

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIO DE ELONGACIONES PRODUCIDAS EN LÍNEAS CONDUCTORAS DE VAPOR A  
DISTINTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS EN EL PROYECTO DE COGENERACIÓN DEL  
INGENIO MADRE TIERRA SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central**

**POR**

**EDDIN MAURICIO PRERA VENTURA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**MAYO DE 1997**

08  
T(3943)  
C.4

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de tesis titulado:

### **ESTUDIO DE ELONGACIONES PRODUCIDAS EN LÍNEAS CONDUCTORAS DE VAPOR A DISTINTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS EN EL PROYECTO DE COGENERACIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA SANTA LUCIA COTZUMANGUAPA**

Tema que me fuera aceptado por la coordinación de la Escuela de Ingeniería  
Mecánica con fecha 18 de abril de 1997.

**EDDIN MAURICIO PRERA VENTURA**

# UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

## FACULTAD DE INGENIERIA



### MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. HERBERT RENÈ MIRANDA BARRIOS.
VOCAL PRIMERO	ING. MIGUEL ANGEL SÀNCHEZ GUERRA.
VOCAL SEGUNDO	ING. JACK DOUGLAS IBARRA.
VOCAL TERCERO	ING. JUAN ADOLFO ECHEVERRÌA MÈNDEZ.
VOCAL CUARTO	BR. VÌCTOR RAFAEL LOBOS ALDANA.
VOCAL QUINTO	BR. WAGNER LÒPEZ CÀCERES.
SECRETARIO	ING Y LICDA. GILDA MARINA CASTELLANOS DE ILLESCAS.

### TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK.
EXAMINADOR	ING. JORGE CHILO SIGUERE R.
EXAMINADOR	ING. CARLOS ALBERTO FIGUEROA.
EXAMINADOR	ING. LUIS ANTONIO TELLO CASTRO.
SECRETARIO	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LÒPEZ

Guatemala  
22 de Julio de 1996

Ingeniero  
Jorge Siguere  
Director de Escuela  
de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad San Carlos de Guatemala  
Guatemala

Señor Director:

Por medio de la presente hago constar que tuve a la vista la Tesis denominada ESTUDIO DE ELONGACIONES PRODUCIDAS EN LÍNEAS CONDUCTORAS DE VAPOR, A DISTINTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS, EN EL INGENIO MADRE TIERRA SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, elaborada por el estudiante Eddin Mauricio Prera Ventura.

Durante este período se asesoró al estudiante, revisándose e indicándosele las correcciones pertinentes que debían hacerse al trabajo de tesis en mención.

Por lo anterior expuesto, doy mi aprobación del trabajo realizado, haciéndome responsable conjuntamente con el señor Prera del contenido de esta tesis.

Atentamente

  
Ing. Erick E. Cáceres C.  
Colegiado No. 4,127



FACULTAD DE INGENIERIA  
Unidad de Prácticas de Ingeniería  
Ejercicio Profesional Supervisado  
E.P.S.

Ciudad Universitaria, Zona 12  
01012 Guatemala, Centroamérica

REF.EPS.C.017.97

Guatemala, 30 de enero de 1,997

Señor  
Ing. Carlos H. Pérez  
Director de la Escuela  
de Ingeniería Mecánica  
Presente

Señor Director:

Por este medio envío a usted, el Informe Final correspondiente a la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.) titulado **ESTUDIO DE ELONGACIONES PRODUCIDAS EN LINEAS CONDUCTORAS DE VAPOR A DISTINTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS EN EL PROYECTO DE COGENERACION DEL INGENIO MADRE TIERRA SANTA LUCIA, COTZU MALGUAPA.**

Este trabajo, lo desarrolló el estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, **EDDIN MAURICIO PRERA VENTURA**, quien fue debidamente asesorado por el Ingeniero Erick E. Cáceres, y supervisado por el Ingeniero Luis Antonio Tello Castro.

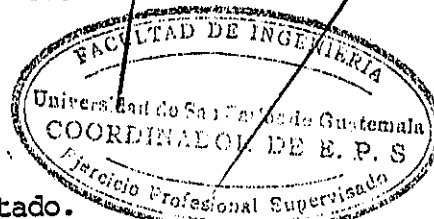
Por lo que, habiendo cumplido con los Objetivos y los requisitos de Ley del referido trabajo, y existiendo la **APROBACION** del mismo por parte del Asesor y Supervisor, esta **COORDINACION** también **APRUEBA** su contenido; solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me suscribo de usted, como su más atento y seguro servidor.

Muy Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

ING. JUAN MERCK COS  
COORDINADOR DE E.P.S.



JMC/lgg.

c.c.: Archivo

Anexo: El Informe Final citado.



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela Técnica, Ingeniería en Sistemas, Ingeniería Electrónica y Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

Apartado Postal 217-1-01-907, Guatemala  
Ciudad Universitaria, Zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador de E. P. S. al trabajo de tesis titulado ESTUDIO DE ELONGACIONES PRODUCIDAS EN LINEAS CONDUCTORAS DE VAPOR A DISTINTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS EN EL PROYECTO DE COGENERACION DEL INGENIO MADRE TIERRA SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, desarrollado por el estudiante EDDIN MAURICIO PRERA VENTURA, procede a la autorización del mismo.

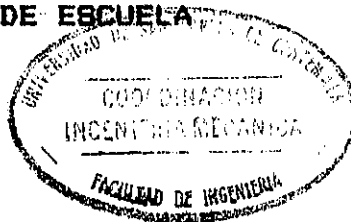
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

DIRECTOR DE ESCUELA

Guatemala, abril de 1, 997

/behdei





**FACULTAD DE INGENIERIA**

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería  
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,  
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica  
y Regional de Post-grado de Ingeniería  
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12  
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, al trabajo de tesis titulado Estudio de Elongaciones Producidas en Líneas Conductoras de Vapor a Distintas Presiones y Temperaturas en el Proyecto de Cogeneración del Ingenio Madre Tierra Santa Lucia Cotzumalguapa, presentado por el estudiante universitario Eddin Mauricio Prera Ventura, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE

ING. HERBERT RENE MIRANDA BARRIOS  
DECANO

Guatemala, mayo de 1,997.



## QUIERO AGRADECER

A DIOS TODOPODEROSO por permitirme llegar a este momento de gran importancia en mi vida.

Al ingeniero Alejandro Ponciano por la forma desinteresada con que me ayudó y apoyó en la elaboración de ésta tesis de graduación.

Al ingeniero Erick Cáceres por haber prestado su asesoría y profesionalismo al presente estudio de tesis.



**DEDICO ESTE ACTO DE GRADUACIÓN Y TESIS A:**

**MI MADRE:**

**PRÀXEDES VENTURA DE PRERA**

Por todo el apoyo que me brindó durante el desarrollo de mi carrera universitaria y la elaboración de ésta tesis.

**MIS HERMANAS:**

**IRAIDA SURAMA  
DELIA MARINA Y  
MARÌA DEL ROSARIO**

Quienes me brindaron su apoyo incondicional en todo momento.

**MIS AMIGOS:**

**TODOS ELLOS**

Por el apoyo brindado.

# ÍNDICE GENERAL

Listado de ilustraciones.....	V
Simbología, notas y abreviaturas utilizadas.....	IX
Glosario.....	XIII
Introducción.....	XVII
<b>1. GENERALIDADES</b>	
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos del proyecto de cogeneración del Ingenio Madre Tierra.....	1
1.3 Breve descripción del Ingenio Madre Tierra.....	1
1.4 Monografía del lugar.....	4
1.5 Organización del Ingenio.....	7
1.6 Justificación del montaje del nuevo proyecto de cogeneración.....	8
<b>2. FUNDAMENTOS NECESARIOS RESPECTO A LÍNEAS DE VAPOR</b>	
2.1 Introducción.....	9
2.2 Materiales que se utilizan en la manufactura de tuberías que conducen vapor.....	9
2.2.1 Selección de tubería según las condiciones de operación .....	9
2.2.2 Tubos de acero al carbono.....	10
2.2.3 Tubos de acero al Carbono-Molibdeno.....	10
2.2.4 Tubos de acero al Cromo-Molibdeno.....	10
2.2.5 Fatigas admisibles en las tuberías.....	11
2.3 Descripción de fundamentos utilizados en el diseño de líneas que conducen vapor.....	15
2.3.1 Soportes de las tuberías.....	15
2.3.2 Distancia entre soportes.....	17
2.3.3 Especificaciones de utilización de curvas y omegas para el diseño de líneas de vapor.....	20
2.3.3.1 Curva de 90 °.....	22
2.3.3.2 Curva en Z.....	23
2.3.3.3 Omegas.....	24
2.4 Cambios que sufren las tuberías de vapor a distintas presiones y temperaturas.....	25
2.4.1 Dilatación de tuberías.....	25
2.4.2 Juntas y curvas de dilatación.....	25
2.5 Otros aspectos fundamentales sobre líneas de vapor.....	29
2.5.1 Aislamiento de tuberías.....	29
2.5.2 Diagrama de proceso del proyecto de Cogeneración del Ingenio Madre Tierra.....	31

<b>3.</b>	<b>ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE TODOS LOS COMPONENTES QUE CONFORMAN LAS LÍNEAS DE VAPOR DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN</b>	
3.1	Introducción.....	35
3.2	Tipo de tubería a utilizar en cada línea.....	35
3.3	Tipos de soportes o zapatas móviles.....	36
3.4	Tipos de soportes fijos o cargadores.....	42
3.5	Fotografías de las líneas de vapor del proyecto de cogeneración..	48
<b>4.</b>	<b>PLANOS DEL DISEÑO GENERAL DE LAS LÍNEAS DE VAPOR MONTADAS EN EL PROYECTO DE COGENERACIÓN</b>	
4.1	Introducción.....	50
4.2	Ilustración de los planos del diseño realizados por Arkel International Inc.....	50
4.3	Explicación de los detalles confusos para mejor comprensión de los planos.....	51
<b>5.</b>	<b>PLANOS DE LAS LÍNEAS DE VAPOR A ESTUDIAR EN FORMA INDIVIDUAL</b>	
5.1	Introducción.....	59
5.2	Ilustración de planos de las líneas de vapor por individual tanto de planta como elevación.....	59
5.3	Explicación de detalles de los planos que puedan generar confusiones.....	60
<b>6.</b>	<b>TEORÍA DE FÓRMULAS EXISTENTES EN NUESTRO MEDIO PARA EL CÁLCULO DE ELONGACIONES DE TUBERÍA SOMETIDAS A UN CAMBIO DE TEMPERATURA.</b>	
6.1	Introducción.....	77
6.2	Especificaciones teóricas de la fórmula de Holborn y Day.....	77
6.2.1	Fórmula de Holborn y Day citada por G.A. Gaffert en Centrales de Vapor.....	78
6.2.2	Fórmula de Holborn y Day citada por el Manual del Ingeniero Mecánico de Marks.....	79
6.3	Especificaciones teóricas de la fórmula de dilataciones térmicas que se proporciona en Resistencia de Materiales.....	80

<b>7.</b>	<b>PUBLICACIÓN DE TABLAS DE ELONGACIONES PARA DISTINTOS TIPOS DE ACEROS EN LÍNEAS DE VAPOR TANTO DE EMPRESAS COMO DE FUENTES CONFIABLES EN NUESTRO MEDIO</b>	
7.1	Introducción.....	81
7.2	Dilatación térmica de distintos metales sometidos a cambios de temperatura citados por el Manual del Ingeniero Mecánico de Marks.....	81
7.3	Elongaciones para distintos materiales en líneas de vapor proporcionados por empresas que se dedican a ese ramo.....	82
7.4	Otras elongaciones importantes citadas por fuentes confiables....	83
<b>8.</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA MÁS EXACTA PARA EL CÁLCULO DE ELONGACIONES</b>	
8.1	Introducción.....	84
8.2	Cálculo de un tramo de tubería con referencia a los datos poseídos por las tablas y fórmulas de fuentes o empresas confiables.....	84
8.2.1	Cálculos de la elongación del tramo No. 8 de la tubería 10"-ST-125-D2, ASTM A-335, Cromo-Molibdeno, vapor vivo de alimentación de la turbina del turbogenerador 15 MW con las fórmulas existentes en nuestro medio.....	84
8.2.1.1	Cálculos con fórmula de Holborn y Day.....	84
8.2.1.2	Cálculos con la fórmula de Resistencia de Materiales.....	85
8.2.2	Cálculos de las elongaciones del tramo No. 8 de la tubería 10"-ST-125-D2, ASTM A-335, Cromo-Molibdeno, vapor vivo de alimentación de la turbina del turbogenerador de 15 MW con las tablas citadas en el capítulo No. 7.....	86
8.2.2.1	Cálculos con la tabla de Dilatación Térmica citada en el Manual del Ingeniero Mecánico de Marks.....	86
8.2.2.2	Cálculos con la tabla de expansiones lineales en tuberías de líneas de vapor para distintos metales del catálogo No. 60 de Válvulas y fittings de Crane.....	87
8.3	Comparaciones del cálculo de elongaciones entre fórmulas poseídas y tablas de fuentes y empresas confiables.....	88
8.4	Determinación de la fórmula más exacta, y recomendaciones para su utilización y confiabilidad.....	88

<b>9.</b>	<b>CÁLCULOS DE LAS ELONGACIONES DE LAS LÍNEAS DE VAPOR DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN REALIZADOS CON LA FORMULA DE HOLBORN Y DAY DEL MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO DE MARKS</b>	
9.1	Introducción.....	89
9.2	Cálculos.....	89
<b>10.</b>	<b>COMPARACIÓN GRÁFICA DE LA DEFORMACIÓN FINAL DE LAS LÍNEAS DE VAPOR CON RESPECTO A LA INICIAL POR MEDIO DE PLANOS</b>	
10.1	Introducción.....	97
10.2	Planos que muestran las deformaciones obtenidas en las líneas de vapor al someterlas a condiciones de trabajo.....	97
10.3	Discusión de aspectos con relevancia notados en el comportamiento de las líneas de vapor al estar sometidas a las condiciones de trabajo.....	98
	Conclusiones.....	XIX
	Recomendaciones.....	XX
	Bibliografía.....	XXI

# LISTADO DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

Figura No. 1: Tipos de soportes.....	16
Figura No. 2: Otros tipos de soportes.....	17
Figura No. 3: Otros tipos de soportes.....	17
Figura No. 4: Tipos de liras y curvas de dilatación.....	25
Figura No. 5: Tipos de juntas de dilatación.....	27
Figura No. 6: Junta de Manguito prensaestopas.....	28
Figura No. 7: Junta para movimientos laterales.....	28
Figura No. 8: Otros tipos de juntas de dilatación.....	28
Figura No. 9: Anclaje tipo BEA.....	36
Figura No.10: Anclaje tipo BES.....	37
Figura No.11: Anclaje tipo D.L.....	37
Figura No.12: Soporte tipo RS 1.....	38
Figura No.13: Zapata móvil tipo GH-1.....	38
Figura No.14: Zapata móvil tipo GH-2.....	39
Figura No.15: Zapata móvil tipo SH-1.....	39
Figura No.16: Zapata móvil tipo SH-2.....	40
Figura No.17: Zapata móvil tipo SH-3.....	40
Figura No.18: Zapata móvil tipo ST-1.....	41
Figura No.19: Zapata móvil tipo ST-2.....	41
Figura No.20: Soporte tipo PS-1A y PS-1B.....	42
Figura No.21: Soporte tipo PS-1C.....	42
Figura No.22: Soporte tipo PS-2.....	43
Figura No.23: Soporte tipo PS-3.....	43
Figura No.24: Soporte tipo PS-4.....	44
Figura No.25: Soporte tipo PS-5.....	44
Figura No.26: Soporte tipo PS-6.....	45
Figura No.27: Soporte tipo PS-7.....	45
Figura No.28: Soporte tipo PS-8.....	46
Figura No.29: Soporte tipo PS-9.....	46
Figura No.30: Soporte tipo PS-10A.....	47
Figura No.31: Soporte tipo PS-10B.....	47

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 Biblioteca Central

## TABLAS

Tabla No. 1 Aleación de Cromo-Molibdeno a utilizar según la temperatura de operación.....	10
Tabla No. 2: Fatigas admisibles en tuberías.....	12
Tabla No. 3: Grueso de pared (en mm) de tubos de acero sin costura..	13
Tabla No. 4: Comparación de tubos exigidos por las normas de Tuberías.....	14
Tabla No. 5: Distancia Max.entre soportes para tubería llena de agua.	19

<b>Tabla No. 6:</b>	<b>Elongamiento de tuberías de acero según la Ricwil Piping</b>	<b>21</b>
<b>Tabla No. 7:</b>	<b>Distancia entre zapatas guías para curvas a 90 °</b>	<b>22</b>
<b>Tabla No. 8:</b>	<b>Distancia entre zapatas guías para curvas en Z</b>	<b>23</b>
<b>Tabla No. 9:</b>	<b>Dimensiones para omegas</b>	<b>24</b>
<b>Tabla No.10:</b>	<b>Especificaciones y dimensiones de liras y curvas de dilatación</b>	<b>26</b>
<b>Tabla No.11:</b>	<b>Espesores de aislamientos recomendados para tuberías</b>	<b>30</b>
<b>Tabla No.12:</b>	<b>Equipo y aislamiento de placas</b>	<b>30</b>
<b>Tabla No.13:</b>	<b>Coefficiente de dilatación térmica para fórmula de Holborn y Day sist. métrico</b>	<b>78</b>
<b>Tabla No.14:</b>	<b>Coefficiente de dilatación térmica para fórmula de Holborn y Day sist. Inglés</b>	<b>79</b>
<b>Tabla No.15:</b>	<b>Coefficiente de dilatación térmica para fórmula de Resistencia de Materiales</b>	<b>80</b>
<b>Tabla No.16:</b>	<b>Dilatación térmica lineal que sufren distintos metales</b>	<b>81</b>
<b>Tabla No.17:</b>	<b>Elongamiento de tubería de acero según la Ricwil Piping</b>	<b>82</b>
<b>Tabla No.18:</b>	<b>Expansión lineal de tuberías de líneas de vapor</b>	<b>83</b>
<b>Tabla No.19:</b>	<b>Cálculos de elongaciones de la tubería 10"-LS-106-D1</b>	<b>89</b>
<b>Tabla No.20:</b>	<b>Cálculos de elongaciones de la tubería 12"-LS-107-D</b>	<b>90</b>
<b>Tabla No.21:</b>	<b>Cálculos de elongaciones de la tubería 20"-EXS-108-D</b>	<b>91</b>
<b>Tabla No.22:</b>	<b>Cálculos de elongaciones de la tubería 10"-ST-125-D2</b>	<b>92</b>
<b>Tabla No.23:</b>	<b>Cálculos de elongaciones de la tubería 4"-ST3-44.1-D</b>	<b>93</b>
<b>Tabla No.24:</b>	<b>Cálculos de elongaciones de la tubería 6"-ST7-44.2-M</b>	<b>94</b>
<b>Tabla No.25:</b>	<b>Cálculos de elongaciones de la tubería 8"-ST11-44.3-D</b>	<b>95</b>
<b>Tabla No.26:</b>	<b>Cálculos de elongaciones de la tubería 12"-ST14-44.4-D</b>	<b>96</b>

## PLANOS

<b>Plano No. 1:</b>	<b>Líneas de vapor y agua. Área de calderas No. 5 y No. 7</b>	<b>52</b>
<b>Plano No. 2:</b>	<b>Calentadores, deareador y líneas de vapor de calderas No. 5 y No. 7</b>	<b>53</b>
<b>Plano No. 3:</b>	<b>Líneas de vapor con las cuales opera el turbogenerador de 5 MW</b>	<b>54</b>
<b>Plano No. 4:</b>	<b>Líneas de vapor y condensados con las cuales opera el turbogenerador de 15 MW</b>	<b>55</b>
<b>Plano No. 5:</b>	<b>Componentes del sistema que se ubican en el edificio de calderas</b>	<b>56</b>
<b>Plano No. 6:</b>	<b>Líneas de vapor y condensados que entran y salen del edificio de calderas</b>	<b>57</b>
<b>Plano No. 7:</b>	<b>Líneas de vapor y condensados que entran y salen del edificio de turbogeneradores</b>	<b>58</b>
<b>Planos No.8 y 9:</b>	<b>Tubería 10"-LS-106-D1</b>	<b>61</b>
<b>Plano No.10 y11:</b>	<b>Tubería 12"-LS-107-D</b>	<b>63</b>
<b>Plano No.12 y 13:</b>	<b>Tubería 20"-EXS-108-D</b>	<b>65</b>

<b>Plano No.14 y 15:</b>	<b>Tubería 10"-ST-125-D2.....</b>	<b>67</b>
<b>Plano No.16 y 17:</b>	<b>Tubería 4"-ST3-44.1-D.....</b>	<b>69</b>
<b>Plano No.18 y 19:</b>	<b>Tubería 6"-ST7-44.2-M.....</b>	<b>71</b>
<b>Plano No.20 y 21:</b>	<b>Tubería 8"-ST11-44.3-D.....</b>	<b>73</b>
<b>Plano No.22 y 23:</b>	<b>Tubería 12"-ST14-44.4-D.....</b>	<b>75</b>
<b>Plano No.24:</b>	<b>Comparación de elongamientos de la tubería 10"-LS-106-D1</b>	<b>99</b>
<b>Plano No.25:</b>	<b>Comparación de elongamientos de la tubería 12"-LS-107-D</b>	<b>100</b>
<b>Plano No.26:</b>	<b>Comparación de elongamientos de la tubería 20"-EXS-108-D</b>	<b>101</b>
<b>Plano No.27:</b>	<b>Comparación de elongamientos de la tubería 10"-ST-125-D2</b>	<b>102</b>
<b>Plano No.28:</b>	<b>Comparación de elongamientos de la tubería 4"-ST3-44.1-D</b>	<b>103</b>
<b>Plano No.29:</b>	<b>Comparación de elongamientos de la tubería 6"-ST7-44.2-M</b>	<b>104</b>
<b>Plano No.30:</b>	<b>Comparación de elongamientos de la tubería 8"-ST11-44.3-D</b>	<b>105</b>
<b>Plano No.31:</b>	<b>Comparación de elongamientos de la tubería 12"-ST14-44.4-D</b>	<b>106</b>

## **MAPAS**

<b>Mapa No.1:</b>	<b>Localización del Depto. de Escuintla ante el país.....</b>	<b>4</b>
<b>Mapa No.2:</b>	<b>Localización del Ingenio Madre Tierra en el departamento de Escuintla.....</b>	<b>5</b>
<b>Mapa No.3:</b>	<b>Distribución del Ingenio Madre Tierra.....</b>	<b>6</b>

## **ORGANIGRAMAS**

<b>Organigrama No.1:</b>	<b>Organización del Ingenio Madre Tierra.....</b>	<b>7</b>
--------------------------	---	----------

## **GRÁFICAS**

<b>Gráfica No.1:</b>	<b>Corrección para cifras de presión para temperaturas distintas de 400 °C.....</b>	<b>14</b>
<b>Gráfica No.2:</b>	<b>Esfuerzo de flexión para tubería llena de agua según distancia entre soportes.....</b>	<b>18</b>
<b>Gráfica No.3:</b>	<b>Esfuerzo de flexión para tuberías vacías según distancia entre soportes.....</b>	<b>19</b>

## **ESQUEMAS**

<b>Esquema No.1:</b>	<b>Distancia entre zapatas guías para curva a 90 °....</b>	<b>22</b>
<b>Esquema No.2:</b>	<b>Distancia entre zapatas guías para curva en Z.....</b>	<b>23</b>
<b>Esquema No.3:</b>	<b>Dimensiones de omegas.....</b>	<b>24</b>



## **DIAGRAMAS**

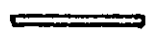




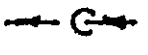
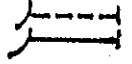




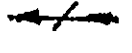

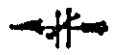

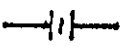
<b>Diagrama No.1:</b>	<b>Proceso de operación de caldera No. 6 y Turbo- generador de 5 MW.....</b>	<b>32</b>
<b>Diagrama No.2:</b>	<b>Proceso de operación de calderas No.5 y No. 7 con Turbogenerador de 15 MW.....</b>	<b>33</b>
<b>Diagrama No.3:</b>	<b>Proceso de calentamiento e inyección de agua de alimentación calderas No. 5 y No. 7.....</b>	<b>34</b>

## **FOTOGRAFÍAS**

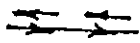
<b>Fotografía No.1:</b>	<b>Omegas de líneas de vapor vistas desde planta.....</b>	<b>48</b>
<b>Fotografía No.2:</b>	<b>Omegas de líneas de vapor (vista este).....</b>	<b>48</b>
<b>Fotografía No.3:</b>	<b>Soportes y zapatas móviles que forman parte del diseño de las líneas de vapor.....</b>	<b>49</b>
<b>Fotografía No.4:</b>	<b>Otros soportes utilizados en el diseño de las líneas de vapor.....</b>	<b>49</b>

# SIMBOLOGÍA, NOTAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

## SIMBOLOGÍA

	PS = Pipe support = SOPORTE DE TUBERÍA que puede ser PS-1A, PS-1B, PS-1C, PS-2, PS-3, PS-4, PS-5, PS-6, PS-7, PS-8, PS-9, PS-10A, PS-10B (soporte fijo o cargador se simboliza igual pero puede ser cualquiera de todos).
	OTRAS LÍNEAS EXISTENTES.
	SP = Supports = Soportes con muelle o resorte para compensar los movimientos de la tubería. Pueden ser también SH que son tensores móviles que cargan la tubería ya sea con resorte o sin él.
	DRIP LEG.
	TUBERÍA QUE BAJA.
	TUBERÍA QUE SUBE.
	DL = Dummy Leg = pierna falsa; cargadores en codos.
	VÁLVULA DE CHEQUE.
	VÁLVULA DE PIE.
	REDUCCIONES EXCÉNTRICAS.
	REDUCCIONES CONCÉNTRICAS.
	SH = Slide Hanger = Colgador (zapata que permite el libre movimiento de la tubería)
	GH = Guide = Guía con tope (zapata que permite solamente el desplazamiento longitudinal de la tubería)
	ST = Stop = Tope (zapata que permite solamente el movimiento transversal de la tubería)
	ST con GH ( Ancla la tubería y no permite su movimiento hacia ninguna dirección).
	FE = Flow element = Elemento de Flujo.





Significa que el flujo recorre ambas direcciones por la misma elevación en tuberías diferentes.

- ° F Medición de temperatura (grados Fahrenheit).
- ° C Medición de temperatura (grados centígrados).
- tm Espesor mínimo de pared en cm.
- P Presión en lb/plg<sup>2</sup> ó kg/cm<sup>2</sup>.
- d Diámetro interior de la tubería en plg.
- S Fatiga admisible del material.
- C Tolerancia por corrosión y esfuerzos mecánicos.
- W Peso (cuando se utiliza en fórmulas).
- I Distancia lineal en metros o pies.
- Sm Módulo de sección.
- $\phi$  Diámetro nominal de la tubería.
- W Viga ancha (cuando se utiliza en planos o dibujos).
- WT Viga ancha T.
- Lt Longitud total.
- Lo Longitud inicial.
- $\Delta t$  Diferencia o cambio de temperaturas.
- a, b Constantes de dilatación (fórmula de Holborn y Day).
- $\epsilon t$  Deformación térmica (fórmula de Resist. de Materiales).
- $\alpha$  Coeficiente de dilatación térmica (fórmula de Resist. de Materiales).
- Lt Longitud total o final.
- $\delta t$  Elongamiento por cambio de temperatura (fórmula de Resist. de materiales).

## NOTAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS

- **ASME** = American Society of Mechanical Engineers = Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
- **ASTM** = American Society for Testing and Materials = Sociedad Americana de Pruebas y Materiales.
- **atm** = Atmósfera (unidad de presión equivalente a 14.7 lb/plg<sup>2</sup>).
- **BEA** = Bottom Extension Anchor = Anclaje extendido inferior.
- **BENDING** = Admisible.
- **BES** = Bottom extension Support = Soporte superior extendido.
- **C** = Carbono ( elemento de la tabla periódica).
- **CONC. RED** = Reducción concéntrica.
- **Cr** = Cromo (elemento de la tabla periódica).
- **DISTANCE** = Distancia.
- **EAST** = Este
- **ECC. RED** = Reducción excéntrica.
- **EL** = Elevación ( que se toma al centro de la tubería).
- **EXS** = Exhaust = Escape.
- **GAP** = Holgura o luz.
- **GATE VALVE** = Válvula de compuerta.
- **(3 1/2" HIGHT) WITH GUIDE EAST AND WEAT 0" GAP** = 3 1/2" de alto con guía y 0" de holgura en dirección este-oeste.
- **HOLE IN FLOOR REQUIRED FOR PIPE** = Se requiere agujero en el piso para el tubo.
- **HOLE IN FLOOR REQUIRED FOR VALVE HANDWHEEL** = Se requiere un agujero en el piso para introducir el vástago de la válvula de vapor de escape.
- **kW** = kilowatt = 1,000 Watt.
- **LONG** = Longitud.
- **LS** = Steam line = Línea de vapor.
- **Mo** = Molibdeno (elemento de la tabla periódica).
- **MW** = Mega Watt = 1,000 KW = 1,000,000 Watt.
- **NORTH** = Norte.
- **OULET** = Fuera de
- **"PATHWAYS" FLEXWAY OR EQUAL MAX PRES 50 psig, TEMP. RANGE 2 TO 700 °F** = Poner junta de expansión o un dispositivo equivalente. Máxima presión 50 psig, rango de temperatura de 2 a 700 ° F.
- **psi** = Unidad de presión. ( 1 pound square inch = 1 lb/plg<sup>2</sup>)
- **REF** = Referencia.
- **RH** = Rod hanger = Colgador de varilla.
- **RS 1** = Rod Support = Soporte de varilla.
- **SCH** = Cédula del material (espesor de los tubos, generalmente el fabricante los cataloga por cédulas).
- **Si** = Silicio ( elemento de la tabla periódica).
- **SOUTH** = Sur.
- **SPAN** = Espaciamiento.

- **STOP IN THE WEST DIRECTION** = Anclaje en dirección oeste.
- **STRESS** = Esfuerzo.
- **1/2" VERTICAL GAP USE 3 1/2" SHOE** = Dar una holgura vertical de 1/2" y utilizar una zapata de 3 1/2".
- **WATT** = Unidad de medición de potencia de la energía eléctrica.
- **WEIGHT** = Peso en lb ó Kg.
- **WEST** = Oeste.
- **W = WIDE** = Viga ancha.
- **WT = WIDE T** = Viga T.
- **WITH** = Con
- **WITH STOPS NORTH AND SOUTH 0" GAP 30" EXHAUST** = Con anclajes en dirección norte y sur 0" de holgura, diámetro de escape es de 30".

## GLOSARIO

**Aislamiento térmico:** se le llama así al forro que se adhiere a la línea de vapor para evitar las pérdidas de temperatura, que se dan cuando fluye calor de la misma al medio ambiente, si esta se encuentra descubierta. Estos pueden ser de fibra de vidrio, u otro aislante.

**Aleación:** metal que se ha mezclado con otro elemento para obtener las propiedades mecánicas deseadas del mismo, que por sí solo no proporciona.

**Anclaje:** lugar en donde la tubería se sujeta a una estructura para evitar su movimiento hacia cualquier dirección.

**Angular:** material metálico para montaje, que tiene la forma de una escuadra, es decir, consta de dos barras a  $90^\circ$  como una L.

**Bucle:** curvas circulares de tuberías que se utilizan intercaladas en las líneas de vapor para absorber elongaciones producidas por el calentamiento de las mismas.

**Caldera:** elemento térmico del sistema que produce vapor, aprovechando la transferencia de calor de una pared metálica. Esto se produce por medio de tubería. Por dentro de los mismos circula agua y por fuera tiene contacto con flama o gases calientes producto de la combustión (calderas acuatubulares).

**Cogeneración:** se llama así a la producción de energía eléctrica por medio del aprovechamiento de alguna fuente de energía disponible. En este caso, es el bagazo de caña que se utiliza como combustible para las calderas.

**Colapso:** instante en el cual la tubería o línea de vapor se rompe o falla debido a un mal diseño, montaje o precauciones no tomadas en cuenta.

**Conducción:** transmisión de calor entre cuerpos, que la ceden al estar en contacto sus masas ( en nuestro caso la conducción entre tubos y agua).

**Convección:** transferencia de calor entre uno o varios fluidos ( en este caso, a través del mismo fluido, que es el agua dentro de los tubos).

**Coplanarias:** fuerza o dilatación que actúen en la misma línea de acción (lineales).

**Dilatación:** aumento de volumen que se dá en los cuerpos debido a un cambio de temperatura.

**Elongamiento:** aumento de longitud que se puede observar en ciertos cuerpos debido a un cambio de temperatura.

**Esfuerzo:** capacidad de un material de soportar una fuerza en un area determinada antes de llegar a la ruptura.

**Espesor:** es el grueso de pared que posee la tubería.

**Expansión:** crecimiento que se observa en los cuerpos al experimentar un cambio de temperatura.

**Fatiga:** es el fenómeno que se experimenta en los materiales al ser sometidos a movimientos flexionantes cíclicos.

**Grafitación:** es la cristalización del carbono contenido en el acero al ser sometido a muy altas temperaturas.

**Junta:** se le llama así a las uniones entre tuberías de vapor las cuales pueden ser flangeadas, roscadas o soldadas.

**Junta de expansión:** es el tipo de junta que tiene la forma de un acordeón en un tramo, cuya finalidad es absorber las elongaciones de la tubería en ese punto.

**Liras:** son curvas que poseen formas adecuadas para absorber las elongaciones que se ocasionan en la tubería en esos puntos complicados.

**Manguito:** se refiere al tipo de junta de dilatación, en el cual existe un dispositivo que resbala dentro de el material de expansión en forma de acordeón. (ver figura página No. 28).

**Momentos:** es la fuerza perpendicular que sufre la tubería por determinada distancia que generan esfuerzos de distintos tipos en la misma.

**Movimiento longitudinal:** es el movimiento que sufre la tubería a lo largo de la misma o sobre su centroide.

**Movimiento transversal:** es el movimiento experimentado por la tubería en dirección perpendicular (o a  $90^\circ$ ) del eje centroidal de la misma.

**Omega:** tipo de curva utilizada para absorber las elongaciones que se producen en la tubería, especialmente en los tramos largos debido a su amplia eficiencia.

**Radiación:** capacidad de ceder calor por medio de ondas electromagnéticas, que se transportan en los rayos lumínicos.

**Soporte de muelle:** es el tipo de soporte que posee un resorte que amortigua los elongamientos y vibraciones de la tubería en ese punto.

**Subestación eléctrica:** parte de la planta termoeléctrica destinada a la transformación e introducción de la energía eléctrica producida, a la red de distribución.

**Suspensores:** son los tipos de cargadores que soportan la tubería, que se suspenden de columnas existentes en la estructura de los edificios por no tener otra forma de sostenerla.

**Termoeléctrica:** es el tipo de planta que genera energía eléctrica a partir de la producción de vapor.

**Tracción:** son las fuerzas externas y opuestas que someten a tensión al cuerpo en estudio.





**Turbogenerador:** es el dúo de componentes, compuesto por LA TURBINA, que aprovecha la velocidad del chorro de vapor para impulsar sus álabes, generando un movimiento rotacional, y EL GENERADOR que aprovecha dicha energía rotacional para producir la energía eléctrica a las condiciones requeridas.

**Zafra:** se le llama así al tiempo de producción de azúcar de los ingenios, que por lo general, es de octubre hasta abril.

**Zapatas móviles:** son los tipos de soportes móviles, que se colocan entre la tubería y el soporte fijo o cargador , y que permite el movimiento de la misma hacia donde lo requiera el diseño.

# INTRODUCCIÓN

A continuación se presenta el ESTUDIO DE ELONGACIONES PRODUCIDAS EN LÍNEAS CONDUCTORAS DE VAPOR A DISTINTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS EN EL PROYECTO DE COGENERACIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA, SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, en el cual se refleja un diseño bien elaborado y en el que se han tomado en consideración todos los aspectos necesarios para que la tubería de las líneas no sufran ningún tipo de esfuerzo que pueda ocasionar un colapso en la misma.

Tender una línea de vapor significa, no solamente montar la tubería desde la fuente de vapor hasta el lugar destinado para el trabajo del mismo, sino que hay que tomar en cuenta un sin número de aspectos importantes para que el diseño funcione de una forma correcta.

Los principales aspectos a tomar en cuenta en el diseño de una línea de vapor son dos:

- a) El peso propio de la tubería.
- b) La dilatación de la misma que sufre debido a un cambio de temperatura.

