma cuenta con la instrumentación adecuada y es un accesorio de importancia para la regulación de caudal para abastecimiento del horno.

Se toman las consideraciones pertinentes para volumen de control en estado estacionario:

$$\frac{\partial E_{vc}}{\partial t} = Q + W + \sum_e \dot{m}_e \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_s$$

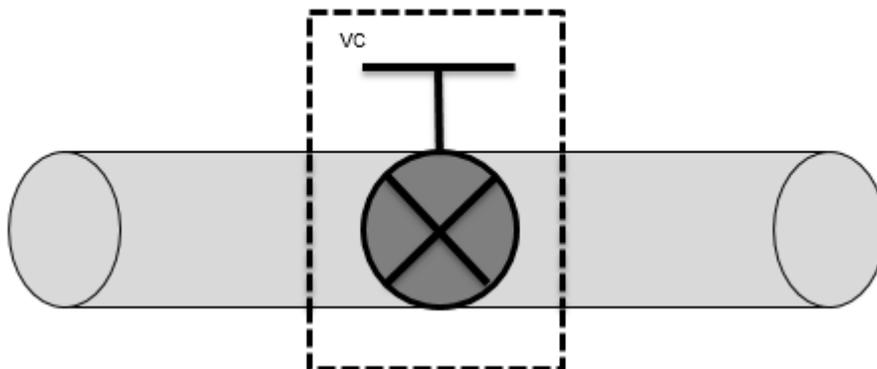


Figura 2.6. Volumen de control en accesorios

$$\frac{\partial E_{vc}}{\partial t} = Q + W + \sum_e \dot{m}_e \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_e - \sum_s \dot{m}_s \left( h + \frac{v^2}{2} + gz \right)_s$$

$$0 = h_e - h_s$$

$$h_e \cong h_s$$

Ec. 8

Dónde:

$h_e$ : Entalpia entrada del sistema ( $kJ/kg$ )

$h_s$ : Entalpia entrada del sistema ( $kJ/kg$ )

## **2.6. INTERCAMBIADORES DE CALOR**

### **2.6.1.INTRODUCCIÓN**

Los sistemas de intercambiadores de calor son equipos que facilitan la transferencia de calor entre dos fluidos que se encuentra confinados y en movimiento, en un intercambiador de calor existen dos tipos de transferencias que son convección y conducción

### **2.6.2.TIPOS DE INTERCAMBIADORES**

Intercambiadores utilizados en los procesos productivos en ANDEC son:



Diagrama 2.7. Clasificación de intercambiadores utilizada en la maquinaria de acería y laminación

### 2.6.3. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN INTERCAMBIADORES DE CALOR

Se define como la razón de cálculo entre la transferencia de calor lograda por dos fluidos en un intercambiador de calor, en una evaluación energética se compara la velocidad de transferencia térmica real vs la velocidad de transferencia térmica de diseño, en este cálculo están involucradas propiedades como el material del intercambiador, el área que recorre el fluido y la disposición de los flujos, por lo tanto tenemos:

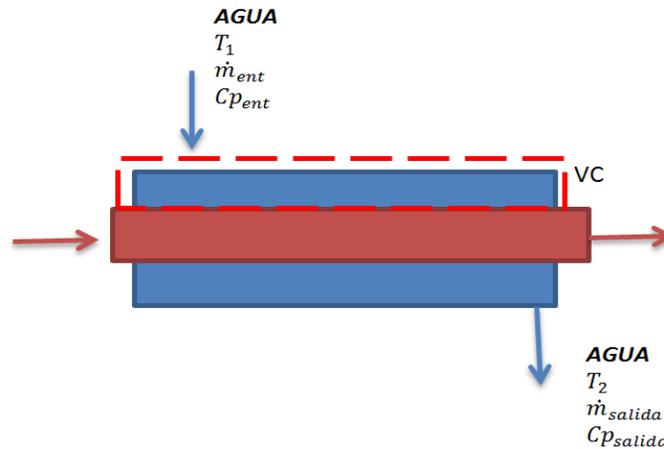


Figura 2.7. Volumen de control para intercambiadores

$$Q - W + \sum E_{ent} - \sum E_{salida} = \Delta E_{vc} \quad \text{Ec. 17}$$

$$Q = \sum E_{salida} - \sum E_{ent} \quad \text{Ec. 18}$$

$$Q = m(h_{ent} - h_{salida}) \quad \text{Ec. 19}$$

$$h = \int_{t_1}^{t_2} c_p dt = c_p(t_2 - t_1) \quad \text{Ec.}$$

20

*Dónde:*

$Q$ : Calor ganado o perdido en el movimiento del fluido ( $kW$ )

$\dot{m}$ : Masa transportada del sistema ( $kg/s$ )

$h$ : Entalpia del fluido ( $kJ/kg$ )

$c_p$ : Calor Específico del Agua ( $1 Kcal/Kg^{\circ}C$ )

## 2.6.4. BALANCE ENERGÉTICO EN INTERCAMBIADORES DE CALOR

La primera opción es definir el rendimiento como la relación entre la entalpía intercambiada como objetivo y la utilizada para lograrlo.

Si por el contrario el objetivo es enfriar un fluido la definición adecuada será la inversa. Desde la óptica de un balance energético, esta forma de plantear el rendimiento es la más adecuada pues este refleja el aprovechamiento global del intercambiador frente a las pérdidas del entorno. En este sentido los intercambiadores son máquinas térmicas de muy alto rendimiento, ya que las pérdidas al entorno suelen ser comparativamente muy pequeñas.

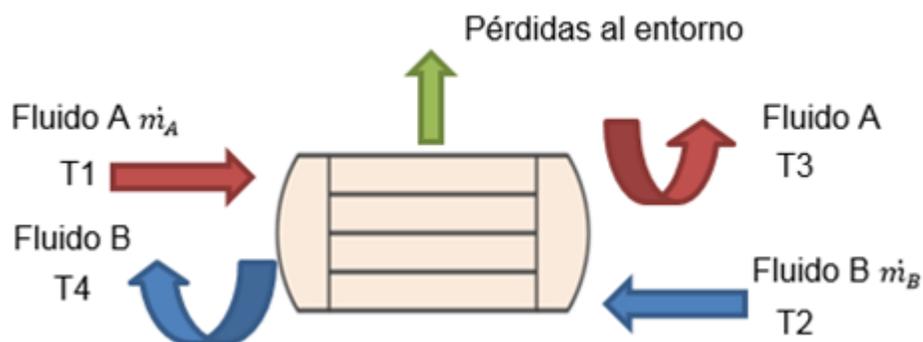


Figura 2.8. Intercambiador de flujo cruzado

La ecuación general del balance de energía se expresa de la siguiente forma:

Para el fluido A

$$Q_A = \dot{m}_A \times c_{p_A} \times (T_3 - T_1) \quad \text{Ec. 28}$$

Para el fluido B

$$Q_A = \dot{m}_B \times c_{p_B} \times (T_2 - T_4) \quad \text{Ec. 29}$$

De idéntica manera tenemos la ecuación de transferencia que es:

$$Q = A \times U_m \times DTLM \quad \text{Ec. 30}$$

A partir de estas ecuaciones podemos determinar la eficiencia del intercambiador con la siguiente formula.

$$\eta = \frac{\dot{m}_A \times C p_A \times (T_3 - T_1)}{\dot{m}_B \times C p_b \times (T_2 - T_4)} \quad \text{Ec. 31}$$

Dónde:

$Q_A$ : Calor transferido por el fluidos A (W)

$\dot{m}_A$ : Caudal másico del fluido A (Kg/min)

$C p_A$ : Calor especifico del fluido A (Kj/Kg. °C)

$T_1$ : Temperatura de ingreso del fluido A (°C)

$T_3$ : Temperatura de salida del fluido A (°C)

$Q_B$ : Calor transferido por el fluidos B (W)

$\dot{m}_B$ : Caudal másico del fluido B (Kg/min)

$C p_B$ : Calor especifico del fluido B (Kj/Kg. °C)

$T_2$ : Temperatura de ingreso del fluido B (°C)

$T_4$ : Temperatura de salida del fluido B (°C)

$\eta$ : Eficiencia del intercambiador

$A$ : Área de intercambio ( $m^2$ )

$Um$ = Coeficiente global de transmisión de calor ( $W/m^2 \cdot K$ )

$DTLM$ = Diferencia media de temperaturas corregida (°C)

## 2.7. TORRES DE ENFRIAMIENTO

Las torres de enfriamiento son equipos que se usan para enfriar agua en grandes volúmenes, extrayendo el calor del agua mediante evaporación o conducción.

## 2.7.1. EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN TORRES DE ENFRIAMIENTO (Occidente)

### Método Alternativo Preliminar (Balance Térmico).

Este método se utiliza cuando no se cuenta con las curvas de comportamiento ni la curva característica de la torre, proporciona en forma muy global la condición de operación de la torre, para lo cual se requiere de los datos de diseño y de la prueba de comportamiento dentro de los límites de aceptación.

Los datos que se requieren tanto de diseño, como de prueba son los siguientes.

$W$ : Flujo de Agua ( $Kg/h$ )

$T_e$ : Temperatura de Agua Fría ( $^{\circ}C$ )

$T_s$ : Temperatura de Agua Caliente ( $^{\circ}C$ )

$C_p$ : Calor Específico del Agua ( $1 Kcal/Kg^{\circ}C$ )

$\rho$ : Densidad del Agua ( $1 Kg/L$ )

A partir de estos valores se calcula el calor disipado por la torre con la siguiente formula:

$$Q_D = W_D \times C_p \times (T_s - T_e) \quad \text{Ec. 9}$$

$$Q_P = W_P \times C_p \times (T_s - T_e) \quad \text{Ec. 10}$$

*Dónde:*

$Q_D$ : Calor disipado por diseño

$Q_P$ : Calor disipado en la prueba

La siguiente relación indica el por ciento de calor que disipa la torre en condiciones de operación con respecto a las de diseño, de forma global:

$$\eta_T = \frac{Q_P}{Q_D} \times 100 \quad \text{Ec. 11}$$

*Dónde:*

$\eta_T$ : Por ciento del calor removido por la torre.

Es importante mencionar que el valor resultante de este cálculo es preliminar, por lo que solamente indica la forma de operar de la torre desde el punto de vista energético y no como un por ciento de capacidad.

## **2.8. INTEGRIDAD DE TUBERÍAS**

La integridad puede definirse como una filosofía de trabajo que permite garantizar que todo segmento de tubería, sea diseñado, fabricado, construido, instalado, operado, inspeccionado, mantenido, y remplazado en forma oportuna para prevenir fallas, accidentes o potenciales riesgos a personas, Instalaciones y al ambiente, utilizando criterios basados en data histórica, normas y regulaciones.

### **2.8.1. TIPOS DE DESGASTE DE TUBERÍAS DE ACERO**

- Corrosión
- Abrasión
- Adhesivo
- Fatiga superficial
- por cavitación

### **2.8.2. MÉTODOS PARA DETECCIÓN DE FALLAS EN TUBERÍAS**

Los métodos de Inspección no destructivos (END) son aquellos que determinan la durabilidad, o calidad de una parte del sistema de tuberías sin limitar su utilidad, Dichos métodos no alteran las propiedades físicas, químicas,

mecánicas y dimensionales de los elementos que componen un sistema de tuberías, los métodos de inspección Técnica no Destructivas son los siguientes:

- Ultrasonido
- Partículas magnéticas
- Radiografías
- Gammagrafía
- Inspección visual
- Video endoscopia
- Emisión acústica
- Tintas penetrantes

Para determinar la integridad de la tubería cuando ya está en operación el método más utilizado es el de ultrasonido ya que diversos sistemas cuando se encuentran en pleno funcionamiento es muy difícil que otro método de inspección tenga el espectro de inspección y aplicación del ultrasonido

### **2.8.3. CÁLCULO DE LOS ESPESORES DE TUBERÍAS PARA CAMBIO**

En los sistemas de agua de proceso industriales se utiliza la norma ASME B31.3 la misma que nos recomienda

- **Espesor requerido por presión interna ( $t_b$ )**

$$t_d = \frac{P_o * D}{2[(S * E) + (Y * P_o)]} + CA$$

*Dónde*

$t_d$ : Espesor requerido por presión interna en *mm (pulg)*.

$P_o$ : Presión máxima de operación en *Pa (lb/pulg<sup>2</sup>)*.

$D$ : Diámetro exterior en *mm (pulg)*.

$S$ : Esfuerzo permisible de trabajo (ASME B31.3) en *Pa (lb/pulg<sup>2</sup>)*.

$E$  : Factor de eficiencia de junta (ASME B31.3).

$Y$  : Coeficiente de temperatura de acuerdo al tipo de material (ASME B31.3).

$CA$ : Corrosión admisible

- **Espesor límite de seguridad ( $t_s$ )**

Se calcula considerando el espesor límite de retiro más un espesor adicional de 0,508 *mm (0,020 pulg)*.

$$\text{Para espesor dado en } mm \quad t_s = t_r + 0.508 \quad \text{Ec. 13}$$

$$\text{Para espesor dado en } pulg \quad t_s = t_r + 0.020 \quad \text{Ec. 14}$$

- **Espesor cercano al límite de retiro ( $t_{c_{lr}}$ )**

Se determina considerando  $t_r$  y  $t_s$ , siendo el intervalo de espesores que se encuentra entre el espesor límite de retiro ( $t_r$ ) y el espesor límite de seguridad ( $t_s$ ).

$$t_r < t_{c_{lr}} \leq t_s \quad \text{Ec. 15}$$

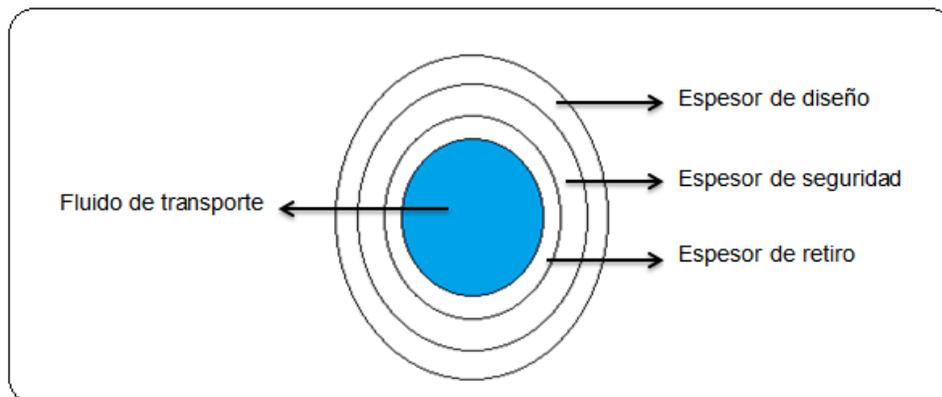


Figura 2.9. Espesores encontrados en las tuberías de agua de proceso  
Fuente: norma NRF-227-PEMEX-2009

Teniendo determinados los parámetros anteriores, el código establece los requerimientos mínimos de seguridad para el material a las condiciones de presión, temperatura y caudal de diseño. Algunos códigos especifican los factores de expansión térmica y el módulo de elasticidad para materiales comúnmente usados en tuberías, así como también proporcionan las fórmulas para determinar los factores de intensificación de esfuerzos y los factores de flexibilidad para los componentes del sistema.

#### - Cálculo de la velocidad de corrosión

$$V_C = \left( \frac{E_O - E_P}{T} \right) \quad \text{Ec. 16}$$

*Dónde:*

$E_O$ : Es el espesor anterior tomado de la inspección anterior o el nominal de catálogo (*pulg*)

$E_P$ : Es el espesor promedio actual en pulgadas medido (*pulg*)

$T$ : Tiempo entre mediciones

## CAPITULO 3. ESTUDIO Y VALORACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE AGUA ACTUAL EN ACERÍA

### 3.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESO

Para el estudio del sistema de agua en el área de acería lo dividiremos en tres secciones:

Nota: Todos los sistemas de agua en el área de acería son clasificados por los requerimientos de los equipos en características técnicas del agua.