El primer inciso es el menos crítico, puesto que para contrarrestar o hacer cero los esfuerzos en cualquier punto de todo el sistema debido al peso de la tubería, solo se soporta o carga la tubería con resortes tensados adecuadamente o con cargadores que sostengan a la tubería de una manera tal que no distorsionen las formas complicadas que posean en esos lugares. Cuando solo se sostiene tubería con cargadores en tramos largos hay que tomar en cuenta lo que transporta la tubería y el diámetro de la misma para determinar la distancia entre los mismos.

El segundo inciso es más crítico, puesto que la dilatación de las tuberías al someterse a fuertes cambios de temperatura generan fuerzas extremadamente grandes que fácilmente la distorsionan y rompen cualquier ligadura de la misma a edificios bases etc., por lo que es preferible soportar la tubería sobre zapatas móviles que permitan el libre desplazamiento de la misma hacia donde no produzca problema alguno.

Cuando las tuberías se someten a cambios de temperatura demasiado grandes se debe recurrir a aleaciones que sean mas dúctiles para generar menos esfuerzos en las mismas. Para hacer cero los esfuerzos en los lugares críticos solo se puede lograr con un diseño apropiado y planeado, ya que la elongación de la tubería es inevitable.



Teniendo en cuenta los aspectos antes mencionados y aplicando de una forma adecuada cada elemento que interviene en el montaje se contrarrestan los esfuerzos de tensión, compresión, flexión, torsión y fuerzas cortantes que son los predominantes en estas instalaciones.

El presente estudio consta de diez capítulos en los cuales se hace mención de cada uno de los aspectos citados anteriormente y algunos otros muy importantes a tomar en cuenta; además de gráficos y planos de las líneas de vapor tendidas en el **PROYECTO DE COGENERACIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA** y de las deformaciones que las mismas sufrirán al someterse a las temperaturas de trabajo, para que el lector posea una visión clara del porqué prestar atención a cada uno de los aspectos antes mencionados en el montaje de dichas líneas para que no colapsen en un momento dado.

Después de haber dado un vistazo general a lo que el presente estudio hace énfasis, se puede pasar a examinar el contenido de cada capítulo del mismo.



# **1. GENERALIDADES**

## **1.1 INTRODUCCIÓN:**

En este capítulo se describe de una forma breve las instalaciones que conforman el Ingenio Madre Tierra, su organización, su localización en el país, y la justificación del origen del proyecto de cogeneración, que es el enfoque primordial del presente estudio y el cual está conformado por una planta termoeléctrica que se sitúa dentro de las instalaciones del Ingenio, y que generará 20,000 kW, los cuales contribuirán a remediar en cierta escala el déficit de energía eléctrica que actualmente vive el país.

El objetivo principal a perseguirse con la operación de la planta termoeléctrica es el aprovechamiento al máximo del potencial calorífico que posee el bagazo de caña como combustible para calderas, éste se verá reflejado al final del proceso en energía eléctrica que es uno de los factores primordiales para el desarrollo del país.

## **1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA:**

- Aprovechar al máximo a energía que puede generar el bagazo de año como combustible, pudiéndose ser este utilizado para la operación de una planta termo- eléctrica.
- Compensar de alguna manera la falta de energía eléctrica que actualmente es uno de los principales inconvenientes que vive la nación.
- Fortalecer los ideales de la iniciativa privada para la inversión de recursos en proyectos que son beneficiosos para el desarrollo del país.

## **1.3 BREVE DESCRIPCIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA:**

El Ingenio Madre Tierra es una instalación industrial dedicada a la producción del azúcar, teniendo como materia prima la caña de azúcar.

El 7 de enero de 1963 se fundió la primer columna, iniciando labores el 16 de noviembre del mismo año.



A partir de 1993 se ejecutaron nuevos proyectos que incluyen la construcción de las siguientes instalaciones:

- a) Talleres de reparación de vehículos.
- b) Gasolinera.
- c) Cogeneración
  - Calderas # 5, 6 y 7
  - Turbogeneradores
  - Sub-estación eléctrica.

A partir de 1996, el Ingenio Madre Tierra cogenera 20,000 kW los cuales serán vendidos a la EEGSA (Empresa Eléctrica de Guatemala S.A.), entidad estatal que tiene a su cargo la generación y distribución de energía eléctrica para el país.

### 1.3.1 UBICACIÓN:

Las instalaciones se encuentran ubicadas en el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla, en el kilómetro 94.5 de la Carretera Panamericana.

Las instalaciones se encuentran rodeadas por fincas de caña, con excepción de la orientación sur donde colindan con la Carretera Panamericana. Por la orientación este se encuentra el río Xatá que está aproximadamente a 30 metros por debajo de la fábrica. Este río forma parte de la fuente de abastecimiento de agua para los procesos del Ingenio.

El ingreso a las instalaciones es por la Carretera Panamericana. Los caminos internos de terracería comunican a la fábrica, bodegas, talleres, gasolinera, oficinas y residencias particulares de las personas encargadas de la administración y mantenimiento del Ingenio.

Las colindancias de la fábrica son las siguientes:

- NORTE: Area de Cogeneración.
- SUR: Bodegas de almacenamiento de azúcar.
- OESTE: Patio de caña.
- ESTE: Area para bagazo de caña y río Xatá.

Los ingenios guatemaltecos operan de acuerdo al clima local, el cual se puede clasificar en dos estaciones bien definidas:

ESTACIÓN	MESES DEL AÑO
SECA	NOVIEMBRE - MAYO
LLUVIOSA	MAYO - OCTUBRE

UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

### **1.3.2 TIEMPO DE ZAFRA (COSECHA):**

El personal está distribuido en las labores de operación, obras nuevas y mantenimiento. Este período ocurre en la estación seca trabajando los siete días a la semana las veinticuatro horas, por medio de turnos que los empleados cumplen cada ocho horas.

### **1.3.3 REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO:**

Este período principia con el fin de la zafra y constituye la preparación para la zafra siguiente, efectuándose en él todos los trabajos de mantenimiento preventivo, montajes importantes y obras nuevas que se requieran para el siguiente período de operación. La mayor parte de estas operaciones incluyen diseño y montaje, y se pueden realizar con personal y recursos del ingenio o por medio de compañías contratistas dedicadas al ramo.

### **1.3.4 COGENERACIÓN:**

Es un proyecto nuevo para generar energía eléctrica utilizando como combustible el bagazo de caña, cuyas instalaciones consisten en lo siguiente:

- **EDIFICIO DE CALDERAS:** en el cual se montaron tres calderas de vapor de alta presión que producirán el vapor necesario para la operación de dos turbogeneradores.

- **EDIFICIO DE TURBOGENERADORES:** dentro del mismo existen montados dos turbogeneradores que tienen una capacidad para generar: el primero 5,000 kW y el segundo de 15,000 kW.

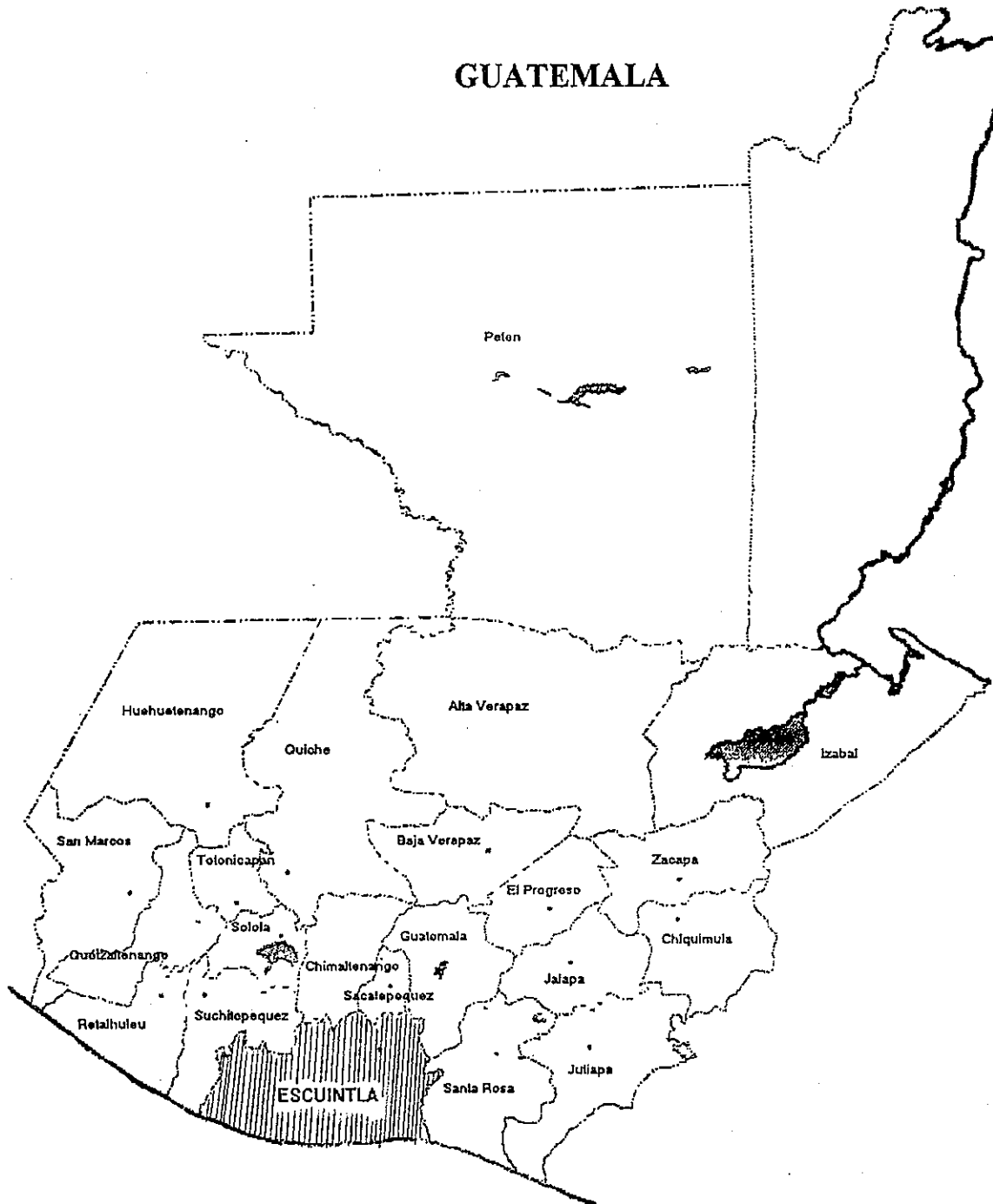
- **SUB-ESTACIÓN ELÉCTRICA:** consta de dos transformadores primarios que elevan el voltaje, uno e 12.5 kV a 69 kV y el segundo de 13.8 kV a 69 kV, para ambos turbogeneradores y de este modo poder enlazarce con la línea de 69 kV de la red eléctrica.

Este proyecto podrá generar un total de 20,000 kW en tiempo de zafra y que será distribuido al país por medio de EEGSA (Empresa eléctrica de Guatemala S.A.).



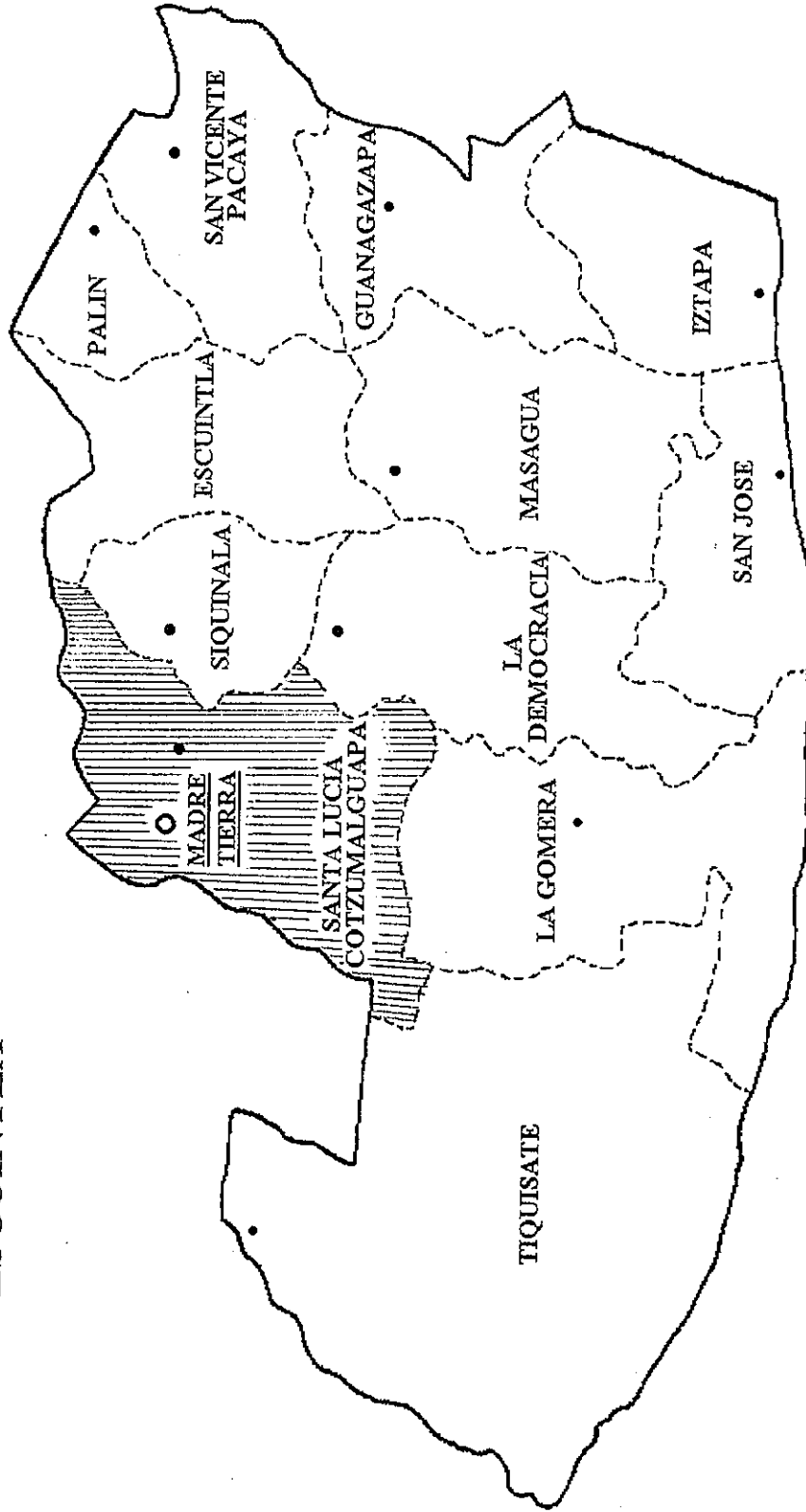
# 1.4 MONOGRAFÍA DEL LUGAR:

## MAPA No. 1: LOCALIZACIÓN DEL DEPTO. DE ESCUINTLA EN EL PAÍS.



**MAPA No 2: LOCALIZACIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA EN EL DEPARTAMENTO.**

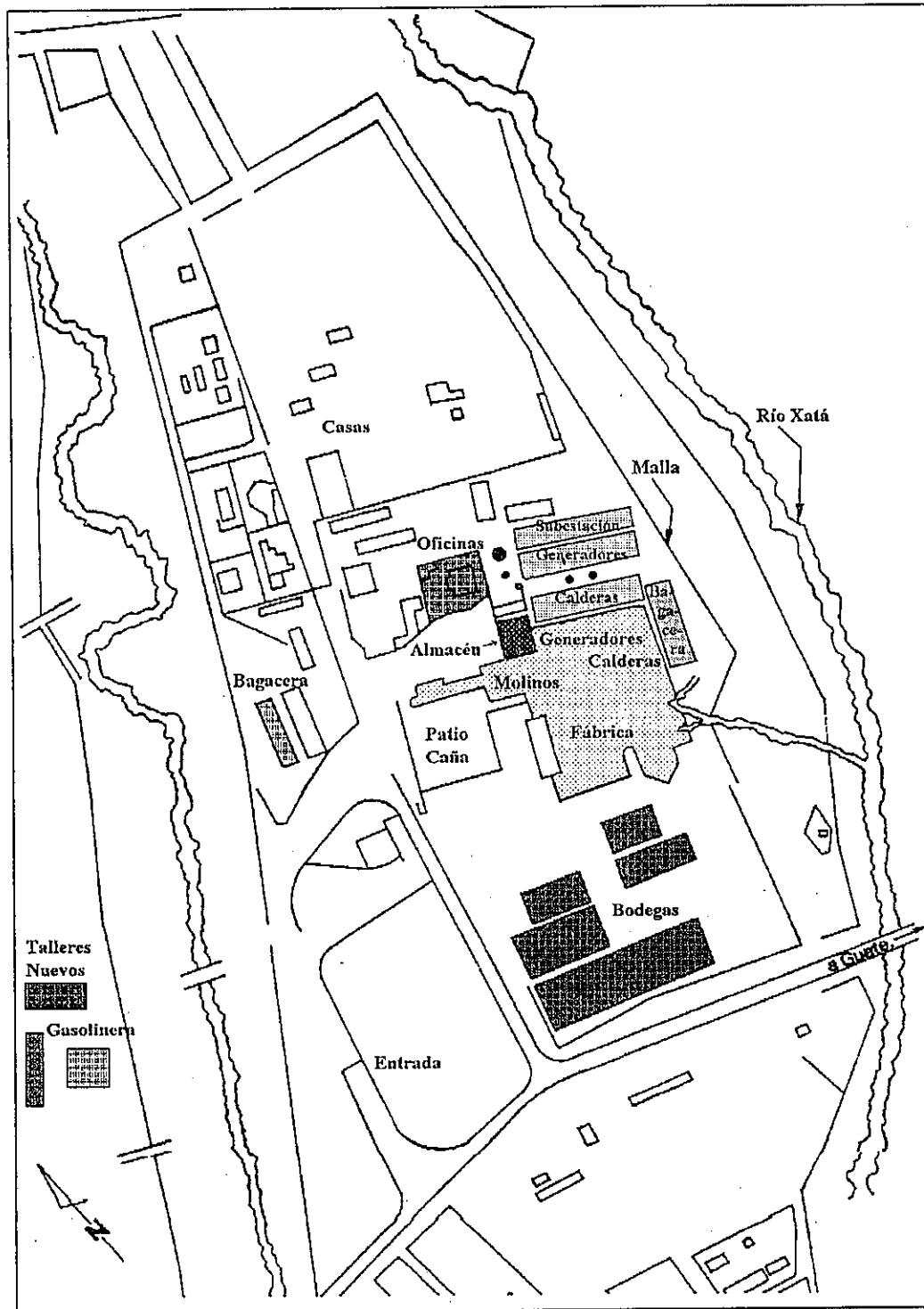
**DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA**





**MAPA No. 3: DISTRIBUCIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA**

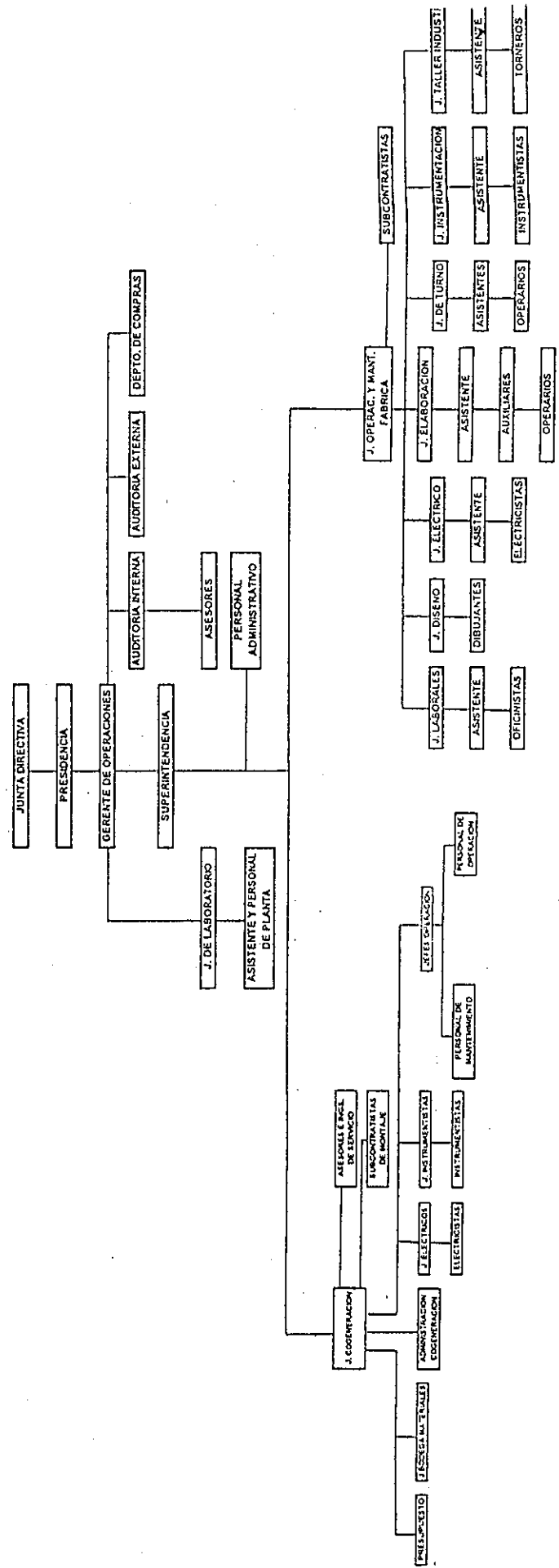
# Ingenio Madre Tierra



# 1.5 ORGANIZACIÓN DEL INGENIO

## ORGANIGRAMA No. 1: ORGANIZACIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA.

ORGANIGRAMA DEL INGENIO MADRE TIERRA



## **1.6 JUSTIFICACIÓN DEL MONTAJE DEL NUEVO PROYECTO DE COGENERACIÓN:**

**Al hacer estudios preliminares y teniendo siempre presente la escasez del fluido eléctrico que actualmente agobia a nuestro país, la iniciativa privada ha tomado cartas en el asunto, estudiando las fuentes de energía que puedan poseer para ser aprovechadas al máximo y no desperdiciarlas, uno de los principales campos para aprovechar las fuentes existentes es la producción de energía eléctrica pero no todas las industrias tienen las fuentes necesarias para lograr ésto, los Ingenios son unas de las principales industrias que tienen la fuente de energía y los recursos necesarios como lo es el bagazo de caña, al utilizarlo como combustible para optar por generar electricidad por medio de centrales térmicas. En este caso el Ingenio Madre Tierra no es la excepción, se hicieron los estudios y balances de energía necesarios para predeterminedar si se podía abastecer a un proyecto de tal magnitud de suficiente combustible para operarlo, y resultó el estudio positivo por lo que se optó por la construcción de tres nuevas calderas que generarán el vapor necesario para la operación de dos turbogeneradores teniendo un total de 20,000 kW de potencia eléctrica generada, con lo que se compensará una pequeña parte del déficit energético que agobia hoy día a nuestro país.**

## **2. FUNDAMENTOS NECESARIOS RESPECTO A LÍNEAS DE VAPOR**

### **2.1 INTRODUCCIÓN:**

En este capítulo se hace énfasis en los fundamentos que se necesitan para el diseño y montaje de líneas de vapor.

Se orienta al lector para que pueda seleccionar una tubería de material adecuado, para que resista los esfuerzos y fatigas que se generen, y a la vez, reducir los mismos con la utilización de liras, curvas y omegas que se intercalen en la línea, teniendo desde luego un buen sistema de soportes con un espaciamiento entre sí, de acuerdo a las normas recomendadas.

### **2.2 MATERIALES QUE SE UTILIZAN EN LA MANUFACTURA DE TUBERÍAS QUE CONDUCEN VAPOR**

Los conductos, en general, pueden considerarse en dos grandes grupos:

- Los que se usan para transporte de humos y sólidos.
- Los destinados a conducir vapor y agua de un punto a otro.

es en este último punto donde se concentra el estudio de tesis, esencialmente en **TUBERÍAS QUE CONDUCEN VAPOR.**

#### **2.2.1 SELECCIÓN DE TUBERÍA SEGÚN LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Las tuberías se emplean universalmente para enlazar todos los equipos e instrumentos que usan vapor o agua en la central. Una amplia clasificación, según la presión del fluido transportado, se presenta a continuación:

Presión inferior a 1.75 atm .....	Tuberías para el agua de recirculación
Presiones superiores a 1.75 atm, pero inferiores a la alimentación de la caldera.....	Tubería de retorno del condensado. Tubería del agua de servicio. Tubería de aire comprimido.
Tubería general de vapor y de alimentación de la caldera.....	Colectores y tubos de salida. Tuberías de alimentación de turbinas. Tuberías de vapor saturado. Tuberías de vapor auxiliar. Tuberías alimentadoras de la caldera.



## 2.2.2 TUBOS DE ACERO AL CARBONO:

Los tubos empleados con más frecuencia son los fabricados de acuerdo a las especificaciones ASTM y son los ASTM A 106 y ASTM A 53. La composición química de estos dos materiales es idéntica; ambos se someten a ensayos físicos, pero los de A 106 son más rigurosos. El reglamento de tuberías de presión permite el empleo del A 53 con presiones de 600 lb/plg<sup>2</sup> (22,137 N/m<sup>2</sup>) manométricas y menores, pero excluye su uso con presiones más elevadas; el A 106 puede utilizarse con presiones no superiores a 2,500 lb/plg<sup>2</sup> (92,237 N/m<sup>2</sup>) manométricas. Los A 53 y A 106 se fabrican en los grados A y B; el grado B tiene resistencia mecánica más alta, pero es menos dúctil y, por eso, solo se admite el grado A para su doblado en frío o para hacer serpentines de hélice cerrada. Cuando el acero al carbono haya que usarse en construcciones soldadas a temperaturas superiores a 775 °F (413 °C), hay que considerar la posibilidad de que se forme grafito.

## 2.2.3 TUBOS DE ACERO AL CARBONO-MOLIBDENO:

Puede adquirirse de los tipos A 204 (con soldadura eléctrica por fusión). A 335 (sin soldadura o costura) o A 369 (forjado torneado y barrenado). Este material se inventó en los últimos años, en que las temperaturas de vapor de agua se fueron aproximando, pero sin alcanzarlos, a los 1,000 °F (538 °C) en cuyo caso el acero al carbono resultaba insatisfactorio y antieconómico. Se encontrará cierta tendencia del acero al carbono-molibdeno a la formación de grafito a las temperaturas superiores a 800 °F (427 °C) y su empleo en construcciones soldadas por encima de dicha temperatura deberá hacerse con cautela.

## 2.2.4 TUBOS DE ACERO AL CROMO-MOLIBDENO:

Se emplean para temperaturas de 1,100 °F (593 °C). Para diámetros pequeños de tubería es fácil adquirirlos sin costura, pero para los de gran diámetro y pared gruesa, hay que recurrir a un procedimiento más costoso, como lo son los de hueco forjado y barrenado, para presiones y temperaturas más altas. El material para una tubería deberá seleccionarse después de una revisión de las consideraciones técnicas y económicas. Guiarse por la tabla No. 1.

TABLA No. 1  
ALEACIÓN DE CROMO-MOLIBDENO A UTILIZAR SEGÚN LA TEMP. DE OPERACIÓN

RANGO DE TEMPERATURA	ALEACIÓN DE LA TUBERÍA A UTILIZAR
950 °F (510 °C)	Cr 0.5 % - Mo 0.5 % (A 335 grado P2)
950 - 1000 °F (510 - 538 °C)	Cr 1.0 % - Mo 0.5 % (A 335 grado P12)
1000 - 1050 °F (538 - 566 °C)	Cr 1.25 % - Mo 0.5 % (A 335 grado P11)
1050 - 1100 °F (566 - 593 °C)	Cr 2.25 % - Mo 1.0 % (A 335 grado P22)

Estos datos pueden encontrarse en el Manual del Ingeniero Mecánico de MARKS, pag 8-148. Cuando se combinan la alta temperatura y la acción erosiva es conveniente Cr 5.0 % y Mo 0.5 % (A 335 grado P5).

## 2.2.5 FATIGAS ADMISIBLES EN LAS TUBERÍAS:

En la tabla No.2, que se presenta a continuación, están resumidas las especificaciones de la ASTM y las fatigas indicadas son admisibles hasta la temperatura de 593 °C. El mínimo espesor de pared debe calcularse por la fórmula siguiente:

$$t_m = \frac{Pd}{2S} + C$$

Siendo:  $t_m$  = espesor mínimo de pared en cm.  
 $P$  = presión interior máxima en kg/cm<sup>2</sup>.  
 $d$  = diámetro interior en cm.  
 $S$  = fatiga admisible para el material en kg/cm<sup>2</sup>.  
 $C$  = tolerancia por corrosión y esfuerzos mecánicos = 0.13 para tubos de acero y hierro forjados hasta de 1 pulgada, y 0.17 para los de más de 1 pulgada.

Este mínimo grueso de pared obtenido por la fórmula anterior se suele incrementar en un 12.5 % para compensar las tolerancias por defectos de los laminadores. La fatiga  $S$  para distintos materiales está en función de la temperatura, y se puede visualizar en la tabla No.2.

Las presiones de trabajo en una planta térmica son muy variadas, por lo que se debe aplicar el tipo de tubería correcta a cada una de las mismas. Otro aspecto muy importante es la temperatura, puesto que a una presión y temperatura considerable ya no se pueden utilizar los tubos con costura, sino que tendrán que ser barrenados o maquinados para dar una mayor seguridad de que no fallará en operación. Es por eso que a continuación se presentan las tablas No. 3 y No. 4 que nos indican los gruesos de pared de los tubos de acero sin costura del grado A y las presiones de trabajo admisibles en los mismos a 400 °C, y las CIFRAS DE PRESIÓN para distintos diámetros de tuberías al cromo- molibdeno respectivamente.

**TABLA No 2**

**FATIGAS ADMISIBLES EN TUBERÍAS DE NORMALIZACIÓN AMERICANA SEGÚN LA TEMPERATURA**

FATIGAS ADMISIBLES EN TUBERÍAS DE NORMALIZACIÓN AMERICANA SEGÚN LA TEMPERATURA										
Material	Especificación A S T M	Fatigas admisibles en Kg/cm <sup>2</sup> , hasta las siguientes temperaturas, °C								
		65°	232°	316°	399°	427°	482°	538°	566°	593°
<b>Acero sin costura:</b>										
Grado A, al Si ... ..	A-106	840	840	840	749	630	350			
Grado B, al Si ... ..	A-106	1050	1050	1050	905	760	350			
Grado A, al Si ... ..	A-53	840	840	840	749	630	350			
Grado B, al Si ... ..	A-53	1050	1050	1050	905	760	350			
<b>Acero soldado por fusión eléctrica:</b>										
Grado A, al Si ... ..	A-155				530	480	353	126		
Grado B, al Si ... ..	A-155				507	522	353	126		
Grado C, al Si ... ..	A-155				600	557	353	126		
<b>Acero soldado por resistencia eléctrica:</b>										
Grado A ... ..	A-135	715	627	585	490					
Grado B ... ..	A-135	890	785	735	592					
<b>Hierro forjado con soldadura a recubrimiento:</b>										
Hierro forjado con soldadura al tope ... ..	A-72	560	495	460	385					
<b>Acero con soldadura a recubrimiento:</b>										
Acero con soldadura al tope:	A-53	660	570	530	437					
Acero al cromo (1 a 1,5) molibdeno (0,5) ... ..	A-158									
Acero al cromo (2 a 2,5) molibdeno (1) sin costura ...	Grado P-11					1050	920	545	385	280
<b>Tubos de latón sin costura:</b>										
Latón rojo ... ..	Grado P-52									
<b>Tubos de cobre sin costura:</b>										
de menos de 2 pulgadas ...	B-42	420	210 a 204°							
de 2 pulgadas y mayores ...	B-42	420	210 a 204°							
<b>Tubo de cobre sin costura recocido:</b>										
... ..	B-75	420	210 a 204°							
... ..	B-88	420	210 a 204°							
<b>Tubos de fundición:</b>										
centrifugada ... ..	WWP-421		420							
ordinaria ... ..	ASA A21.2, 1939						280			

\* No debe usarse ningún tubo con temperatura superior a la indicada para la tensión de trabajo. — Para temperaturas intermedias pueden deducirse las fatigas por interpolación. — Extracto del "Code for pressure piping" de la A. S. A. A21.2.1939, con modificaciones propuestas y aceptadas que todavía no aparecen en la edición de 1951.

Esta tabla se puede encontrar en el libro de Centrales de Vapor de G. A. GAFFERT, pag. 361.

**TABLA No. 3**

**GRUESOS DE PARED (mm) DE LOS TUBOS DE ACERO SIN COSTURA, GRADO A, Y PRESIONES ADMISIBLES, EN kg/cm<sup>2</sup>, A 400 °C.**

GRUESOS DE PARED (mm) DE LOS TUBOS DE ACERO SIN COSTURA, GRADO A, Y PRESIONES ADMISIBLES, EN Kg/cm<sup>2</sup>, A 400 °C

Cifra de presión	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160
Diám. nominal	Diám. ext. mm									
1/8	21,3			2,8 68		3,8 118				4,8 171
1/4	26,7			2,9 59		3,9 102				5,5 170
1	33,4			3,4 64		4,6 103				6,4 163
1 1/4	42,1			3,6 44		4,9 78				6,4 116
1 1/2	48,2			3,7 41		5,1 73				7,2 120
2	60,4			3,9 37		5,6 67				8,2 125
2 1/2	73,0			5,2 50		7,0 71				9,6 116
3	88,9			5,5 45		7,6 71				11,1 115
3 1/2	101,6			5,8 42		8,1 67				
4	114,2			6,0 40		8,6 65		11,1 89		13,5 112
5	141,2			6,6 37		9,6 60		12,7 85		15,9 110
6	168,4			7,1 34		11,0 60		14,3 82		18,2 108
8	219,2	6,4 22	7,0 26	8,2 32	10,3 43	12,7 54	15,1 66	18,2 82	20,6 95	23,0 107
10	273,0	6,4 18	7,8 24	9,3 30	12,7 44	15,1 53	18,2 66	21,4 79	25,4 95	28,6 108
12	323,9	6,4 15	8,4 22	10,3 29	14,3 42	17,5 53	21,4 67	25,4 86	28,6 92	33,2 107
14	355,6	6,4 14	7,9 19	9,5 24	11,2 28	15,1 41	19,1 53	23,8 68	27,0 78	31,2 93
16	406,4	6,4 12	7,9 16	9,5 21	12,7 29	16,8 40	21,4 53	26,2 66	30,9 79	36,5 95
18	457,2	6,4 11	7,9 14	11,2 22	14,3 30	18,2 39	23,8 53	29,4 66	34,1 78	39,7 91
20	508,0	6,4 9	9,5 17	12,7 24	15,1 28	20,6 41	26,2 53	31,8 65	38,1 79	44,5 93
24	609,6	6,4 8	9,5 14	14,3 22	17,5 28	23,8 40	30,9 53	38,1 66	44,5 78	52,5 91

Esta tabla puede encontrarse en el libro de Centrales Térmicas de G.A. GAFFERT, pag. 363.



## TABLA No 4

### COMPARACIÓN DE TUBOS EXIGIDOS POR LAS NORMAS DE TUBERÍAS. SE INDICAN LAS CIFRAS DE PRESIÓN CORRESPONDIENTES (Basado en el tubo de 12" = 305 mm).

COMPARACIÓN DE ESPESORES DE TUBOS EXIGIDOS POR LAS NORMAS DE TUBERÍAS  
Se indican las "cifras" de presión correspondientes. (Basado en el tubo de 12" = 305 mm)

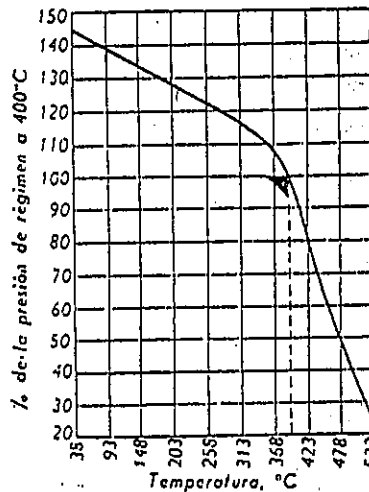
Presión de servicio Kg/cm <sup>2</sup>	Temperaturas de servicio						
	Acero al carbono	Acero al cromo-molibdeno al ½ o 1 %		Acero al cromo-molibdeno al 1 %		Acero al cromo-molibdeno al 2:1 %	
	399 °	427 °	441 °	454 °	482 °	510 °	538 °
14	30 (B) 30 (A)	30 (B) 30 (A)	30	30	30	30	30
21	30 (B) 40 (A)	30 (B) 40 (A)	30	30	30	40	60
28	40 (B) 60 (A)	40 (B) 60 (A)	30	40	40	60	60
42	60 (B) 80 (A)	60 (B) 80 (A)	60	60	60	80	100
56	80 (B) 100 (A)	100 (B) 120 (A)	80	80	80	100	120
63	80 (B) 100 (A)	100 (B) 120 (A)	80	80	100	120	140
84	120 (B) 140 (A)	120 (B) 160 (A)	100	100	120	160	taladrado
105	140 (B) 160 (A)	160 (B) taladrado	120	140	160	taladrado	taladrado

(A) y (B) designan los grados de la especificación A. S. T. M. - A - 106.

La presente tabla puede encontrarse en Centrales de Vapor de G.A. GAFFERT, pag. 364.

### GRÁFICA No.1

#### CORRECCIÓN PARA LAS CIFRAS DE PRESIÓN PARA TEMPERATURAS DISTINTAS DE 400 °C.



Esta gráfica se encuentra en Centrales de Vapor de G.A. GAFFERT, pag. 364.

Últimamente han sido establecidas las llamadas CIFRAS DE PRESIÓN, las cuales multiplicadas por 10 dan la presión de trabajo en libras sobre pulgada cuadrada a 700 °F (400 °), y multiplicando la cifra por 0.7 se obtiene la presión en atmósferas.

Las presiones indicadas en las tablas están basadas en la fórmula de Barlow modificada y dejan cierto margen para la fatiga mecánica y tolerancias del laminado. En la tabla No.4 para otra temperatura distinta a 400 °C se deberá hacer la corrección por la gráfica No.1.

La grafitación de los tubos es asunto que preocupa y con ella se recomiendan ciertas adiciones protectoras a los aceros y la disminución razonable de la fatiga a temperaturas elevadas. Se considera buena práctica la adición de 200 gramos de aluminio por tonelada como desoxidante, tratamiento al silicio, y adiciones de molibdeno, cromo o vanadio como agentes contra la grafitación.

## **2.3 DESCRIPCIÓN DE FUNDAMENTOS UTILIZADOS EN EL DISEÑO DE LÍNEAS QUE CONDUCEN VAPOR**

### **2.3.1 SOPORTES DE LAS TUBERÍAS:**

Las tuberías tienen que ser eficazmente sostenidas entre los equipos que se conectan. Cuando no hay problema de dilatación, la solución es sencilla se colocan dos medias abrazaderas suspendidas de una varilla con tensor de ajuste, que se dispone sin dificultad para cualquier punto de la tubería.

La eficacia de las juntas de dilatación exige el anclaje de la tubería en ciertos puntos por lo que se puede utilizar un soporte de anclaje de acero, en el cual la tubería se apoya en dos angulares y se fija con pernos en U que la mantienen rígida sobre el soporte.

Cuando los tubos horizontales se sostienen por debajo, para no dificultar la dilatación se emplean los soportes de rodillo, debiéndose proteger el tubo con un sector o silla soldada para el apoyo en el rodillo. Adviértase que esta disposición permite también un ligero deslizamiento axial del rodillo.

Cuando la tubería atraviesa paredes o suelos gruesos, se utilizan manguitos pasamuros, éstos se forman con dos mitades enlazadas con pernos y son lo suficientemente anchos para permitir el paso del tubo con su revestimiento.

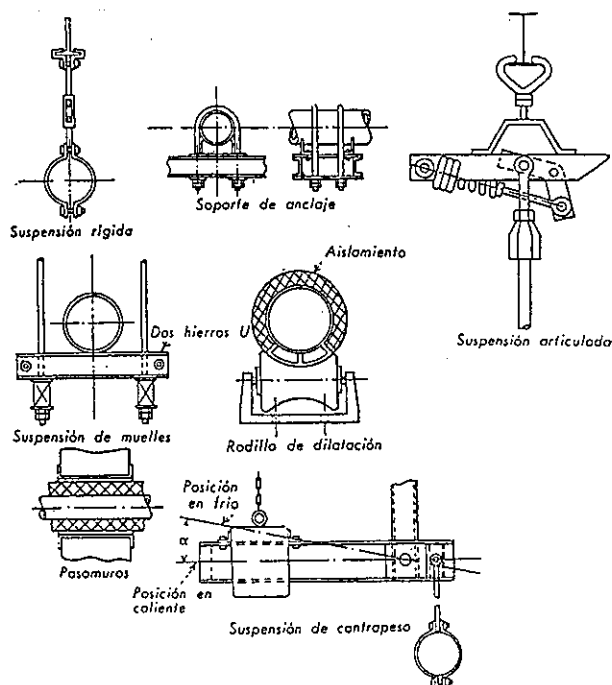
Para soportar tramos de tubería constantemente sometidos a movimientos por la dilatación se emplean las suspensiones del tipo no rígido. Si el movimiento por dilatación es del orden de 6 a 50 mm y el espacio bajo la tubería lo permite, se puede instalar la suspensión de doble muelle en la cual dos hierros en U acoplados, con asientos de muelles y tacos de separación forman el soporte, regulándose la compresión del muelle para dar la carga normal.

En los grandes tramos, con movimiento considerable, se emplea la suspensión de contrapeso, que viene a ser como una romana con un brazo formado por hierros de ángulo. La masa del contrapeso y la posición del mismo define la carga de la tubería sobre la suspensión. El contrapeso suele atarse con una cadena sin tensión a un miembro fijo de la estructura, con el fin de impedir un grave accidente en caso de fallar cualquier pieza de la suspensión. La ventaja obvia de este tipo de suspensión se tiene en que un mismo modelo sirve para una considerable variación de carga y ésta no depende prácticamente de la posición en frío o en caliente de la tubería.

A continuación en la figura No. 1, se visualizan los distintos tipos de soportes existentes para tubería:

FIGURA No.1

TIPOS DE SOPORTES



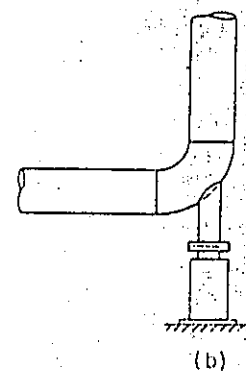
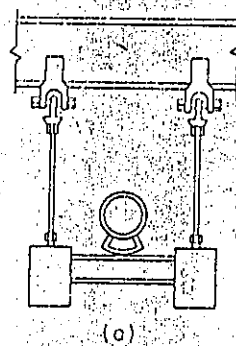
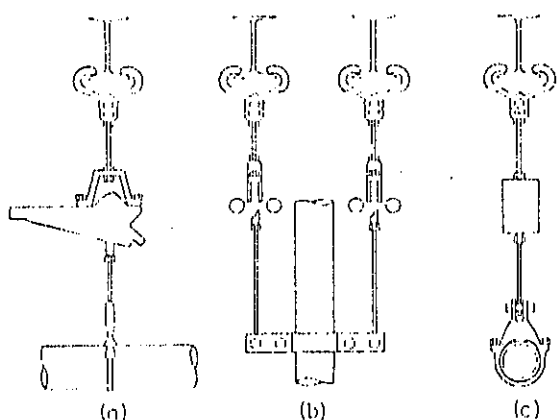
Para soportar un sistema de tubería a alta presión y temperatura se necesita prevenirse contra las dilataciones y contracciones debidas a las variaciones cíclicas. A menudo es posible encontrar en un tramo largo de tubería, un punto que no tenga movimiento y que sirva para soportar una considerable parte de la carga total por medio de un suspensor o soporte rígido, como los ya tratados. Sin embargo, para otras partes del recorrido se necesitará frecuentemente un soporte elástico o de muelle ( con resorte ) variable o regulable; para tuberías pesadas, o para aquellas en que los movimientos de dilatación sean grandes, conviene usar suspensores de apoyo constante o con contrapeso, como el ya tratado anteriormente, de modo que impidan la transferencia del peso que sustentan a otros suspensores o a las conexiones del equipo.

En la figura No. 2 los incisos a) y b) indican un tramo horizontal y otro vertical de tubería soportados por **SUSPENSORES DE APOYO CONSTANTE**. Los incisos c) de la figura No. 2 y el a) de la figura No. 3 son tramos horizontales soportados por **SUSPENSORES DE MUELLE VARIABLE O REGULABLE**. El inciso b) de la figura No. 3 muestra una tubería ascendente soportada por un **MUELLE VARIABLE** colocado bajo el codo base llamado **BRAZO TEMPLADOR** que se emplea para controlar la vibración y los movimientos inconvenientes de la tubería.

## TIPOS DE SOPORTES

FIGURA No. 2

FIGURA No.3



### 2.3.2 LA DISTANCIA ENTRE SOPORTES:

La distancia entre soportes variará con las siguientes condiciones:

- Con el diámetro de la tubería.
- Con el contenido que transporta la tubería. Generalmente las tablas dan dos condiciones: 1) llena de agua y 2) vacía.

Los soportes deben colocarse cerca de los cambios de dirección de los ramales y particularmente cerca de las válvulas. El peso de la tubería no debe cargarse a los cuerpos de válvulas. Al establecer la localización de los soportes de una tubería, el proyectista debe guiarse por dos condiciones:

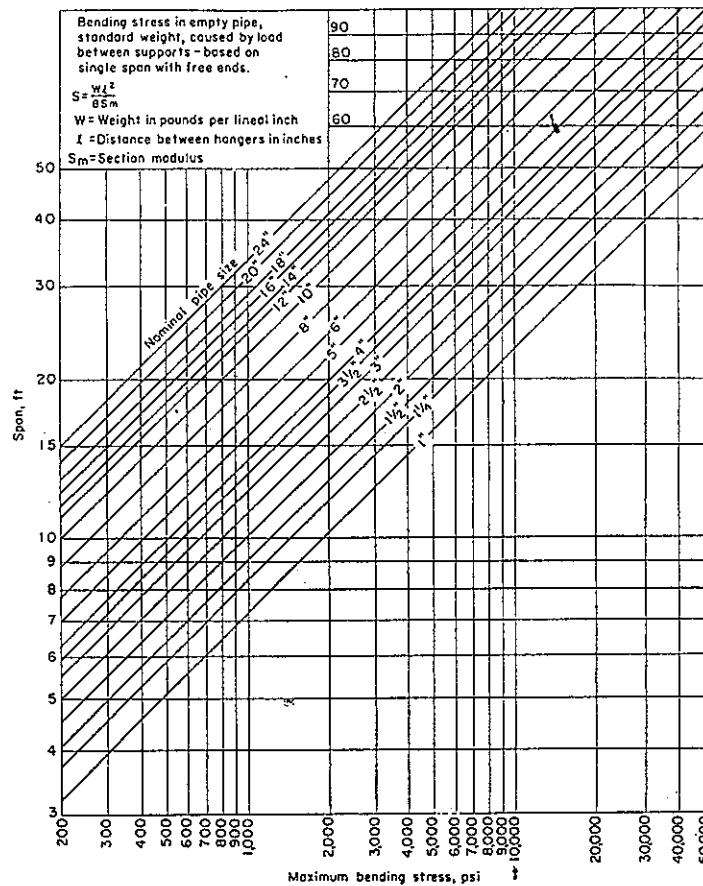
- 1) El tramo horizontal no deberá ser tan largo para que la tubería no imponga un esfuerzo excesivo en la pared de la misma.

2) La tubería deberá inclinarse en sentido descendente, de modo que la salida de cada tramo quede más baja que la flecha máxima de dicho tramo.

A continuación se presentan la gráfica No.2 y la tabla No.5 que se emplean para determinar la distancia entre soportes para distintos diámetros de tubería llena de agua. En las gráficas que se presentan a continuación tenemos: en el eje de las abcisas el esfuerzo que soporta la tubería en lb/plg<sup>2</sup>, y en las ordenadas la distancia entre soportes para el esfuerzo y el diámetro de tubería que le corresponden, ya sea que transporten agua o estén vacías.

## GRÁFICA No. 2

### ESFUERZO DE FLEXIÓN PARA TUBERÍA LLENA DE AGUA SEGÚN DISTANCIA ENTRE SOPORTES



Para la fórmula que aparece en el extremo izquierdo superior la simbología es la siguiente:

- S = Esfuerzo en libras/plg<sup>2</sup>
- W = Peso en libras/plg.
- l = Distancia entre soportes en plg.
- Sm = Módulo de sección.

Esta tabla se puede encontrar en Hanbook Piping de RENO C. KING, pag 5-5.

## TABLA No. 5

### DISTANCIA MÁXIMA ENTRE SOPORTES PARA TUBERÍA QUE CONDUCE AGUA

Table 1. Recommended Maximum Pipe Support Spacing  
(1,500-psi stress, 1/10-in. deflection, water-filled pipe)

Nominal pipe size .....	1	1½	2	2½	3	3½	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24
Span .....	7	9	10	11	12	13	14	16	17	19	22	23	25	27	28	30	32

Nominal pipe size = Diámetro nominal de la tubería en pulgadas.

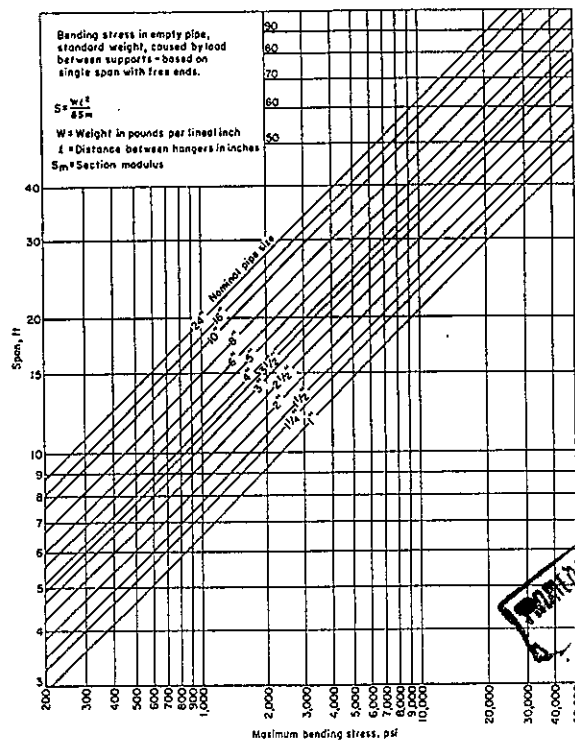
Span = Espaciamiento entre cargadores en pies.

Esta tabla se puede encontrar en el Handbook Piping de RENO C. KING, pag 5-5.

Con la gráfica No.3 se puede determinar la distancia entre soportes para tubería vacía.

### GRÁFICA No.3

#### ESFUERZO DE FLEXIÓN PARA TUBERÍA VACÍA SEGÚN DISTANCIA ENTRE CARGADORES



UNIVERSIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

Para la fórmula que aparece en el extremo izquierdo superior la nomenclatura es la siguiente:

**S** = Esfuerzo en libras/plg<sup>2</sup>

**W** = Peso en libras.

**l** = Distancia entre soportes en plg.

**S<sub>m</sub>** = Módulo de sección.

Esta tabla se puede encontrar en el Handbook Piping de RENO C. KING, pag 5-6.

### **2.3.3 ESPECIFICACIONES PARA LA UTILIZACIÓN DE CURVAS Y OMEGAS EN EL DISEÑO DE LÍNEAS DE VAPOR.**

A continuación se presentan los factores a tomar en cuenta para la utilización adecuada de curvas y omegas en el diseño de líneas de vapor. La utilización y diseño de las mismas es algo muy complejo y difícil de calcular, hoy en día algunas compañías que manufacturan tubería para líneas de vapor han normalizado tablas en las cuales se determinan de una manera muy fácil todas estas especificaciones.

En este caso, se hará referencia en la RICWIL PIPING SYSTEMS compañía con amplia experiencia en el campo. Algo muy importante es que toda la información que a continuación se muestra, es para una tubería de especificaciones ASTM A-53 o ASTM A-106, GRADO.B que es la más utilizada en lo que a instalaciones de vapor húmedo se refiere, pero además puede ser utilizada para instalaciones de vapor a otras condiciones siempre y cuando se guarden los límites de esfuerzo y temperatura máxima de ésta. La Máxima temperatura y esfuerzo a soportar por la tubería con estas especificaciones son de 650 °F y 22,500 psi respectivamente.

En las tablas que aparecerán a continuación con cada caso de curvas u omegas que se pueden dar en una línea de vapor, en primer lugar se debe hacer énfasis en la gráfica que aparece para cada caso de cómo debe ser la estructura y configuración de los componentes en cuestión, para tener una mejor visualización de lo que se está calculando.

Primero se busca en la tabla No.6 lo que se elonga la tubería entre dos puntos fijos para determinada temperatura, que en este caso serán los anclajes que se diseñan para la misma y que se visualiza en el esquema como una "X". Luego al tener la elongación, ésta se aproxima al valor que más se le parezca de los que aparecen en las tablas como ELONGAMIENTO DE TUBERÍA ENTRE ANCLAJES (en pulgadas), de donde con el diámetro de la tubería a utilizar se encuentra la distancia entre zapatas guías o las dimensiones de la omega a utilizar, para cada elongación determinada.

**TABLA No. 6**

**ELONGAMIENTO DE TUBERÍA DE ACERO DE ACUERDO  
A LAS NORMAS DE RICWIL PIPING SYSTEM**

PRES. VAPOR SATURADO psi.	TEMP. ° F	ELONGAMIENTO plg/100 pies	PRES. VAPOR SATURADO psi.	TEMP. ° F	ELONGAMIENTO plg/100 pies
	50	0	95	335	2.293
	60	0.081	100	338	2.349
	80	0.213	105	341	2.358
	100	0.386	110	344	2.383
	120	0.543	115	347	2.408
	140	0.697	120	350	2.434
	160	0.856	125	353	2.459
	180	1.016	130	355	2.475
	200	1.179	135	358	2.501
2.5	220	1.341	140	361	2.526
5	227	1.398	145	364	2.553
10	239	1.498	150	366	2.572
15	250	1.589	175	377	2.676
20	260	1.371	180.9	380	2.699
25	266	1.701	200	387	2.761
30	274	1.787	232.4	400	2.863
35	280	1.838	250	406	2.923
40	286	1.889	293.7	420	3.054
45	292	1.939	366.1	440	3.228
50	297	1.982	451.3	460	3.417
55	302	2.024	550.3	480	3.588
60	307	2.067	664.3	500	3.784
65	312	2.111	795.3	520	3.975
70	316	2.144	945.3	540	4.158
75	320	2.178	1115.3	560	4.348
80	324	2.212	1308.3	580	4.539
85	328	2.247	1525.3	600	4.735
90	331	2.272	1768.3	620	4.925
			2041.3	640	5.115

Las elongaciones citadas anteriormente se dan en pulgadas por cada 100 pies de longitud, por lo que se debe de tener en cuenta ésto para el cálculo de la elongación de un tramo en particular. Si se desea saber la elongación por cada pie de tubería se debe dividir la elongación citada en la tabla dentro de 100.

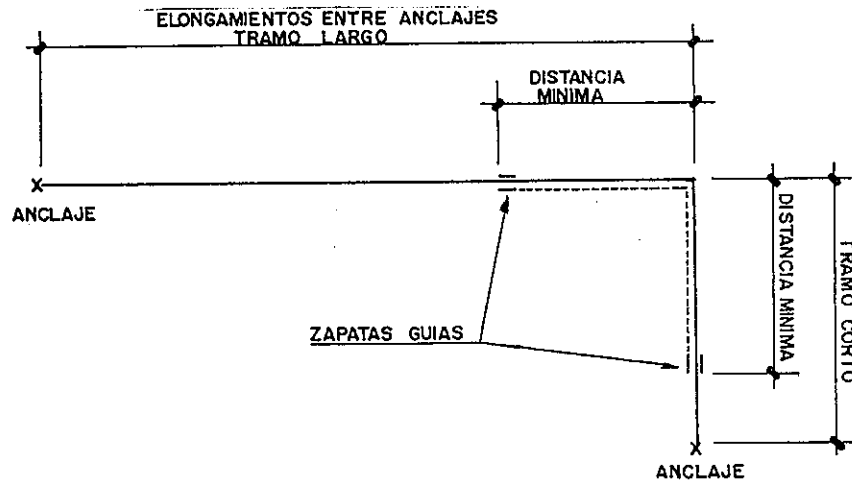
**Esta información pertenece a la tabla manual portátil que proporciona LA RICWIL PIPING SYSTEM.**



### 2.3.3.1 CURVA A 90°

#### ESQUEMA No. 1

#### DISTANCIA ENTRE COMPONENTES DE CURVA A 90°



#### NOTA:

1. Calcular de la tabla No.6 el elongamiento entre anclajes para el tramo más largo.
2. La distancia mínima requerida entre guías para este caso aparece en la tabla que se presenta a continuación. Se debe colocar una zapata guía en cada brazo de la curva en cuestión, como lo muestra la gráfica.

TABLA No. 7

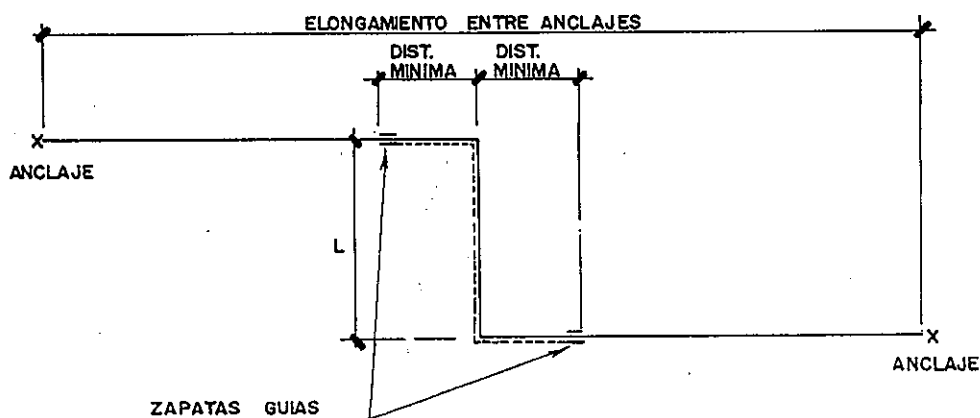
DIÁMETRO DE LA TUBERÍA	ELONGAMIENTO DE LA TUBERÍA ENTRE ANCLAJES								
	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"
	DIST. MIN. ENTRE ZAPATAS GUÍAS PARA CURVA DE 90° (pies)								
2"	8'	11'	13'	15'	16'	17'	18'	19'	20'
2 1/2"	9'	12'	14'	16'	17'	18'	19'	21'	22'
3"	13'	15'	17'	18'	19'	20'	22'	23'	23"
4"	11'	14'	16'	18'	19'	22'	22'	24'	25'
5"	12'	15'	17'	19'	21'	23'	25'	27'	28'
6"	13'	16'	19'	21'	23'	25'	27'	29'	31'
8"	18'	20'	22'	25'	27'	29'	31'	33'	35'
10"	20'	23'	26'	28'	30'	33'	35'	38'	40'
12"	22'	26'	29'	32'	34'	37'	40'	43'	45'

Esta información pertenece a la tabla manual portátil que proporciona LA RICWIL PIPING SISTEM.

### 2.3.3.2 CURVA EN "Z"

#### ESQUEMA No. 2

#### DISTANCIA ENTRE COMPONENTES DE CURVA EN "Z".



#### NOTAS:

1. Calcular de la tabla No.6 el elongamiento total de la distancia entre anclajes.
2. Se necesita una zapata guía a cada lado de los extremos más largos de la "Z" como lo muestra la gráfica. La distancia mínima de las zapatas guías al centro de la "Z" debe ser la misma que la distancia del travesaño de la misma denotado por "L". Dichas distancias pueden notarse en la tabla que aparece a continuación.

TABLA No. 8

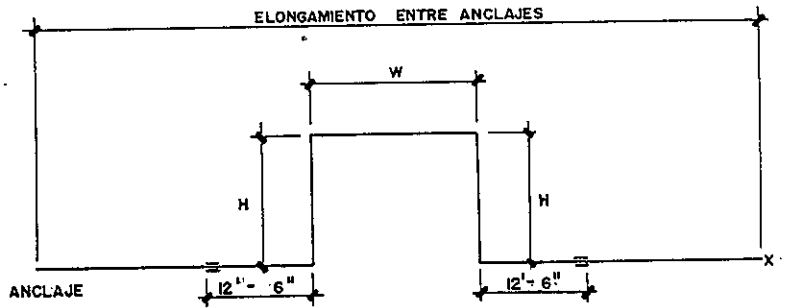
DIÁMETRO DE LA TUBERÍA	ELONGAMIENTO DE LA TUBERÍA ENTRE ANCLAJES								
	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"
	DIST. MIN. ENTRE ZAPATAS GUÍAS PARA CURVA EN "Z" (pies)								
2"	6'	7'	9'	10'	11'	12'	12'	13'	14'
2 1/2"	6'	8'	9'	10'	11'	12'	13'	14'	15'
3"	7'	9'	10'	12'	13'	14'	15'	16'	17'
4"	8'	10'	11'	13'	14'	16'	17'	18'	19'
5"	8'	10'	12'	14'	16'	17'	19'	20'	21'
6"	9'	11'	13'	15'	17'	19'	20'	22'	23'
8"	9'	12'	14'	17'	19'	20'	22'	24'	25'
10"	10'	13'	16'	18'	20'	23'	25'	27'	28'
12"	11'	14'	17'	20'	22'	24'	26'	28'	30'

Esta información pertenece a la tabla manual portátil que proporciona LA RICWIL PIPING SISTEM.

### 2.3.3.3 OMEGAS

#### ESQUEMA No. 3

#### DISTANCIA ENTRE COMPONENTES Y DIMENSIONES DE OMEGAS



#### NOTAS:

1. Calcular de la tabla No.6 el elongamiento de la distancia entre anclajes.
2. La distancia de las zapatas guías a la omega es en todo caso la misma 12'-6", pero las dimensiones (W = ancho y H = altura) de la misma varían según varios factores que se pueden observar conjuntamente en la tabla que aparece a continuación.

TABLA No. 9

DIÁMETRO DE LA TUBERÍA	ELONGAMIENTO DE LA TUBERÍA ENTRE ANCLAJES											
		1"	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	9"	10"	
		DIMENSIONES DE OMEGA A UTILIZAR EN LA LÍNEA DE VAPOR (pies)										
2"	W	2'-0"	2'-6"	3'-6"	4'-0"	4'-6"	5'-0"	5'-6"	6'-0"	6'-6"	7'-0"	
	H	4'-0"	5'-0"	7'-0"	8'-0"	9'-0"	10'-0"	11'-0"	12'-0"	13'-0"	14'-0"	
2 1/2"	W	2'-0"	3'-0"	3'-6"	4'-0"	4'-6"	5'-0"	5'-6"	6'-0"	6'-6"	7'-0"	
	H	4'-0"	6'-0"	7'-0"	8'-0"	9'-0"	10'-0"	11'-0"	12'-0"	13'-0"	14'-0"	
3"	W	2'-0"	3'-0"	4'-0"	4'-6"	5'-6"	6'-0"	6'-6"	7'-0"	7'-6"	8'-0"	
	H	4'-0"	6'-0"	8'-0"	9'-0"	11'-0"	12'-0"	13'-0"	14'-0"	15'-0"	16'-0"	
4"	W	2'-6"	3'-6"	4'-6"	5'-6"	6'-0"	7'-0"	7'-6"	8'-0"	9'-0"	9'-6"	
	H	5'-0"	7'-0"	9'-0"	11'-0"	12'-0"	14'-0"	15'-0"	16'-0"	18'-0"	19'-0"	
5"	W	2'-6"	4'-0"	5'-0"	6'-0"	7'-0"	8'-0"	8'-6"	9'-6"	10'-0"	11'-0"	
	H	5'-0"	8'-0"	10'-0"	12'-0"	14'-0"	16'-0"	17'-0"	19'-0"	20'-0"	22'-0"	
6"	W	2'-6"	4'-6"	5'-6"	6'-6"	7'-6"	8'-6"	9'-6"	10'-6"	11'-0"	12'-0"	
	H	5'-0"	9'-0"	11'-0"	13'-0"	15'-0"	17'-0"	19'-0"	21'-0"	22'-0"	24'-0"	
8"	W	3'-0"	4'-6"	6'-0"	7'-6"	8'-6"	9'-6"	10'-6"	11'-6"	12'-6"	13'-6"	
	H	6'-0"	9'-0"	12'-0"	15'-0"	17'-0"	19'-0"	21'-0"	23'-0"	25'-0"	27'-0"	
10"	W	3'-0"	4'-6"	6'-6"	8'-0"	9'-6"	10'-6"	11'-6"	12'-6"	13'-6"	14'-6"	
	H	6'-0"	9'-0"	13'-0"	16'-0"	19'-0"	21'-0"	23'-0"	25'-0"	27'-0"	29'-0"	
12"	W	3'-0"	5'-0"	6'-6"	8'-6"	10'-0"	11'-0"	12'-6"	13'-6"	14'-6"	15'-6"	
	H	6'-0"	10'-0"	13'-0"	17'-0"	20'-0"	22'-0"	25'-0"	27'-0"	29'-0"	31'-0"	

Esta información pertenece a la tabla manual portátil que proporciona LA RICWIL PIPING SYSTEM.

## 2.4 CAMBIOS QUE SUFREN LAS TUBERÍAS DE VAPOR A DISTINTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS

### 2.4.1 DILATACIÓN DE TUBERÍAS:

Uno de los puntos más críticos de la instalación de tuberías de vapor a elevada temperatura, es la dilatación. Los problemas que se originan en la tubería de vapor saturado y recalentado requieren un cuidadoso estudio para conseguir un sistema flexible, intercalando liras, bucles y omegas de diversos tipos. La dilatación de la tubería a partir de los 0 °C pueden calcularse por medio de fórmulas cuidadosamente diseñadas para el caso, de las cuales se hará mención en los próximos capítulos.

Los sistemas de tuberías tienen que proyectarse de modo que :

1. No fallen a causa de esfuerzos excesivos.
2. No produzcan empujes ni momentos excesivos al conectarlos al equipo.
3. Que no se ocasionen fugas en las juntas por la dilatación de los tubos.

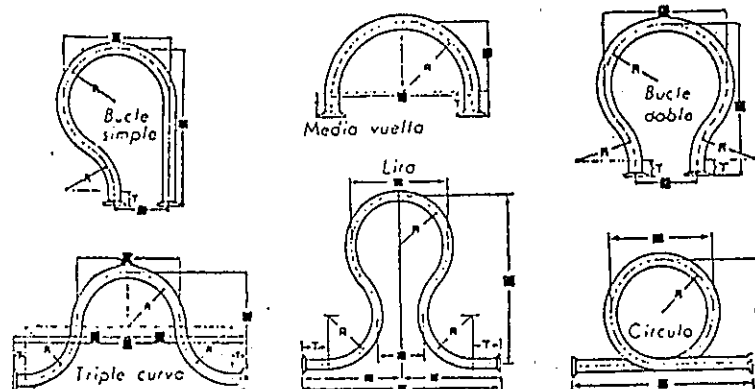
### 2.4.2 JUNTAS Y CURVAS DE DILATACIÓN:

El método más satisfactorio para hacer frente a las dilataciones que la tubería sufre por el cambio de temperatura, consiste en el montaje adecuado de liras, omegas y bucles , intercalados en la misma conducción, con anclajes que limiten el movimiento entre ciertos puntos, o se toman disposiciones para absorber las deformaciones térmicas empleando juntas de expansión.

A continuación, en la figura No.4 y la tabla No.10 se enuncian los distintos tipos de liras y bucles más utilizados en el montaje de tuberías para reducir los esfuerzos por elongamiento, y las dimensiones que las mismas deben poseer dependiendo del material de la tubería:

FIGURA No. 4

#### TIPOS DE LIRAS Y CURVAS DE DILATACIÓN



Liras y curvas de dilatación de la Crane Co.

**TABLA No. 10**

**ESPECIFICACIONES Y DIMENSIONES DE LIRAS Y CURVAS DE DILATACIÓN**

Diámetro nominal del tubo (pulgadas) ...	2 ½	3	3 ½	4	4 ½	5	6	7	8	9
Diámetro del tubo en milímetros ...	64	76	90	100	113	125	150	175	200	225
R, radio mínimo de curvatura aconsejable, mm ...	317	381	444	508	571	635	762	889	1016	1143
Mínimo radio posible con que se puede curvar el tubo, mm:										
{ tubo normal ...	254	305	356	406	457	508	660	762	864	1067
{ tubo extrafuerte ...	178	203	254	305	356	381	508	610	711	889
T, Longitud mínima de recta fuera de las curvas, mm:										
{ atornillado ...	102	102	127	127	152	152	178	203	229	279
{ soldado ...		127	127	127	127	127	152	152	152	152
{ encajado ...		152	152	152	152	178	178	203	203	229
Diámetro nominal del tubo (pulgadas) ...	10	12	14	15	16	18	20	22	24	
Diámetro del tubo en milímetros ...	250	300	350	375	400	450	500	550	600	
R, radio mínimo de curvatura aconsejable, mm ...	1270	1524	1778	1905	2032	2743	3048	3353	3656	
Mínimo radio posible con que se puede curvar el tubo, mm:										
{ tubo normal ...	1143	1372	1778	1905	2032	2286	2642	3353	3656	
{ tubo extrafuerte ...	1016	1270	1651	1778	1981	2235	2642	3353	3656	
T, Longitud mínima de recta fuera de las curvas, mm:										
{ atornillado ...	305	356	406	406	457	457	457	457	457	
{ soldado ...	178	178	178	178	203	203	203	229	229	
{ encajado ...	254	254	356	356	406	457	457	508	508	

La presente tabla fué tomada de Centrales de Vapor de G.A. GAFFERT, pag 366.

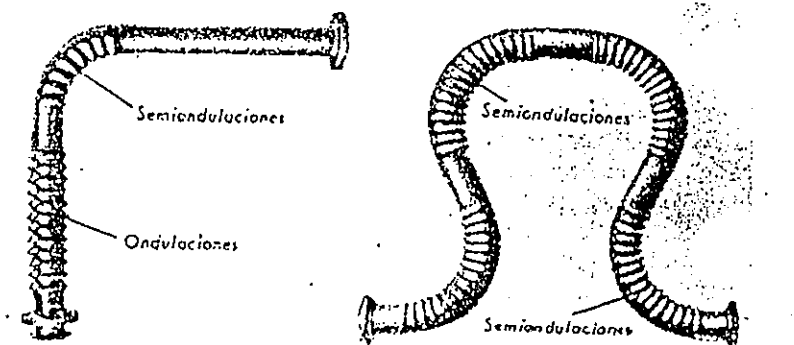
Ciertos tipos de juntas de dilatación están situadas en un mismo plano, y sirven sólo para el caso de fuerzas coplanarias, es decir elongaciones lineales que la junta absorbe. En semejantes casos la solución es simple, dependiendo como es natural, de la rigidez admitida en los extremos de la tubería. La condición de un extremo puede ser: fija, articulada o perfectamente libre de moverse en cualquier dirección. Cuando el codo no es plano, la solución del problema requiere una previa determinación de las tres componentes de la fuerza actuante en cada soporte y los montajes en cada uno de los tres planos.

Varios constructores han fabricado juntas de dilatación de diversos tipos y las han sometido a condiciones diferentes para comprobar los valores teóricos obtenidos por cálculos, también se han hecho diversas comprobaciones en el laboratorio y los resultados se han incorporado a las fórmulas teóricas para obtener las tolerancias de dilatación en los diversos codos.

Cuando no es oportuno colocar la conducción en dos planos para obtener flexión y torsión que permitan la dilatación, se suelen intercalar curvas. En la figura No.5 se muestran dos tipos de curvas de dilatación correspondiendo la flexibilidad máxima a la pieza llamada LIRA y la mínima a la MEDIA VUELTA.

## FIGURA No. 5

### TIPOS DE JUNTAS DE DILATACIÓN



— Juntas de dilatación, construidas por la Pittsburgh Piping and Equipment Co.

Estas piezas de dilatación son adecuadas para las más altas presiones si son de tubo de acero sin costura y tienen el espesor de pared en consonancia con la presión de trabajo. Las semiondulaciones internas de los codos y las ondulaciones completas de las partes rectas aumentan grandemente la flexibilidad.