- Agua de refrigeración de colada continua
- Agua de refrigeración de hornos, de fusión y afinamiento
- Agua de enfriamiento de la planta AGA
  
- **Agua de refrigeración de colada continua:** sistema de refrigeración de colada continua se divide por el tipo de agua utilizado en:
  - a. Agua del primario
  - b. Agua del secundario

#### **a. Agua del primario:**

Características importantes:

- Es un sistema cerrado de enfriamiento
- Posee tres módulos de refrigeración
- Temperaturas de entrada 28 °C máx.
- Temperatura de salida de sistema 50 °C

#### **b. Agua del secundario:**

Características importantes:

- Es un sistema abierto de enfriamiento
  - Refrigeración de rodillos y palanquilla por aspersión
  - Contaminación por aceites, grasas y laminilla
  - Temperaturas de entrada 33 °C máx.
  - Temperatura de salida de sistema 55 °C
  - Funcionamiento de 1 filtro para separación de grasas
- ***Agua de refrigeración de hornos, de fusión y afinamiento:***

Características importantes:

- Es un sistema cerrado de enfriamiento
- Paneles de refrigeración tubería 2" SCH 160
- Temperaturas de entrada 30 °C máx.
- Temperatura de salida de sistema 40 °C

- ***Agua de enfriamiento de la planta AGA:***

Características importantes:

- Es un sistema cerrado de enfriamiento
- Temperaturas de entrada 30 °C máx.
- Temperatura de salida de sistema 35 °C

DIAGRAMA DE PROCESO SISTEMA DE AGUA COLADA CONTINUA - ACERIA

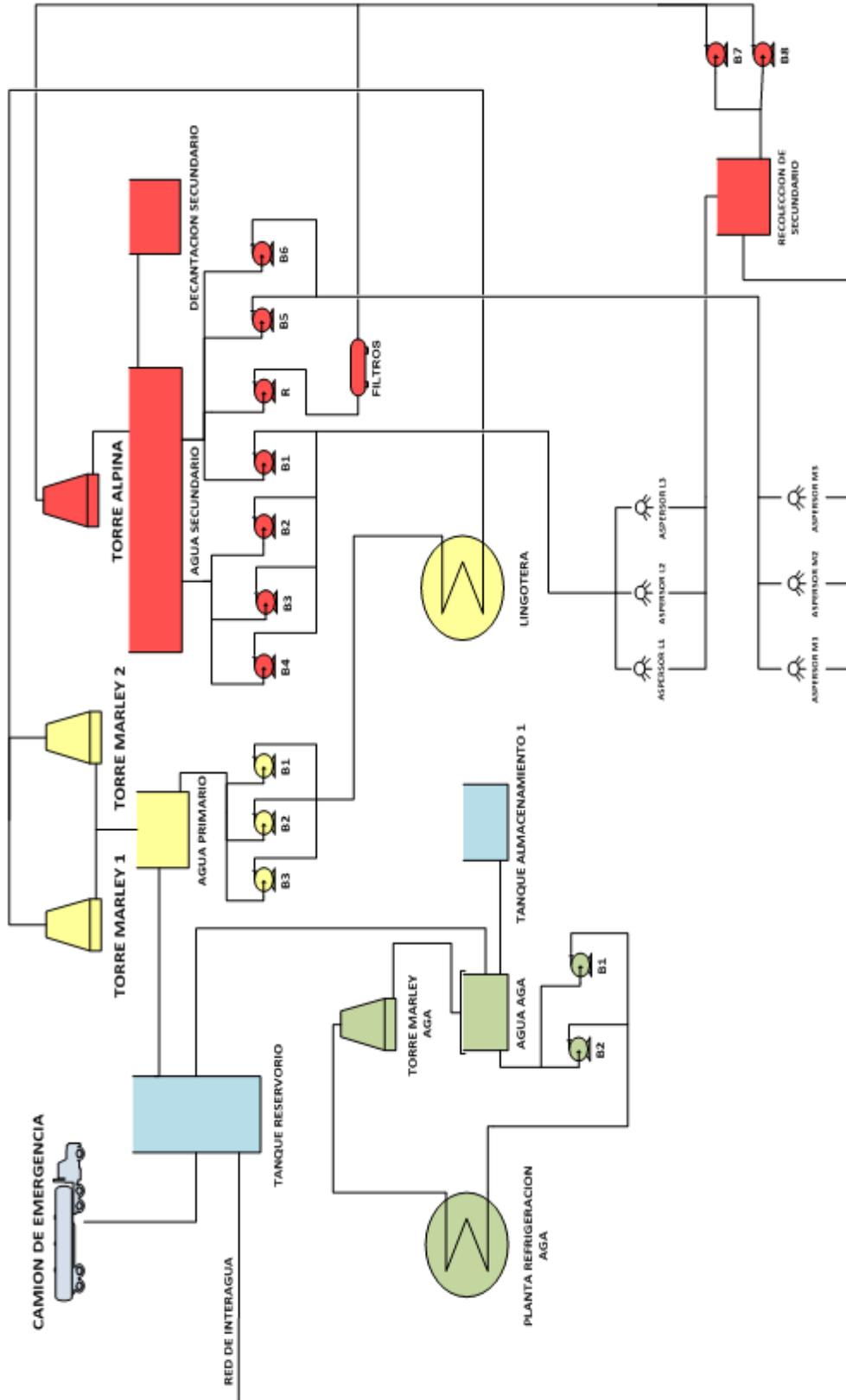


Diagrama 2.8. Sistema de refrigeración colada continua con los diferentes sub sistemas / planta AGA

DIAGRAMA DE PROCESO SISTEMA DE AGUA HORNO CUCHARA  
Y HORNO ELECTRICO - ACERIA

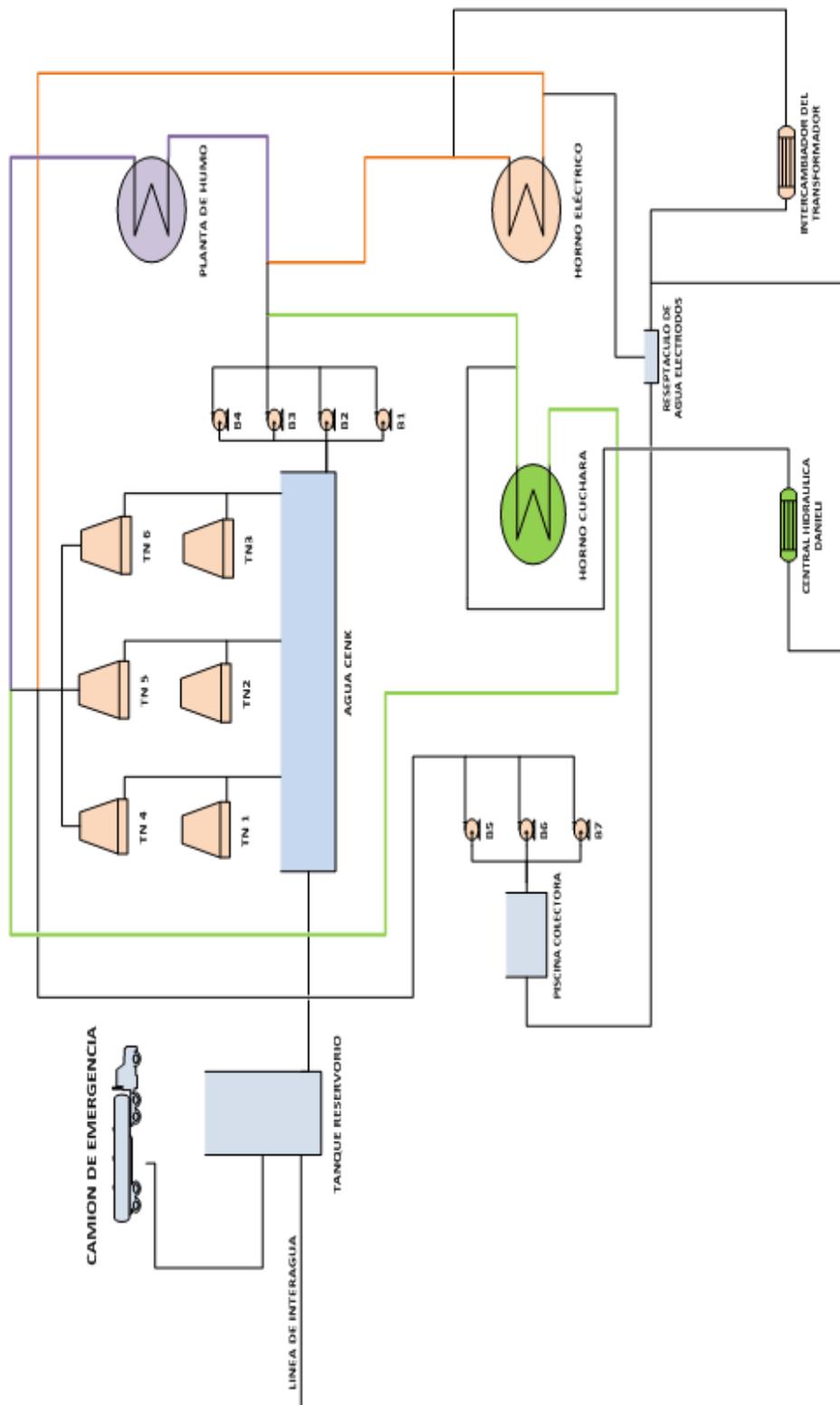


Diagrama 2.9. Sistema de refrigeración hornos y planta de humo con los diferentes sub sistemas

### **3.2. SISTEMAS DE BOMBEO**

Para el análisis en los sistemas de aguas en acería consideramos que todos los sistemas de la planta deben tener alta disponibilidad en equipos por lo que en los sistemas de bombeo no funcionan todas las bombas, siempre se tienen bombas en backup.

#### **Consideraciones del análisis:**

1. Los datos eléctricos y de caudal fueron tomados de los sistemas en operación por un lapso de tres meses desde 3 de agosto del 2012 hasta la parada programada de la planta de acería hecha el 1 de noviembre de 2012 en los dos turnos de trabajo, por personal del departamento eléctrico de acería y por los autores de este documento.
2. Los datos también fueron tomados de los diferentes HMI que controlan el proceso en la planta de acería. (Anexo A)
3. De todos los datos tomados se realizó un promedio de funcionamiento en el mes que se registró mayor producción en la planta de acería.

### 3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

#### AGUA PRIMARIO – ACERIA

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	B1	B2	B3
MOTOR	MARCA	SIEMENS	SIEMENS	MORELI
	SERIE	IP55	IP55	TC36
	POTENCIA (HP)	150	150	150
	CORRIENTE (A)	176	176	174
	RPM	1780	1780	1770
	VOLTAJE	440	440	440
BOMBA	MARCA	IHM	IHM	IHM
	SERIE	12X40	12X40	12X40
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	128	128	128
	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	450	450	450
	RPM	1750	1750	1750

Tabla 3.15. Características técnicas bombas agua primario

#### AGUA SECUNDARIO – ACERÍA

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	B1	B2	B3
MOTOR	MARCA	EMERSON	SIEMENS	PHASER
	SERIE	TFC	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	40	40	40
	CORRIENTE (A)	50	50	50
	RPM	1750	1800	1780
	VOLTAJE	440	440	440
BOMBA	MARCA	B & G	B & G	B & G
	SERIE	1510 2BC	1510 2BC	1510 2BC
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	250	250	250
	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	45	45	45
	RPM	1750	1750	1750

Tabla 3.16. Características técnicas bombas agua secundario

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>
<b>MOTOR</b>	MARCA	EMERSON	BALDOR	BALDOR
	SERIE	TFC	M2539T	M2539T
	POTENCIA (HP)	40	60	60
	CORRIENTE (A)	50	80	80
	RPM	1750	1770	1770
	VOLTAJE	440	440	440
<b>BOMBA</b>	MARCA	B & G	GOUDS PUMPS	GOUDS PUMPS
	SERIE	2BC	4x6 – 13	4x6 – 13
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	250	85	85
	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	45	170	170
	RPM	1750	1800	1800

Tabla 3.17. Características técnicas bombas agua secundario

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>RETORNO</b>	<b>B7</b>	<b>B8</b>
<b>MOTOR</b>	MARCA	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS
	SERIE	IP55	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	60	60	60
	CORRIENTE (A)	80	80	80
	RPM	1780	1773	1773
	VOLTAJE	440	440	440
<b>BOMBA</b>	MARCA	GOUDS PUMPS	GOUDS PUMPS	GOUDS PUMPS
	SERIE	4x6 – 13	4x6 – 13	4x6 – 13
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	85	85	85
	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	170	170	170
	RPM	1800	1800	1800

Tabla 3.18. Características técnicas bombas agua secundario

### AGUA PLANTA CENK – ACERÍA

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>B3</b>
<b>MOTOR</b>	MARCA	GAMAK	GAMAK	GAMAK
	SERIE	GM315L	GM315L	GM315L
	POTENCIA (HP)	250	250	250
	CORRIENTE (A)	270	270	270
	RPM	1780	1780	1780
	VOLTAJE	440	440	440
<b>BOMBA</b>	MARCA	KSB	KSB	KSB
	SERIE	150 - 400	150 - 400	150 - 400
	ALTURA (m)	70	70	70
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	85	85	85
	CAUDAL (m³/h)	650	650	650
	RPM	1780	1780	1780

Tabla 3.19. Características técnicas bombas agua CENK

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>B4</b>	<b>B5</b>	<b>B6</b>
<b>MOTOR</b>	MARCA	GAMAK	ABB	ABB
	SERIE	GM315L	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	321	50	50
	CORRIENTE (A)	365	60	60
	RPM	1780	1775	1775
	VOLTAJE	440	440	440
<b>BOMBA</b>	MARCA	KSB	GOUDS PUMPS	GOUDS PUMPS
	SERIE	150 - 400	4x6 – 13	4x6 – 13
	ALTURA (m)	70	-	-
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	85	85	85
	CAUDAL (m³/h)	650	150	150
	RPM	1780	1800	1800

Tabla 3.20. Características técnicas bombas agua CENK

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>B7</b>
MOTOR	MARCA	BALDOR
	SERIE	M2539T
	POTENCIA (HP)	50
	CORRIENTE (A)	60
	RPM	1770
	VOLTAJE	440
BOMBA	MARCA	GOUDS PUMPS
	SERIE	4x6 – 13
	ALTURA (m)	-
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	85
	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	150
	RPM	1800

Tabla 3.21. Características técnicas bombas agua CENK

### AGUA PLANTA AGA

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>
MOTOR	MARCA	ABB	ABB
	SERIE	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	30	30
	CORRIENTE (A)	30	30
	RPM	1800	1800
	VOLTAJE	440	440
BOMBA	MARCA	IHM	IHM
	SERIE	5x25	5x25
	ALTURA (m)	-	-
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	44	44 PSI
	CAUDAL (m <sup>3</sup> /h)	30	30
	RPM	1750	1750

Tabla 3.22. Características técnicas bombas agua AGA

### 3.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FLUIDO BOMBEADO (Anexo B)

#### - Determinación de la densidad de fluido

$\rho = 995.718 \text{ Kg/m}^3$	Agua Primario
$\rho = 996.576 \text{ Kg/m}^3$	Agua Secundario
$\rho = 995.735 \text{ Kg/m}^3$	Agua CENK
$\rho = 997.857 \text{ Kg/m}^3$	Agua AGA

#### - Determinación de peso específico

$\gamma = 1.000 \text{ gr/cm}^3$	Agua Primario
$\gamma = 1.010 \text{ gr/cm}^3$	Agua Secundario
$\gamma = 1.010 \text{ gr/cm}^3$	Agua CENK
$\gamma = 1.010 \text{ gr/cm}^3$	Agua AGA

#### - Determinación de la viscosidad

a $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	$\mu_c = 0,800 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Agua Primario
a $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$\mu_c = 0,893 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Agua Secundario
a $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	$\mu_c = 0,800 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Agua CENK
a $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$\mu_c = 0,893 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$	Agua AGA

### 3.2.3 EQUIPOS EN OPERACIÓN Y DATOS DE FUNCIONAMIENTO POR EQUIPO

EQUIPO	HIDRÁULICO	ELÉCTRICOS		TÉRMICOS	
	Q MEDIDO (m <sup>3</sup> /h)	V MEDIDO (V)	I MEDIDO (A)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
AGUA PRIMARIO					
B1	320,23	440,57	175,24	20	35
B2	APAGADA				
B3	350,00	440,40	174,83	20	35
AGUA SECUNDARIO					
B1	APAGADA				
B2	45,00	440,40	49,37	25	27
B3	45,36	440,39	49,57	25	27
B4	APAGADA				
B5	APAGADA				
B6	175,67	440,28	79,49	25	25
B7	APAGADA				
B8	172,34	440,25	80,10	27	28
BR	175,32	440,31	80,00	30	31
AGUA AGA					
B1	APAGADA				
B2	25,73	440,36	59,93	25	26
AGUA PLANTA CENK					
B1	APAGADA				
B2	APAGADA				
B3	650,00	439,92	270,43	25	26
B4	650,00	440,05	270,55	25	26
B5	150,00	440,10	60,20	25	26
B6	150,00	440,20	60,11	25	26
B7	APAGADA				

Tabla 3.23. Datos de equipos en operación – Acería

### 3.2.4. CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA

$$P_E = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi * \eta_m$$

$$V = 440,57 \text{ V}$$

$$I = 175,24 \text{ A}$$

$$\eta_m = 85 \%$$

$$\varphi = 0,85$$

$$P_E = (\sqrt{3} * 440,57 * 175,24 * \cos 0,85 * 0,70)/1000$$

$$P_E = 93,51 \text{ kW}$$

	POTENCIA ELÉCTRICA				
	EQUIPO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	$\eta$ MOTOR	POTENCIA ELÉCTRICA (kW)
PRIMARIO	B1	440,57	175,24	85%	68,88
	B3	440,40	174,83	85%	62,36
SECUNDARIO	B2	440,40	49,37	85%	11,49
	B3	440,39	49,57	85%	11,65
	B6	440,28	79,49	85%	11,10
	RET	440,25	80,10	85%	12,53
	B8	440,31	80,00	85%	10,68
CENK	B3	440,36	59,93	90%	90,07
	B4	439,92	270,43	90%	93,72
	B5	440,05	270,55	85%	27,58
	B6	440,10	60,20	85%	26,05
AGA	B2	440,20	60,11	85%	2,88

Tabla 3.24. Datos de potencia eléctrica medida con el motor en operación – Acería

### 3.2.5. CÁLCULO DE LA POTENCIA HIDRÁULICA

$$Potencia\ hidráulica\ (kW) = \rho g Q H$$

$$\rho = 995,718\ kg/m^3$$

$$g = 9.81\ m/s^2$$

$$Q = 0.11\ m^3/s$$

$$H = 74\ m$$

$$P_H = 995,718 * 9,81 * 0,11 * 74\ kW$$

$$P_H = 80,31\ kW$$

		POTENCIA HIDRÁULICA					
		EQUIPO	Q (m <sup>3</sup> /s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )	H (m)	(kW)
<b>PRIMARIO</b>	B1	0,09	995,718	9,81	74	64,30	
	B3	0,10	995,718	9,81	74	70,28	
<b>SECUNDARIO</b>	B2	0,01	996,576	9,81	88	10,75	
	B3	0,01	996,576	9,81	88	10,84	
	B6	0,05	996,576	9,81	53	25,28	
	RET	0,05	996,576	9,81	53	24,80	
	B8	0,05	996,576	9,81	53	25,23	
<b>CENK</b>	B3	0,01	995,735	9,81	75	5,24	
	B4	0,18	995,735	9,81	75	132,28	
	B5	0,18	995,735	9,81	53	93,48	
	B6	0,04	995,735	9,81	53	21,57	
<b>AGA</b>	B2	0,04	997,857	9,81	23	9,38	

Tabla 3.25. Datos de potencia hidráulica calculados en operación – Acería

### 3.2.6. RELACIÓN Y CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO

La relación principal en todo sistema de bombeo es la existente entre la cantidad de energía consumida por la bomba en función del trabajo realizado por el fluido que mueve, en virtud a esto determinamos que cantidad de energía es necesaria para mover el fluido para el proceso por medio del sistema de bombeo y así cuantificaremos económicamente lo que representan estas pérdidas para la empresa.