Para tuberías largas de baja presión, con movimiento de hasta 20 cm, se usan las juntas deslizantes de manguito prensaestopas que no es más que un tubo dentro de otro con una empaquetadura, pero la experiencia demuestra que dichas juntas son difíciles de conservar cuando se usan en tuberías de alta presión. En la figura No.6 se muestra un tipo de junta que ha tenido éxito en servicios de presión y temperaturas altas. El fuelle está diseñado para absorber la deformación axial o la lateral, o bien una combinación de ambas. El manguito interno guía el movimiento de la junta y protege además al fuelle del contacto directo con el fluido manipulado.

Para tuberías a presión son satisfactorias las juntas metálica de expansión y la de expansión de cobre con manguito deslizante interior de monel o acero inoxidable, con una dilatación que no fatigue demasiado el fuelle o acordeón como se puede apreciar a continuación en la figura No. 8.

La junta de caucho es satisfactoria para el servicio con agua fría como para bombas de condensado, tubería de agua de circulación, etc.

A continuación se visualizan los distintos tipos de juntas de dilatación:

FIGURA No. 6

JUNTA DE MANGUITO PRENSAESTOPAS

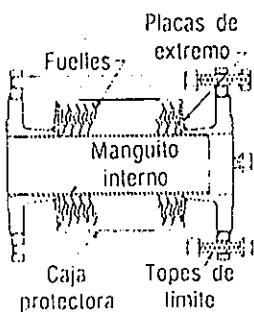


FIGURA No. 7

JUNTA PARA MOVIMIENTOS LATERALES

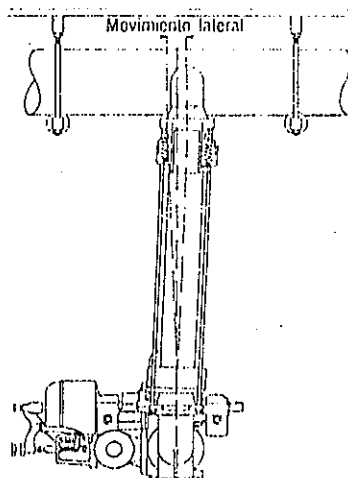
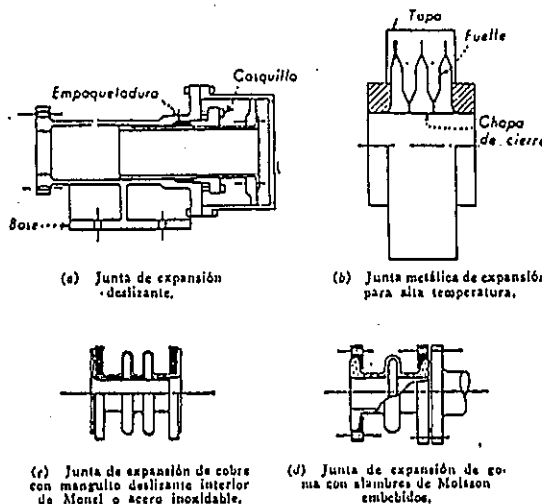


FIGURA No. 8

OTROS TIPOS DE JUNTAS DE DILATACIÓN



Cuando es necesario absorber o compensar grandes deformaciones laterales, pueden utilizarse dos juntas de dilatación, separadas por la longitud de un tubo, como es el caso de la figura No.7 . Con esta disposición puede aumentarse muchas veces la deformación lateral admisible con una sola junta. Siempre se instalan tirantes de varilla, como los indicados para proteger la junta contra recorridos excesivos y para guiar exteriormente su movimiento.

## **2.5 OTROS ASPECTOS FUNDAMENTALES SOBRE LÍNEAS DE VAPOR**

### **2.5.1 AISLAMIENTO DE TUBERÍAS:**

El valor de un recubrimiento o forro de tubería de vapor se mide por su capacidad para reducir las pérdidas de calor. Estas varían, en tubo desnudo, desde el 50 % de tuberías pequeñas a baja temperatura hasta el 90 % en las grandes a alta temperatura. Hay muchos materiales aislantes para tubería, como: el del 85% de magnesia (ligada con fibra de asbesto), la fibra de vidrio, el silicato de calcio y varias formas de tierras diatomácea. Algunos de estos materiales sólo son convenientes para temperaturas relativamente bajas; otros son más adecuados para temperaturas altas, y aun hay otros que son convenientes para un considerable intervalo de temperatura.

El aislamiento de la tubería se aplica por secciones moldeadas de 3 pies de longitud. Para trabajo a alta temperatura se ponen al menos dos capas de aislamiento con las juntas alternadas entre una capa y otra para impedir que se construya en un canal directo de pérdida de calor debido a su limitación de temperatura máxima de aproximadamente 600 °F (316 °C). El recubrimiento de 85 % de magnesia se pone de segunda capa sobre otra de un material resistente a alta temperatura colocado en contacto directo con el tubo. El aislamiento moldeado se sujeta firmemente a su sitio con alambre galvanizado o de cobre y se le da luego un acabado a su superficie; los tubos situados en interiores son envueltos, primero con papel resinoso y recubiertos con lona unida con pegamento o cocida; los tubos al exterior después de ser envueltos con dicho papel y con lona se protegen de la intemperie con una mano de un compuesto impermeable de tipo asfáltico, o bien se encasquillan en chaquetas metálicas de acero o aluminio.

La pérdida de calor del tubo aislado se manifiesta en tres fases:

- El calor pasa por conducción, a través de la pared metálica del tubo y del material aislante.
- A continuación se disipa por convección al intercambiar calor con el fluido que se que se transporta.
- Por último, por radiación, al transferirse ondas electromagnéticas desde la superficie interior del tubo.

La labor para calcular exactamente las pérdidas de calor es algo tedioso, puesto que las debidas a la radiación y convección están relacionadas con la temperatura superficial ( exterior del aislamiento), la cual se desconoce hasta que las pérdidas por conducción son equilibradas con las superficiales.

A continuación se enuncian las tablas No.11 y No.12 las cuales dan a conocer los espesores de aislamientos recomendados para tubería expuesta a temperaturas hasta de 520 °C y el equipo y aislamiento de placas hasta 566 °C respectivamente.



**TABLA No. 11**

**ESPEORES DE AISLAMIENTOS RECOMENDADOS PARA TUBERÍAS; TEMPERATURAS HASTA 520 °C.**

ESPEORES DE AISLAMIENTOS RECOMENDADOS PARA TUBERÍAS;  
TEMPERATURAS HASTA 520 °C

Zona de temperaturas de trabajo. °C.	Diámetros nominales de los tubos. Pulgadas.	Espesor de la primera capa de alto aislamiento. Milímetros.	Espesor de la capa superior del aislamiento con 85 % de magnesia. Milímetros.	Espesor total del aislamiento. Milímetros.
De 27 a 119	Cualquier tamaño	Innecesario	Espesor normal simple	Espesor normal simple
120 a 174	1 1/2 y menores 2 a 4 6 y mayores	Innecesario Innecesario Innecesario	Espesor normal simple Espesor normal simple 50	Espesor normal simple Espesor normal simple 50
175 a 259	1/2 y menores 2 a 4 6 y mayores	Innecesario Innecesario Innecesario	40 40 Espesor normal doble	40 40 Espesor normal doble
260 a 369	1 1/2 y menores 2 a 4 6 y mayores	40 30 a 40 40	No se requiere capa externa 40 50	40 70 a 80 90
370 a 449	1 1/2 y menores 2 a 4 6 y mayores	50 45 a 50 50	No se requiere capa externa 40 50	50 85 a 90 100
450 a 538	1 1/2 y menores 2 a 4 6 8 y mayores	50 45 a 50 65 65	No se requiere capa externa 30 50 65	50 75 a 80 115 130
566	6	75	50	130

Esta tabla fue obtenida de Centrales de Vapor de G.A. GAFFERT, pag 382.

**TABLA No. 12**

**EQUIPO Y AISLAMIENTO DE PLACAS; TEMPERATURAS HASTA 566 °C**

TEMPERATURAS HASTA 566 °C  
Equipo y aislamiento de placas

Equipo	Temperatura	Bloque refractario	Bloque de magnesita
Depósitos, calentadores, tuberías, tuberías de aire y agua, ventiladores y colectores de polvo.	37,8 - 110		38
	110 - 149		51
	149 - 204		63
	204 - 260		76
	260 - 371	38	51
	371 - 427	51	51
Superficies de agua fría.	Antitrasudamiento	12 mm de corcho granulado 25 mm de corcho aglomerado	

La presente tabla fue tomada de Centrales de Vapor de G.A. GAFFERT, pag 382.

## **2.5.2 DIAGRAMA DE PROCESO DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN DEL INGENIO MADRE TIERRA:**

En cuanto se ha calculado el equipo principal y auxiliar de una central de vapor, es necesario conectar este equipo entre sí con ayuda de tubos. El dimensionado de tubos se basa en el diagrama de trabajo o ciclo térmico, puesto que del máximo que presenta el diagrama pueden deducirse las diversas tuberías y sus diámetros. No obstante resulta necesario, para preparar los planos de las tuberías, trazar los esquemas de varios sistemas esenciales de tuberías. El esquema real de la tubería puede estudiarse, una vez que la disposición general de la central haya sido establecida.

En nuestro caso nos compenetraremos principalmente a las tuberías que conducen vapor. A continuación se enunciarán los diagramas No. 1, 2 y 3 de la Central Térmica de Cogeneración del Ingenio Madre Tierra, en el cual se incluyen tanto tuberías de vapor como de condensado del sistema.

Los diagramas que se mostrarán a continuación guardarán el siguiente orden:

### **DIAGRAMA No. 1:**

**PROCESO DE OPERACIÓN DE CALDERA No. 6 Y TURBOGENERADOR DE 5 MW.** La caldera No.6 genera el vapor necesario para la operación del turbogenerador de 5 MW, surtiendo éste último de vapor para proceso de fabricación al Ingenio, en el cual se condensa y se bombea nuevamente al deareador (página No. 32).

### **DIAGRAMA No. 2:**

**PROCESO DE OPERACIÓN DE CALDERAS No. 5 Y No. 7 CON TURBOGENERADOR DE 15 MW.** Solamente una caldera trabajando a la vez genera el vapor necesario para operar el turbogenerador de 15 MW, donde se condensa y es bombeado a un nuevo ciclo (página No 33).

### **DIAGRAMA No. 3:**

**PROCESO DE CALENTAMIENTO E INYECCIÓN DE AGUA DE ALIMENTACIÓN DE CALDERAS No.5 O No.7.** En éste diagrama se puede observar cómo a los condensados se les incrementa la temperatura al ser bombeados a través de calentadores y deareador, para aumentar la eficiencia de la caldera en operación. También se observa cómo el evaporador añade vapor de reposición al sistema, debido a las diferentes purgas de la caldera (página No. 34).

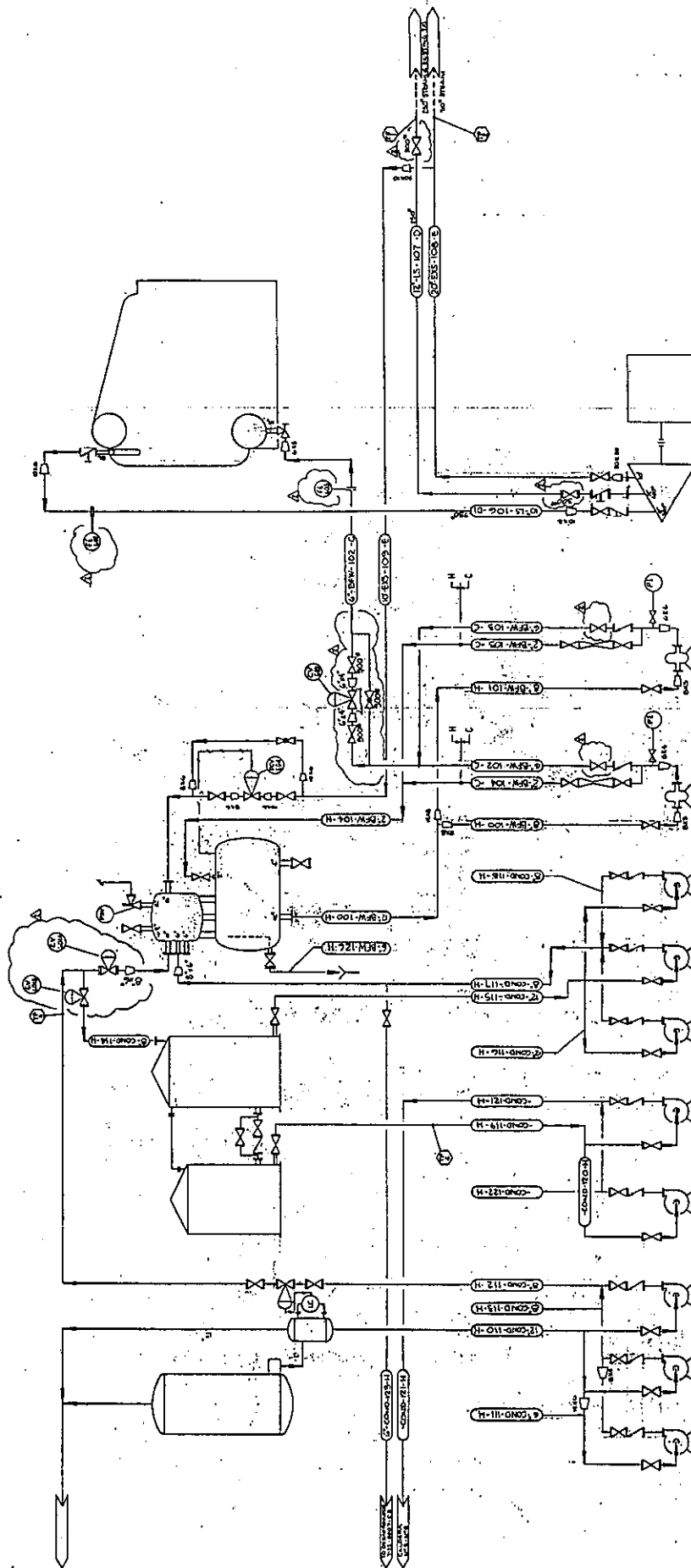
Los diagramas fueron elaborados por ARKEL INTERNATIONAL INC.

CAJACEL, U.S.A.

RESERVADE

TURBINA DE AGUA  
CON MOTOR  
(NUEVO)

TURBINA DE AGUA  
CON MOTOR  
(NUEVO)



9/29

RELEASED FOR CONSTRUCTION

DATE 11-13-54

TURBINA DE AGUA  
CON MOTOR

BOQUINA DE ALIMENTACION  
DE LA CALDERA  
CON MOTOR  
CON MOTOR  
CON MOTOR

BOQUINA DE ALIMENTACION  
DE LA CALDERA  
CON MOTOR  
CON MOTOR

BOQUINA DE AGUA  
CON MOTOR  
CON MOTOR

BOQUINA DE AGUA  
CON MOTOR  
CON MOTOR

NO.	FECHA	DESCRIPCION	ELABORADO	REVISADO	APROBADO
1		REVISADO Y APROBADO			
2		REVISADO Y APROBADO			
3		REVISADO Y APROBADO			
4		REVISADO Y APROBADO			
5		REVISADO Y APROBADO			
6		REVISADO Y APROBADO			
7		REVISADO Y APROBADO			
8		REVISADO Y APROBADO			
9		REVISADO Y APROBADO			
10		REVISADO Y APROBADO			
11		REVISADO Y APROBADO			
12		REVISADO Y APROBADO			
13		REVISADO Y APROBADO			
14		REVISADO Y APROBADO			
15		REVISADO Y APROBADO			
16		REVISADO Y APROBADO			
17		REVISADO Y APROBADO			
18		REVISADO Y APROBADO			
19		REVISADO Y APROBADO			
20		REVISADO Y APROBADO			
21		REVISADO Y APROBADO			
22		REVISADO Y APROBADO			
23		REVISADO Y APROBADO			
24		REVISADO Y APROBADO			
25		REVISADO Y APROBADO			
26		REVISADO Y APROBADO			
27		REVISADO Y APROBADO			
28		REVISADO Y APROBADO			
29		REVISADO Y APROBADO			
30		REVISADO Y APROBADO			
31		REVISADO Y APROBADO			
32		REVISADO Y APROBADO			
33		REVISADO Y APROBADO			
34		REVISADO Y APROBADO			
35		REVISADO Y APROBADO			
36		REVISADO Y APROBADO			
37		REVISADO Y APROBADO			
38		REVISADO Y APROBADO			
39		REVISADO Y APROBADO			
40		REVISADO Y APROBADO			
41		REVISADO Y APROBADO			
42		REVISADO Y APROBADO			
43		REVISADO Y APROBADO			
44		REVISADO Y APROBADO			
45		REVISADO Y APROBADO			
46		REVISADO Y APROBADO			
47		REVISADO Y APROBADO			
48		REVISADO Y APROBADO			
49		REVISADO Y APROBADO			
50		REVISADO Y APROBADO			
51		REVISADO Y APROBADO			
52		REVISADO Y APROBADO			
53		REVISADO Y APROBADO			
54		REVISADO Y APROBADO			
55		REVISADO Y APROBADO			
56		REVISADO Y APROBADO			
57		REVISADO Y APROBADO			
58		REVISADO Y APROBADO			
59		REVISADO Y APROBADO			
60		REVISADO Y APROBADO			
61		REVISADO Y APROBADO			
62		REVISADO Y APROBADO			
63		REVISADO Y APROBADO			
64		REVISADO Y APROBADO			
65		REVISADO Y APROBADO			
66		REVISADO Y APROBADO			
67		REVISADO Y APROBADO			
68		REVISADO Y APROBADO			
69		REVISADO Y APROBADO			
70		REVISADO Y APROBADO			
71		REVISADO Y APROBADO			
72		REVISADO Y APROBADO			
73		REVISADO Y APROBADO			
74		REVISADO Y APROBADO			
75		REVISADO Y APROBADO			
76		REVISADO Y APROBADO			
77		REVISADO Y APROBADO			
78		REVISADO Y APROBADO			
79		REVISADO Y APROBADO			
80		REVISADO Y APROBADO			
81		REVISADO Y APROBADO			
82		REVISADO Y APROBADO			
83		REVISADO Y APROBADO			
84		REVISADO Y APROBADO			
85		REVISADO Y APROBADO			
86		REVISADO Y APROBADO			
87		REVISADO Y APROBADO			
88		REVISADO Y APROBADO			
89		REVISADO Y APROBADO			
90		REVISADO Y APROBADO			
91		REVISADO Y APROBADO			
92		REVISADO Y APROBADO			
93		REVISADO Y APROBADO			
94		REVISADO Y APROBADO			
95		REVISADO Y APROBADO			
96		REVISADO Y APROBADO			
97		REVISADO Y APROBADO			
98		REVISADO Y APROBADO			
99		REVISADO Y APROBADO			
100		REVISADO Y APROBADO			

ARKEL INTERNATIONAL, INC.  
 1000 WEST 14TH AVENUE  
 DENVER, COLORADO 80202 U.S.A.  
 TELEPHONE 333-3333

INGENIERO MAESTRO TIERRA  
 SANTA LUCIA DE COTACACHI, BOLIVIA  
 DISEÑADOR DE CALDERAS Y INSTRUMENTACION  
 PROYECTO COGENERACION  
 BOQUENON 1132-00-0007-02

BOQUINA DE ALIMENTACION  
 DE LA CALDERA  
 CON MOTOR  
 CON MOTOR  
 CON MOTOR

BOQUINA DE ALIMENTACION  
 DE LA CALDERA  
 CON MOTOR  
 CON MOTOR

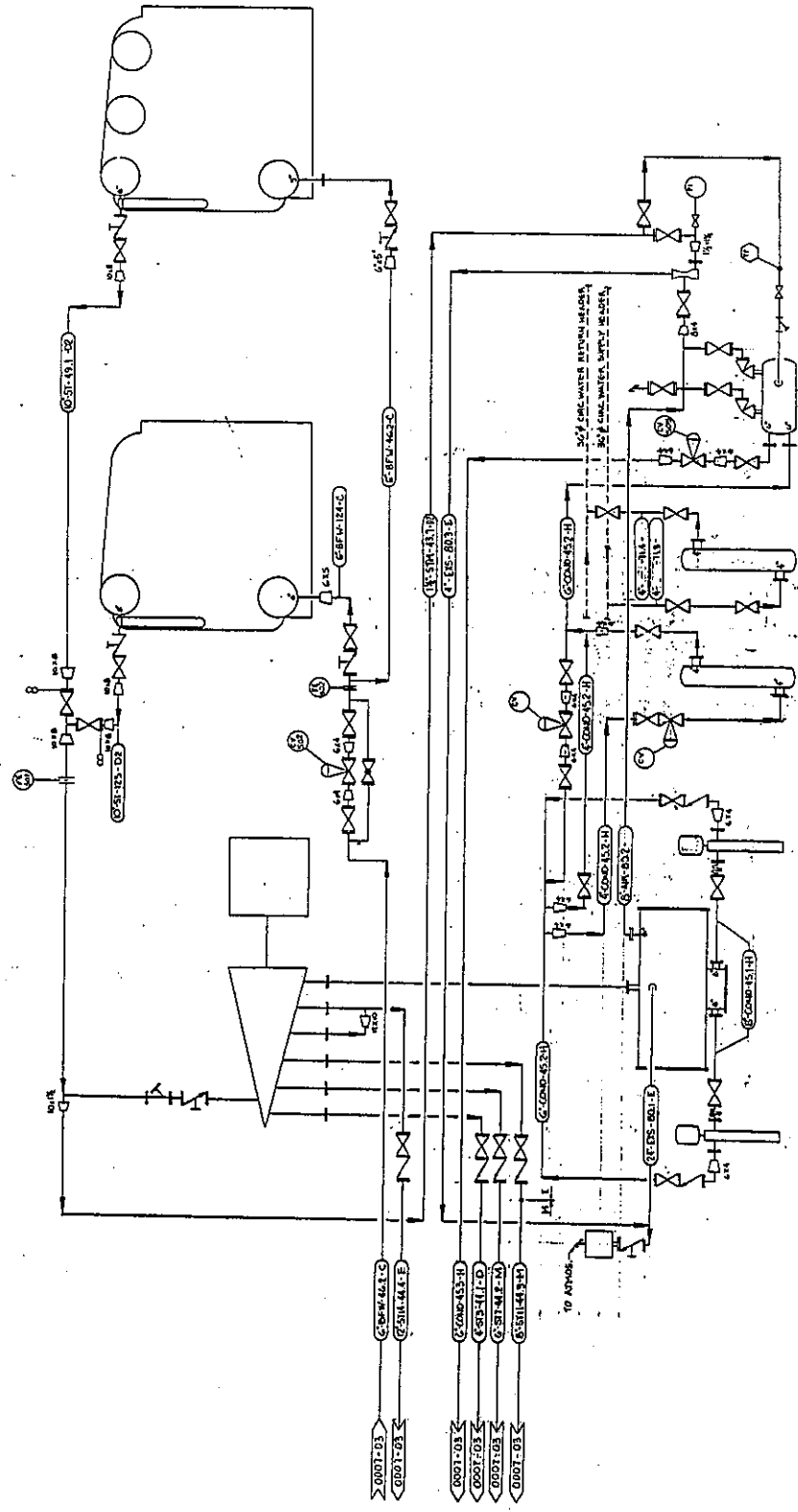
BOQUINA DE AGUA  
 CON MOTOR  
 CON MOTOR

BOQUINA DE AGUA  
 CON MOTOR  
 CON MOTOR

TURBOGENERADOR

CALDERA N°7

CALDERA N°5



9/29

RELEASED FOR CONSTRUCTION

DATE

NO. DE DISEÑO	NO. DE REVISION	NO. DE PLAN	NO. DE HOJA	NO. DE TUBERIA	NO. DE VALVULA	NO. DE BOMBA	NO. DE MOTOR	NO. DE ELECTRICIDAD	NO. DE INSTRUMENTACION	NO. DE OTRAS
ENTRADA PARA CONSTRUCCION										
INGENIO MADRE TIERRA DIAGRAMA DE PROCESO E INSTRUMENTACION CALDERA N° 5 E N° 7 PROYECTO DE CONSTRUCCION ARKEL INTERNATIONAL, INC. POST OFFICE BOX 1119 STATION BOULEVARD, LA HABRA, CALIF. U.S.A. ARKEL INTERNATIONAL, INC. en el extranjero, no se responsabiliza por los errores de este diagrama. NONE 7132-0007-01										



### **3. ASPECTOS TEÓRICOS SOBRE TODOS LOS COMPONENTES QUE CONFORMAN LAS LÍNEAS DE VAPOR DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se estudiarán todos los componentes que interactúan en las líneas de vapor del proyecto de cogeneración del Ingenio Madre Tierra, para que las mismas puedan elongarse libremente sin sufrir excesivos esfuerzos que las puedan llevar a un colapso.

Los componentes fueron propuestos por la compañía que diseñó las líneas de vapor del proyecto de Cogeneración ARKEL INTERNATIONAL INC., la cual realizó un estudio preliminar para determinar todos los factores a tomar en cuenta en el diseño y dimensiones de los mismos para que soportaran las condiciones de operación de la planta.

Los componentes en cuestión son principalmente de dos clases:

#### **- TIPOS DE SOPORTES O ZAPATAS MÓVILES:**

Son los que además de soportar la tubería permiten el deslizamiento de la misma para que los elongamientos se den hacia donde lo pide el diseño, para que de esta manera trabajen los componentes tales como omegas, juntas de dilatación etc. que se intercalaron a lo largo de la misma para evitar esfuerzos excesivos.

#### **- TIPOS DE SOPORTES O CARGADORES:**

Son básicamente los soportes que cargan la tubería de las líneas de vapor soportando el peso de la misma. Estos deben ser bastante rígidos y seguros para poder soportar el sistema en operación.

#### **3.2 TIPOS DE TUBERÍA A UTILIZAR EN CADA LÍNEA:**

El material o tipo de aleación de las líneas de vapor fueron seleccionadas según las condiciones de trabajo a la que estarán sometidas, tales condiciones son primordialmente presión y temperatura de operación. A continuación se especifican las tuberías y el material que las componen:

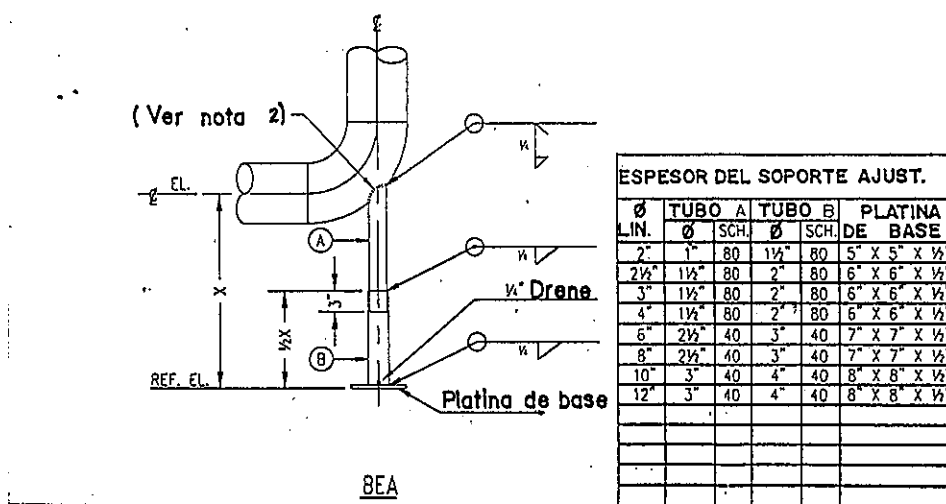
- Tubería vapor vivo 10" diámetro, para Turbogenerador de 15 MW a 825 °F y 650 psig.  
Acero ASTM A-335 GR. P 11 contiene 1 1/4 Cr-1/2 Mo-Si

- Tubería vapor vivo 10" diámetro, para Turbogenerador de 5 MW a 750 °F y 750 psig.  
Acero ASTM A-234 WPB contiene Cromo-Silicio
- Tuberías de Extracción de 12" diámetro ( a 525 °F y 225 psig) y escape de 20" diámetro ( a 300 °F y 20 psig) del Turbogenerador de 5 MW.  
Acero ASTM A-216 WCB contiene Cromo-Silicio.
- Tuberías de 3a. extracción de 4" diámetro ( a 617 °F y 225 psig) y de 7a. extracción de 6" diámetro ( a 446 °F y 90 psig) del Turbogenerador de 15 MW.  
Acero ASTM A-106 A contiene Carbono-Cromo.
- Tuberías de 11a. extracción de 8" diámetro ( 225 °F y 35 psig ) y de 14a. extracción de 12" diámetro ( a 173 °F y 6.4 psig) del Turbogenerador de 15 MW.  
Acero ASTM A-53 A contiene Carbono-Cromo.

### 3.3 TIPOS DE SOPORTES O ZAPATAS MÓVILES

A continuación se enuncian los distintos tipos de zapatas móviles que fueron utilizadas en el montaje de las líneas de vapor en el proyecto de cogeneración del Ingenio Madre Tierra:

FIGURA No. 9



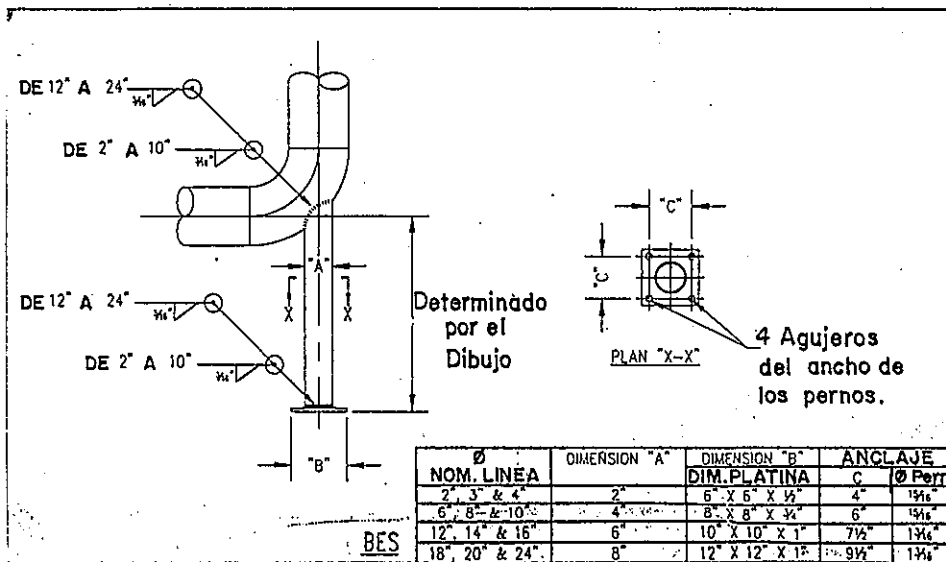
**EL BEA:** Es un soporte fijo de BRAZO TEMPLADOR, que utiliza tubos sobre una platina (según el diámetro de la tubería ver dimensiones en la tabla de la figura No. 9) soldados a la línea. El factor primordial para utilizar este soporte, es tener una base sólida en el piso, en la cual se pueda apoyar todo el peso del tramo de tubería a sostener.

Todas las especificaciones necesarias se pueden observar en la figura No.9.

**NOTA 1:** Un ensamble requerido para cada número de marca.

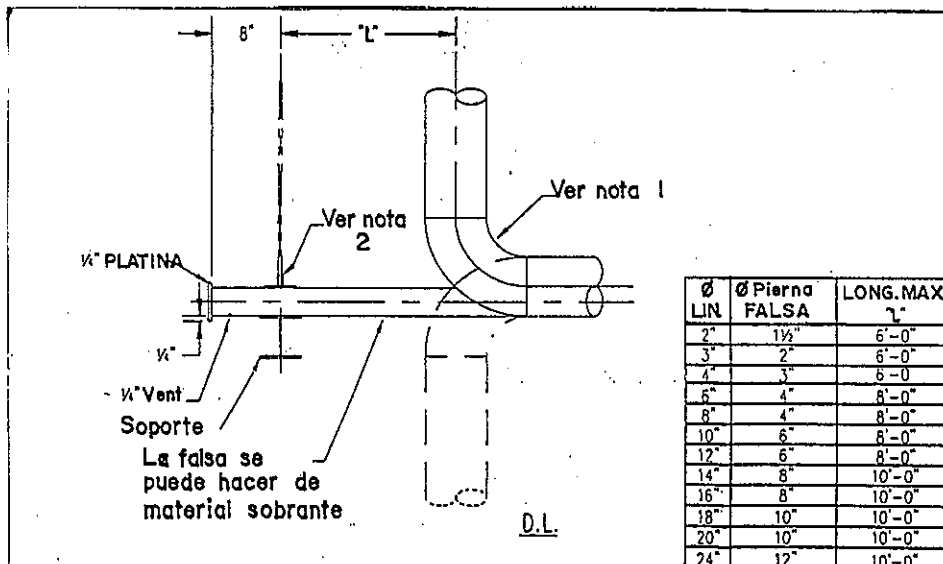
**NOTA 2:** No cortar a través de la tubería, soldar solamente una falsa.

**FIGURA No. 10**



**EL BES:** Es un soporte idéntico al BEA, la diferencia es que este va atornillado al piso para evitar que el soporte se despegue del mismo y que es un solo tubo sin extensión ajustable. Las especificaciones, del tubo, platina y agujeros de la misma aparecen en la figura No.10 y dependen del diámetro de la línea.

**FIGURA No. 11**



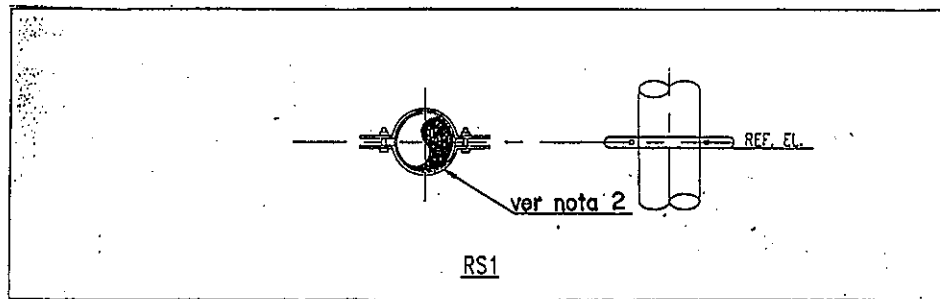
**EL D.L. :** Dummy leg (pierna falsa), es el tipo de soporte a utilizar cuando no existe apoyo por debajo de la línea y se debe de sujetar el codo que dobla hacia cualquier dirección. Permite el libre movimiento de la tubería, se puede sostener en una viga cercana (como base para el soporte) o con un tensor móvil soldado a una viga en un nivel más alto. Todas las especificaciones se muestran en la figura No.11 y las dimensiones dependen del diámetro de la tubería.

**NOTA 1:** Cuando la tubería tiene especificación STD (que transporta vapor), debe unirse al codo un WT (soporte que permita el movimiento de la tubería). Cuando se especifica que la tubería es DWG (para transporte de agua) el soporte no es necesariamente móvil.

**NOTA 2:** Cuando sea utilizado el tensor se debe consultar el manual de GRINELL Fig. 66 en el cual se especifica cómo se acopla el tensor a la viga. (Si se va a aislar la tubería utilizar zapata móvil en el tubo, si no es necesario).



**FIGURA No. 12**

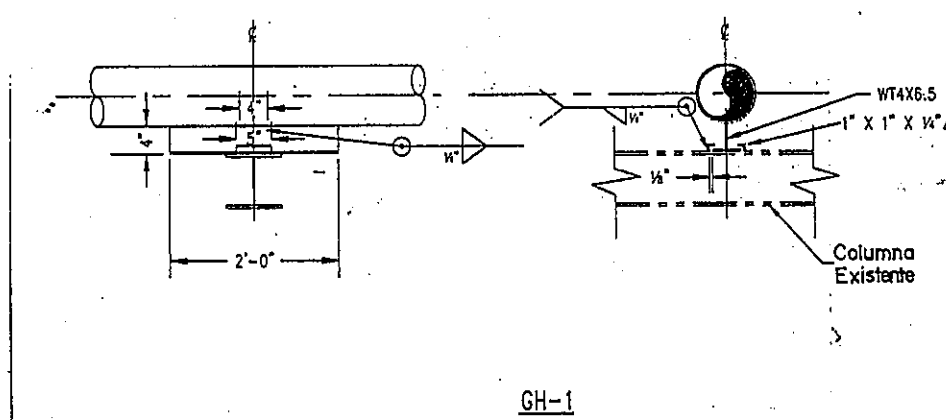


**EL RS1:** Es una abrazadera que se utiliza cuando la tubería no puede sostenerse de ninguna manera, debido a que no existe estructura alguna alrededor de la misma, entonces se recurre al RS1 el cual se complementa con un tensor móvil amarrado a una estructura que se construya para el caso a un nivel más alto de la misma. (ésto sucede cuando la tubería se tiende de un edificio a otro a campo abierto). Las especificaciones pueden observarse en la figura No. 12.

**NOTA 1:** Un ensamble requerido para cada diámetro de tubería.

**NOTA 2:** Buscar tipo de abrazadera necesitada en el manual de GRINELL Fig. 261, o un diseño equivalente aprobado.

**FIGURA No. 13**



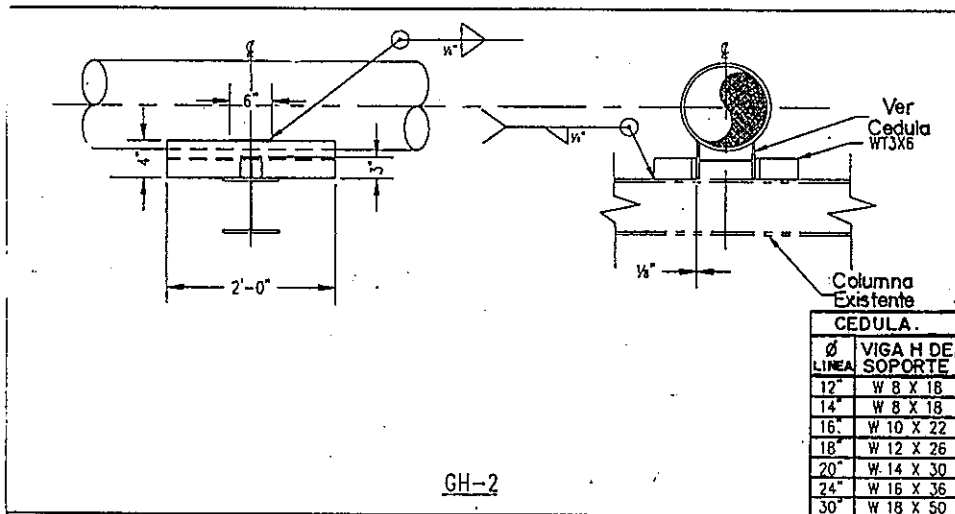
**EL GH-1:** Es el tipo de zapata que permite el libre movimiento longitudinal de la tubería, dejando que se elongue libremente, usando como soporte una viga T y como rieles dos angulares, que no le permiten el desplazamiento perpendicular a la línea centroidal del tubo. Para lograr esto el GH1 se mantiene sobre un soporte fijo que carga el peso de la tubería. Todas las especificaciones necesarias se encuentran en la figura No.13.

**NOTA 1:** Para usar con la línea de 10" de diámetro y menores.

**NOTA 2:** Ver especificaciones de la tubería en el dibujo, para instrucciones de la instalación.

**NOTA 3:** Llenar de soldadura el largo total de la guía con el acero existente.

**FIGURA No. 14**



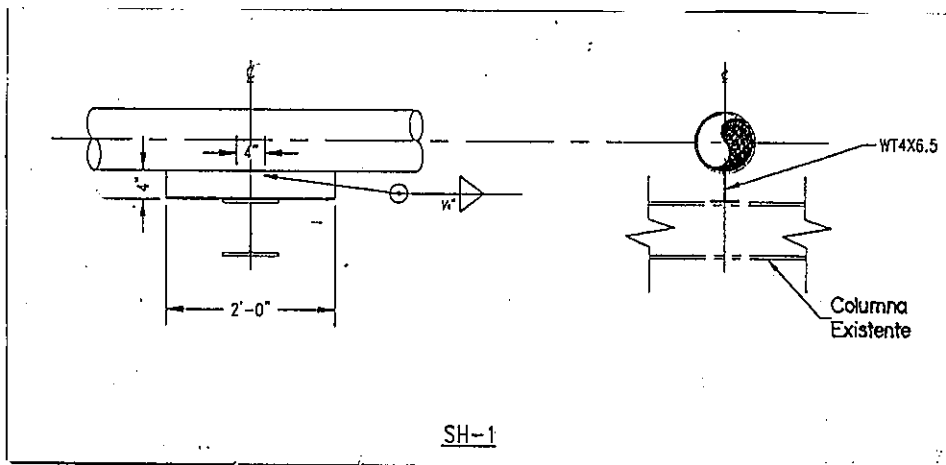
**EL GH-2:** Esta zapata tiene la misma función que la GH-1, la diferencia primordial es que la viga deslizante en el sentido longitudinal es una H en lugar de T, y los soportes que no permiten el desplazamiento transversal son unas vigas T y no angulares, por lo que este tipo de soporte es más resistente. Las especificaciones requeridas para el montaje se pueden observar en la figura No.14 donde las notas dicen lo siguiente:

**NOTA 1:** Para usar con líneas de 20" de diámetro y mayores.

**NOTA 2:** Ver especificaciones de la tubería en el dibujo para las instrucciones de la instalación.

**NOTA 3:** Recortar zapatas como se requiere para obtener 4" de distancia entre el tubo y el soporte de apoyo.

**FIGURA No. 15**

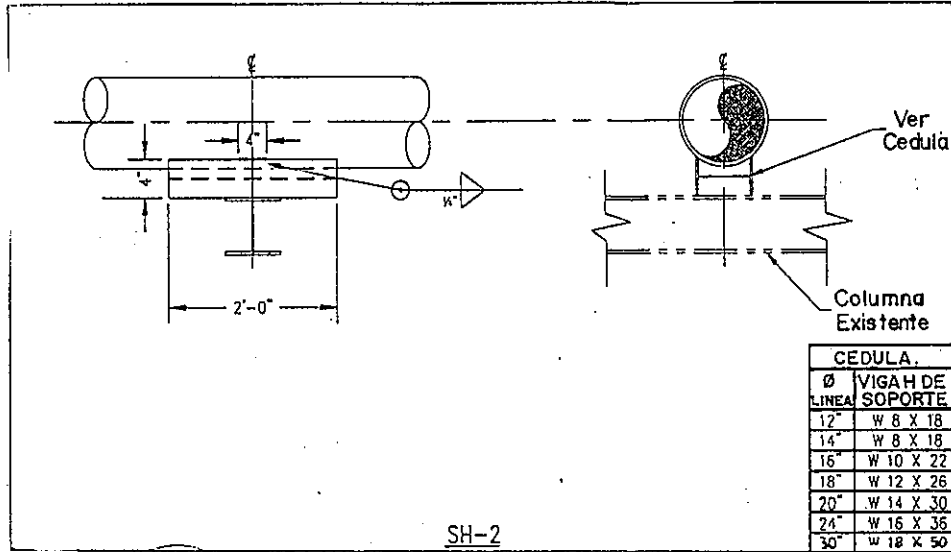


**EL SH-1:** Es el tipo de zapata que permite el desplazamiento en cualquier dirección de la tubería, se colocan en sitios donde la línea se elonga en distintas direcciones debido a sus formas complicadas. Esta zapata solo lleva soldada a la línea una viga T que se desliza sobre el soporte fijo. Las especificaciones se pueden encontrar en la figura No.15.

**NOTA 1:** Para usar con línea de 10" de diámetro y menores.

**NOTA 2:** Ver especificaciones de la tubería en el dibujo para las instrucciones de la instalación.

**FIGURA No. 16**



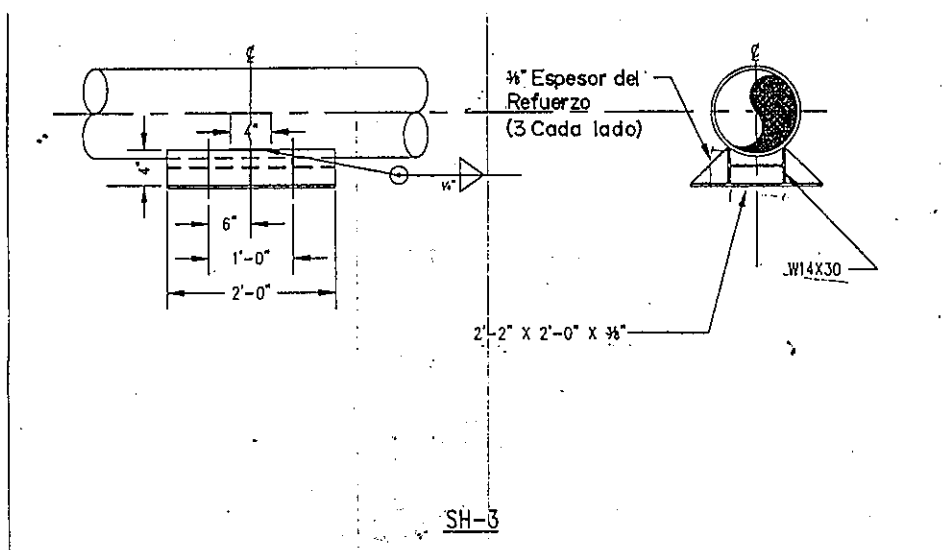
**EL SH-2:** Esta zapata es idéntica que la SH-1 con la diferencia que la viga deslizante que va soldada a la tubería no es una viga T sino una H que le dá mayor solidez a la misma. Las especificaciones que se desean obtener se encuentran en la figura No.16.

**NOTA 1:** Para usar con líneas de 12" de diámetro y mayores.

**NOTA 2:** Ver especificaciones de la tubería en el dibujo para las instrucciones de la instalación.

**NOTA 3:** Recortar zapatas como se requiere para obtener 4" de distancia entre el tubo y el soporte de apoyo.

**FIGURA No. 17**

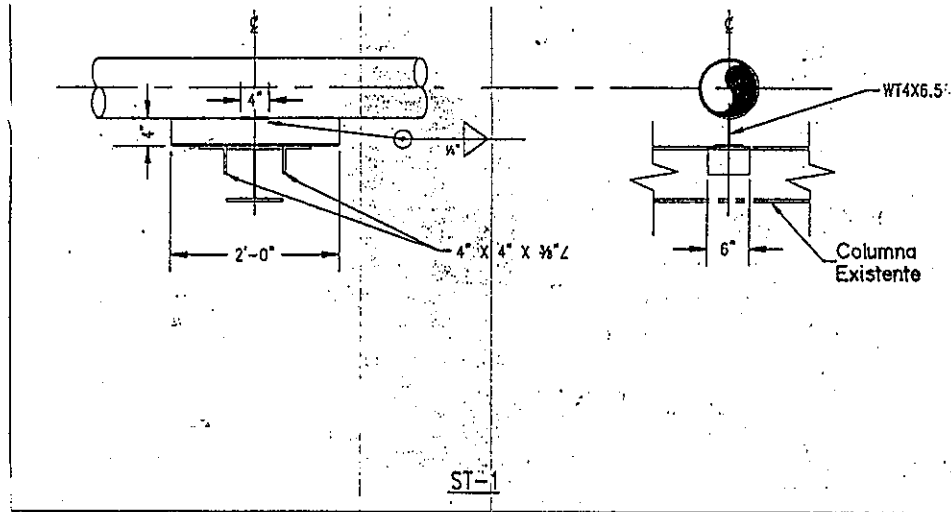


**EL SH-3:** Realiza la misma función que la SH-1 y la SH-2, con la diferencia de que la viga deslizante que se solda a la tubería es una H con refuerzos a cada lado de la misma para tener mayor solidez. Las demás especificaciones a saber se pueden observar en la figura No.17.

**NOTA 1:** Ver especificaciones de la tubería en el dibujo para las instrucciones de la instalación.

**NOTA 2:** Recortar zapatas como se requiere para obtener 4" de distancia entre el tubo y el soporte de apoyo.

**FIGURA No. 18**

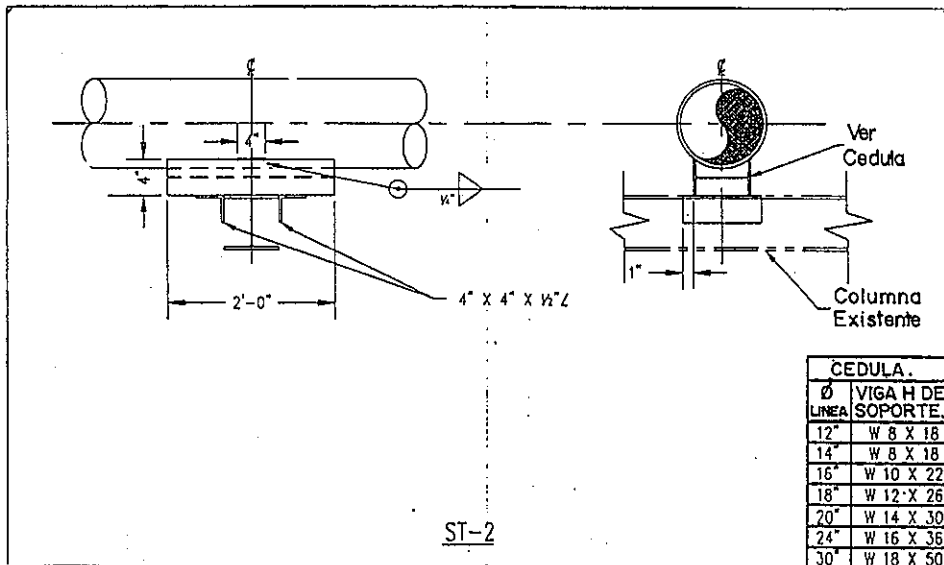


**EL ST-1:** Esta zapata permite solamente el movimiento transversal de la tubería (perpendicular a su eje centroidal). Se utiliza cuando la tubería necesita un soporte en un punto donde ha cambiado bruscamente de dirección, entonces el desplazamiento en ese tramo no será longitudinal sino transversal. A la tubería se le solda una viga T y se sujeta en sus dos extremos (en sentido longitudinal de la tubería) con angulares al soporte fijo o cargador, permitiendo el libre deslizamiento del mismo. Para mayor comprensión ver figura No.18.

**NOTA 1:** para usar con líneas de 10" de diámetro y menores.

**NOTA 2:** ver las especificaciones de la tubería en el dibujo para las instrucciones de la instalación.

**FIGURA No. 19**



CEDULA.	
Ø LINEA	VIGA H DE SOPORTE.
12"	W 8 X 18
14"	W 8 X 18
16"	W 10 X 22
18"	W 12 X 26
20"	W 14 X 30
24"	W 16 X 36
30"	W 18 X 50

**EL ST-2:** Esta zapata es idéntica a la ST-1 con la salvedad de que a la tubería no va soldada una viga T sino una H que le dé mayor resistencia a la línea. La otra diferencia es que los angulares que sirven de anclaje longitudinal a la tubería y que solo permiten el movimiento transversal son de otras dimensiones. Las demás especificaciones se pueden ver en la figura No.19.

**NOTA 1:** para usar con línea de 12" de diámetro y mayores.

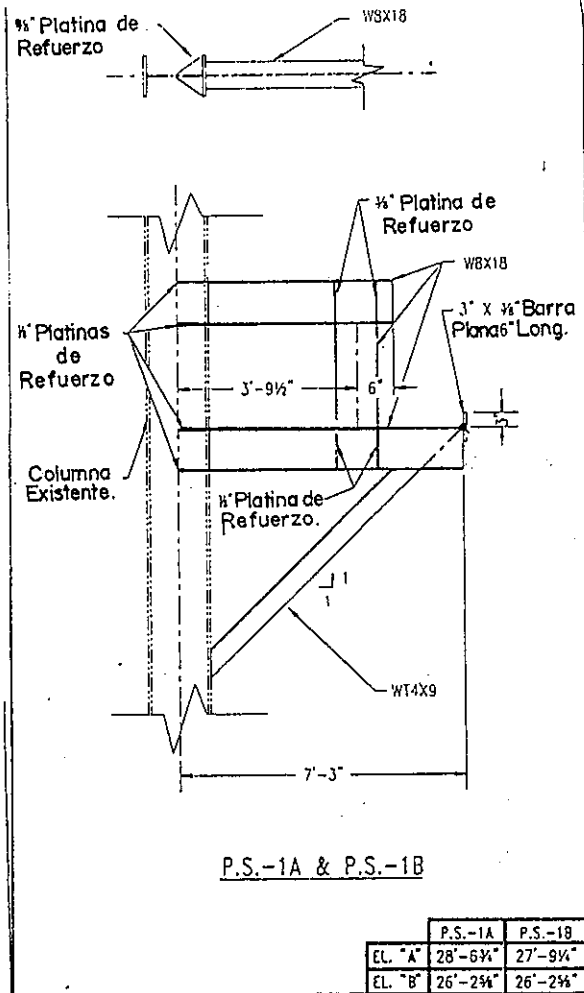
**NOTA 2:** ver especificaciones de la tubería en el dibujo para las instrucciones de la instalación.

**NOTA 3:** Recortar zapatas como se requiere para obtener 4" de distancia entre el tubo y el soporte de apoyo.

### 3.4 TIPOS DE SOPORTES FIJOS O CARGADORES:

A continuación se darán a conocer los diversos tipos de cargadores fijos o soportes de la tubería, que se utilizaron en el proyecto de cogeneración del Ingenio Madre Tierra:

FIGURA No. 20



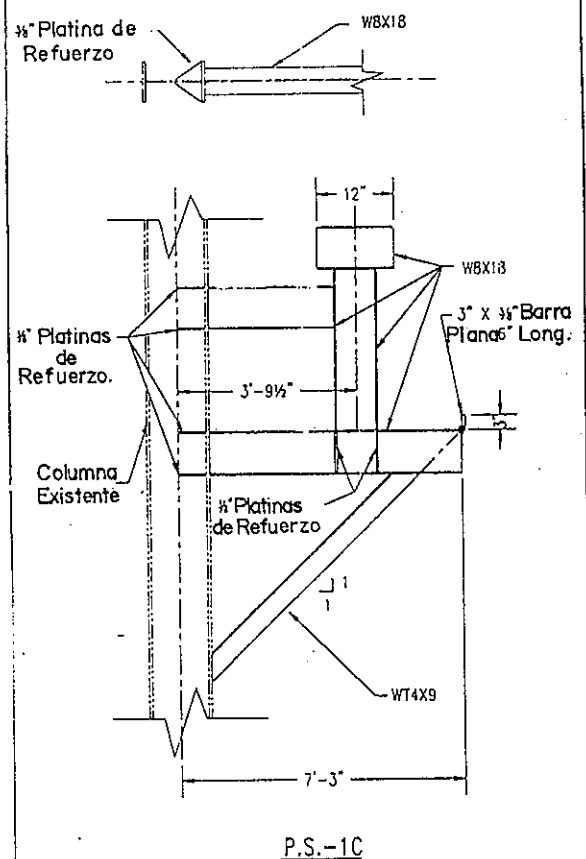
**EL PS-1C:** Este tipo de soporte cumple con las mismas funciones que el PS-1A & PS-1B, se pueden sostener también tres tuberías en las mismas posiciones, la única diferencia existente es que para sostener la tubería que pasa por encima del mismo, se coloca una viga horizontal superpuesta del soporte derecho dándole de esta manera opción para que dicha tubería pase a una mayor elevación y pueda deslizarse. Los pormenores para el montaje del mismo lo podemos visualizar en la figura No.21.

**EL PS-1A & PS-1B:** Estos tipos de soportes fijos son unos de los más robustos que se utilizaron.

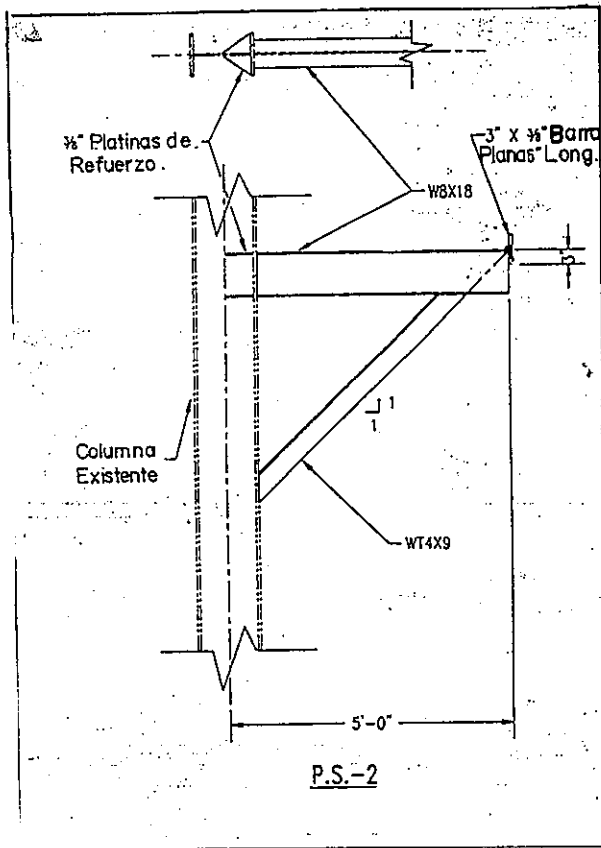
Se pueden usar cuando existe una columna vertical al lado de donde pasarán las tuberías. Con esta clase de soportes fijos o cargadores (se les llama así porque su función principal es sostener el peso de la tubería.) se pueden sostener tres tuberías diferentes de distintos diámetros, pasando una por encima, una por en medio y la última al lado de éste. Con este tipo de cargador se ahorra tiempo y trabajo, teniendo acorde al mismo el diseño de la distribución de la tubería, para hacer que las tres líneas sean cargadas adecuadamente.

Las especificaciones requeridas para el montaje se pueden observar en la figura No. 20.

FIGURA No. 21



**FIGURA No. 22**



**EL PS-2:** Este soporte puede únicamente sostener una tubería, pero de considerable diámetro debido a su alta resistencia.

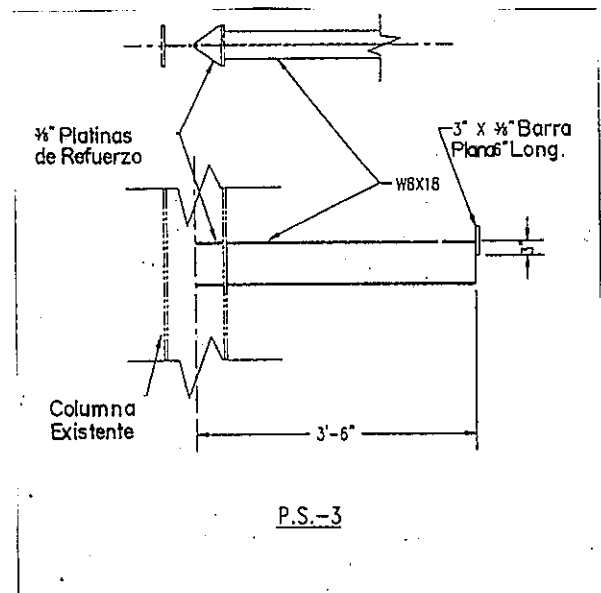
Es comúnmente llamado **PIE DE AMIGO**.

Se puede utilizar cuando la tubería pasará a un lado de alguna columna lo suficientemente fuerte.

Posee refuerzos adecuados que lo hacen tener alta resistencia, es sencillo de montar, y si se desea dándole las dimensiones adecuadas, se pueden soportar dos tuberías a la vez, que estén una a la par de la otra.

El montaje se puede realizar observando las especificaciones del mismo que se presentan en la gráfica No.22.

**FIGURA No. 23**

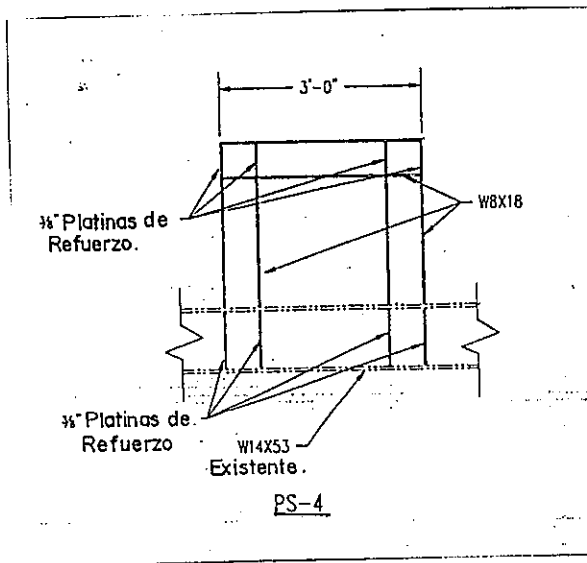


**EL PS-3:** Este es un soporte menos fuerte que los vistos anteriormente. Se puede cargar con este tipo únicamente una tubería de regular diámetro, o dos de diámetros pequeños.

Se emplean cuando existe alguna columna a lado de donde se montarán las tuberías (la columna debe ser fuerte).

Las demás especificaciones se pueden observar en la figura No.23.

**FIGURA No. 24**

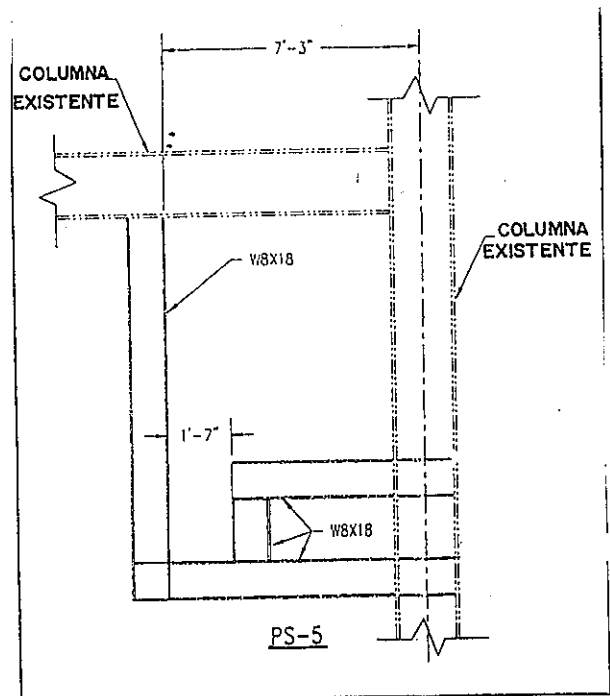


**EL PS-4:** Este tipo de soporte es ideal para sostener tuberías que se tienden a una elevación mas alta que ciertas columnas horizontales de los edificios de la planta, o de estructuras que se han montado con el fin de sostenerlas.

Es muy resistente pero debido a sus dimensiones no puede sostener a más de dos tuberías de diámetro pequeño o a una sola. Se debe montar sobre una viga resistente y sus componentes verticales estarán sometidos únicamente a compresión.

Para su montaje observar la figura No.24 la cual define todos los pormenores del mismo.

**FIGURA No. 25**

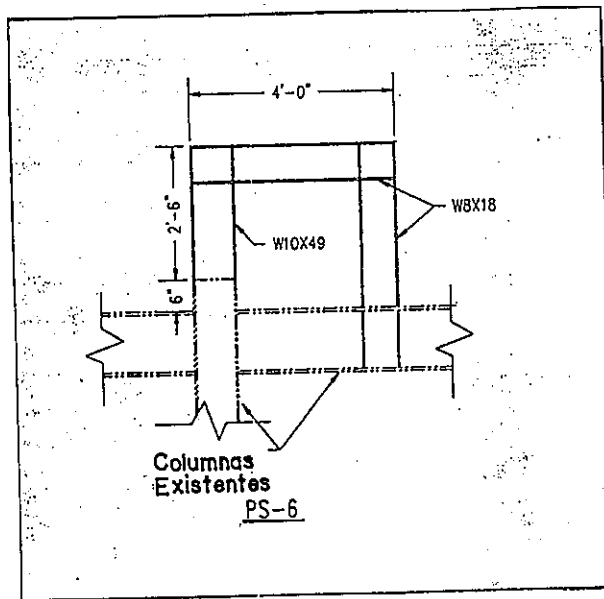


**EL PS-5:** Es un soporte que puede sostener una o dos tuberías dependiendo de su diámetro. Para montarlo es necesario que existan columnas tanto al lado como arriba de donde se montará la tubería.

Las columnas a las cuales se amarrará deberán ser lo suficientemente resistentes para no fallar.

Para mayor información ver figura No.25. en la cual se muestran todas las especificaciones necesarias para su montaje.

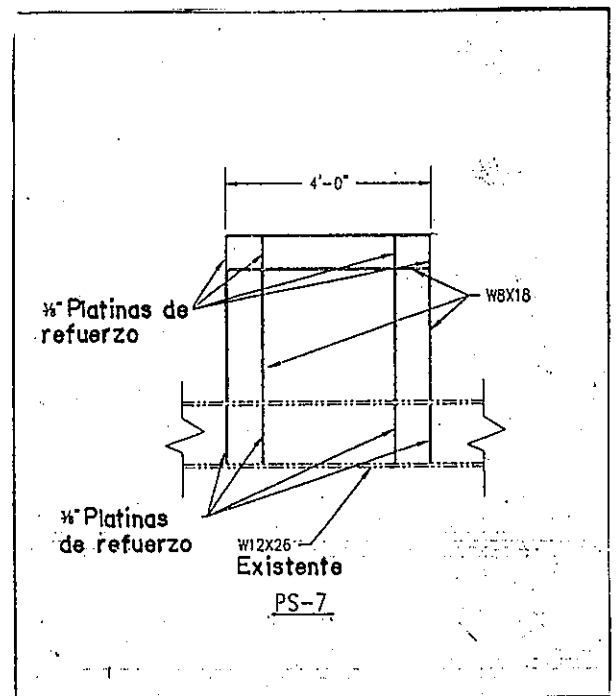
**FIGURA No. 26**



**EL PS-6:** Este tipo de soporte, cumple con las mismas características del PS-4, con la diferencia de que aprovecha el tramo de columna vertical saliente de la estructura, para amarrarse de la misma y de la columna horizontal que está soldada a la primera, y formar de esta manera un soporte muy fuerte y confiable. Mayor información puede verificarse sobre este soporte en la figura No.26.

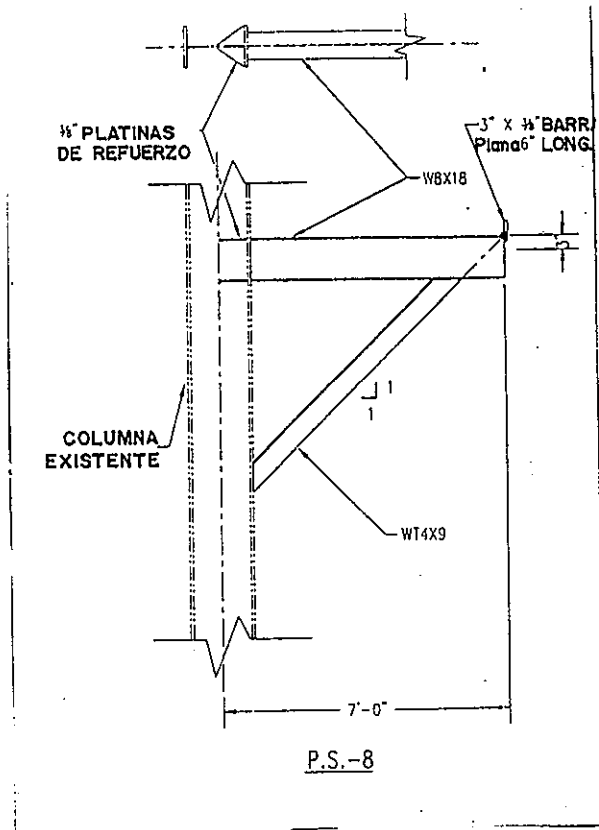
**FIGURA No. 27**

**EL PS-7:** Este tipo de soporte es básicamente idéntico al PS-4, se amarra a una viga horizontal que se encuentre por debajo del mismo. La única diferencia es que sus componentes verticales son un poco más cortas, debido a factores de diseño de las líneas a soportar. Mayores detalles pueden encontrarse del dicho soporte en la figura No.27.





**FIGURA No. 28**



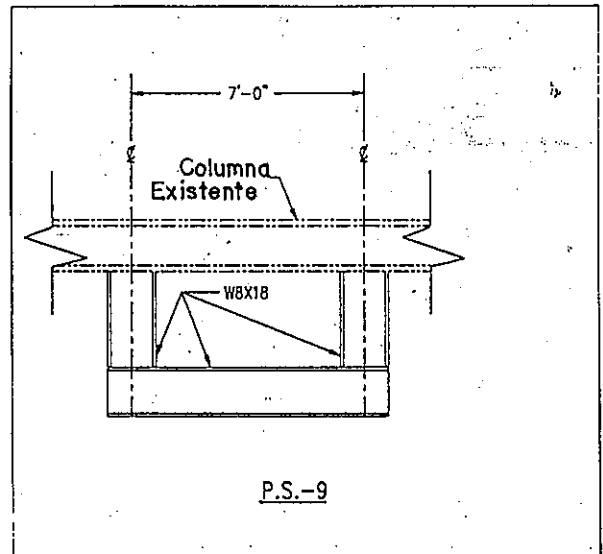
**EL PS-8:** Básicamente este tipo de soporte es igual que el PS-2, poseen la misma configuración y ambos para su montaje necesitan tener una columna a existente al lado. La diferencia es nada más el largo del brazo de soporte y queda a criterio del diseñador del proyecto.

Mayor información se encuentra en la figura No.28 en el cual se muestran las principales características de dicho soporte.

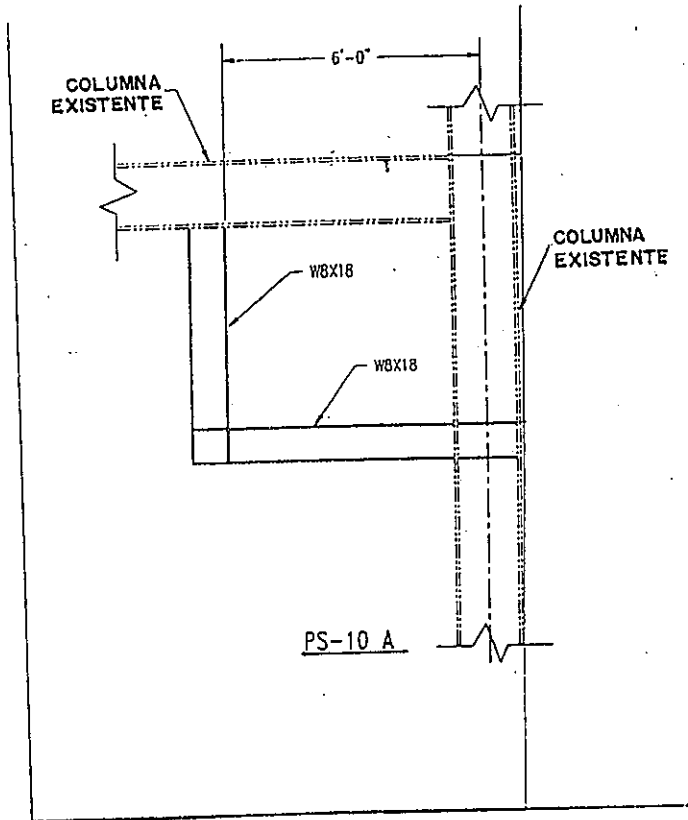
**FIGURA No. 29**

**EL PS-9:** Es el tipo de soporte comúnmente utilizado cuando la tubería tiende a pasar por debajo de vigas que pertenecen a la estructura de la planta, o de una estructura previamente construida para este fin.

Es llamado también **SOPORTE DE COLUMPIO** por la forma de su estructura. Es bastante resistente y sus miembros verticales están sometidos a tracción. Se pueden utilizar para cualquier diámetro y número de tuberías, según requiera el diseñador. (ver figura No.29 ).

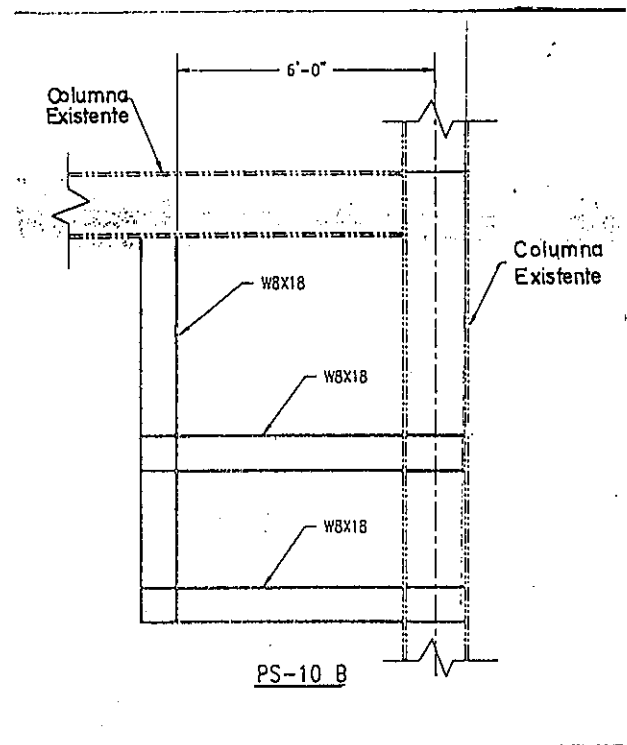


**FIGURA No. 30**



**EL PS-10A:** Es un soporte resistente que puede sostener a una tubería de diámetro grande o a más de una de diámetro pequeño. Para su montaje es necesario que hayan una columna existente al lado del mismo y una viga arriba para poder amarrarse a los mismos de forma adecuada y consistente. Para una mejor idea del soporte ver figura No.30 en la cual aparecen todos los datos del montaje.