	PÉRDIDAS DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO			
	EQUIPO	POTENCIA ELECTRICA (kW)	POTENCIA HIDRAULICA (kW)	$\eta$ DEL SISTEMA
PRIMARIO	B1	68,88	64,30	60%
	B3	62,36	70,28	65%
SECUNDARIO	B2	11,49	10,75	69%
	B3	11,65	10,84	72%
	B6	11,10	25,28	77%
	RET	12,53	24,80	84%
	B8	10,68	25,23	70%
CENK	B3	90,07	5,24	79%
	B4	93,72	132,28	85%
	B5	27,58	93,48	63%
	B6	26,05	21,57	66%
AGA	B2	2,88	9,38	63%

Tabla 3.26. Relación potencia eléctrica y potencia hidráulica (pérdidas) – Acería

Otra forma para determinar la eficiencia en sistemas de bombeo es por medio de la simulación que proporciona el software libre PUMP – FLO, este software nos permite determinar el estado del sistema de acuerdo al ingreso de datos tomados del sistema, su única restricción es que solo existen librerías de algunas marcas comerciales no de toda la gama, pero es de gran ayuda para estimar el estado del sistema.

Se realizó una simulación para el área de acería – planta CENK ya que las bombas KSB se encuentran en las librerías del software, el trabajo completo se muestra en el Anexo C.

### 3.3. SISTEMAS DE TRASPORTE

#### 3.3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE TUBERÍAS

##### a. AGUA PRIMARIO

COMPONENTE	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
Tubería	283	ASTM A 53
Válvulas	6	Globo
	12	Compuertas
	3	Check vertical
	3	Mariposa
Bridas	19	Con cuello para soldar
Facilidades	8	Codos
	2	T
	3	Reducciones
Piscina	1	- Volumen De almacenamiento 93 m <sup>3</sup> - Consumo máximo 300 m <sup>3</sup> /h

Tabla 3.27. Componentes sistema de transporte agua primario - acería

### b. AGUA SECUNDARIA

COMPONENTE	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
Tubería	324	ASTM A 53
Válvulas	5	Globo
	3	Compuertas
	2	Check vertical
	5	Mariposa
Bridas	7	Con cuello para soldar
Facilidades	10	Codos
	2	T
	4	Reducciones
Piscina	1	- Volumen De almacenamiento 177 m <sup>3</sup> - Consumo máximo 100 m <sup>3</sup> /h

Tabla 3.28. Componentes sistema de transporte agua secundario - acería

### c. AGUA CENK

COMPONENTE	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
Tubería	316	ASTM A 53
Válvulas	15	Globo
	8	Compuertas
	6	Check vertical
	9	Mariposa
Bridas	23	Con cuello para soldar
Facilidades	19	Codos
	2	T
	12	Reducciones
Piscina	1	- Volumen De almacenamiento 702 m <sup>3</sup> - Consumo máximo 1200 m <sup>3</sup> /h

Tabla 3.29. Componentes sistema de transporte agua CENK - acería

#### d. AGUA AGA

COMPONENTE	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
Tubería	125	ASTM A 53
Válvulas	4	Globo
	-	Compuertas
	-	Check vertical
	-	Mariposa
Bridas	8	Con cuello para soldar
Facilidades	6	Codos
	-	T
	2	Reducciones
Piscina	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen De almacenamiento 12 m<sup>3</sup></li> <li>- Consumo máximo 25 m<sup>3</sup>/h</li> </ul>

Tabla 3.30. Componentes sistema de transporte agua planta AGA – acería

### 3.3.2. BALANCE DE ENERGÍA EN SISTEMAS DE TRANSPORTE

	$\dot{m}$ (kg/s)	T in (°K)	T sal (°k)	$h_e$ (kJ/kg)	$h_s$ (kJ/kg)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$z$ (m)	$W$ (watts)	$Q$ (Kw)
<b>Primario</b>	185,38	298,15	304,15	104,83	125,74	9,8	12	80,31	-25,60
<b>Secundario</b>	73,64	299,45	308,15	109,96	132,56	9,8	4	15,20	-4,54
<b>AGA</b>	7,12	298,15	301,15	104,83	115,32	9,8	5	1,61	-0,42
<b>CENK</b>	360,34	299,15	306,15	107,65	128,56	9,8	6	132,28	-28,59

Tabla 3.31. Balance de energía tuberías de acería / Q desde la salida de la bomba hasta el usuario

### 3.4. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN

Consideraciones:

- Las mediciones se las realizó con termómetro de mercurio para temperatura de bulbo seco.
- Las temperaturas de bulbo seco fluctúan de 24 °C a 35 °C en la época de verano en Guayaquil, de igual manera la temperatura de bulbo húmedo fluctúa entre 22 °C a 27 °C como una referencia para los cálculos.
- En las tablas se especifican promedios totales del tiempo de toma de datos, de igual manera de los datos de fabricante.

#### 3.4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS (Anexo D)

Agua primaria

<i>COMPONENTE</i>	<i>CARACTERISTICAS</i>	<i>PORTA LINGOTERA</i>
<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>	MARCA	_____
	T. INTERCAMBIADOR	TUBOS
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	100
	PRESION MAX(PSI)	145
	T. ENTRADA(°C)	30
	T. SALIDA(°C)	50
	PRESION (PSI)	58

Tabla 3.32. Características porta lingotera – acería

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO 1</b>
<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>	MARCA	MARLEY
	MODELO	NC5201GSK
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	180
	PRESION MAX(PSI)	58
	T. ENTRADA(°C)	45
	T. SALIDA(°C)	30

Tabla 3.33. Características técnicas intercambiadores de calor - acería

Nota.- En este tipo de agua hay dos torres de enfriamiento de las mismas características.

Agua secundaria

Aspersores Lingote



Figura 3.10. Aspersores de lingote - acería

<b>REQUERIMIENTO</b>	<b>PARÁMETRO</b>
Caudal	100 m <sup>3</sup> /h
Presión	5 bar
Incremento de temperatura	10 °C – 13 °C

Tabla 3.34. Requerimientos técnicos de aspersores de lingote - acería

Nota.- El agua secundaria solidifica la palanquilla al momento que sale de la lingotera con aspersores, los cuales están a los cuatro lados de la palanquilla, son descritos por las letras mayúsculas A, B, C y D. Cada lado de la palanquilla maneja un caudal de  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  y una presión de 5 bar manejados por válvulas de estrangulación para cada lado.

### Rodillos y mesa



Figura 3.11. Rodillos y mesa de enfriamiento - acería

Nota.- Al momento de que la palanquilla sale del tramo curvo es transportada por los rodillos, los mismos son refrigerados por aspersores, de igual manera al acabarse el tramo de rodillos llegan a la mesa de enfriamiento estos son refrigerados por el agua secundaria, en donde el caudal utilizado es de  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  y una presión de 1 bar.

### Torre de enfriamiento

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>
<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>	MARCA	ALPINA
	MODELO	HMP (8X12)
	CAUDAL	150
	DIAMETRO DE VENTILADOR	72
	CONEXIONES DE ENTRADA	8"
	VOLTAJE MOTOR	440
	CORRIENTE DEL MOTOR	25
	PRESION	2 BAR
	T. SALIDA	30 °C
	T. ENTRADA	45 °C

Tabla 3.35. Características técnicas torre de enfriamiento - acería Agua CENK

## Intercambiadores de calor

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>BÓVEDA</b>	<b>CUBA</b>	<b>CODO MÓVIL</b>
<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>	MODELO	IHFV – 37/9	IHFV – 37/9	—
	T. INTERCAMBIADOR	TUBOS	TUBOS	TUBOS
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	100	40	310
	PRESION MAX(PSI)	87	87	87
	T. ENTRADA(°C)	29	25	30
	T. SALIDA(°C)	50	50	45

Tabla 3.36. Características técnicas intercambiadores de calor – acería

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>DUCTO LARGO</b>	<b>TRANSFORMADOR</b>	<b>CENTRAL HIDRAULICA HORNO ELECTRICO</b>
<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>	MODELO	-----	-----	EMMEGI
	T. INTERCAMBIADOR	TUBOS	TUBOS	TUBOS
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	130	17	14
	PRESION MAX(PSI)	87	145	87
	T. ENTRADA(°C)	30	25	40
	T. SALIDA(°C)	45	35	55

Tabla 3.37. Características técnicas intercambiadores de calor – acería

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>BOVEDA 2</b>	<b>CENTRAL HIDRAULICA HORNO CUCHARA</b>
<b>INTERCAMBIADOR DE CALOR</b>	MODELO	LFA 025 1 09	FLOVEX
	T. INTERCAMBIADOR	TUBOS	TUBOS
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	90	13
	PRESION MAX(PSI)	72	72
	T. ENTRADA(°C)	25	25
	T. SALIDA(°C)	50	50

Tabla 3.38. Características técnicas intercambiadores de calor - acería

## Torre de enfriamiento

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	SISTEMA TORRES DE ENFRIAMIENTO NIBA
TORRE DE ENFRIAMIENTO	MARCA	NIBA
	MODELO	HMP (8X12)
	CAUDAL	140
	DIAMETRO DE VENTILADOR	74
	CONEXIONES DE ENTRADA	6"
	VOLTAJE MOTOR	440
	CORRIENTE DEL MOTOR	26
	PRESION	5 BAR
	T. SALIDA	33 °C
	T. ENTRADA	40 °C

Tabla 3.39. Características técnicas torre de enfriamiento - acería

Agua AGA

Intercambiadores de calor

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	BOBEDA 1
INTERCAMBIADOR DE CALOR	MODELO	JOHN CRANE
	T. INTERCAMBIADOR	TUBO
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	50
	PRESION MAX(Psi)	87
	T. ENTRADA(°C)	25
	T. SALIDA(°C)	50

Tabla 3.40. Características técnicas intercambiador de calor - acería

Torre de enfriamiento

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	TORRE DE ENFRIAMIENTO 1
TORRE DE ENFRIAMIENTO	MARCA	MARLEY
	MODELO	NC5201GSK
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	80
	PRESION MAX(Psi)	58
	T. ENTRADA(°C)	50
	T. SALIDA(°C)	25

Tabla 3.41. Características técnicas torre de enfriamiento - acería

### 3.4.2. CÁLCULOS TÉRMICOS

## INTERCAMBIADOR DE CALOR

	PROMEDIO TOTAL					
	T. E(°C)	T.S(°C)	PE (bar)	PS (bar)	QE (m3/h)	QS (m3/h)
Lingotera (línea 1 )	31.08	38.41	3.5	2.9	100	100

Tabla 3.42. Datos tomados en operación - porta lingotera  
(tomado como un intercambiador de calor)

$$\rho = 1000 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$c_p = 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right)$$

**Cálculo flujo másico**

$$\dot{m}_A = \rho \times Q$$

$$\dot{m}_A = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 100 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{m}_A = 100000 \frac{kg}{h}$$

**Cálculo flujo de calor**

$$Q_A = \dot{m}_A \times c_{pA} \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_A = 27.77 \frac{kg}{s} \times 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right) \times [(38,41 + 273) - (31,08 + 273)]^\circ K$$

$$Q_A = 851.09 \text{ kw}$$

**Cálculo flujo de calor de diseño**

$$Q_{AD} = \dot{m}_A \times C_{p_A} \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_{AD} = 27.77 \frac{kg}{s} \times 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right) \times [(50 + 273) - (30 + 273)]^\circ K$$

$$Q_{AD} = 2275,59 \text{ kw}$$

#### TORRE DE ENFRIAMIENTO

	PROMEDIO TOTAL			
	T. E (°C)	T.S (°C)	QE (m3/h)	QS (m3/h)
TORRE DE ENFRIAMIENTO	36,5	30,17	200	200

Tabla 3.43. Datos tomados en operación - torres MARLEY

Nota.- El agua primaria cuenta con dos torres de enfriamiento con similares características en virtud a este particular se hace el análisis a una sola.

#### Cálculo flujo másico

$$\dot{m}_A = \rho \times Q$$

$$\dot{m}_A = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 200 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{m}_A = 200000 \frac{kg}{h}$$

#### Cálculo flujo de calor

$$Q_A = \dot{m}_A \times C_{p_A} \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_A = 55,55 \frac{kg}{s} \times 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right) \times [(36,5 + 273) - (30,17 + 273)]^\circ K$$

$$Q_A = 1469,82 \text{ kw}$$

#### Cálculo flujo de calor de diseño

$$Q_{AD} = \dot{m}_A \times C_{pA} \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_{AD} = 50 \frac{kg}{s} \times 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \cdot ^\circ K} \right) \times [(45 + 273) - (30 + 273)]^\circ K$$

$$Q_{AD} = 3135 \text{ kw}$$

	TORRES DE ENFRIAMIENTO		INTERCAMBIADOR DE CALOR	
	MARLEY 1	MARLEY 2	PORTA LINGOTERA	
PRIMARIO	1470.74	1470.74	851.09	TRANSF. DE CALOR (KW)
	3135	3135	2275.27	TRANSFERENCIA DE CALOR DISEÑO (KW)

Tabla 3.44. Resultados calor transferido agua primario

	<b>EQUIPO</b>	<b>CAUDAL DE DISEÑO (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>T.E. DE DISEÑO (C)</b>	<b>T.S. DE DISEÑO (C)</b>	<b>ΔT</b>	<b>ρ AGUA (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>FLUJO MASICO (KG/S)</b>	<b>CALOR ESP. AGUA (kJ/Kg K)</b>	<b>V. DE TRANSF. DE CALOR (KW)</b>
<b>PRIMARIO</b>	TE1	180	45	30	15	1000	50	4,18	3135
	TE2	180	45	30	15	1000	50	4,18	3135
	PL	100	30	50	20	1000	27,78	4,18	2322,22
<b>SECUNDARIO</b>	TE1	170	40	30	10	1010	47,69	4,18	1993,63
<b>CENK</b>	<b>HORNO ELECTRICO</b>								
	BO1	90	29	50	21	1010	25,25	4,18	2216,45
	CU	35	29	50	21	1010	9,82	4,18	861,95
	CS	300	29	50	21	1010	84,17	4,18	7388,15
	DL	100	29	50	21	1010	28,06	4,18	2462,72
	CM	120	29	50	21	1010	33,67	4,18	2955,26
	TR	25	25	40	15	1010	7,01	4,18	439,77
	CH	14	25	50	25	1010	3,93	4,18	410,45
	<b>HORNO CUCHARA</b>								
	BO2	90	25	50	25	1010	25,25	4,18	2638,63
	CH2	13	25	50	25	1010	3,65	4,18	381,13
	TEX12	150	40	33	7	1010	42,08	4,18	1231,36
	<b>AGA</b>	TE1	80	45	30	15	1010	22,44	4,18
GO		50	25	50	25	1010	14,03	4,18	1465,9

Tabla 3.45. Parámetros de diseño de los equipos

	OPERACION							
	EQUIPO	CAUDAL DE OPER. (m <sup>3</sup> /h)	T.E. DE OPER. (C)	T.S. DE OPER. (C)	$\Delta T$	FLUJO MASICO (KG/S)	V. DE TRANSF. DE CALOR (KW)	% DE CALOR REMOVIDO
PRIMARIO	TE1	300	36,5	30,17	6,33	83,33	2206,11	70%
	TE2	300	36,5	30,17	6,33	83,33	2206,11	70%
	PL	200	31,08	38,41	7,33	55,56	1702,19	73%
SECUNDARIO	TE1	200	45,25	39,58	5,67	56,11	1329,09	67%
CENK	HORNO ELECTRICO							
	BO1	75	30,5	39,5	9	21,04	791,59	36%
	CU	40,4	30,8	41,9	11,1	11,33	525,9	61%
	CS	304	30,67	37,17	6,5	85,29	2317,29	31%
	DL	123,58	30,33	36,5	6,17	34,67	893,73	36%
	CM	111	30,58	42	11,42	31,14	1486,14	50%
	TR	20	30,5	37,5	7	5,61	164,18	37%
	CH	20	30,1	36	5,9	5,61	138,38	34%
	HORNO CUCHARA							
	BO2	92,2	30,5	40,1	9,6	25,87	1038	39%
	CH2	15	30,1	36	5,9	4,21	103,79	27%
	TEX12	121	30,33	37,08	6,75	33,95	957,83	78%
	AGA	TE1	50	30,5	37,16	6,66	14,03	390,52
GO		55	30,5	41,75	11,25	15,43	725,62	50%

Tabla 3.46. Eficiencia de intercambiadores de calor transferido sistema de agua acería

### 3.5. PLANOS DE LOS SISTEMAS

Los planos de los sistemas se encuentran en el Anexo G, con el resto de sus componentes, los mismos que se adjuntan en el archivo electrónico de este trabajo.