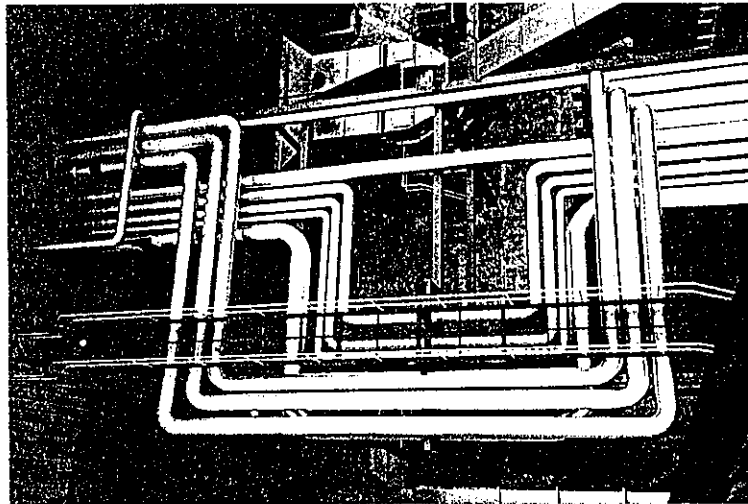
**FIGURA No. 31**



**EL PS-10B:** Este tipo de soporte es muy parecido al PS-10A, en lo que a consistencia se refiere. Básicamente la diferencia consiste en que posee una estructura doble en la cual se pueden sostener una mayor cantidad de tubos de diámetro pequeño o dos tuberías de diámetro considerable. Necesita una columna al lado y una viga encima del mismo para su adecuado montaje. Las principales características de dicho soporte pueden observarse en la figura No.31.

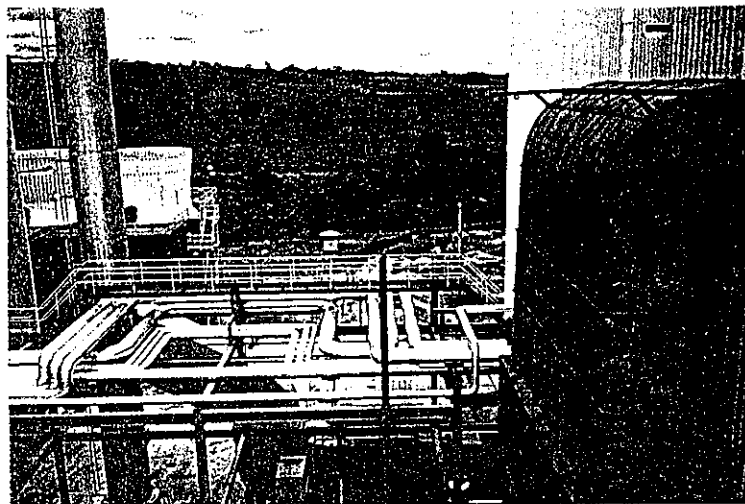
### 3.5 FOTOGRAFÍAS DE LAS LÍNEAS DE VAPOR DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN.

FOTOGRAFÍA No.1



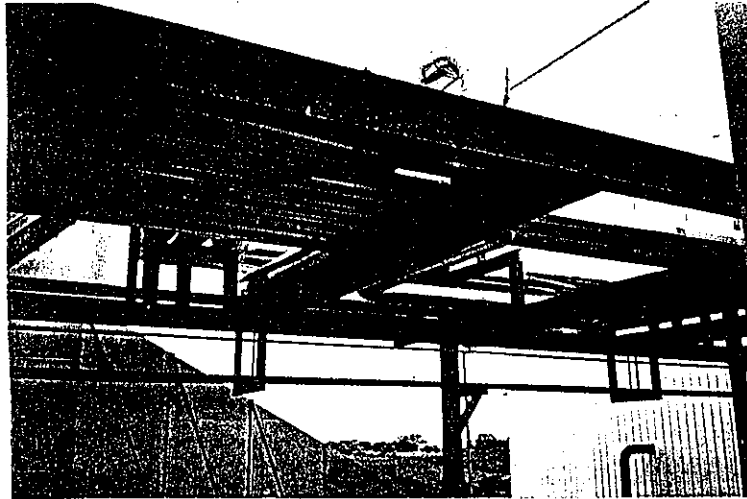
Vista aerea de las omegas intercaladas en las líneas de vapor, del proyecto de cogeneración del Ingenio Madre Tierra, las cuales al contraerse alivian los esfuerzos ocasionados por el alargamiento lineal que la tubería experimenta, al pasar de la temperatura ambiente a la de operación.

FOTOGRAFÍA No. 2



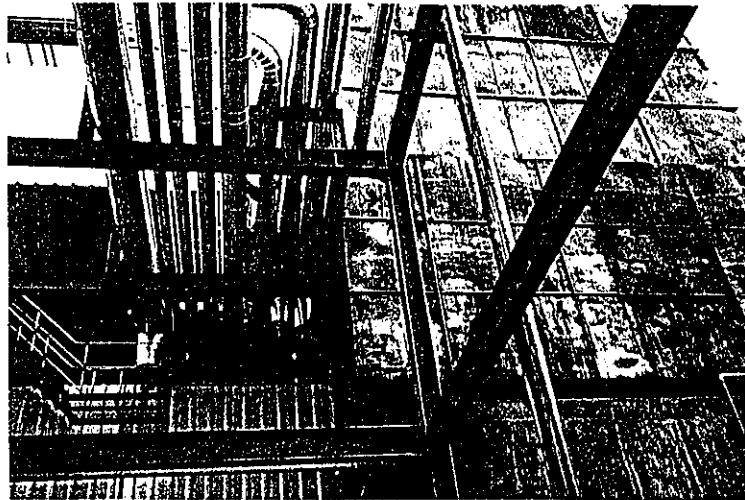
En esta fotografía se pueden observar nuevamente las omegas de las líneas de vapor desde otro ángulo. Nótese que las líneas están provistas de aislamiento térmico y recubrimiento de aluminio.

### FOTOGRAFÍA No. 3.



En esta fotografía se pueden apreciar distintos tipos de soportes fijos o cargadores como es el caso de los siguientes: P.S.-1C, PS-6, PS-7 Y PS-9. Además se pueden observar distintos tipos de zapatas móviles.

### FOTOGRAFÍA No. 4.



En esta fotografía se pueden observar, también, los cargadores PS-4, PS-6 y PS-7, los cuales están soportando la tubería antes de llegar a las omegas de expansión.

## **4. PLANOS DEL DISEÑO GENERAL DE LAS LÍNEAS DE VAPOR MONTADAS EN EL PROYECTO DE COGENERACIÓN**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se enuncian los planos que ARKEL INTERNATIONAL INC. produjo, para el montaje de la planta termoeléctrica de cogeneración del Ingenio Madre Tierra y que conjuntamente forman el plano general al se unidos en forma adecuada.

En cada uno de los planos se pueden visualizar medidas, ubicación, detalles, elevaciones y otros aspectos más, de todos los componentes que conforman la planta termoeléctrica como lo son líneas de vapor, calentadores, deareadores, turbogeneradores, etc.

En algunos casos es dificultoso distinguir detalles precisos de alguna línea de vapor en especial, que es donde se hace referencia en el presente estudio, por lo que se trazaron planos de cada línea por individual, que se presentarán al lector en el siguiente capítulo, para que pueda tener una mejor referencia, en caso que los planos generales originen algún tipo de confusión.

### **4.2 ILUSTRACIÓN DE LOS PLANOS DEL DISEÑO REALIZADOS POR ARKEL INTERNATIONAL INC.**

A continuación se visualizan los siguientes planos:

#### **PLANO No. 1 (vista de planta):**

Este plano describe la línea de alimentación de agua de la caldera No. 7, deareador de la caldera No.6 y líneas de vapor que atraviesan dicha zona (página No. 52).

#### **PLANO No. 2 (vista de planta) :**

Se puede visualizar en éste plano los calentadores y deareador de las calderas No. 5 y No. 7, además las líneas de vapor vivo que se dirigen hacia los turbogeneradores y las que vuelven de extracciones y escapes de los mismos. siguiendo todas una trayectoria en forma de omega, que reduce los esfuerzos ocasionados debido a la dilatación térmica por el cambio de temperatura que sufren (página No. 53).

#### **PLANO No. 3 (vista de planta):**

En éste plano se pueden seguir las trayectorias de las líneas de vapor vivo, extracción y escape que hacen operar el turbogenerador de 5 MW (página No. 54).

**PLANO No. 4 (vista de planta):**

En este plano se pueden observar las líneas de vapor (tanto de vapor vivo como de extracciones) y condensados, necesarias para la operación del turbogenerador de 15 MW, y cómo las mismas siguen una trayectoria paralela, al formar las omegas de expansión (página No. 55).

**PLANO No. 5 (elevación):**

Se puede visualizar en el presente plano el edificio de calderas en elevación, vista sur, en el cual aparecen los deareadores, calentadores, evaporador y bombas de inyección de las calderas No. 5, No. 6 y No. 7 (página No 56).

**PLANO No. 6 (elevación):**

Aquí se observan en elevación todas las líneas de vapor ( vivo y de extracciones) y condensados, que entran al edificio de calderas después de haber seguido la trayectoria de la omega de expansión (página No. 57).

**PLANO No. 7 (elevación):**

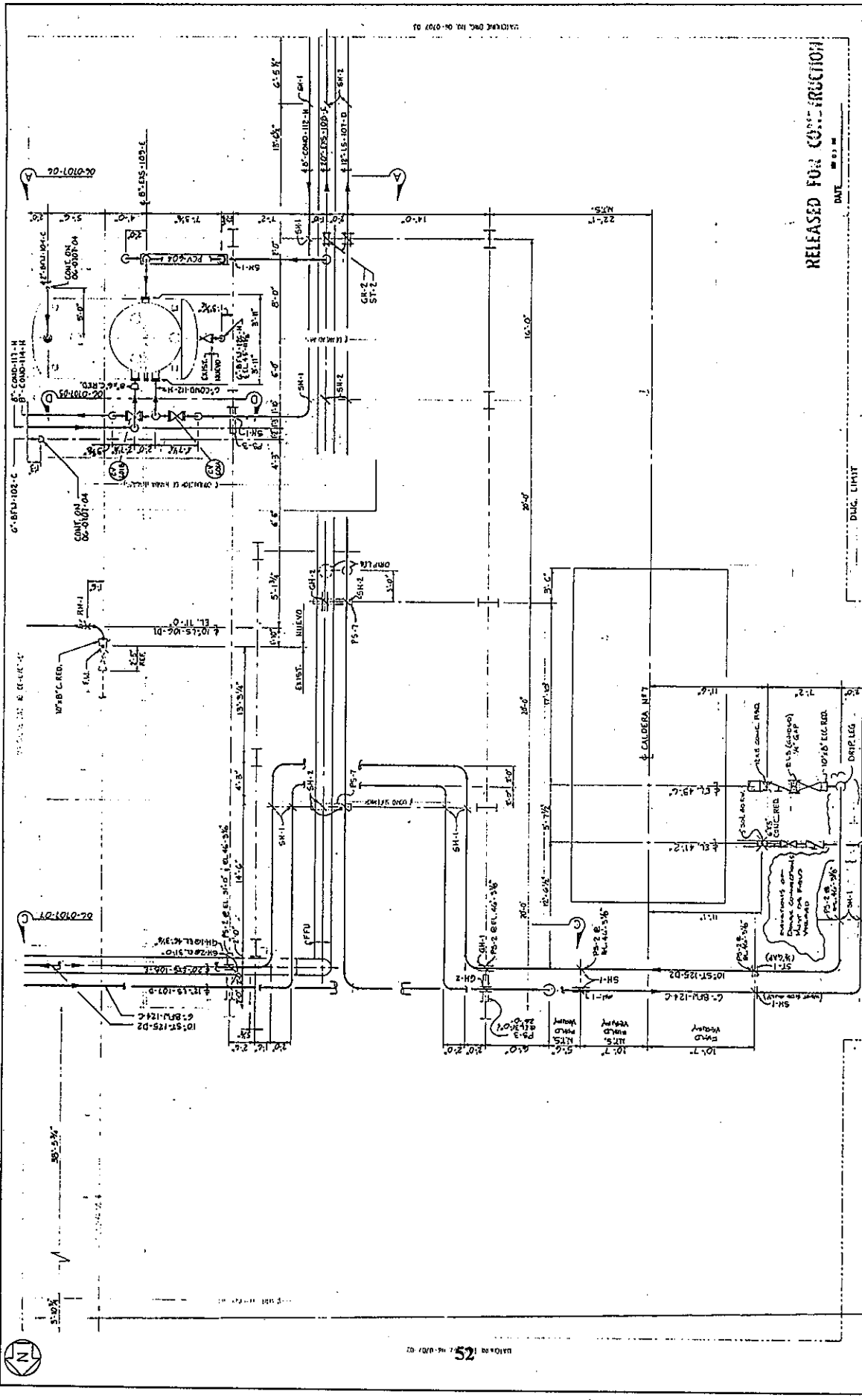
En este plano se observa cómo las líneas de vapor y condensados, necesarias para la operación de ambos turbogeneradores, entran y salen al edificio, donde se encuentran los mismos (página No. 58).

### **4.3 EXPLICACIÓN DE LOS DETALLES CONFUSOS PARA MEJOR COMPRENSIÓN DE LOS PLANOS.**

En los presentes planos se pueden encontrar algunos detalles que generan confusión, como lo pueden ser notas o simbología y visibilidad. Los dos primeros pueden ser aclarados revisando al principio del documento en simbología, notas y abreviaturas utilizadas los detalles necesarios, el tercero puede ser corroborado revisando los planos de las líneas por individual que se presentan en el siguiente capítulo.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central





STANDARD Dwg. No. 01-07-01

RELEASED FOR CONSTRUCTION

DATE: \_\_\_\_\_

DWG. LIMIT

NO. DE HOJA	TOTAL DE HOJAS	DESCRIPCION	FECHA	ELABORADO	REVISADO
1	1	PLANO DE TUBERIAS			
2	2	PLANO DE TUBERIAS			
3	3	PLANO DE TUBERIAS			
4	4	PLANO DE TUBERIAS			
5	5	PLANO DE TUBERIAS			
6	6	PLANO DE TUBERIAS			
7	7	PLANO DE TUBERIAS			
8	8	PLANO DE TUBERIAS			
9	9	PLANO DE TUBERIAS			
10	10	PLANO DE TUBERIAS			
11	11	PLANO DE TUBERIAS			
12	12	PLANO DE TUBERIAS			
13	13	PLANO DE TUBERIAS			
14	14	PLANO DE TUBERIAS			
15	15	PLANO DE TUBERIAS			
16	16	PLANO DE TUBERIAS			
17	17	PLANO DE TUBERIAS			
18	18	PLANO DE TUBERIAS			
19	19	PLANO DE TUBERIAS			
20	20	PLANO DE TUBERIAS			

INGENIO MADRE TIERRA  
S.A. DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
CALDERA NO. 6 Y CALDERA PETROLERA  
PLANO DE TUBERIAS

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.

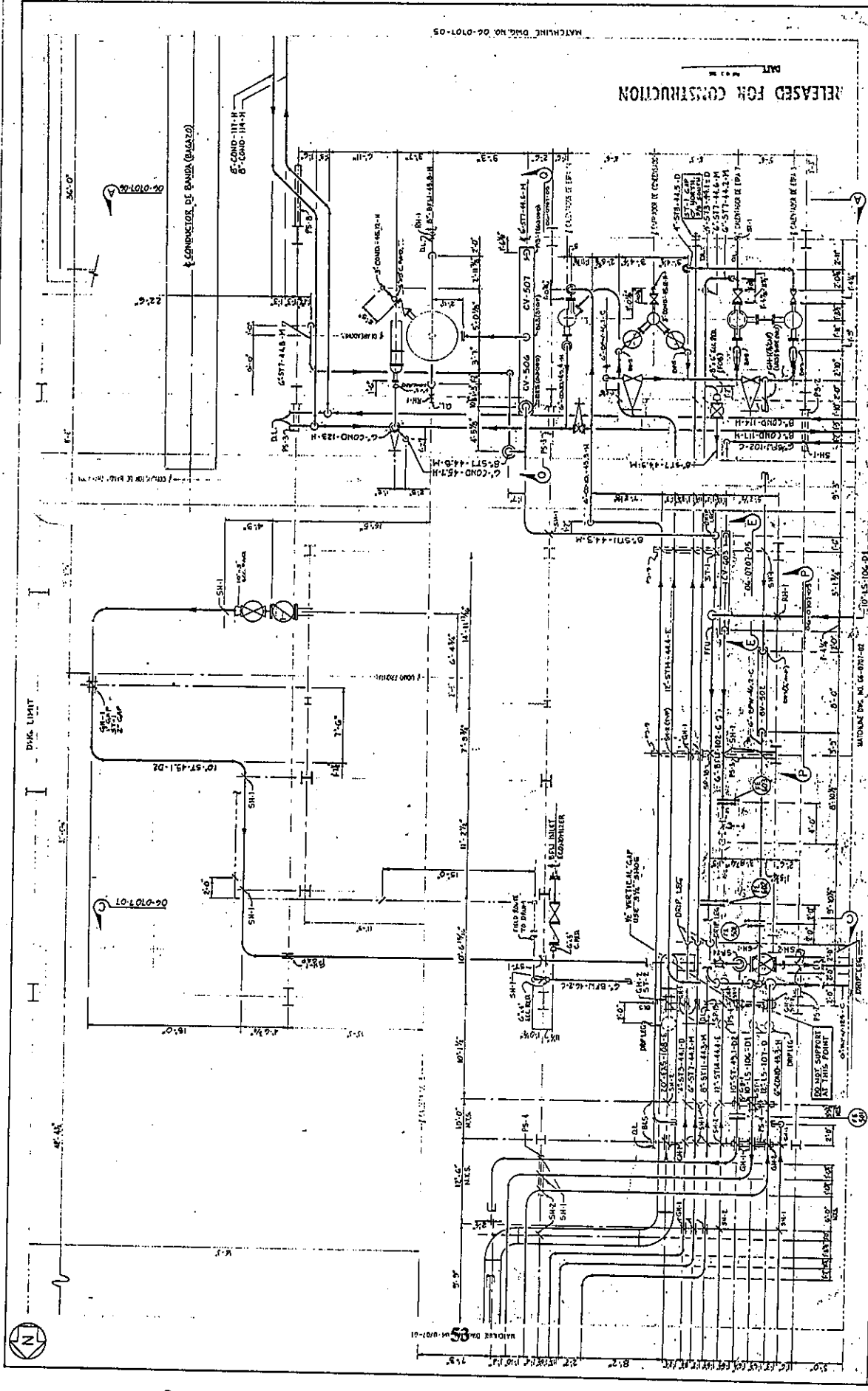
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.



MATCHLINE DIM. NO. 06-0707-05

RELEASED FOR CONSTRUCTION

INGENIO MADRE TIERRA  
 S.A. LOCAL 507 CENTRAL  
 CALDERA, NO. 6  
 PLANO DE TUBERIAS  
 1/2"=1'-0" 713.2/06-0707-01

ARKEI  
 ARKEI INTERNATIONAL, INC.  
 P.O. Box 1413  
 1000 West 14th Street  
 Tulsa, Oklahoma 74103  
 TEL: 918-437-7878  
 FAX: 918-437-7879

MATCHLINE DIM. NO. 06-0707-06

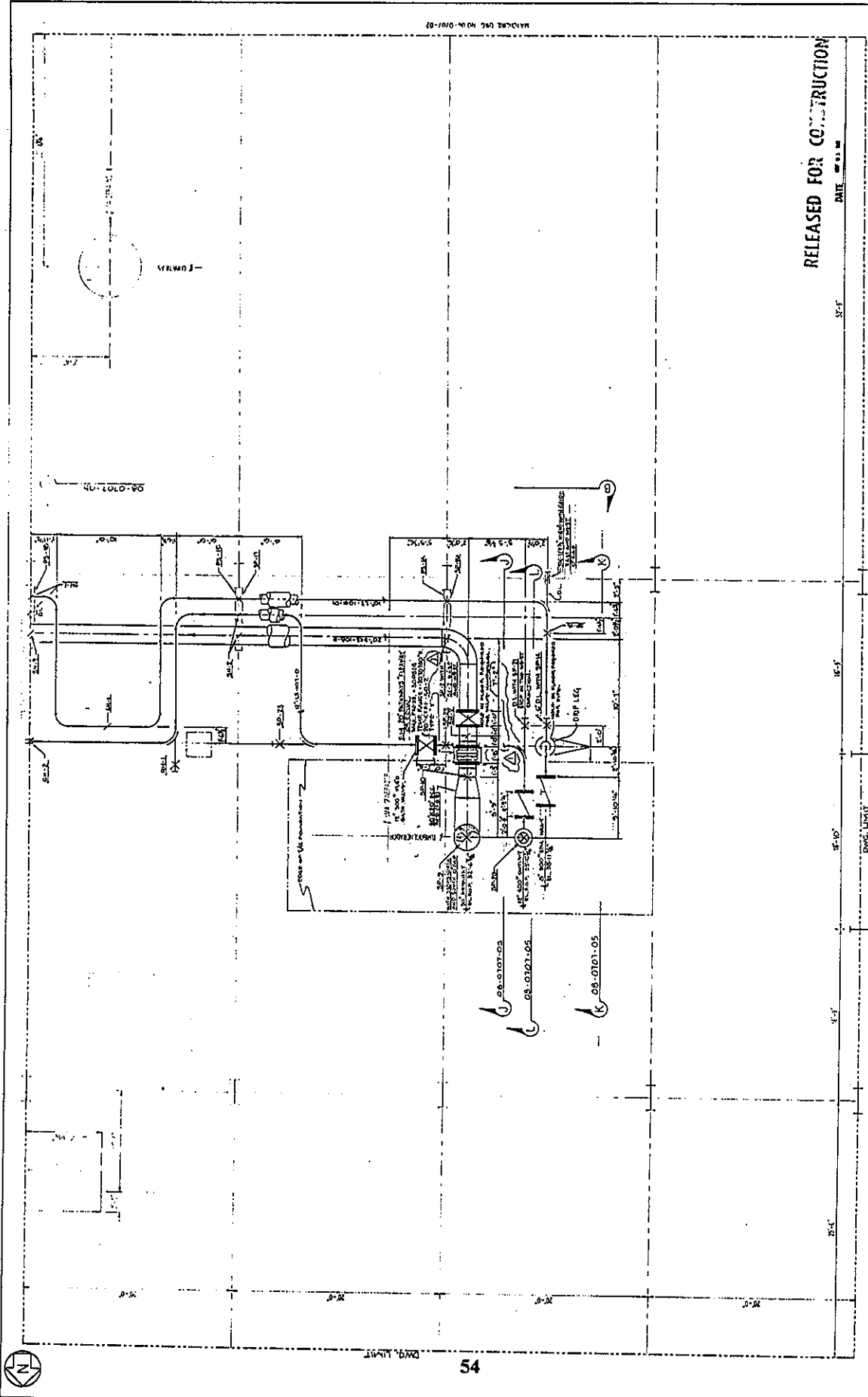
PROYECTO PARA CONSTRUCCION  
 ALZOS PARA ENTIDAD PARA CALDERA, N° 5 IT

PROYECTO PARA CONSTRUCCION  
 ALZOS PARA ENTIDAD PARA CALDERA, N° 5 IT

PROYECTO PARA CONSTRUCCION  
 ALZOS PARA ENTIDAD PARA CALDERA, N° 5 IT

PROYECTO PARA CONSTRUCCION  
 ALZOS PARA ENTIDAD PARA CALDERA, N° 5 IT





MAQUINA DE 5 MW - 0107-03

RELEASED FOR CONSTRUCTION

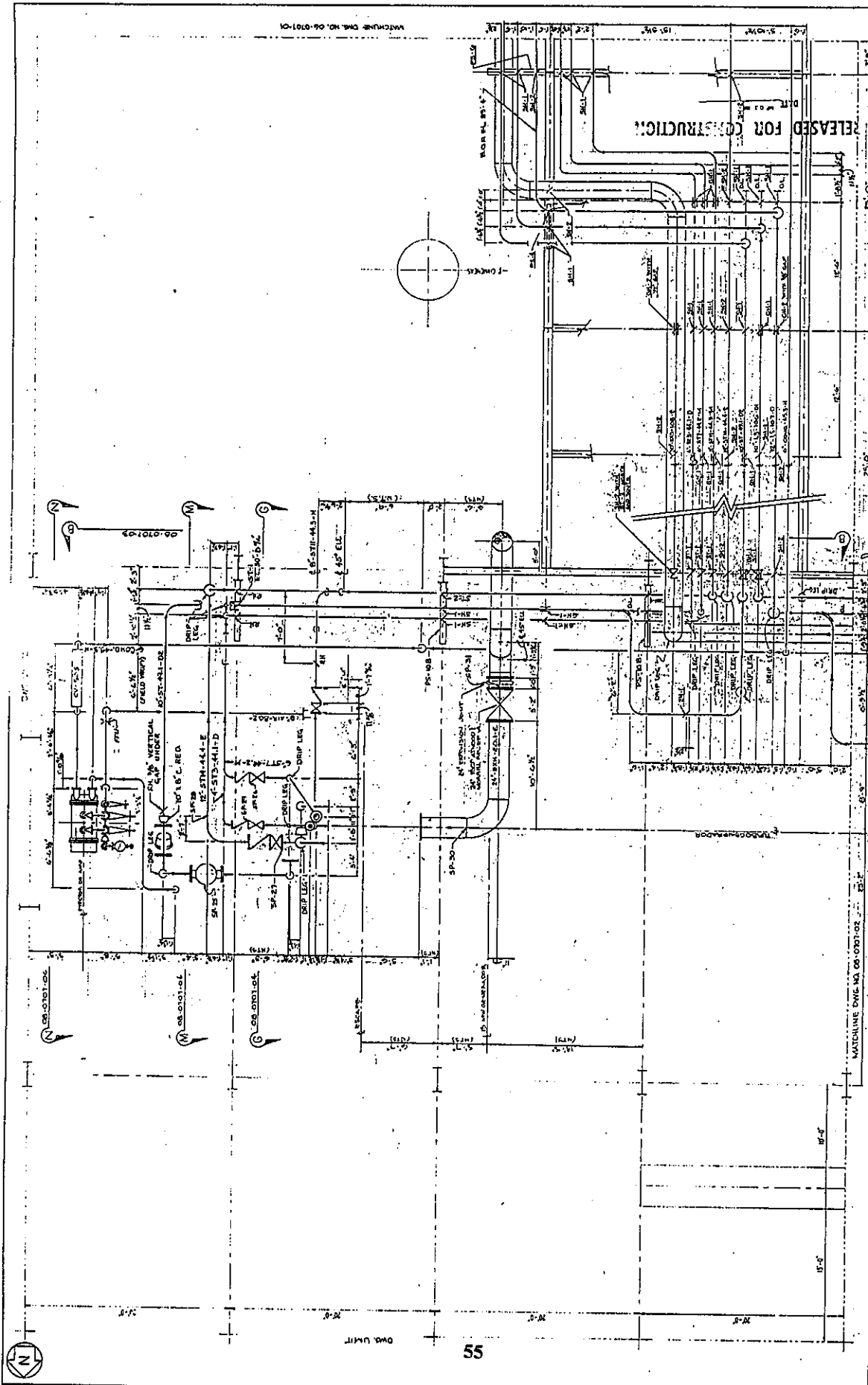
DATE 08-13-68

SCALE 1/2" = 1'-0"

INGENIO MADRE TIERRA  
SABAL LIGHT OIL - CRISTIANIA, E.A.  
5 MW TURBOGENERADOR  
PLANO DE TUBERIAS  
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC. 20170  
POST OFFICE BOX 5415  
BATON ROUGE, LA 70821 U.S.A.  
ARTEL INTERNATIONAL, INC. IN Dependence of the design and/or construction

NO.	REV.	DATE	DESCRIPTION
1	01	08/13/68	ISSUE FOR CONSTRUCTION
2	02		
3	03		
4	04		
5	05		
6	06		
7	07		
8	08		

NO.	REV.	DATE	DESCRIPTION
1	01	08/13/68	ISSUE FOR CONSTRUCTION
2	02		
3	03		
4	04		
5	05		
6	06		
7	07		
8	08		



<p>APRIL INTERNATIONAL, INC. 15000 WILSON BLVD. MIRAGE, LA 70451 U.S.A.</p> <p>INGENIO, MADRE, TIERRA SANTA ROSA, CALIFORNIA, CA 15MW TURBOGENERADOR PLANTA DE TUBERIAS</p> <p>DATE: 07/28/82 BY: G.M.L. CHECKED: J.S. BARRON</p>	<p>PROJECT: 15MW TURBOGENERADOR DRAWING: DB-0701-02 SHEET: 55 OF 100</p>
---	--

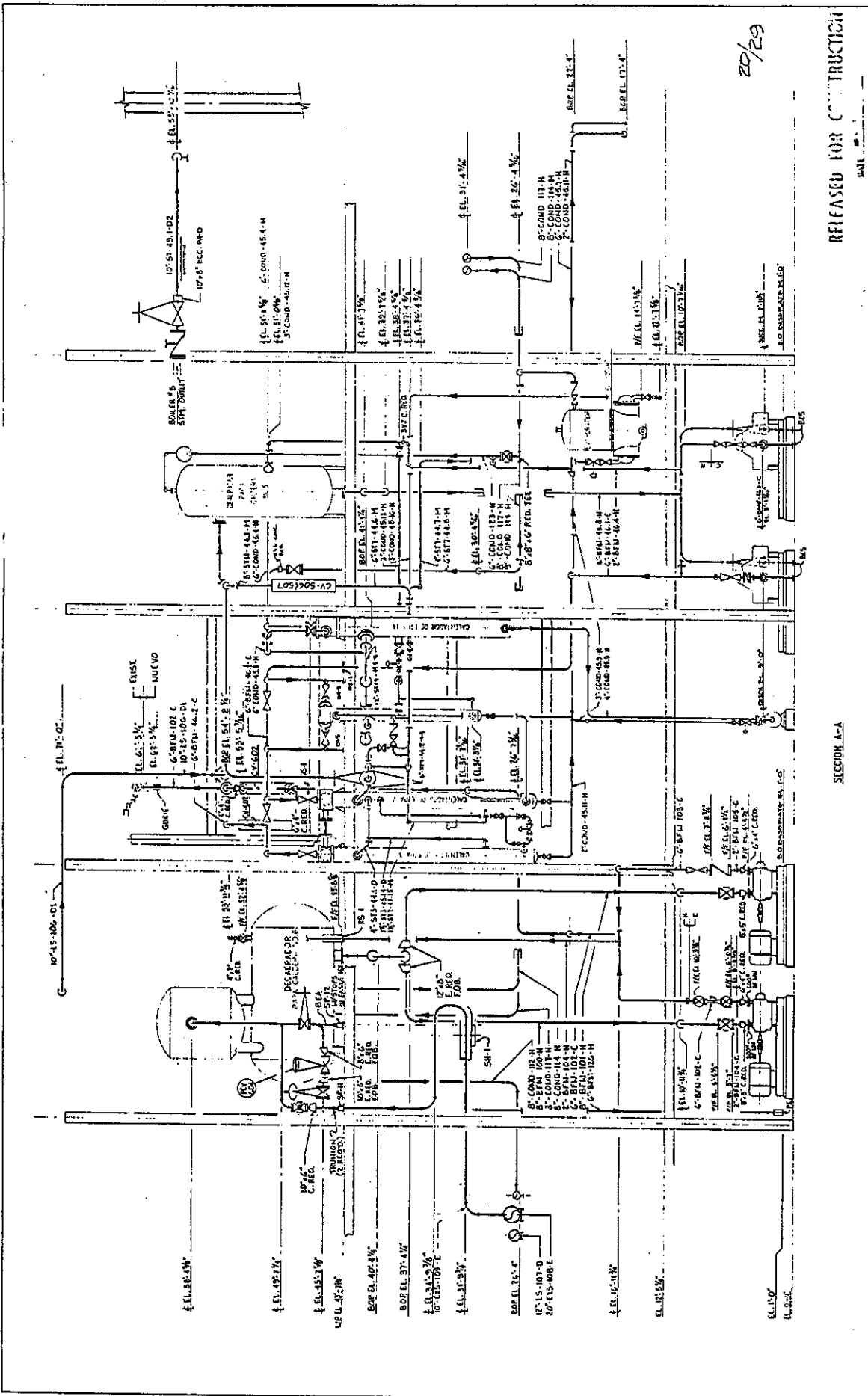


MATCHLINE DWG. NO. DB-0701-01

DWG. UNIT

MATCHLINE DWG. NO. DB-0701-02

RELEASED FOR CONSTRUCTION

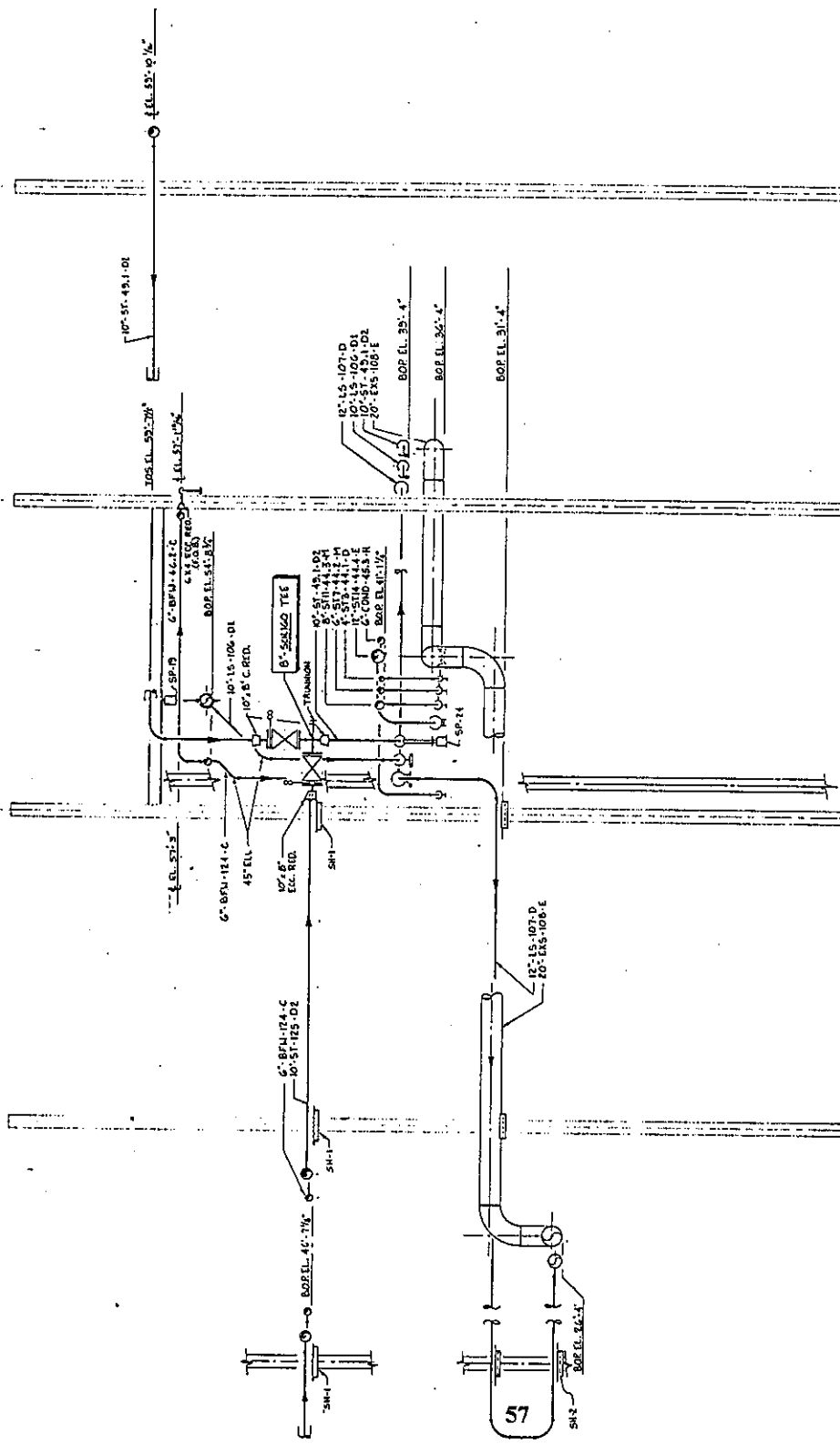


20/29

RELEASE FOR CONSTRUCTION

SECTION A-A

<b>ARTEL</b> ARTEL INTERNATIONAL, INC. POST OFFICE BOX 4115 8100 BOULEVARD LA 70031 U.S.A. TEL. (504) 833-1111		<b>INGENIO MADRE TIERRA</b> S.A. DE INGENIERIA CIVIL EDIFICIO DE CALDERA ELEVACION SUR BOULEVARD LA 70031 U.S.A.	
NO. DE PROYECTO	02-0701-01	FECHA	04-01-64
NO. DE HOJA	04-0101-04	ESCALA	
NO. DE VOLUMEN		PROYECTANTE	
NO. DE PLAN		REVISOR	
NO. DE COTA		APROBADO	
NO. DE COTA		PROYECTANTE	
NO. DE COTA		REVISOR	
NO. DE COTA		APROBADO	