## CAPITULO 4. ESTUDIO Y VALORACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE AGUA ACTUAL EN LAMINACIÓN

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE PROCESO

En la planta de Laminación se cuenta con dos tipos de agua y son:

- Agua tipo A
- Agua tipo B

**Agua tipo A:** refrigera los equipos de control y maquinarias del tren laminador

Características importantes:

- Es un sistema cerrado de enfriamiento
- Temperaturas de entrada 30 °C máx.
- Temperatura de salida de sistema 50 °C máx.
- Refrigeración de intercambiadores de las cajas, sensores de posición, puerta del horno y válvula de tiro

**Agua tipo B:** refrigera la maquinaria del tren laminador y es utilizada también para el sistema de tratamiento térmico Tempcore.

Características importantes:

- Es un sistema abierto de enfriamiento
- Temperaturas de entrada 30 °C máx.
- Temperatura de salida de sistema 50 °C máx.
- Refrigera rodillos y Tempcore
- Contaminación por laminilla

## DIAGRAMA DE PROCESO AGUA TIPO A - LAMINACIÓN

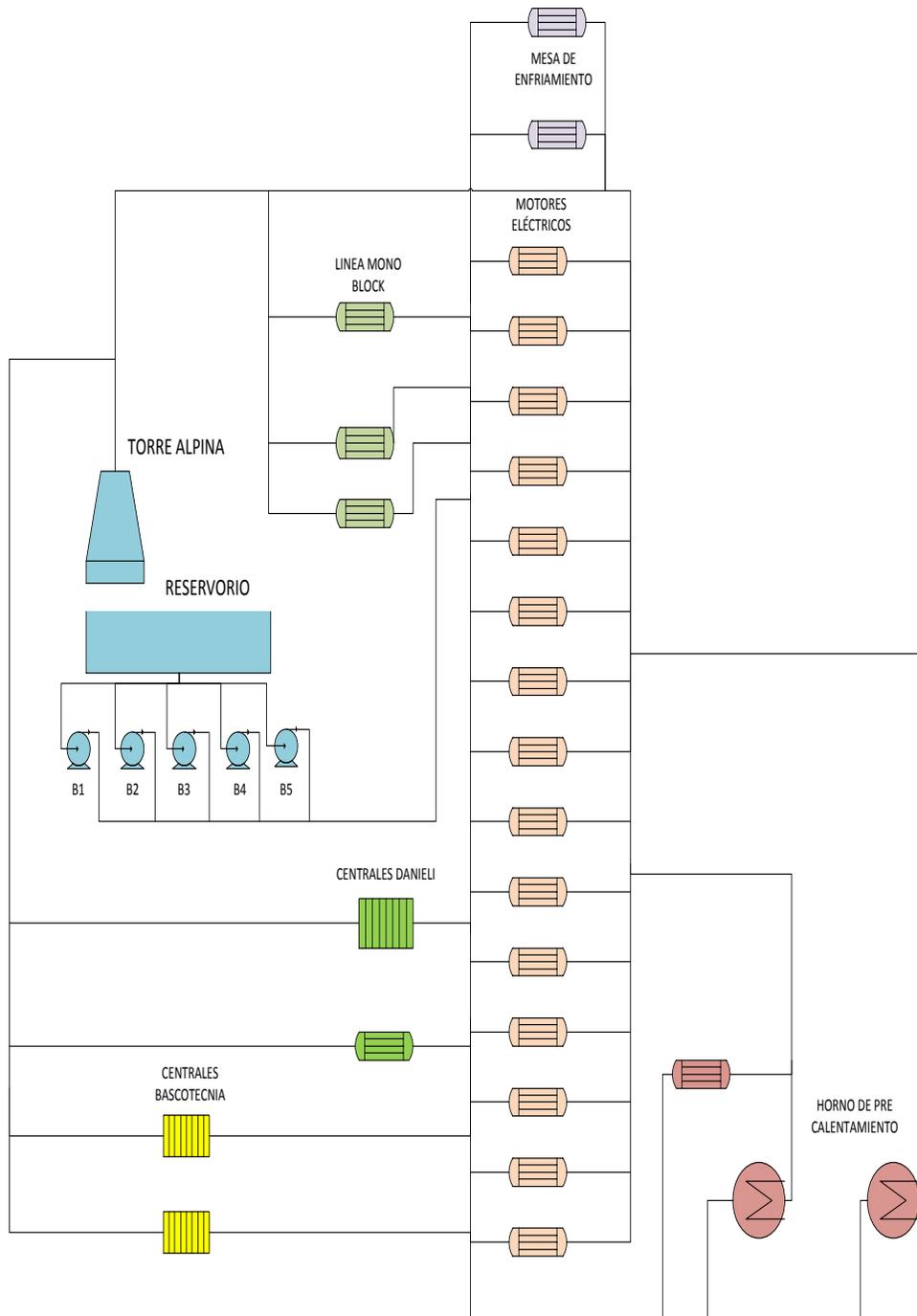


Diagrama 3.10. Sistema de refrigeración agua tipo A con los diferentes sub sistemas

## DIAGRAMA DE PROCESO AGUA TIPO B – LAMINACIÓN

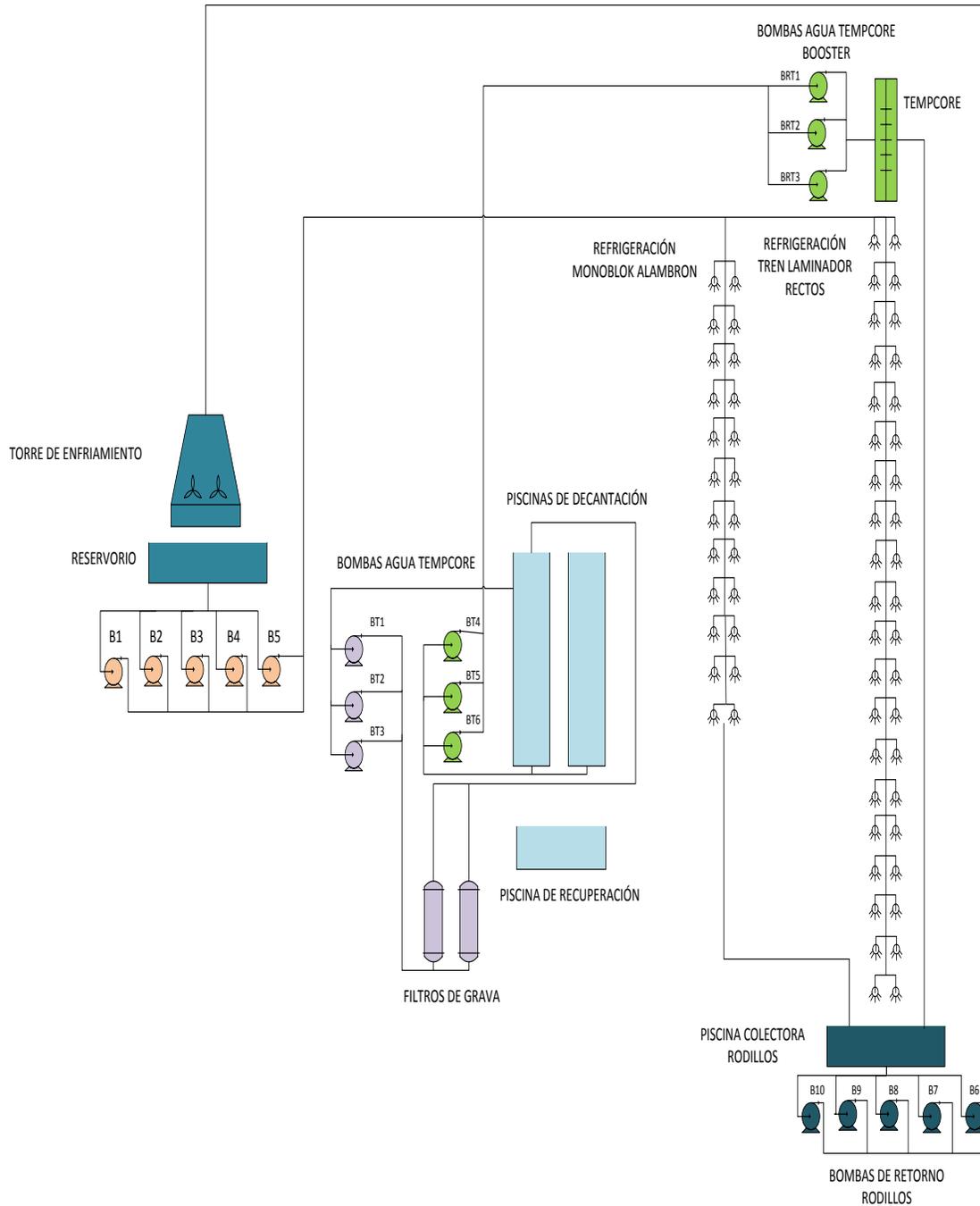


Figura 3.12. Sistema de refrigeración agua tipo B con los diferentes sub sistemas

## 4.2. SISTEMAS DE BOMBEO

Para el análisis tenemos en cuenta que en los sistemas no funcionan todas las bombas, siempre se tienen bombas en bac - kup ya que esto permite el mantenimiento en operación de las bombas de laminación

### **Consideraciones del análisis:**

1. Los datos eléctricos y de caudal fueron tomados de los sistemas en operación desde 3 de agosto del 2012 hasta el 1 de noviembre de 2012 en los dos turnos de trabajo, por personal del departamento eléctrico de laminación y por los autores de este documento.
2. Los datos fueron tomados de los diferentes HMI que controlan el proceso y de forma directa en campo. (Anexo A).
3. De todos los datos tomados se realizó un promedio de funcionamiento en el mes que se utilizan en la producción 10 cajas ya que es cuando se forma uno de los productos más vendidos que es varilla corrugada de diámetro 12 mm.

#### 4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO

##### AGUA TIPO A

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS	B1	B2	B3
MOTOR	MARCA	FIMET	FIMET	FIMET
	SERIE	IP55	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	40	40	40
	CORRIENTE (A)	50	50	50
	RPM	1760	1760	1760
	VOLTAJE	440	440	440
BOMBA	MARCA	B & G	B & G	B & G
	SERIE	1510 – 4E	1510 – 4E	1510 – 4E
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	175	175	175
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	100	100	100
	RPM	1750	1750	1750

Tabla 4.47. Características técnicas bombas agua tipo A – laminación

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS	B4	B5
MOTOR	MARCA	MARATHON	FIMET
	SERIE	286TTT0028	IP55
	POTENCIA (HP)	40	40
	CORRIENTE (A)	50	50
	RPM	1775	1760
	VOLTAJE	440	440
BOMBA	MARCA	B & G	B & G
	SERIE	1510 – 4E	1510 – 4E
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	175	175
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	100	100
	RPM	1750	1750

Tabla 4.48. Características técnicas bombas agua tipo A – laminación

## AGUA TIPO B

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	B1	B2	B3
MOTOR	MARCA	GE	GE	GE
	SERIE	IP55	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	150	150	150
	CORRIENTE (A)	176	176	176
	RPM	1780	1780	1780
	VOLTAJE	440	440	440
BOMBA	MARCA	GOULDS POMPS	GOULDS POMPS	GOULDS POMPS
	SERIE	3175 4x6-18	3175 4x6-18	3175 4x6-18
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	121	121	121
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	337	337	337
	RPM	1780	1780	1780

Tabla 4.49. Características técnicas bombas agua tipo B – laminación

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	B4	B5
MOTOR	MARCA	GE	GE
	SERIE	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	150	150
	CORRIENTE (A)	176	176
	RPM	1780	1780
	VOLTAJE	440	440
BOMBA	MARCA	GOULDS POMPS	GOULDS POMPS
	SERIE	3175 4x6-18	3175 4x6-18
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	121	121
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	337	337
	RPM	1780	1780

Tabla 4.50. Características técnicas bombas agua tipo B – laminación

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>B6</b>	<b>B7</b>	<b>B8</b>
MOTOR	MARCA	GE	GE	GE
	SERIE	IP55	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	150	150	150
	CORRIENTE (A)	176	176	176
	RPM	1780	1780	1780
	VOLTAJE	440	440	440
BOMBA	MARCA	GOULDS POMPS	GOULDS POMPS	GOULDS POMPS
	SERIE	3175 4x6-18	3175 4x6-18	3175 4x6-18
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	121	121	121
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	337	337	337
	RPM	1780	1780	1780

Tabla 4.51. Características técnicas bombas agua tipo B – fosa – laminación

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>B9</b>	<b>B10</b>
MOTOR	MARCA	GE	GE
	SERIE	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	150	150
	CORRIENTE (A)	176	176
	RPM	1780	1780
	VOLTAJE	440	440
BOMBA	MARCA	GOULDS POMPS	GOULDS POMPS
	SERIE	3175 4x6-18	3175 4x6-18
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	121	121
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	337	337
	RPM	1780	1780

Tabla 4.52. Características técnicas bombas agua tipo B – fosa – laminación

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>BT1</b>	<b>BT2</b>	<b>BT3</b>
<b>MOTOR</b>	MARCA	ABB	ABB	ABB
	SERIE	IP55	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	100	100	100
	CORRIENTE (A)	120	120	120
	RPM	1780	1780	1780
	VOLTAJE	440	440	440
<b>BOMBA</b>	MARCA	IHM	IHM	IHM
	SERIE	12X40	12X40	12X40
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	-	-	-
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	275	275	275
	RPM	1750	1750	1750

Tabla 4.53. Características técnicas bombas agua tipo B – Tempcore filtros de graba – laminación

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>BT4</b>	<b>BT5</b>	<b>BT6</b>
<b>MOTOR</b>	MARCA	ABB	ABB	ABB
	SERIE	IP55	IP55	IP55
	POTENCIA (HP)	100	100	100
	CORRIENTE (A)	120	120	120
	RPM	1780	1780	1780
	VOLTAJE	440	440	440
<b>BOMBA</b>	MARCA	IHM	IHM	IHM
	SERIE	12X40	12X40	12X40
	TIPO DE BOMBA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA	CENTRIFUGA
	PRESION MAX. (PSI)	-	-	-
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	275	275	275
	RPM	1750	1750	1750

Tabla 4.54. Características técnicas bombas agua tipo B – Tempcore – laminación

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	BRT1	BRT2	BRT3
MOTOR	MARCA	SIEMENS	SIEMENS	SIEMENS
	SERIE	26700	26700	26700
	POTENCIA (HP)	203	203	203
	CORRIENTE (A)	230	230	230
	RPM	1788	1788	1788
	VOLTAJE	440	440	440
BOMBA	MARCA	KSB(MULTITEC)	KSB(MULTITEC)	KSB(MULTITEC)
	SERIE	MTCD-150	MTCD-150	MTCD-150
	TIPO DE BOMBA	BOOSTER	BOOSTER	BOOSTER
	PRESION MAX. (BAR)	63	63	63
	CAUDAL ( $m^3/h$ )	250	250	250
	RPM	1800	1800	1800

Tabla 4.55. Características técnicas bombas agua tipo B – Tempcore  
Booster – laminación

#### 4.2.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FLUIDO BOMBEADO (Anexo B)

##### - Determinación de la densidad de fluido

$$\rho = 997.138 \text{ Kg}/m^3 \quad \text{Agua tipo A}$$

$$\rho = 997.576 \text{ Kg}/m^3 \quad \text{Agua tipo B}$$

##### - Determinación de peso específico

$$\gamma = 1.005 \text{ gr}/cm^3 \quad \text{Agua tipo A}$$

$$\gamma = 1.005 \text{ gr}/cm^3 \quad \text{Agua tipo B}$$

#### 4.2.3. EQUIPOS EN OPERACIÓN Y DATOS DE FUNCIONAMIENTO POR EQUIPO

EQUIPO	Hidráulicos	Eléctricos		Térmicos	
	Q MEDIDO (m <sup>3</sup> /h)	V MEDIDO (V)	I MEDIDO (A)	Temperatura de entrada (°C)	Temperatura de salida (°C)
AGUA TIPO A					
B1	100	440,87	48,00	25.2	31.4
B2	100	437,36	49,67	25.3	31.5
B3	APAGADA				
B4	100	440,59	49,84	25.6	31.5
B5	100	440,58	49,63	25.2	31.2
AGUA TIPO B					
B1	APAGADA				
B2	320,45	440,60	175,68	25.4	32.5
B3	APAGADA				
B4	330,76	440,37	175,69	25.8	31.5
B5	332,89	440,44	175,62	25.4	32.3
B6	335,67	440,47	175,56	25.6	28.6
B7	APAGADA				
B8	APAGADA				
B9	332,76	440,57	175,65	25.7	29.3
B10	336,16	440,48	175,73	25.8	29.6
BT1	APAGADA				
BT2	320,45	440,56	120,58	25.3	27.5
BT3	APAGADA				
BT4	325,39	440,49	120,26	25.9	27.6
BT5	323,54	440,56	120,33	25.8	27.8
BT6	APAGADA				
BRT1	300,56	440,46	229,66	26.2	26.8
BRT2	300,78	440,47	230,08	26.5	26.8
BRT3	APAGADA				

Tabla 4.56. Datos de caudal, temperatura, voltaje y corriente nominales en operación de equipos

#### 4.2.4. CÁLCULO DE POTENCIA ELÉCTRICA

		POTENCIA ELÉCTRICA			
		EQUIPO	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	$\eta$ Motor
AGUA TIPO A	B1	440,87	48,00	85%	20,00
	B2	437,36	49,67	85%	21,57
	B4	440,59	49,84	85%	20,48
	B5	440,58	49,63	85%	21,05
AGUA TIPO B	B2	440,60	175,68	90%	97,88
	B4	440,37	175,69	90%	93,75
	B5	440,44	175,62	90%	114,87
	B6	440,47	175,56	90%	95,74
	B9	440,57	175,65	90%	80,72
	B10	440,48	175,73	90%	86,54
	BT2	440,56	120,58	90%	63,49
	BT4	440,49	120,26	90%	67,53
	BT5	440,56	120,33	90%	63,85
	BRT1	440,46	229,66	90%	137,27
BRT2	440,47	230,08	90%	134,99	

Tabla 4.57. Datos de potencia eléctrica medida con el motor en operación

#### 4.2.5. CÁLCULO DE LA POTENCIA HIDRÁULICA

		POTENCIA HIDRÁULICA				
		EQUIPO	Q (m <sup>3</sup> /s)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )	H (m)
AGUA TIPO A	B1	0,03	995,72	9,81	37,00	10,04
	B2	0,03	995,72	9,81	37,00	10,04
	B4	0,03	996,58	9,81	37,00	10,05
	B5	0,03	996,58	9,81	32,00	8,69
AGUA TIPO B	B2	0,09	996,58	9,81	65,00	56,57
	B4	0,09	996,58	9,81	65,00	58,39
	B5	0,09	995,74	9,81	67,00	60,52
	B6	0,09	995,74	9,81	67,00	61,02
	B9	0,09	995,74	9,81	65,00	58,69
	B10	0,09	995,74	9,81	65,00	59,29
	BT2	0,09	997,86	9,81	57,00	49,67
	BT4	0,09	997,86	9,81	55,00	48,66
	BT5	0,09	997,86	9,81	56,00	49,27
	BRT1	0,08	997,86	9,81	140,00	114,42
	BRT2	0,08	997,86	9,81	140,00	114,50

Tabla 4.58. Datos de potencia hidráulica calculados en operación

#### 4.2.6. RELACIÓN Y CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN EL SISTEMA DE BOMBEO

La relación principal en todo sistema de bombeo es la existente entre la cantidad de energía consumida por la bomba en función del trabajo realizado por el fluido que mueve, en virtud a esto determinamos que cantidad de energía es necesaria para mover el fluido para el proceso por medio del sistema de bombeo y

así cuantificaremos económicamente lo que representan estas pérdidas para la empresa.

PÉRDIDAS DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO				
	EQUIPO	POTENCIA ELECTRICA (kW)	POTENCIA HIDRAULICA (kW)	$\eta$ DEL SISTEMA
AGUA TIPO A	B1	20,00	10,04	50,19
	B2	21,57	10,04	46,55
	B4	20,48	10,05	49,06
	B5	21,05	8,69	41,28
AGUA TIPO B	B2	97,88	56,57	57,79
	B4	93,75	58,39	62,28
	B5	114,87	60,52	52,68
	B6	95,74	61,02	63,74
	B9	80,72	58,69	72,71
	B10	86,54	59,29	68,51
	BT2	63,49	49,67	78,23
	BT4	67,53	48,66	72,06
	BT5	63,85	49,27	77,16
	BRT1	137,27	114,42	83,35
BRT2	134,99	114,50	84,82	

Tabla 4.59. Relación potencia eléctrica y potencia hidráulica (pérdidas)

### 4.3. SISTEMAS DE TRANSPORTE

A continuación se detalla los tipos de tuberías y accesorios instalados en el área de laminación, los mismos que cumplen con los requerimientos necesarios para el uso en el proceso.

### 4.3.1. COMPONENTES DEL SISTEMA DE TUBERÍAS

#### a. AGUA TIPO A

COMPONENTE	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
Tubería (m)	103 m	ASTM A53
Válvulas	8	Globo
	4	Compuertas
	4	Check vertical
	4	Mariposa
Bridas	10	Con cuello para soldar
Facilidades	12	Codos
	-	T
	4	Reducciones
Piscina	2	- Volumen De almacenamiento 360 m <sup>3</sup> - Consumo máximo 300 m <sup>3</sup> /h

Tabla 4.60. Componentes sistema de transporte agua tipo A – Laminación

#### b. AGUA TIPO B

COMPONENTE	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS
Tubería (m)	345 m	ASTM A53
Válvulas	18	Globo
	10	Compuertas
	6	Check vertical
	12	Mariposa
Bridas	56	Con cuello para soldar
Facilidades	23	Codos
	2	T
	10	Reducciones
Piscina	4	- Volumen De almacenamiento 2576 m <sup>3</sup> - Consumo máximo 1260 m <sup>3</sup> /h

Tabla 4.61. Componentes sistema de transporte agua tipo B – Laminación

### 4.3.2. BALANCE DE ENERGÍA EN TUBERÍAS

	$\dot{m}$ (kg/s)	T in (°K)	T sal (°k)	he(kJ/kg)	hs(kJ/kg)	g (m/s <sup>2</sup> )	z (m)	W	Q (kW)
Agua tipo "A"	110,86	298,35	304,65	105,03	126,34	9,8	6	10,04	-8,87
<b>TRAMO 1</b>									
Agua tipo "B"	249,39	298,75	305,45	104,95	127,65	9,8	2	58,39	-10,49
<b>TRAMO 2</b>									
Agua tipo "B"	249,39	298,85	302,45	104,98	127,83	9,8	15	61,02	-42,30
<b>TRAMO 1</b>									
Agua tipo "B"	166,26	299,05	300,75	106,32	115,23	9,8	12	48	-20,99
<b>TRAMO 2</b>									
Agua tipo "B"	166,26	299,65	302,05	109,58	125,65	9,8	3	114	-7,45

Tabla 4.62. Balance de energía tuberías de Laminación / Q desde la salida por sistema

## 4.4. SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN (Anexo D)

### 4.4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

Agua tipo A

Intercambiadores de calor

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS	Motores eléctricos	Central hidráulica empujador palanquilla	Puerta Horno	Central de lubricación Bascotecnia 1 y 2
INTERCAMBIADORES DE CALOR	MARCA	ANSALDO	EMMEGI	_____	ALFA LAVAL
	MODELO	MG80	MG130	_____	M10B-FM
	T. INTERCAMBIADOR	TUBOS	TUBOS	TUBOS	PLACAS
	MATERIAL TUBOS	COBRE	CuNi <sub>10</sub> Mn <sub>1</sub> Fe	ACERO	ACERO INO
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	20	12	25	50
	PRESION MAX(PSI)	145	72	72	145
	T. ENTRADA(°C)	30	30	30	30

	T. SALIDA(°C)	40	50	60	100
--	---------------	----	----	----	-----

Tabla 4.63. Características técnicas intercambiadores agua tipo A – Laminación

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	<i>Central hidráulica Bascotecnia</i>	<i>Central hidráulica Danieli</i>	<i>Central de lubricación Danieli</i>	<i>Central hidráulica Mantto</i>
INTERCAMBIADORES DE CALOR	MARCA	PILAN	FLOVEX	ALFA LAVAL	PILAN
	MODELO	TP B3	EM1.3020	M10B-FM	TP B4
	T. INTERCAMBIADOR	TUBOS	TUBOS	PLACAS	TUBOS
	MATERIAL TUBOS	COBRE	COBRE	ACERO INOX	COBRE
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	5	25	50	5
	PRESION MAX(Psi)	145	145	145	145
	T. ENTRADA(°C)	25	25	30°C	25
	T. SALIDA(°C)	50	60	100°C	50

Tabla 4.64. Características técnicas intercambiadores agua tipo A – Laminación

COMPONENTE	CARACTERISTICAS	<i>Central hidráulica mesa de enfriamiento</i>	<i>Central hidráulica vikers</i>	<i>Central hidráulica monoblock</i>	<i>Válvula de tiro</i>
INTERCAMBIADORES DE CALOR	MARCA	FLOVEX	PILAN	FLOVEX	—
	MODELO	EM.8060	TP B1	BEM 807	—
	T. INTERCAMBIADOR	TUBOS	TUBOS	TUBOS	TUBOS
	MATERIAL TUBOS	COBRE	COBRE	COBRE	ACERO
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	50	5	50	40
	PRESION MAX(Psi)	145	145	145	145
	T. ENTRADA(°C)	30	25	25	30
	T. SALIDA(°C)	60	50	60	80

Tabla 4.65. Características técnicas intercambiadores agua tipo A – Laminación

## Torre de enfriamiento

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>Torre de enfriamiento 1</b>
<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>	MARCA	ALPINA
	MODELO	155/3-W20-I-E
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	180
	PRESION MAX(PSI)	72
	T. ENTRADA(°C)	38
	T. SALIDA(°C)	30

Tabla 4.66. Características técnicas torre de enfriamiento agua tipo A – Laminación

## Agua tipo B

- Rodillos de laminación

Los rodillos necesitan ser refrigerados ya que la palanquilla al pasar entre ellos sufre una formación la misma que se encuentra a una temperatura media de 1300 °C razón por la cual los rodillos se refrigeran por agua inyección de agua.

Cada aspersor de los rodillos trabajan a una presión 2 bar y con un caudal de 40 m<sup>3</sup>/h.

- Canalones

Ayudan a que la palanquilla ya estirada por los rodillos no se salga del camino del tren laminador.

Torre de enfriamiento

<b>COMPONENTE</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>Torre de enfriamiento 2</b>
<b>TORRE DE ENFRIAMIENTO</b>	MARCA	-----
	MODELO	-----
	CAUDAL(m <sup>3</sup> /h)	900
	PRESION MAX(Psi)	72
	T. ENTRADA(°C)	50
	T. SALIDA(°C)	30

Tabla 4.67. Características técnicas torre de enfriamiento agua tipo B – Laminación

#### 4.4.2. CÁLCULOS TÉRMICOS

Agua tipo A

##### INTERCAMBIADORES DE CALOR.

$$\rho = 1005 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$cp = 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right)$$

##### Cálculo en flujo másico

$$\dot{m}_A = \rho \times Q$$

$$\dot{m}_A = 1005 \frac{kg}{m^3} \times 11 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{m}_A = 11055 \frac{kg}{h}$$

**Cálculo del flujo de calor**

$$Q_A = \dot{m}_A \times C_{pA} \times (T_2 - T_1) Q_A = 41.71 \text{ kw}$$

$$Q_A = 3.07 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,18 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \right) \times [(34.16 + 273) - (30.91 + 273)]^\circ\text{K}$$

**Cálculo del flujo de calor de diseño**

$$\dot{m}_A = \rho \times Q$$

$$\dot{m}_A = 1005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 20 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_A = 20100 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$\dot{m}_A = 5.58 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_{AD} = \dot{m}_A \times C_{pA} \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_{AD} = 5.58 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4,18 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \right) \times [(40 + 273) - (30 + 273)]^\circ\text{K}$$

$$Q_{AD} = 233.24 \text{ kw}$$

**TORRES DE ENFRIAMIENTO**

$$\rho = 1005 \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$c_p = 4,18 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{Kg } ^\circ\text{K}} \right)$$

**Cálculo del flujo másico**

$$\dot{m}_A = \rho \times Q$$

$$\dot{m}_A = 1005 \frac{kg}{m^3} \times 290 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{m}_A = 291450 \frac{kg}{h}$$

**Cálculo del flujo de calor**

$$Q_A = \dot{m}_A \times Cp_A \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_A = 50.25 \frac{kg}{s} \times 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right) \times [(35 + 273) - (30 + 273)]^\circ K$$

$$Q_A = 1692.03 \text{ kw}$$

**Cálculo del flujo de calor de diseño**

$$\dot{m}_A = \rho \times Q$$

$$\dot{m}_A = 1005 \frac{kg}{m^3} \times 180 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{m}_A = 180900 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_A = 50.25 \frac{kg}{s}$$

$$Q_{AD} = \dot{m}_A \times Cp_A \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_{AD} = 50.25 \frac{kg}{s} \times 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right) \times [(38 + 273) - (30 + 273)]^\circ K$$

$$Q_{AD} = 1680.36 \text{ kw}$$

Agua tipo B

### TORRES DE ENFRIAMIENTO

$$\rho = 1005 \left( \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$cp \text{ agua} = 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right)$$

#### Cálculo del flujo másico

$$\dot{m}_A = \rho \times Q$$

$$\dot{m}_A = 1005 \frac{kg}{m^3} \times 900 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{m}_A = 904500 \frac{kg}{h}$$

#### Cálculo del flujo de calor

$$Q_A = \dot{m}_A \times cp_A \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_A = 251.25 \frac{kg}{s} \times 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right) \times [(44.1 + 273) - (31.4 + 273)]^\circ K$$

$$Q_A = 13337.85 \text{ kw}$$

#### Cálculo del flujo de calor de diseño

$$\dot{m}_A = \rho \times Q$$

$$\dot{m}_A = 1005 \frac{kg}{m^3} \times 1000 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{m}_A = 1005000 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_A = 279.16 \frac{kg}{s}$$

$$Q_{AD} = \dot{m}_A \times C_{pA} \times (T_2 - T_1)$$

$$Q_{AD} = 279.16 \frac{kg}{s} \times 4,18 \left( \frac{kJ}{Kg \text{ } ^\circ K} \right) \times [(50 + 273) - (30 + 273)]^\circ K$$

$$Q_{AD} = 23338.33 \text{ kw}$$

DISEÑO					
	EQUIPO	$\rho$ AGUA (kg/m <sup>3</sup> )	$\dot{m}$ (KG/S)	$C_e$ AGUA (kJ/Kg °K)	V. DE TRANSFERENCIA DE CALOR (KW)
AGUA TIPO A	Motor eléctrico 1	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 2	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 3	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 4 y 5	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 6 y 7	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 8	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 11	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 12	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 15	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 16	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 18	1005	5,583	4,18	700,15
	Motor eléctrico 21	1005	5,583	4,18	700,15
	Cizalla3	1005	5,583	4,18	233,383
	Cizalla2	1005	5,583	4,18	233,383
	Central Hidráulica	1005	3,35	4,18	280,06

	Empujador Palanquilla				
	Puerta Horno	1005	6,979	4,18	875,187
	Central Lubricación Bascotecnia 1	1005	13,958	4,18	4084,208
	Central Lubricación Bascotecnia 2	1005	13,958	4,18	4084,208
	Central Hidráulica Bascotecnia	1005	1,395	4,18	145,8645
	Central hidráulica Danieli	1005	6,979	4,18	1021,052
	Central Lubricación Danieli	1005	13,958	4,18	4084,208
	Central Hidráulica Manto	1005	1,395	4,18	145,8645
	Central Hidráulica Mesa	1005	13,958	4,18	1750,375
	Central Hidráulica Vicker	1005	1,395	4,18	145,864
	Central Hidráulica Monoblock	1005	13,958	4,18	2042,104
	Válvula Tiro	1005	11,166	4,18	2333,833
	Torre de Enfriamiento	1005	50,25	4,18	1680,36
	<b>AGUA TIPO B</b>	Torre de Enfriamiento	1005	279,16	4,18

Tabla 4.68. Parámetros de diseño de los equipos de enfriamiento de Laminación

		OPERACIÓN						
	EQUIPO	CAUDAL DE OP. (m³/h)	T <sub>e</sub> DE OP. (°C)	T <sub>s</sub> DE OP. (°C)	ΔT	ρ AGUA (kg/m³)	$\dot{m}$ (KG/S)	% DE CALOR REMOVIDO
AGUA TIPO A	Motor eléctrico 1	11	30,91	34,16	3,25	3,07	41,71	6%
	Motor eléctrico 2	12	30,91	33,91	3	3,35	42,00	6%
	Motor eléctrico 3	11	30,91	34	3,08	3,07	39,57	6%
	Motor eléctrico 4 y 5	13	30,91	34,41	3,5	3,62	53,09	8%
	Motor eléctrico 6 y 7	11	30,91	33,66	2,75	3,07	35,29	5%
	Motor eléctrico 8	11	30,91	33,75	2,83	3,07083	36,36	5%
	Motor eléctrico 11	13	30,91	34,25	3,33	3,62	50,56	7%
	Motor eléctrico 12	11	30,91	36,16	5,25	3,07	67,38	10%
	Motor eléctrico 15	11	30,91	35,5	4,58	3,07	58,83	8%
	Motor eléctrico 16	12	30,91	35,41	4,5	3,35	63,01	9%
	Motor eléctrico 18	11	30,91	35,66	4,75	3,07	60,97	9%
	Motor eléctrico 21	11	30,91	36	5,08	3,07	65,25	9%
	Cizalla3	14	30,91	34,83	3,91	3,90	63,98	27%
	Cizalla2	11	30,91	33,91	3	3,07	38,50	17%
	Central Hidráulica Empujador Palanquilla	12	31,66	37,08	5,41	3,35	75,84	27%
	Puerta Horno	15	31,91	52,66	20,75	4,18	363,2	42%
	Central Lubricación Bascotecnia 1	12	31,66	40,58	8,91	3,35	124,86	3%
	Central Lubricación Bascotecnia 2	12	31,66	40,91	9,25	3,35	129,53	3%
	Central Hidráulica Bascotecnia	12	31,66	37,16	5,5	3,35	77,016	53%
	Central hidráulica Danieli	12	31,6	36,75	5,083	3,35	71,18	7%
	Central Lubricación Danieli	12	31,66	40,16	8,5	3,35	119,02	3%
	Central Hidráulica Manto	12	31,66	36,83	5,16	3,35	72,34	50%
	Central Hidráulica Mesa Enfriamiento	12	31,66	41,16	9,5	3,35	133,02	8%
Central Hidráulica Vicker	12	30	38	8	3,35	112,02	77%	
Central Hidráulica Monoblock	20	31	40	9	5,58333	210,04	10%	
Válvula Tiro	12	31,66	43,66	12	3,35	168,03	7%	
Torre de Enfriamiento	270	30	35	5	75,375	1575,33	94%	
AGUA TIPO B	Torre de Enfriamiento	900	31,4	44,1	12,7	251,25	13337,8	57%

Tabla 4.69. Eficiencia de intercambiadores de calor transferido sistema de agua acería

#### **4.5. PLANOS DE LOS SISTEMAS**

Los planos de los sistemas se encuentran en el Anexo G, con el resto de sus componentes, los mismos que se adjuntan en el archivo electrónico de este trabajo.