RELEASED FOR CONSTRUCTION

DATE: 01-15-55

NO. 10	DATE	BY	DESCRIPTION
10-01-55	01-15-55	...	...
10-02-55	01-15-55	...	...
10-03-55	01-15-55	...	...
10-04-55	01-15-55	...	...
10-05-55	01-15-55	...	...
10-06-55	01-15-55	...	...
10-07-55	01-15-55	...	...
10-08-55	01-15-55	...	...
10-09-55	01-15-55	...	...
10-10-55	01-15-55	...	...
10-11-55	01-15-55	...	...
10-12-55	01-15-55	...	...
10-13-55	01-15-55	...	...
10-14-55	01-15-55	...	...
10-15-55	01-15-55	...	...
10-16-55	01-15-55	...	...
10-17-55	01-15-55	...	...
10-18-55	01-15-55	...	...
10-19-55	01-15-55	...	...
10-20-55	01-15-55	...	...
10-21-55	01-15-55	...	...
10-22-55	01-15-55	...	...
10-23-55	01-15-55	...	...
10-24-55	01-15-55	...	...
10-25-55	01-15-55	...	...
10-26-55	01-15-55	...	...
10-27-55	01-15-55	...	...
10-28-55	01-15-55	...	...
10-29-55	01-15-55	...	...
10-30-55	01-15-55	...	...
10-31-55	01-15-55	...	...
10-32-55	01-15-55	...	...
10-33-55	01-15-55	...	...
10-34-55	01-15-55	...	...
10-35-55	01-15-55	...	...
10-36-55	01-15-55	...	...
10-37-55	01-15-55	...	...
10-38-55	01-15-55	...	...
10-39-55	01-15-55	...	...
10-40-55	01-15-55	...	...
10-41-55	01-15-55	...	...
10-42-55	01-15-55	...	...
10-43-55	01-15-55	...	...
10-44-55	01-15-55	...	...
10-45-55	01-15-55	...	...
10-46-55	01-15-55	...	...
10-47-55	01-15-55	...	...
10-48-55	01-15-55	...	...
10-49-55	01-15-55	...	...
10-50-55	01-15-55	...	...
10-51-55	01-15-55	...	...
10-52-55	01-15-55	...	...
10-53-55	01-15-55	...	...
10-54-55	01-15-55	...	...
10-55-55	01-15-55	...	...
10-56-55	01-15-55	...	...
10-57-55	01-15-55	...	...
10-58-55	01-15-55	...	...
10-59-55	01-15-55	...	...
10-60-55	01-15-55	...	...
10-61-55	01-15-55	...	...
10-62-55	01-15-55	...	...
10-63-55	01-15-55	...	...
10-64-55	01-15-55	...	...
10-65-55	01-15-55	...	...
10-66-55	01-15-55	...	...
10-67-55	01-15-55	...	...
10-68-55	01-15-55	...	...
10-69-55	01-15-55	...	...
10-70-55	01-15-55	...	...
10-71-55	01-15-55	...	...
10-72-55	01-15-55	...	...
10-73-55	01-15-55	...	...
10-74-55	01-15-55	...	...
10-75-55	01-15-55	...	...
10-76-55	01-15-55	...	...
10-77-55	01-15-55	...	...
10-78-55	01-15-55	...	...
10-79-55	01-15-55	...	...
10-80-55	01-15-55	...	...
10-81-55	01-15-55	...	...
10-82-55	01-15-55	...	...
10-83-55	01-15-55	...	...
10-84-55	01-15-55	...	...
10-85-55	01-15-55	...	...
10-86-55	01-15-55	...	...
10-87-55	01-15-55	...	...
10-88-55	01-15-55	...	...
10-89-55	01-15-55	...	...
10-90-55	01-15-55	...	...
10-91-55	01-15-55	...	...
10-92-55	01-15-55	...	...
10-93-55	01-15-55	...	...
10-94-55	01-15-55	...	...
10-95-55	01-15-55	...	...
10-96-55	01-15-55	...	...
10-97-55	01-15-55	...	...
10-98-55	01-15-55	...	...
10-99-55	01-15-55	...	...
10-100-55	01-15-55	...	...

INGENIO MADRE TIERRA  
EDIFICIO DE CALDERAS  
ELEVACION SUR

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
POST OFFICE BOX 1415  
BATON ROUGE, LA 70801 U.S.A.

ARTEL  
INTERNATIONAL, INC.  
2001 W. BRIDGE STREET  
BATON ROUGE, LA 70801 U.S.A.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
2001 W. BRIDGE STREET  
BATON ROUGE, LA 70801 U.S.A.

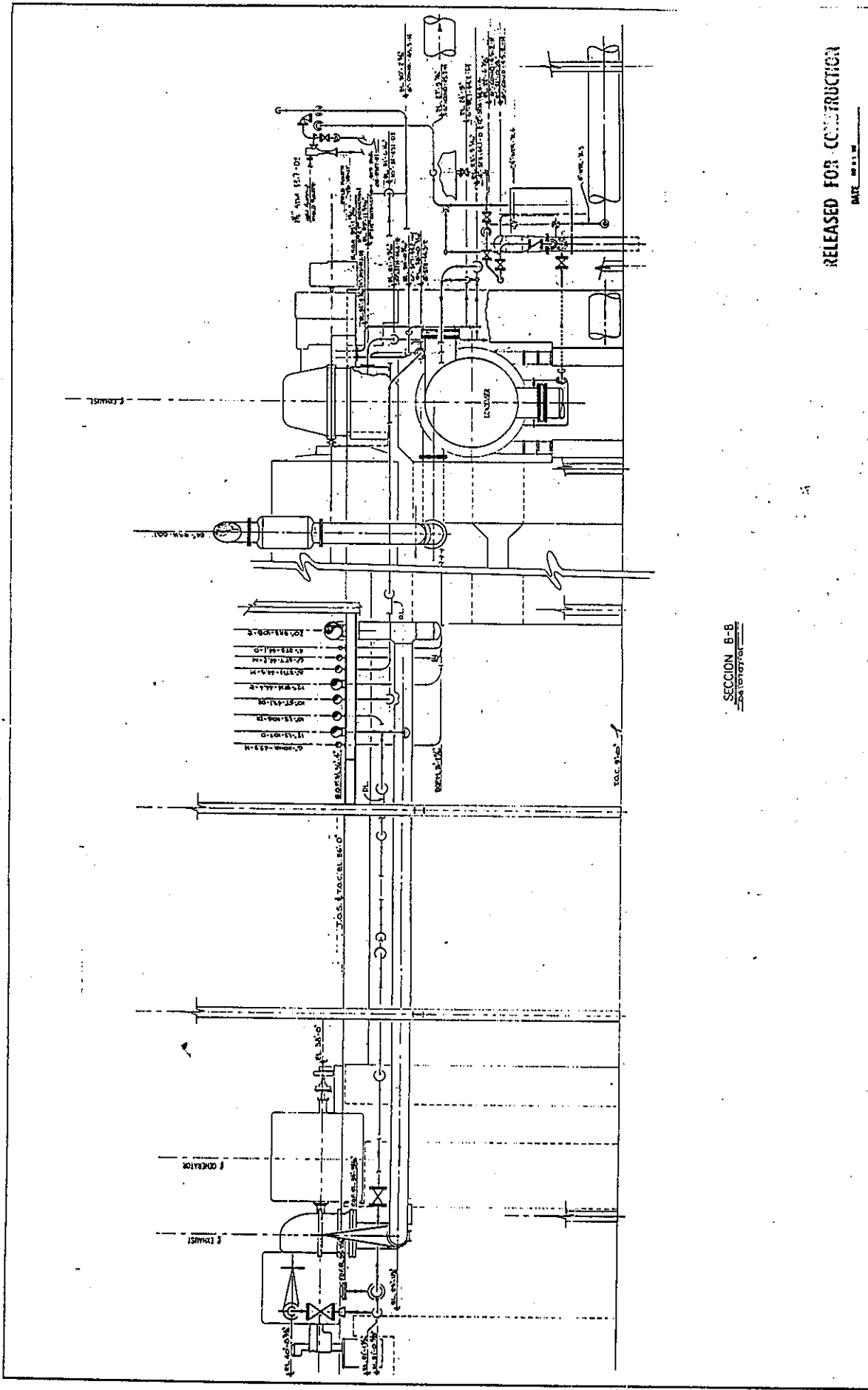
ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
2001 W. BRIDGE STREET  
BATON ROUGE, LA 70801 U.S.A.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
2001 W. BRIDGE STREET  
BATON ROUGE, LA 70801 U.S.A.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
2001 W. BRIDGE STREET  
BATON ROUGE, LA 70801 U.S.A.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
2001 W. BRIDGE STREET  
BATON ROUGE, LA 70801 U.S.A.

ARTEL INTERNATIONAL, INC.  
2001 W. BRIDGE STREET  
BATON ROUGE, LA 70801 U.S.A.



SECTION B-B  
708-0707-01

RELEASED FOR CONSTRUCTION

DATE 08-11-68

<b>ARKEL INTERNATIONAL, INC.</b> ONE RIVER ROAD, SUITE 200, BOSTON, MASS. 02118 U.S.A. TELEPHONE: (617) 552-5555 FAX: (617) 552-5555				INGENIO MADRE TIERRA SUTEL INDUSTRIAL SUTEL BAHIA TERRA E.A. EDIFICIO DES TURBOGENERADORES ELEVACION SUR
ARKEL INTERNATIONAL, INC. ONE RIVER ROAD, SUITE 200 BOSTON, MASS. 02118 U.S.A. TELEPHONE: (617) 552-5555 FAX: (617) 552-5555	PROJECT NO. 708-0707-01 SHEET NO. B-8	DATE 08-11-68 DRAWN BY J.A.M. CHECKED BY J.A.M.	DATE 08-11-68 DRAWN BY J.A.M. CHECKED BY J.A.M.	

## **5. PLANOS DE LAS LÍNEAS DE VAPOR A ESTUDIAR EN FORMA INDIVIDUAL**

### **5.1 INTRODUCCIÓN**

Por la configuración de todas las líneas de vapor que se visualizan en los planos generales, y por estar en secciones que juntos conforman un plano general, dan alguna dificultad para poder visualizar globalmente cada línea en estudio, es por eso que se trazaron planos individuales de cada línea de vapor, donde se enuncian dimensiones, accesorios, diámetros de las tuberías, especificaciones de soportes o cargadores y zapatas móviles, localización de válvulas y notas de aspectos importantes a tomar en cuenta en el montaje, como holguras a dejar en los soportes móviles y anclajes, para que al estar la tubería sometida a temperatura de trabajo y se dilate, sea absorbida la misma y la línea se elongue hacia donde el diseño lo amerite para que trabajen las omegas y demás componentes del sistema, y de este modo evitar esfuerzos colapsantes a lo largo de las mismas.

Cada plano que corresponde a una línea en estudio, tiene enunciadas las notas y simbología que poseen los planos originales para el montaje, y que son de mucha importancia, dichas notas están en idioma inglés, pero aparecen en español al principio del documento en las LISTAS DE SÍMBOLOS, NOTAS Y ABREVIATURAS UTILIZADAS.

### **5.2 ILUSTRACIÓN Y PLANOS DE LAS LÍNEAS DE VAPOR POR INDIVIDUAL TANTO DE PLANTA COMO ELEVACIÓN.**

A continuación se presentan los planos en los que se visualizan desde planta y elevación cada una de las líneas en estudio.

#### **PLANO No. 8 (planta) Y No. 9 (elevación):**

Tubería 10"-LS-106-D1. Acero A-234 ASTM. Vapor vivo a 750 psig. y 750 ° F, alimentación de turbina del turbogenerador de 5 MW (página No. 61 y No 62).

#### **PLANO No. 10 (planta) Y No. 11 (elevación):**

Tubería 12"-LS-107-D. Acero A-216-ASTM. Vapor a 225 psig. y 525 ° F, extracción de turbina del turbogenerador de 5 MW a proceso de fabricación en el Ingenio (página No. 63 y No. 64).

**PLANO No. 12 (planta) Y No. 13 (elevación):**

Tubería 20"-EXS-108-D. Acero A-216 ASTM. Vapor a 20 psig. y 300 ° F, escape de turbina del turbogenerador de 5MW a proceso de fabricación del Ingenio (página No. 65 y No. 66).

**PLANO No. 14 (planta) Y No. 15 (elevación):**

Tubería 10"-ST-125-D2. Acero A-335 ASTM. Vapor vivo a 650 psig. y 825 ° F, alimentación de turbina del turbogenerador de 15 MW (página No. 67 y No. 68).

**PLANO No. 16 (planta) Y No. 17 (elevación):**

Tubería 4"-ST3-44.1-D. Acero A-106 ASTM. Vapor a 225 psig. y 617 ° F, extracción 3a. etapa del turbogenerador de 15 MW que alimenta el calentador de condensados de alta presión de vapor (página No. 69 y No. 70).

**PLANO No. 18 (planta) Y No. 19 (elevación):**

Tubería 6"-ST7-44.2-M. Acero A-106 ASTM. Vapor a 90 psig. y 446 ° F, extracción 7a. etapa del turbogenerador de 15 MW que alimenta el calentador de de condensados de presión media de vapor (página No. 71 y No. 72).

**PLANO No. 20 (planta) Y No. 21 (elevación):**

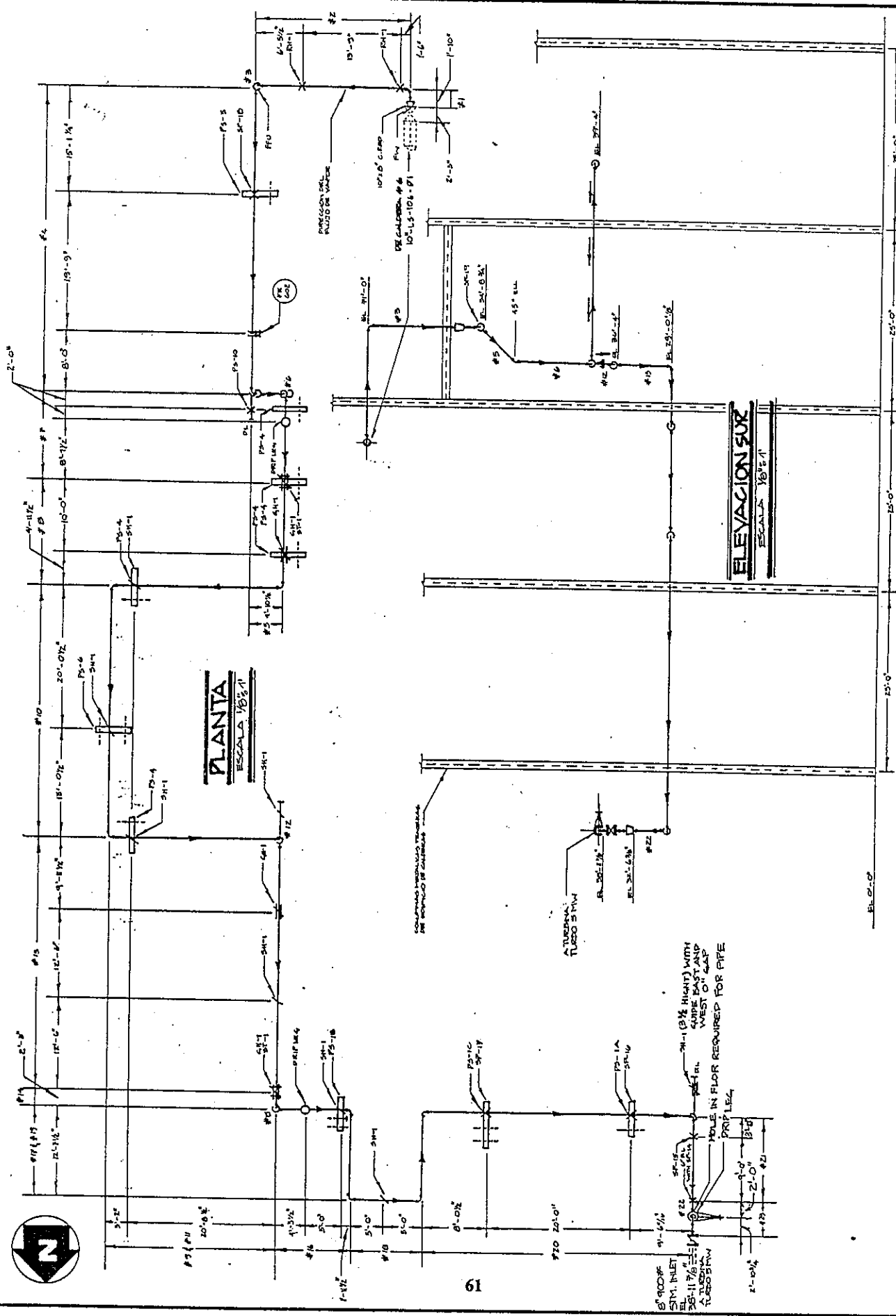
Tubería 8"-ST11-44.3-M. Acero A-53 ASTM. Vapor a 35 psig. y 295 ° F, extracción 11a. etapa del turbogenerador de 15MW que alimenta el deareador de las calderas No. 5 y No. 7 (página No. 73 y No. 74).

**PLANO No. 22(planta) Y No. 23 (elevación):**

Tubería 12"-ST14-44.4-E. Acero A-53 ASTM. Vapor a 6.4 psig. y 173 ° F, extracción 14a. etapa del turbogenerador de 15MW que alimenta el calentador de baja presión de las calderas No. 5 y No. 7 (página No. 75 y No. 76).

### **5.3 EXPLICACIÓN DE LOS DETALLES DE LOS PLANOS QUE PUEBAN GENERAR CONFUSIONES.**

Los detalles que pueden generar algún tipo de confusión en el presente capítulo son dos, la simbología y las notas en idioma inglés, pero ambas pueden ser aclaradas al recurrir a la simbología, abreviaturas y notas utilizadas, que aparece al principio del documento. Las notas en idioma inglés están traducidas muy claramente.



**ELEVACION SUX**  
ESCALA 1/8" = 1'

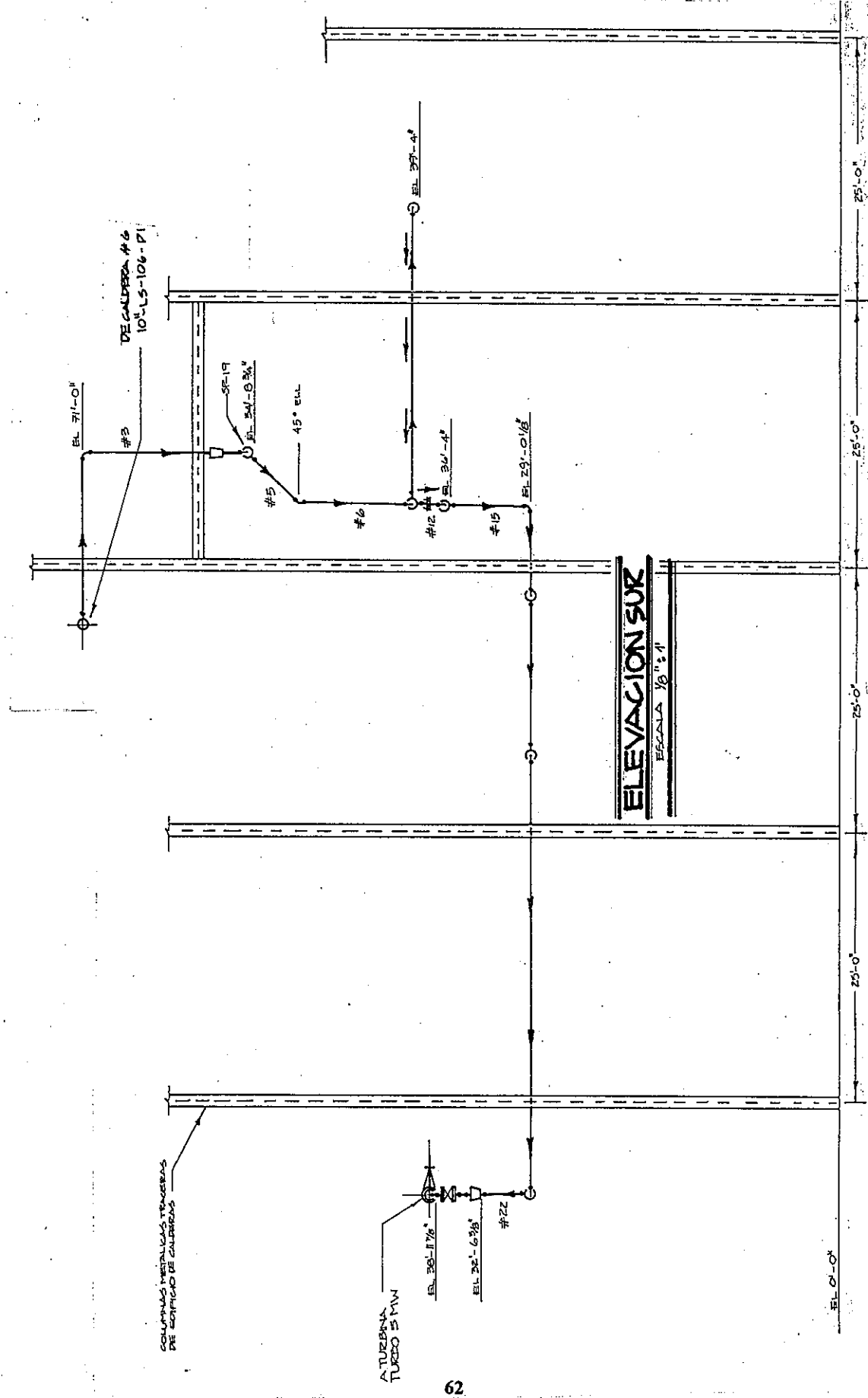
**REFERENCIA**

Nº.	PROY.	FECHA	ESTADO
01.	PROY. 01/01/01	01/01/01	PROYECTO
02.	PROY. 02/02/02	02/02/02	PROYECTO
03.	PROY. 03/03/03	03/03/03	PROYECTO
04.	PROY. 04/04/04	04/04/04	PROYECTO
05.	PROY. 05/05/05	05/05/05	PROYECTO
06.	PROY. 06/06/06	06/06/06	PROYECTO
07.	PROY. 07/07/07	07/07/07	PROYECTO
08.	PROY. 08/08/08	08/08/08	PROYECTO
09.	PROY. 09/09/09	09/09/09	PROYECTO
10.	PROY. 10/10/10	10/10/10	PROYECTO

**INGENIO MADRE TIERRA**  
SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUNTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACERO A-234 ASTA, Ø 10", VAPOR A 150 ° F  
ALIMENTACION PA TURBINA, TURBO 5 MW





COLUMNAS METALICAS TENCERAS DE SOPORTE DE CALDERAS

A TUBERIA TURBO 5 MW

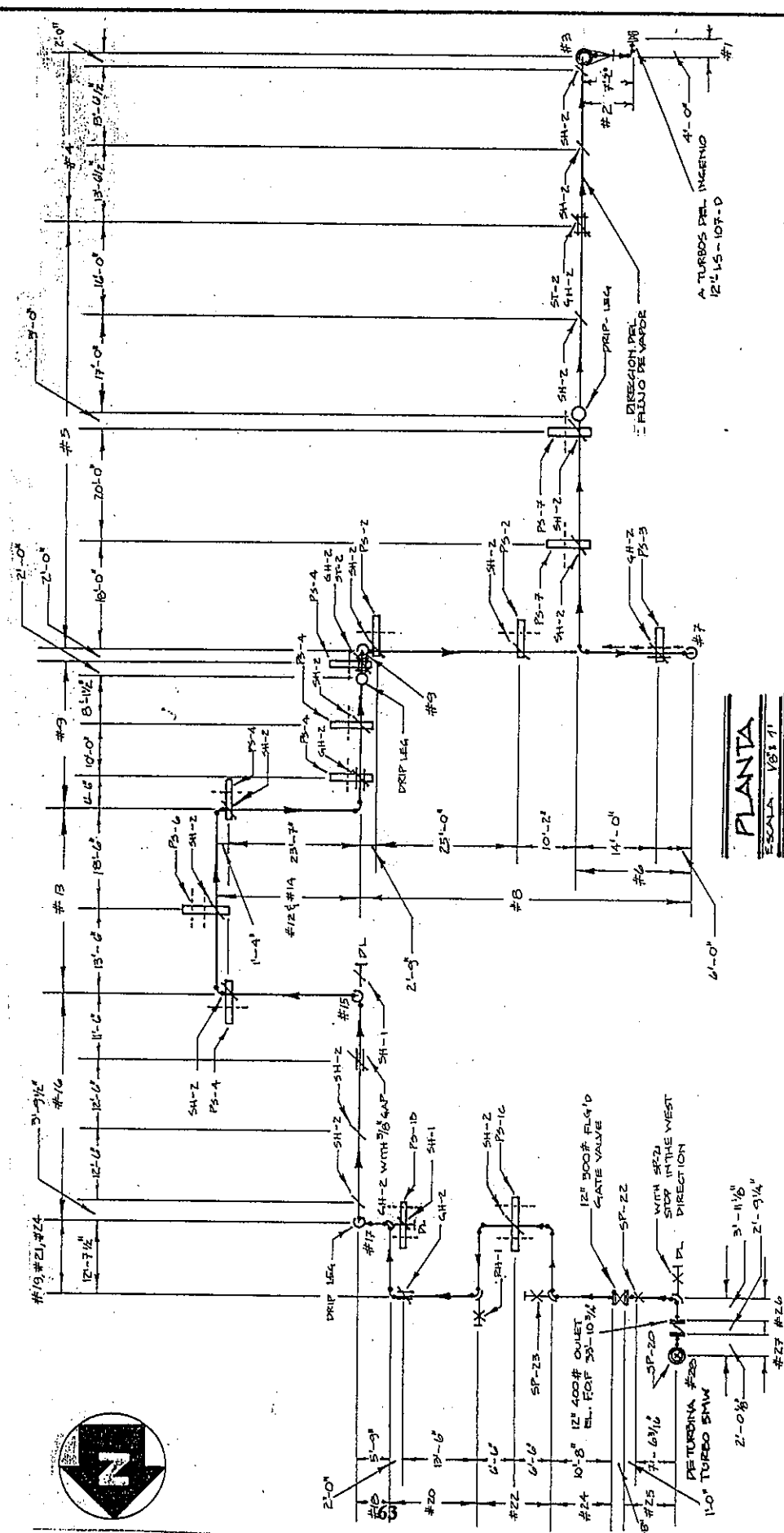
DE CALDERA # 6  
10" LS-106-P1

**ELEVACION SUR**  
Escala 1/8" = 1'

REFERENCIA	PROY. 17-1-03
NO. PROYECTO	PROY. 17-1-03
NO. DISEÑO	17-1-03
NO. REVISION	17-1-03
NO. AUTORIZACION	17-1-03
NO. APROBACION	17-1-03
NO. REVISION	17-1-03
NO. APROBACION	17-1-03
NO. REVISION	17-1-03
NO. APROBACION	17-1-03

**INGENIO MADRE TIERRA**  
SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUNTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACERO A-234 ASTM, Ø 10", VALVE A Y50 # F  
ALIMENTACION DE TURBOS, TURBO 5 MW



**PLANTA**  
ESCALA 1/8" = 1'

A TURBOS DEL INGENIO  
12-15-107-D

DIRECCION DEL  
FLUJO DE VAPOR

12" DOOR FLG'D  
SLATE VALVE

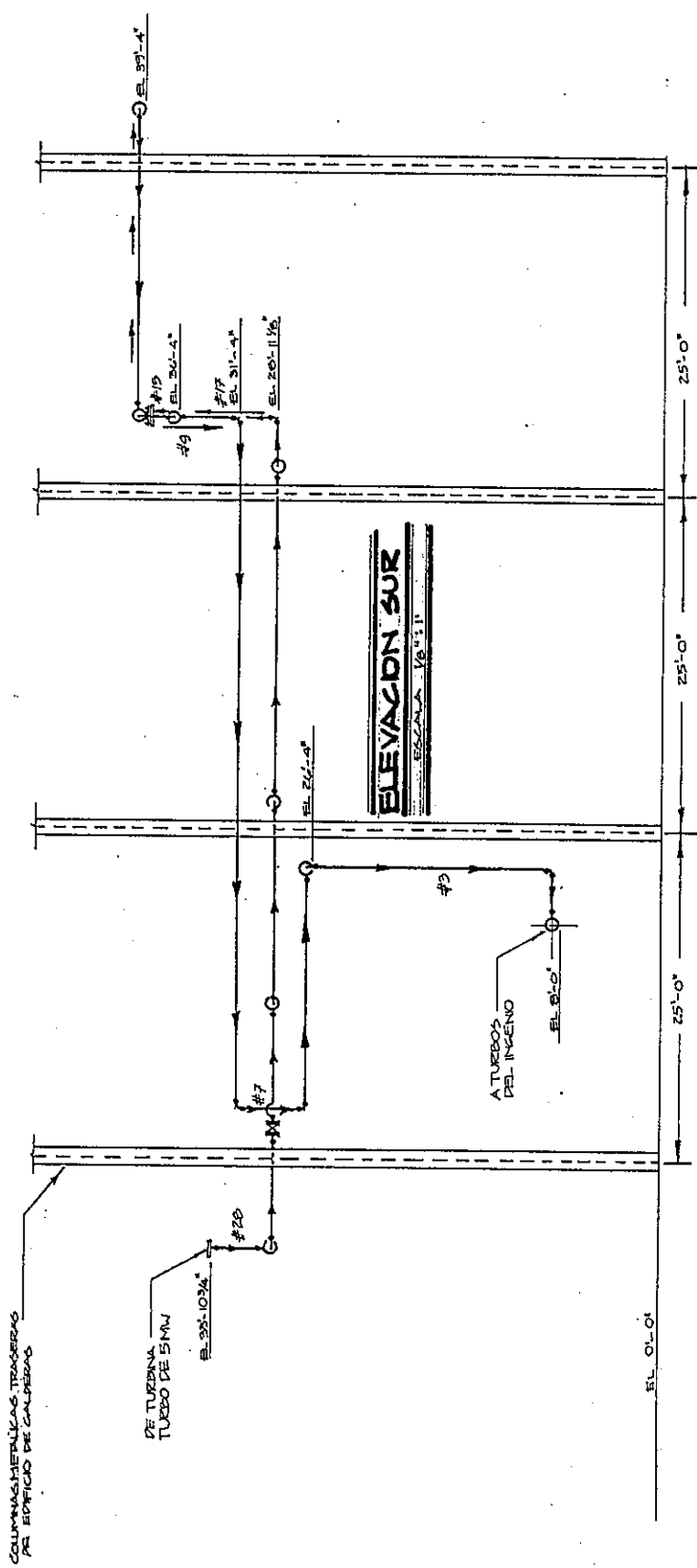
WITH #22  
STOP IN THE WEST  
DIRECTION

12" 400# OULET  
BL. FOR 30-10 3/4"

14" TURBO SHAW

REFERENCIA		NUMERO	
NO. 132 / 04-0104-03	PLANTA	1-1-78	
NO. 132 / 04-0104-02	PLANTA	1-1-78	
NO. 132 / 04-0104-01	PLANTA	1-1-78	
NO. 132 / 04-0104-01	PLANTA	1-1-78	
NO. 132 / 04-0104-01	PLANTA	1-1-78	
NO. 132 / 04-0104-01	PLANTA	1-1-78	
NO. 132 / 04-0104-01	PLANTA	1-1-78	
NO. 132 / 04-0104-01	PLANTA	1-1-78	

**INGENIO MADER TIERRA**  
SANTA LUCIA COTACUMALAPA, QUINTANA ROO, MEXICO  
TURBINA A-216 557M, Ø12", VAPOR A 325 °F  
ENTRACION DE TURBINA, TURBO DE SHAW

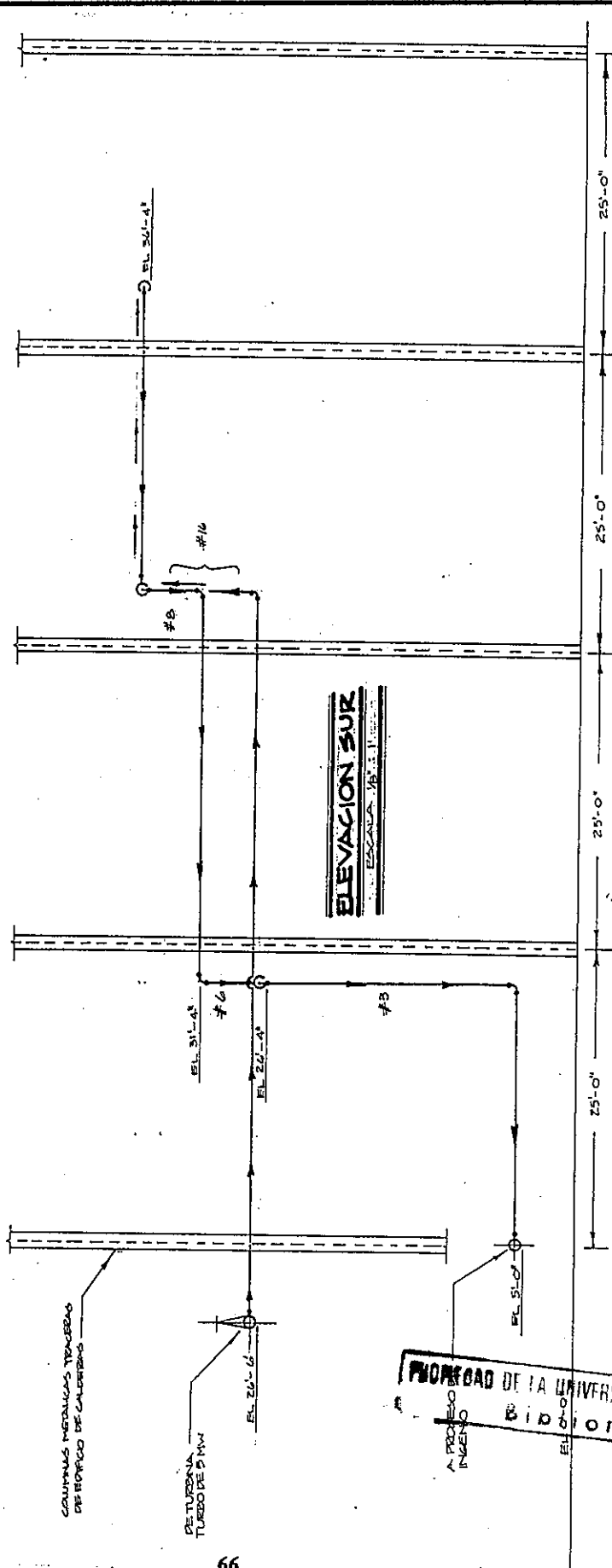


REFERENCIA	FECHA	PROYECTISTA	PROYECTO
MR. 132/02-0101-03	1-1-91	INGENIERO	PROYECTO
MR. 132/02-0101-02			
MR. 132/02-0101-01			
MR. 132/02-0101-01			
MR. 132/02-0101-02			
MR. 132/02-0101-02			
MR. 132/02-0101-03			