## **CAPITULO 5. ANÁLISIS ENERGÉTICO DE LOS SISTEMAS DE AGUAS**

Los sistemas de bombeo son muy importantes dentro los procesos productivos de ANDEC, los cuales deben funcionar eficientemente, ya que de estos depende la refrigeración de muchos equipos de producción de palanquilla y varilla.

Para las bombas se realizaran el cálculo de las eficiencias de acuerdo a las curvas de los fabricantes, para lo cual se tomará como datos de ingreso al caudal y diámetros del impeler de la bomba y las cabezas dinámicas de presión.

### **5.1. CÁLCULO DE EFICIENCIA EN EQUIPOS DE LAMINACIÓN**

#### **5.1.1.BOMBAS (Anexo C)**

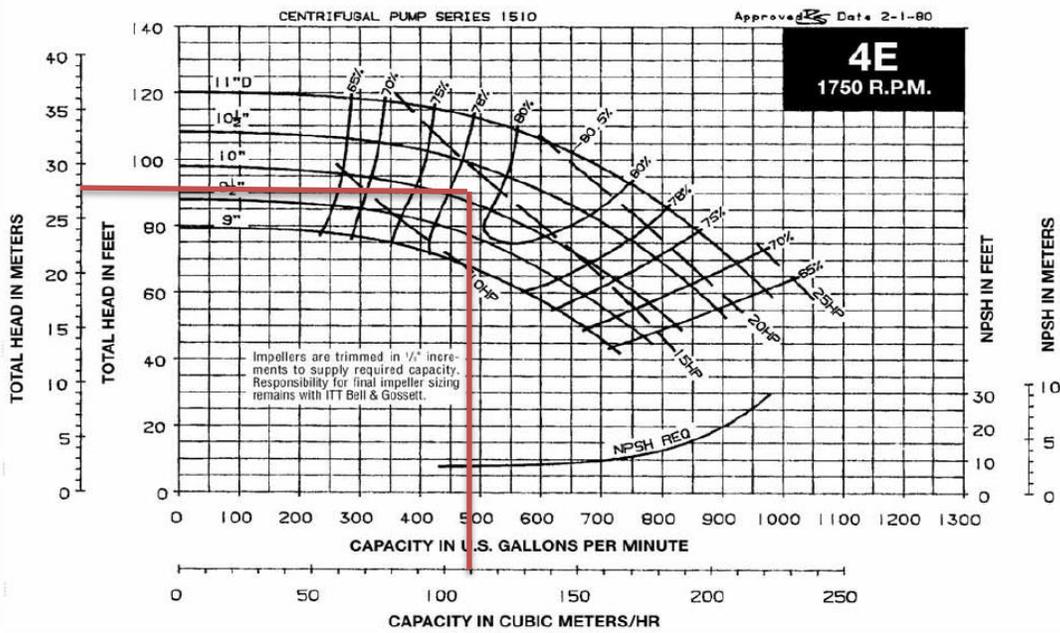


Figura 4.13. Gráfica de bombas agua tipo “A”

Sistema agua tipo A	
Bombas	Eficiencia %
B1	77
B2	77.5
B3	75
B4	77
Sistema de agua tipo B	
B2	68
B4	67
B5	68
B6	65
B9	69
B10	69
BT2	75
BT4	73
BT5	76
BRT1	75
BRT2	76

Tabla 5.70. Eficiencias de las bombas en funcionamiento agua tipo A y B laminación

## 5.1.2.INTERCAMBIADORES DE CALOR

Para realizar el cálculo de la eficiencia se determinará los siguientes datos que utilizaremos en el cálculo:

INTERCAMBIADORES DE CALOR	EFICIENCIA (%)
---------------------------	----------------

$$\eta = \frac{\dot{m}_A \times C_{p_A} \times (T_3 - T_1)}{\dot{m}_B \times C_{p_b} \times (T_2 - T_4)} = \frac{Q_A}{Q_B}$$

### Cálculo intercambiador de motor eléctrico

$$Q_A = 16,94 \text{ Kw operación}$$

$$Q_B = 41,71 \text{ Kw diseño}$$

$$\eta = \frac{16,94}{41,71} = 41 \%$$

### Cálculo intercambiador de centrales hidráulicas

$$Q_A = 28,71 \text{ Kw operación}$$

$$Q_B = 75,85 \text{ Kw diseño}$$

$$\eta = \frac{28,71}{75,85} = 38 \%$$

Motor eléctrico 1	63
Motor eléctrico 2	63
Motor eléctrico 3	66
Motor eléctrico 4 y 5	50
Motor eléctrico 6 y 7	75
Motor eléctrico 8	72
Motor eléctrico 11	52
Motor eléctrico 12	39
Motor eléctrico 15	45
Motor eléctrico 16	42
Motor eléctrico 18	43
Motor eléctrico 21	40
Cizalla 3	41
Cizalla 2	68
Centra hidráulica empujador de palanquilla	38
Puerta del horno	25
Central lubricación Bascotecnia 1	23
Central lubricación Bascotecnia 2	22
Central hidráulica Bascotecnia 1	37
Central hidráulica Danieli	50
Central lubricación Danieli	54
Central hidráulica manto	40
Central hidráulica mesa de enfriamiento	22
Central hidráulica Vicker	26
Central hidráulica Monoblock	14
Válvula de tiro	40

Tabla 5.71. Eficiencia en los intercambiadores de calor laminación

### 5.1.3. TORRES DE ENFRIAMIENTO

Para las torres se hace relación entre los cálculos realizados en operación con los datos obtenido de diseño.

$$\%Q_R = \frac{Q_p}{Q_D} \times 100$$

$$\%Q_R = \frac{1375,33}{1680,36} \times 100$$

$$\%Q_R = 75\%$$

TORRE DE ENFRIAMIENTO	EFICIENCIA (%)
Torre 1 agua tipo A	75
Torre 2 agua tipo B	58

Tabla 5.72. Eficiencia en sistemas de bombeo acería

## 5.2 CÁLCULOS DE EFICIENCIAS EN EQUIPO DE ACERÍA

### 5.2.1 BOMBAS

BOMBAS	EFICIENCIA (%)
AGUA PRIMARIO	
Bomba 2	61
Bomba 4	65
AGUA SECUNDARIO	
Bomba 2	60
Bomba 3	63
Bomba 6	66
Bomba 8	59
Bomba recirculación	61
AGUA PLANTA AGA	
Bomba 2	60
AGUA PLANTA CENK	
Bomba 3	70
Bomba 4	69
Bomba reservorio 5	66
Bomba reservorio 6	65

Tabla 5.73. Eficiencia en el sistema de bombeo acería

### 5.2.2 INTERCAMBIADORES DE CALOR

INTERCAMBIADORES DE CALOR	EFICIENCIA (%)
<b>PRIMARIO</b>	
Porta lingotera	66
<b>CENK</b>	
Bóveda horno eléctrico	65
Cuba	59
Cámara de sedimentación	60
Ducto primario	63
Conducto Móvil	62
Transformador	50
Central hidráulica	69
Bóveda horno cuchara	70
Central hidráulica horno cuchara	65
<b>AGA</b>	
Generador de oxígeno	69

Tabla 5.74. Eficiencia en intercambiadores de calor acería

### 5.2.3 TORRES DE ENFRIAMIENTO

TORRE DE ENFRIAMIENTO	EFICIENCIA (%)
<b>PRIMARIO</b>	
Torre 1	65
Torre 2	60
<b>SECUNDARIO</b>	
Torre 1	57
<b>PLANA CENK</b>	
Torres	76
<b>AGA</b>	
Torre 1	69

Tabla 5.75. Eficiencia en torres de enfriamiento acería

### 5.3 INDICADORES DE CONSUMO ENERGÉTICO

En este trabajo es importante conocer con exactitud los consumos de los equipos, así deterr

Para hacer este análisis de los indicadores energético en laminación se establecieron los sig

La varilla que más se fabrica es de 12 mm, ya que es uno de los principales elementos en la mercado.

Hay que también que decir que en el área de laminación existe a partir de la caja 15 el proceso MONOBLOCK en el cual se elabora alambión, que es materia prima para la fabricación de las electro mallas.

A este proceso de fabricación de alambión no se lo ha considerado en este análisis ya que solo funciona unos 3 días al mes, entonces es irrelevante su estudio en este trabajo.

#### 5.3.1 INDICADORES DE LAMINACIÓN

##### AGUA TIPO A

BOMBAS	$P_E$ AGO (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ AGO. (kW/h)	$P_E$ SEP. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ SEPT. (kW/h)	$P_E$ OCT. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ OCT. (kW/h)
BOMBA 1	18,58	450	8361	19,5	495	9652,5	18,56	512	9502,72

BOMBA 2	19,61	450	8824,5	18,56	495	9187,2	17,56	512	8990,72
BOMBA 3	18,91	450	8509,5	18,78	495	9296,1	18,35	512	9395,2
BOMBA 4	18,35	450	8257,5	19,58	495	9692,1	19,89	512	10183,68
	<b>CONSUMO TOTAL</b>		33952,5	<b>CONSUMO TOTAL</b>		37827,9	<b>CONSUMO TOTAL</b>		38072,32

Tabla 5.76. Consumo sistema de bombeo agua tipo A

## AGUA TIPO B

BOMBAS	$P_E$ AG O (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ AG O. (kW/h)	$P_E$ SEP. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ SEPT. (kW/h)	$P_E$ OCT. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ OCT. (kW/h)
BOMBA 1	94,06	450	42327	96,1	495	47569,5	93,2	512	47718,4
BOMBA 2	95,07	450	42781,5	94,8	495	46926	94,2	512	48230,4
BOMBA 3	94,19	450	42385,5	97,56	495	48292,2	94,6	512	48435,2
BOMBA 4	91,98	450	41391	92,56	495	45817,2	93,5	512	47872
BOMBA 5	94,05	450	42322,5	93,25	495	46158,75	95,1	512	48691,2
BOMBA 6	91,98	450	41391	93,55	495	46307,25	90,5	512	46336
BOMBA T1	65,73	450	29578,5	66,75	495	33041,25	66,5	512	34048
BOMBA T2	64,84	450	29178	65,56	495	32452,2	65,8	512	33689,6
BOMBA T3	66,16	450	29772	68,23	495	33773,85	67,5	512	34560
BOMBA B1	151,44	450	68148	165,35	495	81848,25	166,5	512	85248
	<b>CONSUMO TOTAL</b>		409275	<b>CONSUMO TOTAL</b>		462186,45	<b>CONSUMO TOTAL</b>		474828,8

Tabla 5.77. Consumo sistema de bombeo agua tipo B

## 5.3.2 INDICADORES DE ACERÍA

### AGUA PRIMARIA

BOMBAS	$P_E$ AGO (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ AGO. (kW/h)	$P_E$ SEP. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ SEPT. (kW/h)	$P_E$ OCT. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ OCT. (kW/h)
--------	----------------	------------	-------------------	-----------------	------------	--------------------	-----------------	------------	-------------------

<b>BOMBA 1</b>	93,54	560	52382,4	95,63	510	48771,3	94,56	580	54844,8
<b>BOMBA 3</b>	94,03	560	52656,8	92,56	510	47205,6	93,56	580	54264,8
	<b>CONSUMO TOTAL</b>		105039,2	<b>CONSUMO TOTAL</b>		95976,9	<b>CONSUMO TOTAL</b>		109109,6

Tabla 5.78. Consumo sistema de bombeo agua primaria - acería

## AGUA SECUNDARIA

BOMBAS	$P_E$ AGO (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ AGO. (kW/h)	$P_E$ SEP. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ SEPT. (kW/h)	$P_E$ OCT. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ OCT. (kW/h)
<b>BOMBA 2</b>	24,34	560	13630,4	25,18	510	12841,8	23,45	580	13601
<b>BOMBA 3</b>	24,88	560	13932,8	25,69	510	13101,9	23,38	580	13560,4
<b>BOMBA 6</b>	40,02	560	22411,2	41,59	510	21210,9	42,92	580	24893,6
<b>BOMBA R</b>	42,96	560	24057,6	40,71	510	20762,1	41,23	580	23913,4
<b>BOMBA 8</b>	42,52	560	23811,2	43,55	510	22210,5	40,87	580	23704,6
	<b>CONSUMO TOTAL</b>		74032	<b>CONSUMO TOTAL</b>		67916,7	<b>CONSUMO TOTAL</b>		75968,4

Tabla 5.79. Consumo sistema de bombeo agua secundaria - acería

## AGUA CENK

BOMBAS	$P_E$ AGO (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ AGO. (kW/h)	$P_E$ SEP. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ SEPT. (kW/h)	$P_E$ OCT. (kW)	$h_{TRAB}$	$E_C$ OCT. (kW/h)
<b>BOMBA 1</b>	168,35	560	94276	167,45	510	85399,5	166,59	580	96622,2
<b>BOMBA 2</b>	168,3	560	94248	165,85	510	84583,5	168,85	580	97933
<b>BOMBA 5</b>	31,75	560	17780	32,54	510	16595,4	31,85	580	18473
<b>BOMBA 6</b>	34,06	560	19073,6	35,96	510	18339,6	33,52	580	19441,6
	<b>CONSUMO TOTAL</b>		225377,6	<b>CONSUMO TOTAL</b>		204918	<b>CONSUMO TOTAL</b>		232469,8

Tabla 5.80. Consumo sistema de bombeo agua tipo B

## 5.4 DETERMINACIÓN DE SISTEMAS DE MAYOR CONSUMO ENERGÉTICO

### 5.4.1 AGUA LAMINACIÓN

Agua tipo "A"/ sistema cerrado

Componente	Eficiencia (%)	Tipo de Sistema	Equivalente por sistema	Sistema equivalente	EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA
B1	46%	PARALELO	43%	SISTEMAS EN PARALELO	54%
B2	45%				
B3	44%				
B4	38%				
Motor eléctrico 1	63%	PARALELO	44%	SISTEMAS EN PARALELO	54%
Motor eléctrico 2	63%				
Motor eléctrico 3	66%				
Motor eléctrico 4 y 5	50%				
Motor eléctrico 6 y 7	75%				
Motor eléctrico 8	72%				
Motor eléctrico 11	52%				
Motor eléctrico 12	39%				
Motor eléctrico 15	45%				
Motor eléctrico 16	42%				
Motor eléctrico 18	43%				
Motor eléctrico 21	40%				
Cizalla 3	41%				
Cizalla 2	68%				
Centra hidráulica empujador de palanquilla	38%				
Puerta del horno	25%				
Central lubricación Bascotecnia 1	23%				
Central lubricación Bascotecnia 2	22%				
Central hidráulica Bascotecnia 1	37%				
Central hidráulica Danieli	50%				
Central lubricación	54%				

Danieli					
Central hidráulica manto	40%				
Central hidráulica mesa de enfriamiento	22%				
Central hidráulica Vicker	26%				
Central hidráulica Monoblock	14%				
Válvula de tiro	40%				
Torre 1 agua tipo A	75%	N/A	75%		

Tabla 5.81. Eficiencia total por sistema de agua tipo A laminación

### Agua tipo B tramo 1 / abierto rodillos

Componente	Eficiencia (%)	Tipo de Sistema	Equivalente por sistema	Sistema equivalente	Eficiencia total del sistema
B2	60%	PARALELO	62%	SISTEMAS EN PARALELO	61%
B4	62%				
B5	65%				
B6	65%	PARALELO	64%		
B9	63%				
B10	63%				
Torre de enfriamiento tipo B	58%	N/A	58%		

Tabla 5.82. Eficiencia total por sistema de agua tipo B rodillos / laminación

### Agua tipo B tramo 3 / Tempcore

Componente	Eficiencia (%)	Tipo de Sistema	Equivalente por sistema	Sistema equivalente	Eficiencia total del sistema
BT2	77%	PARALELO	77%	SISTEMAS	70%

BT4	76%			EN SERIE	
BT5	77%				
BRT1	77%	PARALELO	77%		
BRT2	77%				
Torre de enfriamiento tipo B	58%	N/A	58%		

Tabla 5.83. Eficiencia total por sistema de agua tipo B Tempcore / laminación

## 5.4.2 AGUA ACERÍA

### Agua primario

Componente	Eficiencia (%)	Tipo de Sistema	Equivalente por sistema	Sistema equivalente	Eficiencia total del sistema
Bomba 2	61%	PARALELO	63%	SISTEMAS EN SERIE	64%
Bomba 4	65%				
Porta lingotera	66%	N/A	66%		
Torre 1	65%	PARALELO	63%		
Torre 2	60%				

Tabla 5.84. Eficiencia total por sistema de agua primario / acería

### Agua secundario

Componente	Eficiencia (%)	Tipo de Sistema	Equivalente por sistema	Sistema equivalente	Eficiencia total del sistema
------------	----------------	-----------------	-------------------------	---------------------	------------------------------

Bomba 2	60%	PARALELO	62%	SISTEMAS EN SERIE	60%
Bomba 3	63%				
Bomba 6	66%				
Bomba 8	59%				
Bomba recirculación	61%	N/A	61%		
Torre 1	57%	N/A	57%		

Tabla 5.85. Eficiencia total por sistema de agua secundaria / acería

### Agua CENK

Componente	Eficiencia (%)	Tipo de Sistema	Equivalente por sistema	Sistema equivalente	Eficiencia total del sistema
Bomba 3	60%	PARALELO	62%	SISTEMAS EN PARALELO	69%
Bomba 4	63%				
Bomba reservorio 5	73%	PARALELO	74%		
Bomba reservorio 6	76%				
Bóveda horno eléctrico	65%	PARALELO	63%		
Cuba	59%				
Cámara de sedimentación	60%				
Ducto primario	63%				
Conducto Móvil	62%				
Transformador	50%				
Central hidráulica	69%				
Bóveda horno cuchara	70%				
Central hidráulica horno cuchara	65%	N/A	76%		
Torres	76%				

Tabla 5.86. Eficiencia total por sistema de agua CENK / acería

**Agua AGA**

Componente	Eficiencia (%)	Tipo de Sistema	Equivalente por sistema	Sistema equivalente	Eficiencia total del sistema
Bomba 2	32%	N/A	32%	SISTEMAS EN SERIE	57%
Generador de oxígeno	69%	N/A	69%		
Torre 1	69%	N/A	69%		

Tabla 5.87. Eficiencia total por sistema de agua AGA / acería

## **CAPITULO 6. ANÁLISIS DE INTEGRIDAD EN LAS LÍNEAS TUBERÍAS**

### **6.1. INTRODUCCIÓN**

Las tuberías están sujetas a corrosión, es decir a la pérdida de material que va disminuyendo el espesor de la pared y que puede llegar a condiciones críticas. El espesor mínimo admisible de una tubería lo determina las normas API y el ASME según la aplicación y dependiendo de las características físicas y de los procedimientos de construcción.

El fin principal al evaluar la integridad de los sistemas de tuberías es precautelar la salud de los colaboradores que laboran en la planta, además de prevenir daños en los equipos que son usuarios de estos sistemas para su funcionamiento

Ya que es de relevancia el estado de los sistemas de transporte de fluidos nuestra inspección consistirá en realizar la medición de espesores por ultrasonido (UT) en las líneas de tubería de los diferentes sistemas de agua de ANDEC S.A.

de acuerdo a las especificaciones y recomendaciones del Código ASME Sección VIII, División 1 y 2.

## **6.2. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACIÓN DE LA INTEGRIDAD**

- Determinación del espesor teórico necesario de la tubería de acuerdo a condiciones operacionales actuales.
- Selección de cedula de tuberías.
- Determinación del espesor límite de retiro.
- Determinación del espesor límite de seguridad.
- Resumen de cálculos.
- Procedimiento de inspección.
- Inspección visual de las líneas de tuberías.
- Inspección por ultrasonido (UT).
- Tabulación de datos obtenidos.
- Determinación de la velocidad de desgaste en líneas de tuberías. (PEMEX) (Anexo E)
- Documentación de datos obtenidos.
- Conclusiones y recomendaciones. (Cap. 8 del presente trabajo)

## **6.3. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR TEÓRICO NECESARIO DE LA TUBERÍA DE ACUERDO A CONDICIONES OPERACIONALES ACTUALES**

Para la determinación del espesor teórico utilizaremos las condiciones más desfavorables operacionales actuales y la relación que es presentada en la norma ASME B31.3 para tuberías de proceso

**Fluido de servicio:** categoría D

$$t_d = \frac{P_o \cdot D_{ext}}{2 \cdot (S \cdot E + P_o \cdot Y)} + CA$$

**Para línea de agua del sistema primario – acería**

$$P_o = 6 \text{ bar} \approx 87 \text{ psi}$$

$$D_{e1} = 4 \text{ pulg}$$

$$D_{e2} = 6 \text{ pulg}$$

$$D_{e3} = 8 \text{ pulg}$$

$$T_d = 158 \text{ }^\circ\text{F} \text{ (Temperatura máxima de operación)}$$

$$S = 20000 \text{ psi} \text{ (Esfuerzo admisible a la temperatura)}$$

$$E = 0.7 \text{ (Factor adimensional de soldadura NONE)}$$

$$Y = 0.4 \text{ (Coeficiente de seguridad para material sometido a temperatura)}$$

$$CA = \frac{1}{8} \text{ pulg}$$

$$t_d = \frac{87 \text{ psi} * 4 \text{ pulg}}{2 \cdot (20000 \text{ psi} * 0,7 + 87 \text{ psi} * 0,4)} + \frac{1}{8} \text{ pulg}$$

$$t_d = 0,137 \text{ pulg}$$

Sistema	Pd (psi)	De (pulg)	Td (°F)	S (psig)	E (none)	Y (material)	td (pulg)	td (mm)
Agua primario	87	4	158	20000	0,7	0,4	0,137	3,490
		6					0,144	3,647
		8					0,150	3,805
Agua	87	4	158	20000	0,7	0,4	0,137	3,490

secundario		6					0,144	3,647
		8					0,150	3,805
Agua CENK	102	8	158	20000	0,7	0,4	0,154	3,913
		10					0,161	4,098
		14					0,176	4,467
		20					0,198	5,020
Agua tipo A	58	6	122	20000	0,7	0,4	0,137	3,490
		8					0,142	3,595
Agua tipo B	232	18	122	20000	0,7	0,4	0,273	6,938
	58	16					0,158	4,015

Tabla 6.88. Selección de cedula de las líneas de tubería y determinación de espesor remanente entre espesor de diseño y espesor comercial

### Selección de cédula de tuberías

<b>Sistema</b>	<b>De (pulg)</b>	<b>td (pulg)</b>	<b>tc (pulg)</b>	<b>SCH</b>	<b>t remanente (pulg)</b>
Agua primario	4	0,137	0,237	40	0,100
	6	0,144	0,28	40	0,136
	8	0,150	0,322	40	0,172
Agua secundario	4	0,137	0,237	40	0,100
	6	0,144	0,28	40	0,136
	8	0,150	0,322	40	0,172
Agua CENK	8	0,154	0,322	40	0,168
	10	0,161	0,25	40	0,089
	14	0,176	0,438	40	0,262
	20	0,198	0,593	40	0,395
Agua tipo A	6	0,137	0,28	40	0,143
	8	0,142	0,322	40	0,180
Agua tipo B	18	0,273	0,562	40	0,289
	16	0,158	0,5	40	0,342

Tabla 6.89. Selección de cedula de las líneas de tubería y determinación de espesor remanente entre espesor de diseño y espesor comercial

## 6.4. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR LÍMITE DE RETIRO

El espesor límite de retiro no puede ser menor al espesor calculado de diseño por lo tanto como el espesor calculado es menor al comercial, el espesor límite de retiro es el espesor calculado.

<b>Sistema</b>	<b>De (pulg)</b>	<b>tr (pulg)</b>
Agua primario	4	0,137
	6	0,144
	8	0,150
Agua secundario	4	0,137
	6	0,144
	8	0,150
Agua CENK	8	0,154
	10	0,161
	14	0,176
	20	0,198
Agua tipo A	6	0,137
	8	0,142
Agua tipo B	18	0,273
	16	0,158

Tabla 6.90. Espesores de retiro de las diferentes líneas de tubería

## 6.5. DETERMINACIÓN DEL ESPESOR LÍMITE DE SEGURIDAD

$$t_s = t_r + 0,020 \text{ pulg}$$

$$t_s = 0,137 \text{ pulg} + 0,020 \text{ pulg}$$

$$t_s = t_r + 0,020$$

Sistema	De (pulg)	tr (pulg)	ts (pulg)	tc (pulg)	Espesor remanente ts y tc (pulg)	Espesor remanente ts y tc (mm)
Agua primario	4	0,137	0,157	0,237	0,080	2,021
	6	0,144	0,164	0,28	0,116	2,956
	8	0,150	0,170	0,322	0,152	3,865
Agua secundario	4	0,137	0,157	0,237	0,080	2,021
	6	0,144	0,164	0,28	0,116	2,956
	8	0,150	0,170	0,322	0,152	3,865
Agua CENK	8	0,154	0,174	0,322	0,148	3,757
	10	0,161	0,181	0,25	0,069	1,744
	14	0,176	0,196	0,438	0,242	6,150
	20	0,198	0,218	0,593	0,375	9,534
Agua tipo A	6	0,137	0,157	0,28	0,123	3,113
	8	0,142	0,162	0,322	0,160	4,075
Agua tipo B	18	0,273	0,293	0,562	0,269	6,828
	16	0,158	0,178	0,5	0,322	8,1765

Tabla 6.91. Determinación de espesor de retiro y espesor remanente en relación con el espesor de seguridad

## 6.6. RESUMEN COMPARATIVO DE CÁLCULOS

Sistema	De (pulg)	ti (pulg)	ts (pulg)	tr (pulg)
---------	-----------	-----------	-----------	-----------

Agua primario	4	0,237	0,157	0,137
	6	0,28	0,164	0,144
	8	0,322	0,170	0,150
Agua secundario	4	0,237	0,157	0,137
	6	0,28	0,164	0,144
	8	0,322	0,170	0,150
Agua CENK	8	0,322	0,174	0,154
	10	0,25	0,181	0,161
	14	0,438	0,196	0,176
	20	0,593	0,218	0,198
Agua tipo A	6	0,28	0,157	0,137
	8	0,322	0,162	0,142
Agua tipo B	14	0,562	0,293	0,273
	6	0,5	0,178	0,158
	10			

Tabla 6.92. Resumen comparativo de cálculo de espesores

## 6.7. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN (CAYETANO, 2011)

**Inspección en servicio:** Es el tipo de inspección que se realiza a los componentes del circuito cuando este se encuentra en operación. Se limita a la exanimación visual externa de los elementos y cuando sea especificado también a la medición de espesores por ultrasonido a dichos elementos.

**Inspección fuera de servicio:** Es la inspección que se realiza a los componentes del circuito cuando este se encuentra fuera de operación. Comprende a la exanimación visual externa e interna cuando esto es posible y a la medición de espesores cuando esta es especificada

### 6.7.1.INSPECCIÓN VISUAL EXTERNA

En esta etapa se trata de visualizar las condiciones exteriores del circuito de tuberías considerando los siguientes ítems aplicables en las líneas a inspeccionar:

- Estado superficial de la tubería es decir corrosión externa.
- Condición de la soportaría.
- Condición de las conexiones bridadas.
- Condición de los instrumentos y/o tomas.
- Condición de las válvulas.
- Condición de estado que guarda el recubrimiento anticorrosivo.
- Condición del aislamiento térmico.
- Identificación de la pintura de acuerdo al tipo de fluido.
- Localización de reparaciones temporales (parches soldados, abrazaderas con neopreno).
- Identificación de grietas, poros socavados, y otras formas de deterioro similares.
- Detección de posibles zonas con erosión en las áreas o piezas donde se tengan inyección de inhibidores, neutralizantes, reactivos, agua de lavado aditivos etc., que pudieran causar un deterioro en la línea, para lo cual se medirán espesores, los niveles de medición se localizaran corriente abajo del punto de adición (en el sentido del flujo).
- Localización de corrosión exterior, presentando especial atención a las zonas que son propicias a este tipo de deterioro en líneas, como por ejemplo:
  - Los contruidos en material de acero al carbón que operan en rangos de temperatura de - 45 °C a 148 °C.
  - Los contruidos en material de acero inoxidable que operan en rangos de temperatura de - 18 °C a 177 °C.
  - Los que operan intermitentemente entre la temperatura ambiente y alta temperatura.

- Los que permanezcan fuera de operación durante largo tiempo.
- Los que se encuentran son signos de deterioro en la pintura o en el aislamiento.
- Se indica en el isométrico cualquier condición relevante, tales como fugas, corrosión, daños en aislamiento, pintura, conexiones, soportes, etc.

### **6.7.2.INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO (UT)**

Se efectúa la medición de espesores (solo para tubería de 2" y mayores) de acuerdo a lo siguiente:

- a) Define los elementos del circuito de tubería que estarán sujetos a medición de espesores.
- b) Prepara y calibra el equipo medidor de espesores a usar de acuerdo con el manual de operación correspondiente.
- c) Cuando sea especificado y las condiciones lo permitan, la distribución de puntos sujetos a medición de espesores a los componentes del circuito será de la manera siguiente:
  - Para tramos rectos: realizar como mínimo 8 mediciones repartidas en dos niveles de medición de 4 puntos espaciados cada uno 90° con respecto a otro, iniciando por la parte superior para tuberías horizontales o por el lado norte para tuberías verticales y siguiendo el sentido horario.
  - Para accesorios, las mediciones se harán como sigue:
    - Para codos 4 mediciones como mínimo.

- Para tees, 4 mediciones como mínimo.
- Para reducciones 4 mediciones como mínimo, de preferencia al centro (zona de transición) y espaciadas 90° una con respecto a la otra.

NOTA: El registro de medición de espesores debe contar con la información siguiente:

- Ubicación de los puntos de medición
- Espesores nominales (original) o anterior.
- Cálculo de velocidad de corrosión.

## 6.8. DATOS OBTENIDOS DE INSPECCIÓN

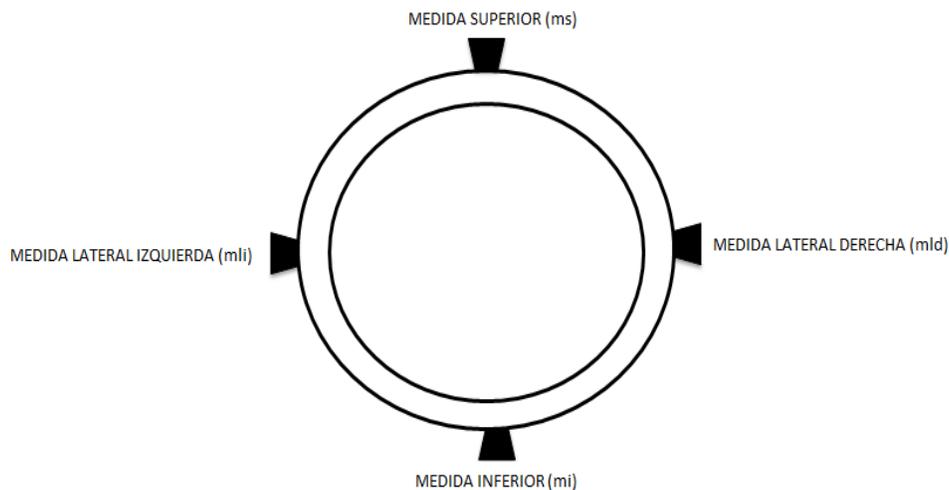


Figura 6.14. Posiciones del sensor para las mediciones de espesores con UT

### Tuberías de acería

Nota.- se realizara un ejemplo de cálculo en función a esta se presentara los resultados en una tabla general.

Punto 1: tubería agua primario / salida de bomba 1						
# medida	ms	mld	mi	mli		
1	6,25	6,75	6,40	6,45	6,00	φ nom (in)
2	6,26	6,73	6,45	6,43	7,112	tc (mm)
3	6,40	6,75	6,42	6,45	4,00	ts (mm)
4	6,30	6,76	6,35	6,43	3,49	tr (mm)
5	6,25	6,73	6,43	6,50		
<b>total</b>	6,29	6,74	6,41	6,45	6,47	total e (mm)

Tabla 6.93. Espesores medidos con UT y comparativos de espesor inicial (ti), espesor de seguridad (ts), espesor de retiro (tr)

TOMA DE ESPESORES EN LAS LINEAS DE ACERIA				
AGUA PRIMARIO ACERIA				
Punto de muestra	Espesor medido (mm)	tc (mm)	ts (mm)	tr (mm)
Punto 1: tubería agua primario / salida de bomba 1	6,47	7,11	4	3,49
Punto 2: tubería agua primario / salida de bomba 2	6,46	7,11	4	3,49
Punto 3: tubería agua primario / entrada a la torre 1	6,52	7,11	4	3,49
Punto 4: tubería agua primario / entrada de aspersores	6,14	7,11	4	3,49
Punto 5: tubería agua primario / entrada a la torre 2	7,75	8,18	4,5	3,6
Punto 6: tubería agua primario / tramo recto P1 retorno	6,59	7,11	4	3,49
Punto 7: tubería agua primario / tramo recto P2 retorno	6,8	7,11	4	3,49
Punto 8: tubería agua primario / tramo recto P1 salida	7,68	8,18	4,5	3,6
Punto 9: tubería agua primario / tramo recto P3 retorno	6,54	7,11	4	3,49
Punto 10: tubería agua primario	7,77	8,18	4,5	3,6

/ tramo recto P2 salida				
<b>AGUA SECUNDARIO ACERIA</b>				
Punto 1: tubería agua secundario/ salida bomba 1	6,22	7,11	4	3,49
Punto 2: tubería agua secundario/ manyful	7,01	7,11	4	3,49
Punto 3: tubería agua secundario/ tubo entrada filtro	6,83	7,11	4	3,49
Punto 4: tubería agua secundario/ reservorio	6,32	7,11	4	3,49
Punto 5: tubería agua secundario / salida aspersores tramo curvo	8,02	8,18	4,5	3,6
Punto 6: tubería agua tipo B / salida a los rodillos	6,45	7,11	4	3,49
<b>AGUA PLANTA CENK ACERIA</b>				
Punto 1: agua CENK / entrada horno cuchara	9,68	14,27	6,61	6,1
Punto 2: agua CENK / entrada horno eléctrico	10,53	14,27	6,61	6,1
Punto 3: agua CENK / entrada cámara de sedimentación	10,35	14,27	6,61	6,1
Punto 4: agua CENK / salida horno eléctrico	6,79	7,11	4	3,49
Punto 5: agua CENK / entrada ductos	6,48	7,11	4	3,49
Punto 6: agua CENK / salida ductos	8,88	14,27	6,61	6,1

Tabla 6.94. Espesores medios con UT y comparativos de espesor inicial (ti), espesor de seguridad (ts), espesor de retiro (tr) (RESUMEN – ACERÍA)

### Tuberías de Laminación

<b>TOMA DE ESPESORES EN LAS LÍNEAS DE LAMINACIÓN</b>				
<b>AGUA TIPO A</b>				
Punto de muestra	Espesor medido (mm)	tc (mm)	ts (mm)	tr (mm)
Punto 1: codo agua tipo A / salida de piscina	7,01	8,18	4,1	3,6
Punto 2: codo agua tipo A / entrada línea principal a planta	6,47	7,11	4	3,49
Punto 3: tubería agua tipo A / primer punto entrada línea principal a planta	6,64	7,11	4	3,49
Punto 4: tubería agua tipo A / segundo punto entrada línea principal a planta	6,76	7,11	4	3,49
Punto 5: tubería agua tipo A / tercer punto entrada línea principal a planta	6,69	7,11	4	3,49
Punto 6: tubería agua tipo A / cuarto punto entrada línea principal a planta	6,48	7,11	4	3,49
Punto 7: tubería agua tipo A / quinto punto salida línea principal a planta	6,55	7,11	4	3,49
Punto 8: tubería agua tipo A / sexto punto salida línea principal a planta	7,5	8,18	4,1	3,6
Punto 9: tubería agua tipo A / séptimo punto salida línea principal a planta	7,13	8,18	4,1	3,6
Punto 10: tubería agua tipo A / octavo punto salida línea principal a planta	7,88	8,18	4,1	3,6
Punto 10: tubería agua tipo A / salida línea principal entrada de piscinas	6,39	8,18	4,1	3,6
<b>AGUA TIPO B</b>				

Punto 1: tubería agua tipo B / salida bomba 1	10,59	14,27	6,61	6,1
Punto 2: tubería agua tipo B / salida bomba 4	10,19	14,27	6,61	6,1
Punto 3: tubería agua tipo B / succión bomba 4	10,82	14,27	6,61	6,1
Punto 4: tubería agua tipo B / succión bomba 2	10,52	14,27	6,61	6,1
Punto 5: tubería agua tipo B / descarga en bomba 3	10,35	14,27	6,61	6,1
Punto 6: tubería agua tipo B / entrada filtro de graba	6,79	7,11	4	3,49
Punto 7: codo agua tipo B / entrada filtro de graba	6,48	7,11	4	3,49
Punto 8: tubería agua tipo B / salida agua a piscina	8,88	14,27	6,61	6,1
Punto 9: tubería agua tipo B / retorno agua fosa	9,83	14,27	6,61	6,1
Punto 10: tubería agua tipo B / tramo recto entrada planta	8,46	14,27	6,61	6,1
Punto 11: codo agua tipo B / entrada fosa hidráulica	7,12	8,35	4,42	3,91
Punto 12: tubería agua tipo B / Tempcore	8,95	14,27	6,61	6,1
Punto 13: tubería agua tipo B / Central Danieli P1	6,39	7,11	4	3,49
Punto 14: tubería agua tipo B / Central Danieli P2	6,6	7,11	4	3,49

Tabla 6.95. Espesores medidos con UT y comparativos de espesor inicial (ti), espesor de seguridad (ts), espesor de retiro (tr) (RESUMEN – LAMINACIÓN)

## 6.9. CÁLCULO DE LA VELOCIDAD DE CORROSIÓN

$$V_C = \left( \frac{E_O - E_P}{T} \right)$$

<b>SISTEMA PRIMARIO</b> velocidad de corrosión (mm/año)			
<b>P1</b>	0,06	<b>P6</b>	0,05
<b>P2</b>	0,07	<b>P7</b>	0,03
<b>P3</b>	0,06	<b>P8</b>	0,05
<b>P4</b>	0,10	<b>P9</b>	0,06
<b>P5</b>	0,04	<b>P10</b>	0,04

Tabla 6.96. Velocidad de corrosión agua primario

<b>SISTEMA SECUNDARIO</b> velocidad de corrosión (mm/año)	
<b>P11</b>	0,09
<b>P12</b>	0,01
<b>P13</b>	0,03
<b>P14</b>	0,08
<b>P15</b>	0,02
<b>P16</b>	0,07

Tabla 6.97. Velocidad de corrosión agua secundario

<b>SISTEMA CENK</b> <b>velocidad de corrosión</b> <b>(mm/año)</b>	
<b>P17</b>	0,46
<b>P18</b>	0,37
<b>P19</b>	0,39
<b>P20</b>	0,03
<b>P21</b>	0,06
<b>P22</b>	0,54

Tabla 6.98. Velocidad de corrosión agua CENK

<b>SISTEMA AGUA TIPO A</b> <b>velocidad de corrosión (mm/año)</b>			
<b>P1</b>	0,12	<b>P6</b>	0,06
<b>P2</b>	0,06	<b>P7</b>	0,06
<b>P3</b>	0,05	<b>P8</b>	0,07
<b>P4</b>	0,04	<b>P9</b>	0,10
<b>P5</b>	0,04	<b>P10</b>	0,03
		<b>P11</b>	0,18

Tabla 6.99. Velocidad de corrosión agua tipo A

<b>SISTEMA AGUA TIPO B</b> <b>velocidad de corrosión (mm/año)</b>			
<b>P12</b>	0,37	<b>P19</b>	0,54
<b>P13</b>	0,41	<b>P20</b>	0,44
<b>P14</b>	0,35	<b>P21</b>	0,58
<b>P15</b>	0,38	<b>P22</b>	0,12
<b>P16</b>	0,39	<b>P23</b>	0,53
<b>P17</b>	0,03	<b>P24</b>	0,07
<b>P18</b>	0,06	<b>P25</b>	0,05

Tabla 6.100. Velocidad de corrosión agua tipo B

## **CAPITULO 7. ANÁLISIS ECONÓMICO**

En este análisis se determinó que, la mejor opción económica en referencia a la contratación de servicios de medición vs la adquisición de los equipos para la realización del presente trabajo es la compra de los equipos ya que en el Anexo # 6 adjuntamos las proformas realizados por tres empresas que con diferentes equipos realizan el trabajo de medición de los diferentes parámetros utilizados en el estudio realizado, además la empresa al comprar dichos equipos y las hojas electrónicas generadas para el mismo se puede realizar posteriores análisis de tal manera realizar un seguimiento para futuros proyectos de mejora en el funcionamiento de los diferentes sistemas analizados .

Se debe tomar en cuenta las calibraciones posteriores de los equipos ya que estos equipos ayudaran directamente en la adquisición de datos para la implantación de la norma ISO 50001 Gestión Energética en los sistemas de bombeo de agua de ANDEC.

### **7.1. DETALLE DE CONSUMOS Y COSTOS**

Para realizar la evaluación energética de ANDEC se debe tomar muy en cuenta los costos que genera la empresa para bombear agua a los equipos de producción del producto terminado y palanquilla.

Para realizar el consumo anual escogimos el valor máximo de consumo por mes que tomamos.

### Laminación

AGUA	CONSUMO ELÉCTRICO POR AÑO (KW)	CAUDAL REQUERIDO POR EL SISTEMA (m <sup>3</sup> /h)
Agua tipo A	456867,84	300
Agua tipo B	5697945,6	1200
TOTAL	6154813.44	1500

Tabla 7.101. Consumo eléctrico y de caudal sistema de aguas de laminación  
**Acería**

AGUA	CONSUMO ELÉCTRICO POR AÑO(KW)	CAUDAL REQUERIDO POR EL SISTEMA (m <sup>3</sup> /h)
Primario	1309308	330
Secundario	911620	80
CENK	2789637,6	1300
AGA	1175196	150
TOTAL	6185761,6	1860

Tabla 7.102. Consumo eléctrico y de caudal sistema de aguas de acería

## 7.2. COSTOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

Para realizar las mediciones se realizó la compra de los siguientes equipos de medición los cuales se detallan en la siguiente tabla.

EQUIPO	CANTIDAD	COSTO TOTAL (\$)
Caudalimetro Portable MICRONICS PF D550	1	7400
Anemómetro EXTECH 45158	1	450
Pirómetro RAYTEC ST	1	500

Amperímetro FLUKE 110	1	550
Caudalímetros fijos	5	2500
Sensores presión	5	250
Termocuplas	10	1000
Manómetro de presión	20	500
<b>TOTAL DE INVERSION</b>		<b>13150</b>

Tabla 7.103. Costo y cantidad de equipos adquiridos para el estudio

### 7.3. COSTOS DE DEPRECIACIÓN DE LOS EQUIPOS

Para realizar el análisis se establecen los siguientes parámetros de cálculo, el porcentaje de depreciación de los equipos de medición es del 30% anual y los años de vida útil son de 3 años lo que establece los estados financieros.

EQUIPO	Costo equipo (\$)	Porcentaje de depreciación anual (%)	Vida útil (año)	Depreciación por año (\$)	Depreciación a 3 años (\$)	Valor residual (\$)
<b>CAUDALIMETRO PORTATIL</b>	7400	30%	3	2220	6660	740
<b>ANEMOMETRO</b>	450	30%	3	135	405	45
<b>PIROMETRO</b>	500	30%	3	150	450	50
<b>AMPERIMETRO</b>	550	30%	3	165	495	55
<b>CAUDALIMETRO FIJO</b>	2500	30%	3	750	2250	250
<b>SENSORES DE PRESION</b>	250	30%	3	75	225	25
<b>TERMOCUPLAS</b>	1000	30%	3	300	900	100
<b>MANOMETROS PRESION</b>	500	30%	3	150	450	50
					<b>TOTAL</b>	<b>1315</b>

Tabla 7.104. Costo de depreciación de los equipos adquiridos

El valor a recuperar de la inversión inicial de estos equipos es de \$1315 por año después de su uso.

#### 7.4. COSTO TOTAL

Los costos totales de bombear agua a las diferentes maquinas son las siguientes:

##### Laminación

AGUA	CONSUMO ELÉCTRICO POR MES	CONSUMO ELÉCTRICO POR AÑO (KW)	COSTO ENERGIA (\$)	COSTO TOTAL POR AÑO (\$)
<b>Agua tipo A</b>	38072,32	456867,84	0,065	29696,41
<b>Agua tipo B</b>	474828,8	5697945,6	0,065	370366,46
<b>TOTAL</b>		6154813,44	0,13	400062,87

Tabla 7.105. Costo total del consumo energético de laminación por año

##### Acería

AGUA	CONSUMO ELÉCTRICO POR MES (KW)	CONSUMO ELÉCTRICO POR AÑO(KW)	COSTO ENERGIA (\$)	COSTO TOTAL (\$)
<b>Primario</b>	109109	1309308	0,065	85105,02
<b>Secundario</b>	75968,333333	911620	0,065	59255,3
<b>CENK</b>	232469,8	2789637,6	0,065	181326,444
<b>AGA</b>	97933	1175196	0,065	76387,74
<b>TOTAL</b>		5010565.6		325686,764

Tabla 7.106. Costo total del consumo energético de acería por año

Estos son los costos de transportar agua para los sistemas de refrigeración de ANDEC, estos valores se pueden mejorar de acuerdo a las mejoras que se realicen, las cuales serán especificadas en las conclusiones y recomendaciones.

## **7.5. COSTO DE EVALUACIÓN**

Para realizar una evaluación como la que se ha realizado en el presente trabajo se invierten recursos en la medición de parámetros y análisis de los mismo, en el análisis no se toman en cuenta los recursos invertidos en el pago de los autores de este documento ya que el tema es planteado para saber el costo del consumo que tiene la empresa y así en base a ello tomar medidas para futuros proyectos en la gerencia de mantenimiento.

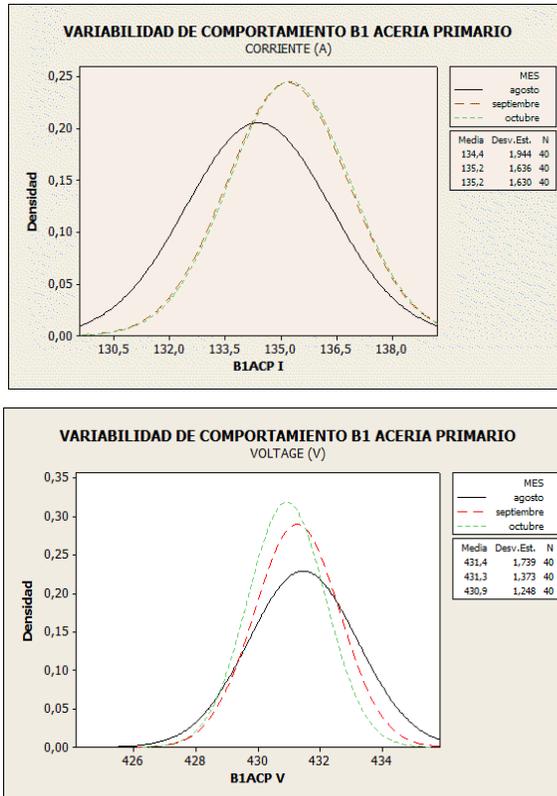
Para nuestro estudio simplemente hemos adquiridos los equipos de medición necesarios, los cuales nos ayudaron a realizar nuestra evaluación energética.

## **CAPITULO 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **8.1. CONCLUSIONES**

1. En un conjunto los sistemas más eficientes son los de acería con un 68% de eficiencia global vs un 65% que poseen los sistemas de laminación, ya que por la importancia en de su uso en las líneas de producción y la alta confiabilidad que deben poseer los sistemas ya que se han ido paulatinamente mejorando las bombas.
2. El 96% de las líneas de tuberías de la empresa se encuentran en el rango establecido de funcionamiento, el 4% restante son tramos aislados los cuales están sometidos a condiciones adversas como extrema humedad muy cercanos a las torres de enfriamiento los mismos que se debe planificar su cambio.
3. La recolección de datos muestran una variabilidad en el comportamiento ya sean estos eléctrico o hidráulicos, esto es función de los requerimientos de cada sistema de bombeo en el tiempo, instrumentación utilizada y su funcionamiento en los diferentes

productos que se esté fabricando, por lo que se realizó un promedio que plasma un comportamiento de cada sistema de acuerdo al requerimiento del usuario encada proceso analizado.



4. El sistema con menor eficiencia es de agua tipo B en Laminación con un 61% de eficiencia en el funcionamiento, y el sistema con mayor eficiencia es el sistema de agua tipo B Tempcore con un 73% de eficiencia.
5. El costo por movimiento de agua como sistemas refrigerantes de los equipos de ANDEC S.A. equivale a un 7% del consumo eléctrico global de la planta.
6. El cálculo realizado de las eficiencias en los sistemas depende directamente de los tiempos de para ya que los equipos no mantienen la misma carga con respecto al fluido movilizado.

7. Se encontró muy poca información para el análisis geométrico de las líneas de agua, por los recurrentes cambios y mejoras en los sistemas de refrigeración.

## **8.2 RECOMENDACIONES**

1. Cambio en su totalidad del sistema de bombeo de agua Tipo A., por dos bombas con un caudal de 300 m<sup>3</sup> y un cabezal de presión de 80m, con esta medida se estima un ahorro del 25% de consumo energético en este sistema.
2. Extensión de la línea de agua tipo A con tubería metálica, con ello se mejorará el transporte del fluido en la caja 20 y 21 del área de laminación, además con esto se mejorará la presión requerida por el equipo de enfriamiento.
3. Independizar el sistema de enfriamiento del horno BURBU para mejorar tiempos de mantenimiento en sistemas de refrigeración.
4. Ya que el sistema de mayor consumo es el del agua tipo B., de laminación se recomienda colocar en este un sistema de variadores de velocidad a las 10 bombas que componen el sistema.
5. Mejorar la calidad de agua de los sistemas de bombeo y realizar una limpieza programada, además de la aplicación del tratamiento químico recomendado por el proveedor.

## BIBLIOGRAFÍA

- Cayetano, A. S. (2011). Inspección por ultrasonido industrial a equipo estático (tuberías). Coahuila de Zaragoza - México: Universidad Veracruzana.
- Fox R.W. y McDonald A.T. Introducción a la Mecánica de Fluidos. 2da. Ed. S.L. 1995
- Frank P Autor Incropera y David P. Autor Dewitt, Fundamento de transferencia de calor , 4ta ed, 1999, Prentice Hall de México.
- Mataix, Claudio. Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. 2da ed. México. HARLA. 1982
- Occidente, G. d.-U. (s.f.). *Evaluación de torres de enfriamiento*. Colombia.
- PEMEX. (s.f.). *Evaluación mecánica de las tuberías de proceso y recipientes a presión en instalaciones marinas*. pág. 12-15.
- Pdf, "EVALUACIÓN DE TORRES DE ENFRIAMIENTO" elaborado por el grupo de gestión de eficiencia de la energía - Universidad del Atlántico – Universidad Autónoma del Occidente, Colombia.
- El cálculo de la Confiabilidad: por Luis Hernando Palacio Palacio, Argos/ Planta Nare. Tomado de: <http://confiabilidad.net/articulos/el-calculo-de-la-confiabilidad/>
- Streeter V.L. et al. Mecánica de Fluidos. 9na ed. S.L. Mc Graw Hill. 1999
- Yunus A. Çengel, **Termodinámica** , 6 ed, 2009, McGraw-Hill Interamericana de España S.L
- [www.andecsa.com](http://www.andecsa.com). (s.f.).

# ANEXOS