**INGENIO MADRE TIBERCA**  
 SANTA LUCIA COTZUMALUHA, ESCUINTLA  
 QUANTUMULA, CENTRO AMERICA

TURBINA ACERO A-216 ASTM, Ø 12", VAPOR A 525 °F  
 EXTRACCION DEL TURBINA, TURBO DE 5 MW





**ELEVACION SUR**  
ESCALA 1/8" = 1' - 0"

CAMPUAS METALICAS TRABAJADAS  
 DE FONICO DE CALIBRO

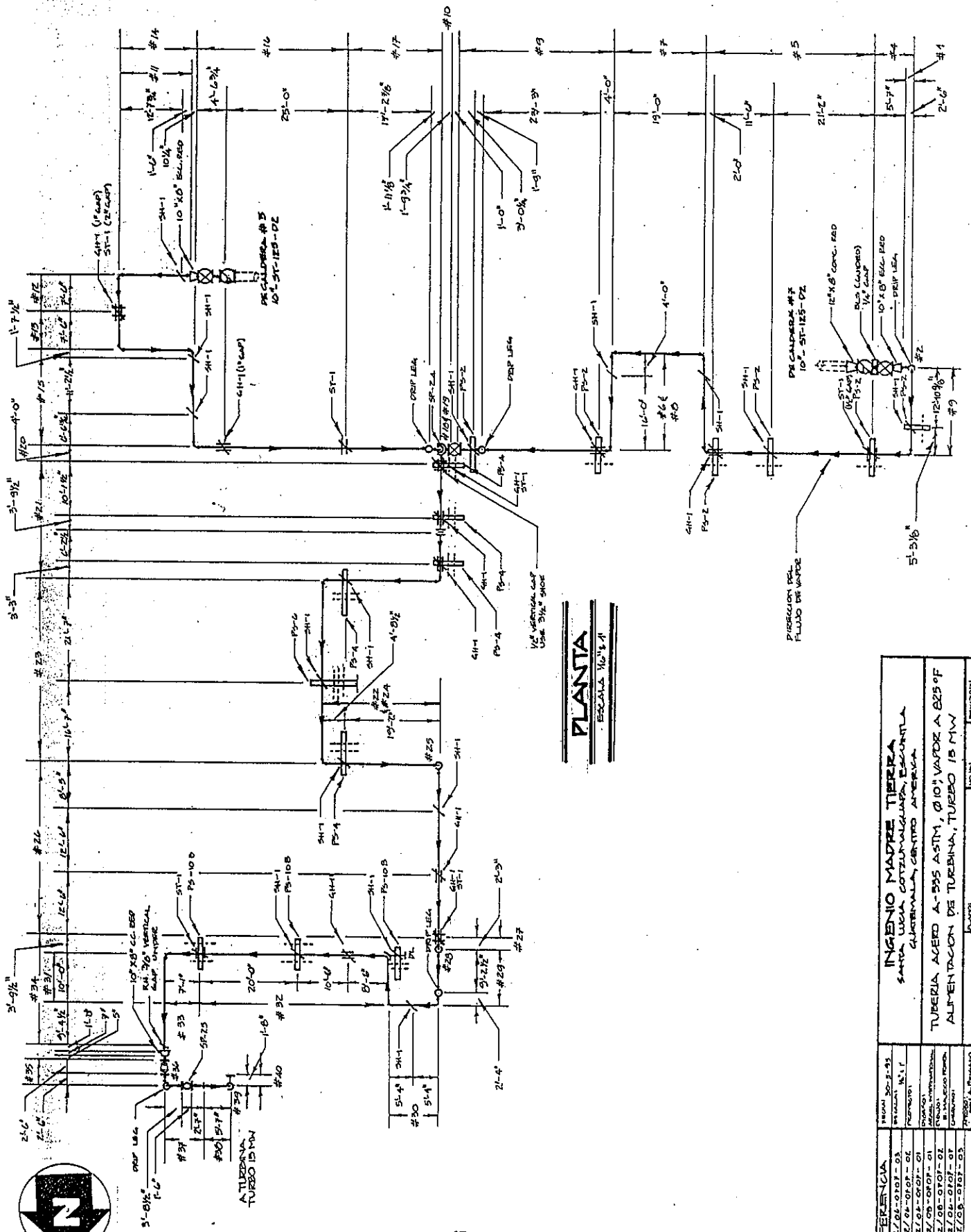
DE TURBINA  
 TURBO DE 5 MW

PROYECTO DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
 Biblioteca Central

REFERENCIA	FIG. 1-3-35
NO. 112/04-0107-03	TURBINA
NO. 112/04-0107-02	TURBINA
NO. 112/04-0107-01	TURBINA
NO. 112/05-0107-01	TURBINA
NO. 112/05-0107-02	TURBINA
NO. 112/05-0107-03	TURBINA
NO. 112/05-0107-04	TURBINA
NO. 112/05-0107-05	TURBINA

**INGENIO MADRE TIERRA**  
 SANTA LUCIA COTZUMALGUANA, ESCUINTLA  
 GUATEMALA CENTRO AMERICA

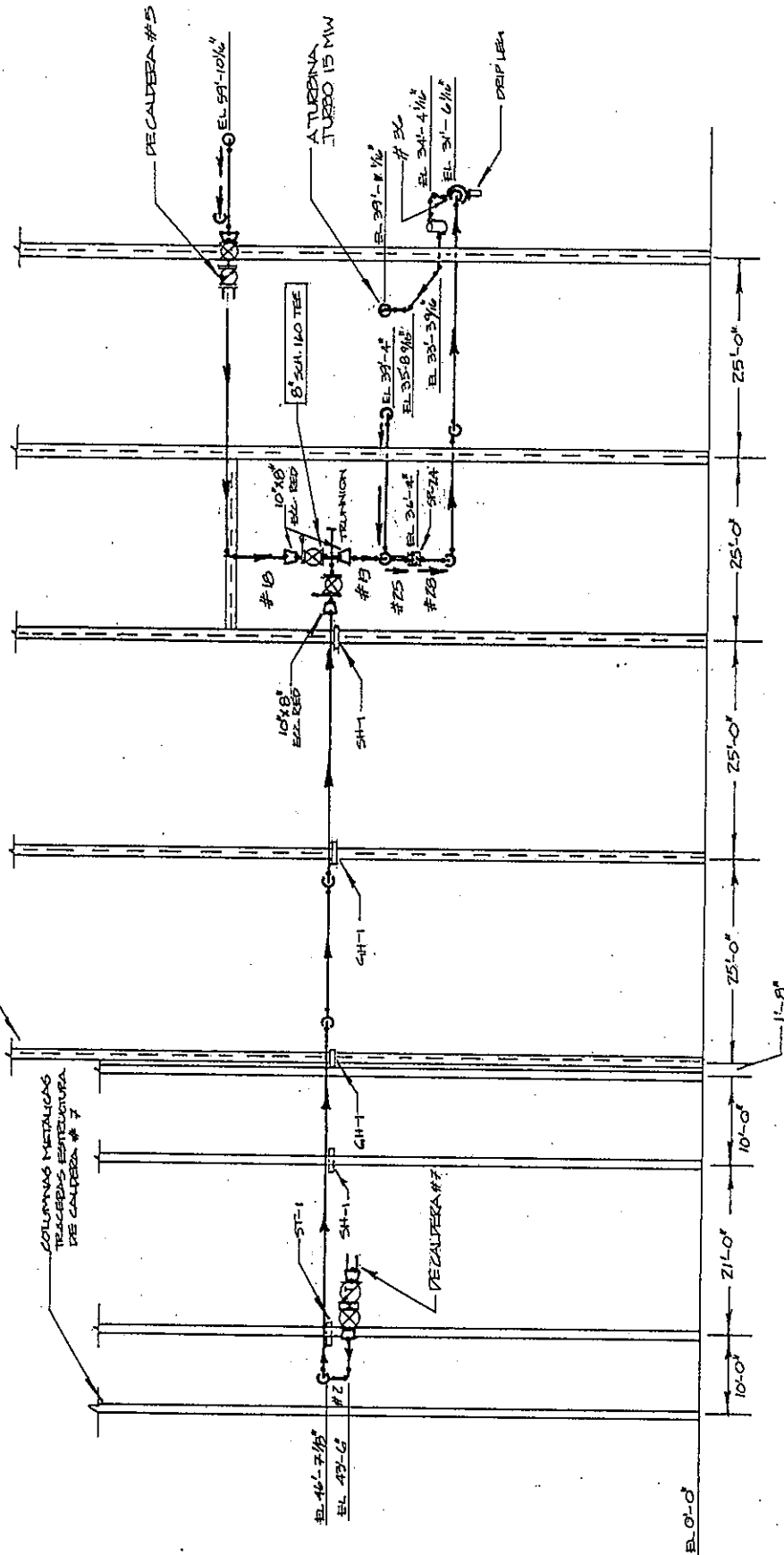
TURBINA ACERO A-216 ASTM, 9 20", VALVE A 300 # F  
 ESCAPE DE TURBINA, TURBO DE 5 MW



**PLANTA**  
ESCALA 1/8\"/>

<b>REFERENCIA</b>		SEMA 30-3-33	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-03	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-04	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-05	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-06	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-07	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-08	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-09	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-10	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-11	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-12	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-13	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-14	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-15	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-16	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-17	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-18	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-19	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-20	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-21	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-22	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-23	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-24	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-25	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-26	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-27	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-28	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-29	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-30	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-31	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-32	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-33	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-34	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-35	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-36	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-37	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-38	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-39	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-40	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-41	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-42	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-43	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-44	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-45	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-46	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-47	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-48	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-49	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO
NO. 1117/01-0103-50	SEMA 30-3-33	PROYECTO	PROYECTO

COLUMNAS METALICAS TRACERAS DE EDIFICIO DE CALDERAS



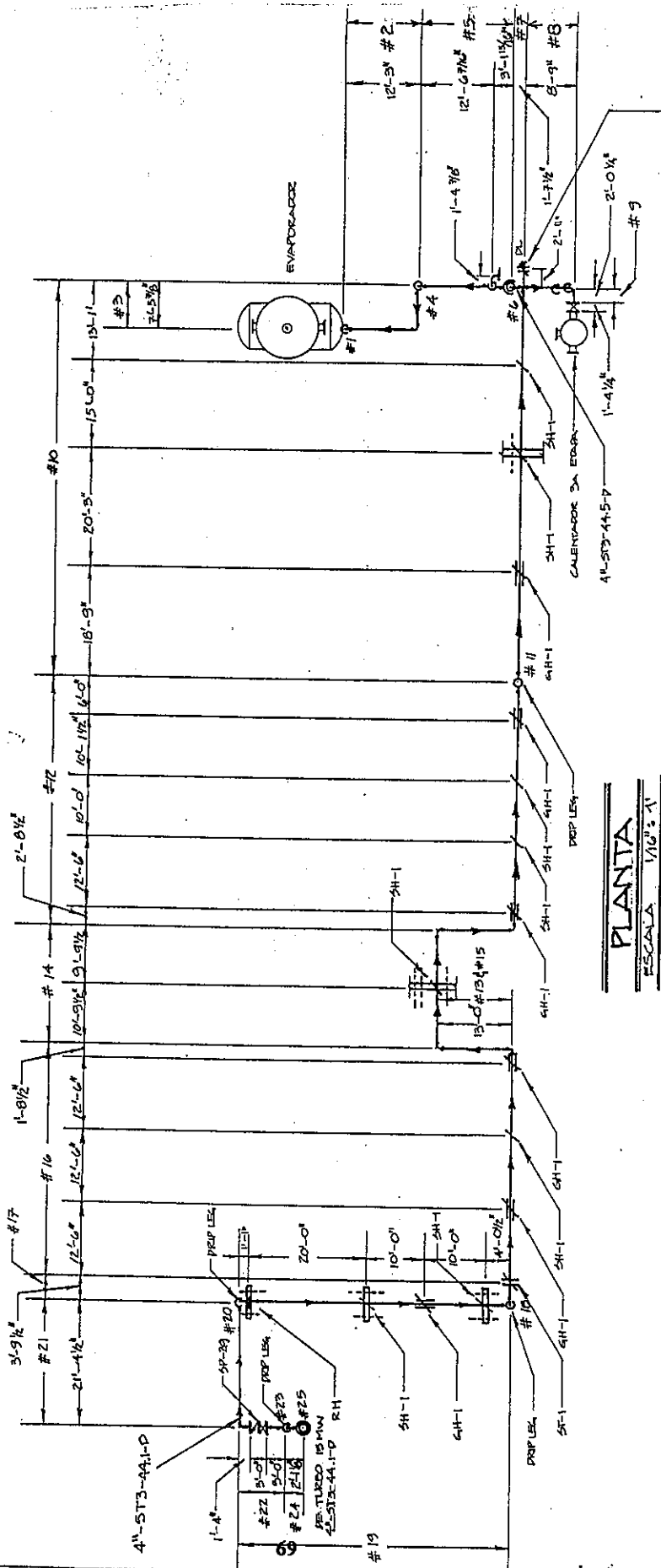
# ELEVACION SUZ

ESCALA 1/16" = 1'

REFERENCIA	FECHA	NO. DE DISEÑO
NO. 131/04-0103-03	1954	131/04-0103-03
NO. 131/04-0103-04	1954	131/04-0103-04
NO. 131/04-0103-05	1954	131/04-0103-05
NO. 131/04-0103-06	1954	131/04-0103-06
NO. 131/04-0103-07	1954	131/04-0103-07
NO. 131/04-0103-08	1954	131/04-0103-08
NO. 131/04-0103-09	1954	131/04-0103-09
NO. 131/04-0103-10	1954	131/04-0103-10

INGENIO MADRE TIERRA  
 SANTA LUIS COTZUMALUPA, ESCUAYULA  
 GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TURBINA ACEO A-595 ASTM, Ø10", VAPOR A 825 °F  
 ALIMENTACION DE TURBINA, TURBO 15 MW



51'-1" GAP @ NORTH  
5/8" SOUTH

**PLANTA**  
ESCALA 1/16" = 1'

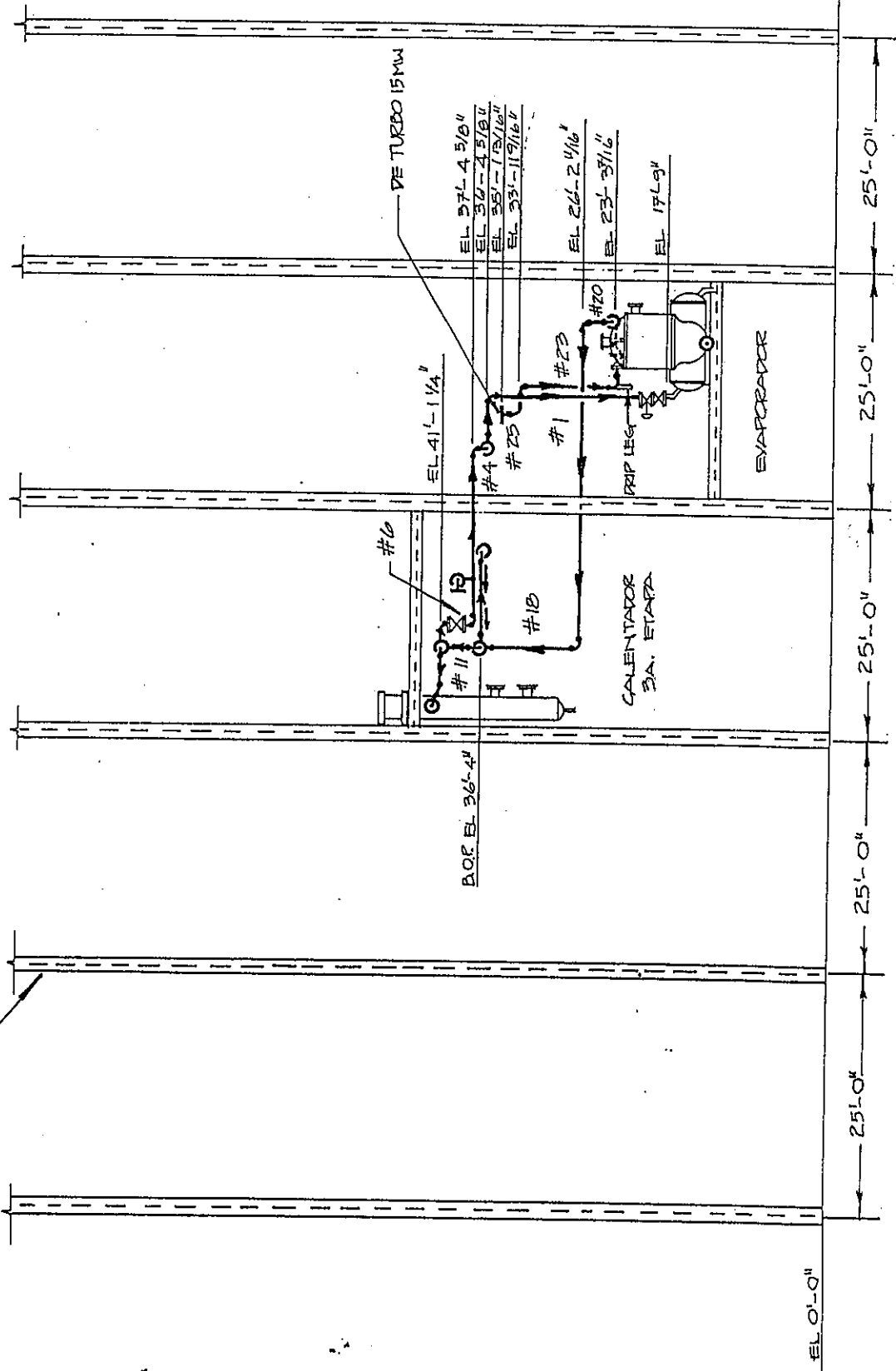
REFERENCIA	FECHA	DESCRIPCION
N.º 702 / 06 - 0702 - 01	16-1-11	PROYECTO
N.º 702 / 06 - 0702 - 01		ASIGN. INTERMEDIARIA
N.º 702 / 06 - 0702 - 01		REVISADO
N.º 702 / 06 - 0702 - 01		APROBADO
N.º 702 / 06 - 0702 - 01		REVISADO
N.º 702 / 06 - 0702 - 01		REVISADO

INGENIO MADRE TIERRA  
SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUNTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACEO A-106 Ø 4", VAPOR A 617 ° F  
EXTRACCION 3A. ETAPA, TURBO DE 15 MW



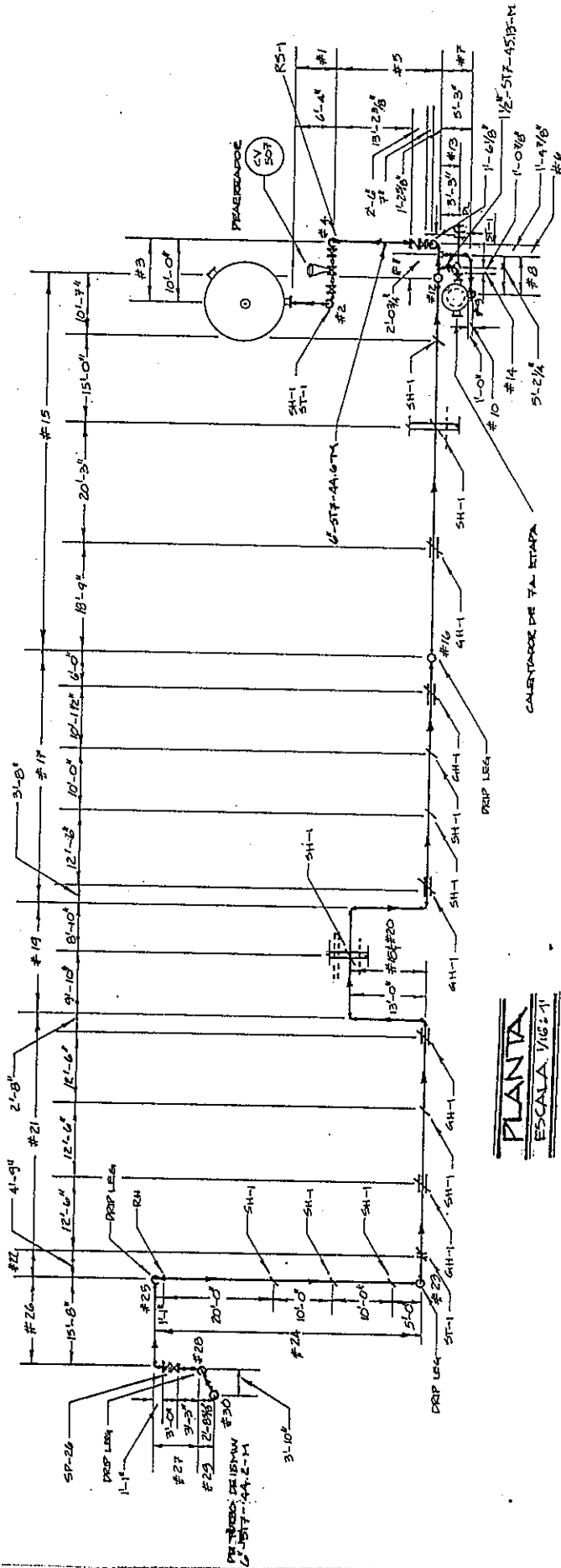
COLUMNAS METALICAS  
TRACERAS EDIFICIO DE  
CALDERAS



# ELEVACION SUR

ESCALA 1/16" = 1'

REFERENCIA	FECHA	PROYECTISTA	PROYECTO
Nº. 732/04-0207-04	1974	E. B. 1972	INGENIO MAJRE TIERRA
Nº. 732/04-0207-01	1974	M. J. 1974	SANTA LUCIA COTZUMALCUPA, ESCUNTLA
Nº. 732/04-0207-01	1974	M. J. 1974	GUATEMALA, CENTRO AMERICA
Nº. 732/08-0207-01	1978	M. J. 1978	TUBERIA ACERO A-106 Ø 4", VAPOR A 617 °F
Nº. 732/08-0207-01	1978	M. J. 1978	EXTRACCION SA. ETAPA, TURBO DE 15 MW
Nº. 732/08-0207-03	1978	M. J. 1978	
Nº. 732/08-0207-04	1978	M. J. 1978	



**PLANTA**  
ESCALA 1/16"

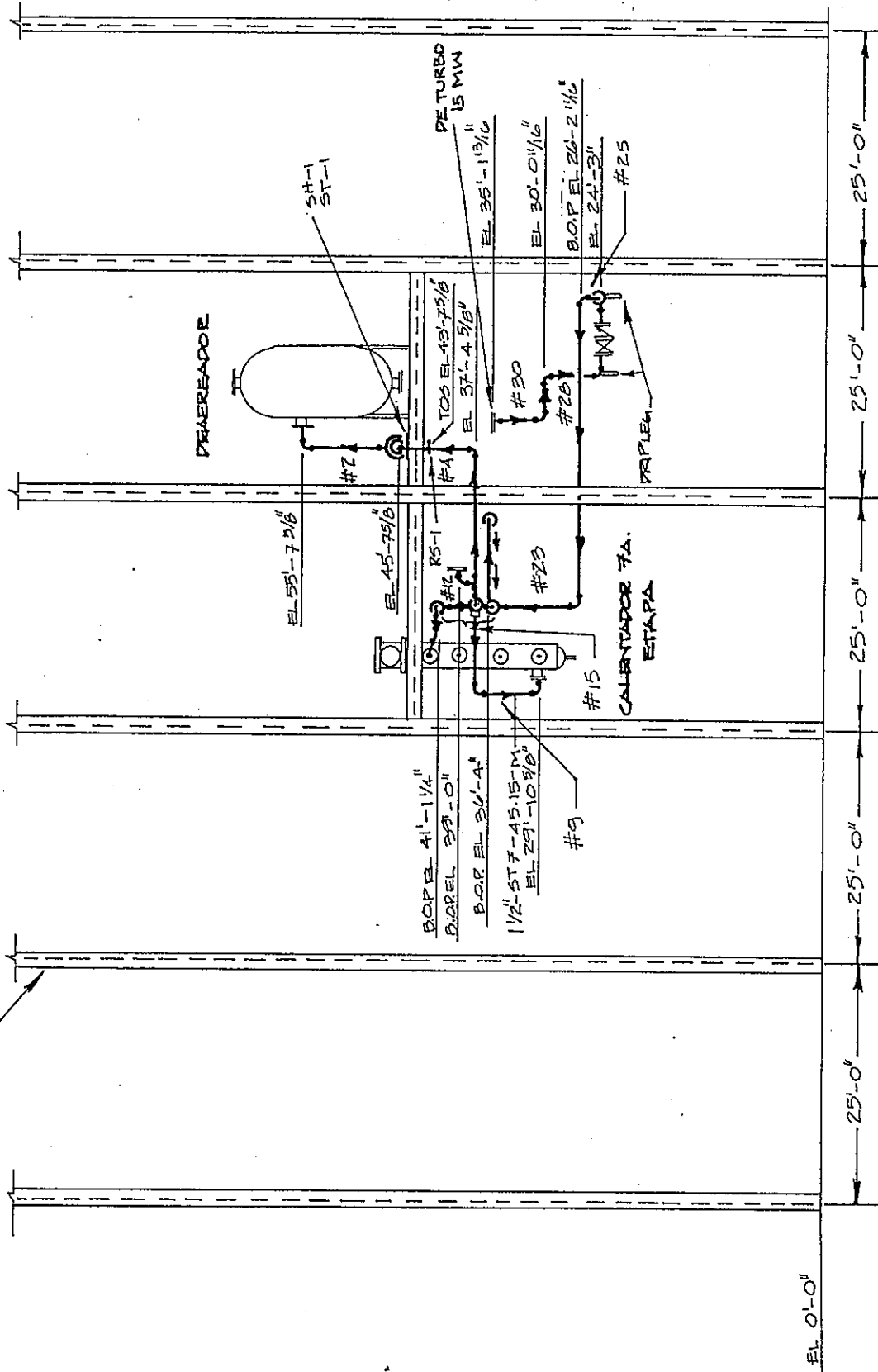
REFERENCIA	DESCRIPCION	FECHA	REVISOR
N. 752/04 - 0101 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0102 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0103 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0104 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0105 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0106 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0107 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0108 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0109 - 01	PROYECTO	15/01/04	...
N. 752/04 - 0110 - 01	PROYECTO	15/01/04	...

**INGENIO MADRE TIERRA**  
SANTA LUCIA COTZUMALUJAN, ESCUINTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TURBINA AERO A 106 Ø 6", VAPOR A 446 °F  
EXTRACCION 7A. ETAPA, TURBO DE 15 MW

PLANTA 1/16"

COLUMNAS METÁLICAS  
TRÁZERAS EDIFICIO DE  
CALDERAS



EL 0'-0"

25'-0"

25'-0"

25'-0"

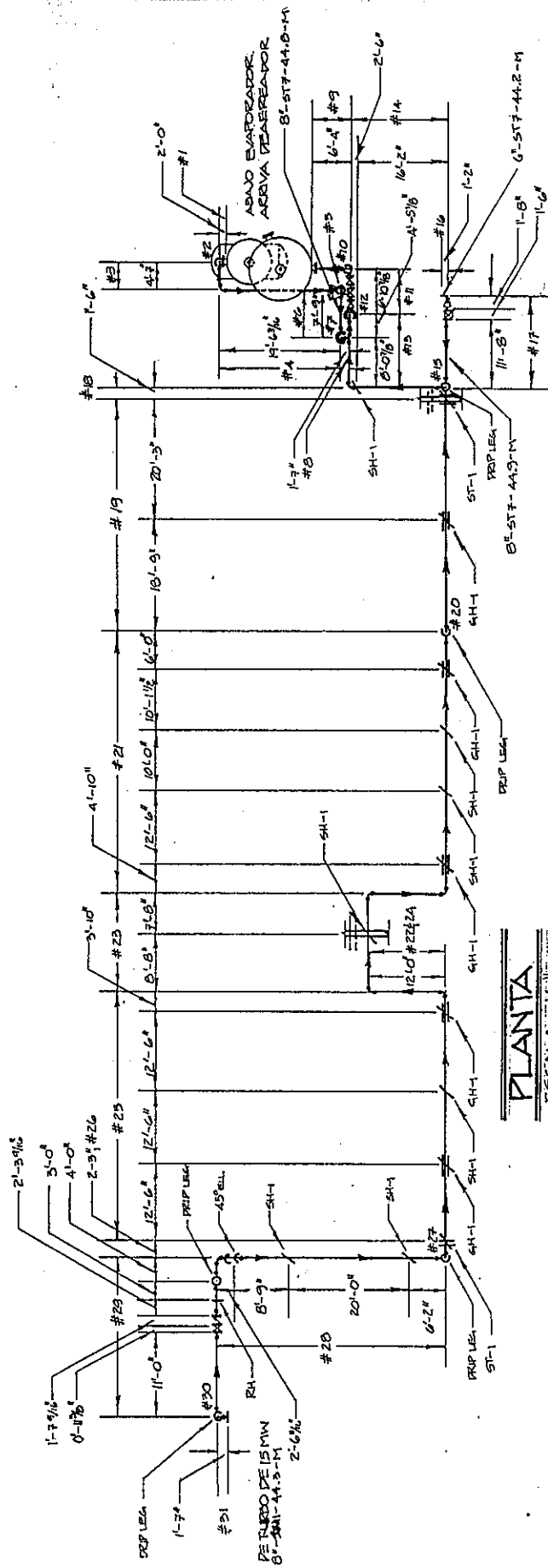
25'-0"

25'-0"

# ELEVACION SUR

ESCALA 1/8" = 1'

REFERENCIA	BOVINIA	PROYECTO
N. 701/04 - 0101-01	BOVINIA 2-0-03	INGENIO MADRE TIERRA
N. 702/04 - 0101-01	BOVINIA 3-1-1	SANTA LUISA COTZUMALUJUN, ESCUINTLA
N. 703/04 - 0101-01	BOVINIA 4-1-1	GUATEMALA, CENTRO AMERICA
N. 704/04 - 0101-01	BOVINIA 5-1-1	
N. 705/04 - 0101-01	BOVINIA 6-1-1	
N. 706/04 - 0101-01	BOVINIA 7-1-1	
N. 707/04 - 0101-01	BOVINIA 8-1-1	
N. 708/04 - 0101-01	BOVINIA 9-1-1	
N. 709/04 - 0101-01	BOVINIA 10-1-1	
N. 710/04 - 0101-01	BOVINIA 11-1-1	
N. 711/04 - 0101-01	BOVINIA 12-1-1	
N. 712/04 - 0101-01	BOVINIA 13-1-1	
N. 713/04 - 0101-01	BOVINIA 14-1-1	
N. 714/04 - 0101-01	BOVINIA 15-1-1	
N. 715/04 - 0101-01	BOVINIA 16-1-1	
N. 716/04 - 0101-01	BOVINIA 17-1-1	
N. 717/04 - 0101-01	BOVINIA 18-1-1	
N. 718/04 - 0101-01	BOVINIA 19-1-1	
N. 719/04 - 0101-01	BOVINIA 20-1-1	
N. 720/04 - 0101-01	BOVINIA 21-1-1	
N. 721/04 - 0101-01	BOVINIA 22-1-1	
N. 722/04 - 0101-01	BOVINIA 23-1-1	
N. 723/04 - 0101-01	BOVINIA 24-1-1	
N. 724/04 - 0101-01	BOVINIA 25-1-1	
N. 725/04 - 0101-01	BOVINIA 26-1-1	
N. 726/04 - 0101-01	BOVINIA 27-1-1	
N. 727/04 - 0101-01	BOVINIA 28-1-1	
N. 728/04 - 0101-01	BOVINIA 29-1-1	
N. 729/04 - 0101-01	BOVINIA 30-1-1	
N. 730/04 - 0101-01	BOVINIA 31-1-1	
N. 731/04 - 0101-01	BOVINIA 32-1-1	
N. 732/04 - 0101-01	BOVINIA 33-1-1	
N. 733/04 - 0101-01	BOVINIA 34-1-1	
N. 734/04 - 0101-01	BOVINIA 35-1-1	
N. 735/04 - 0101-01	BOVINIA 36-1-1	
N. 736/04 - 0101-01	BOVINIA 37-1-1	
N. 737/04 - 0101-01	BOVINIA 38-1-1	
N. 738/04 - 0101-01	BOVINIA 39-1-1	
N. 739/04 - 0101-01	BOVINIA 40-1-1	
N. 740/04 - 0101-01	BOVINIA 41-1-1	
N. 741/04 - 0101-01	BOVINIA 42-1-1	
N. 742/04 - 0101-01	BOVINIA 43-1-1	
N. 743/04 - 0101-01	BOVINIA 44-1-1	
N. 744/04 - 0101-01	BOVINIA 45-1-1	
N. 745/04 - 0101-01	BOVINIA 46-1-1	
N. 746/04 - 0101-01	BOVINIA 47-1-1	
N. 747/04 - 0101-01	BOVINIA 48-1-1	
N. 748/04 - 0101-01	BOVINIA 49-1-1	
N. 749/04 - 0101-01	BOVINIA 50-1-1	
N. 750/04 - 0101-01	BOVINIA 51-1-1	
N. 751/04 - 0101-01	BOVINIA 52-1-1	
N. 752/04 - 0101-01	BOVINIA 53-1-1	
N. 753/04 - 0101-01	BOVINIA 54-1-1	
N. 754/04 - 0101-01	BOVINIA 55-1-1	
N. 755/04 - 0101-01	BOVINIA 56-1-1	
N. 756/04 - 0101-01	BOVINIA 57-1-1	
N. 757/04 - 0101-01	BOVINIA 58-1-1	
N. 758/04 - 0101-01	BOVINIA 59-1-1	
N. 759/04 - 0101-01	BOVINIA 60-1-1	
N. 760/04 - 0101-01	BOVINIA 61-1-1	
N. 761/04 - 0101-01	BOVINIA 62-1-1	
N. 762/04 - 0101-01	BOVINIA 63-1-1	
N. 763/04 - 0101-01	BOVINIA 64-1-1	
N. 764/04 - 0101-01	BOVINIA 65-1-1	
N. 765/04 - 0101-01	BOVINIA 66-1-1	
N. 766/04 - 0101-01	BOVINIA 67-1-1	
N. 767/04 - 0101-01	BOVINIA 68-1-1	
N. 768/04 - 0101-01	BOVINIA 69-1-1	
N. 769/04 - 0101-01	BOVINIA 70-1-1	
N. 770/04 - 0101-01	BOVINIA 71-1-1	
N. 771/04 - 0101-01	BOVINIA 72-1-1	
N. 772/04 - 0101-01	BOVINIA 73-1-1	
N. 773/04 - 0101-01	BOVINIA 74-1-1	
N. 774/04 - 0101-01	BOVINIA 75-1-1	
N. 775/04 - 0101-01	BOVINIA 76-1-1	
N. 776/04 - 0101-01	BOVINIA 77-1-1	
N. 777/04 - 0101-01	BOVINIA 78-1-1	
N. 778/04 - 0101-01	BOVINIA 79-1-1	
N. 779/04 - 0101-01	BOVINIA 80-1-1	
N. 780/04 - 0101-01	BOVINIA 81-1-1	
N. 781/04 - 0101-01	BOVINIA 82-1-1	
N. 782/04 - 0101-01	BOVINIA 83-1-1	
N. 783/04 - 0101-01	BOVINIA 84-1-1	
N. 784/04 - 0101-01	BOVINIA 85-1-1	
N. 785/04 - 0101-01	BOVINIA 86-1-1	
N. 786/04 - 0101-01	BOVINIA 87-1-1	
N. 787/04 - 0101-01	BOVINIA 88-1-1	
N. 788/04 - 0101-01	BOVINIA 89-1-1	
N. 789/04 - 0101-01	BOVINIA 90-1-1	
N. 790/04 - 0101-01	BOVINIA 91-1-1	
N. 791/04 - 0101-01	BOVINIA 92-1-1	
N. 792/04 - 0101-01	BOVINIA 93-1-1	
N. 793/04 - 0101-01	BOVINIA 94-1-1	
N. 794/04 - 0101-01	BOVINIA 95-1-1	
N. 795/04 - 0101-01	BOVINIA 96-1-1	
N. 796/04 - 0101-01	BOVINIA 97-1-1	
N. 797/04 - 0101-01	BOVINIA 98-1-1	
N. 798/04 - 0101-01	BOVINIA 99-1-1	
N. 799/04 - 0101-01	BOVINIA 100-1-1	



**PLANTA**  
ESCALA 1/16\"/>

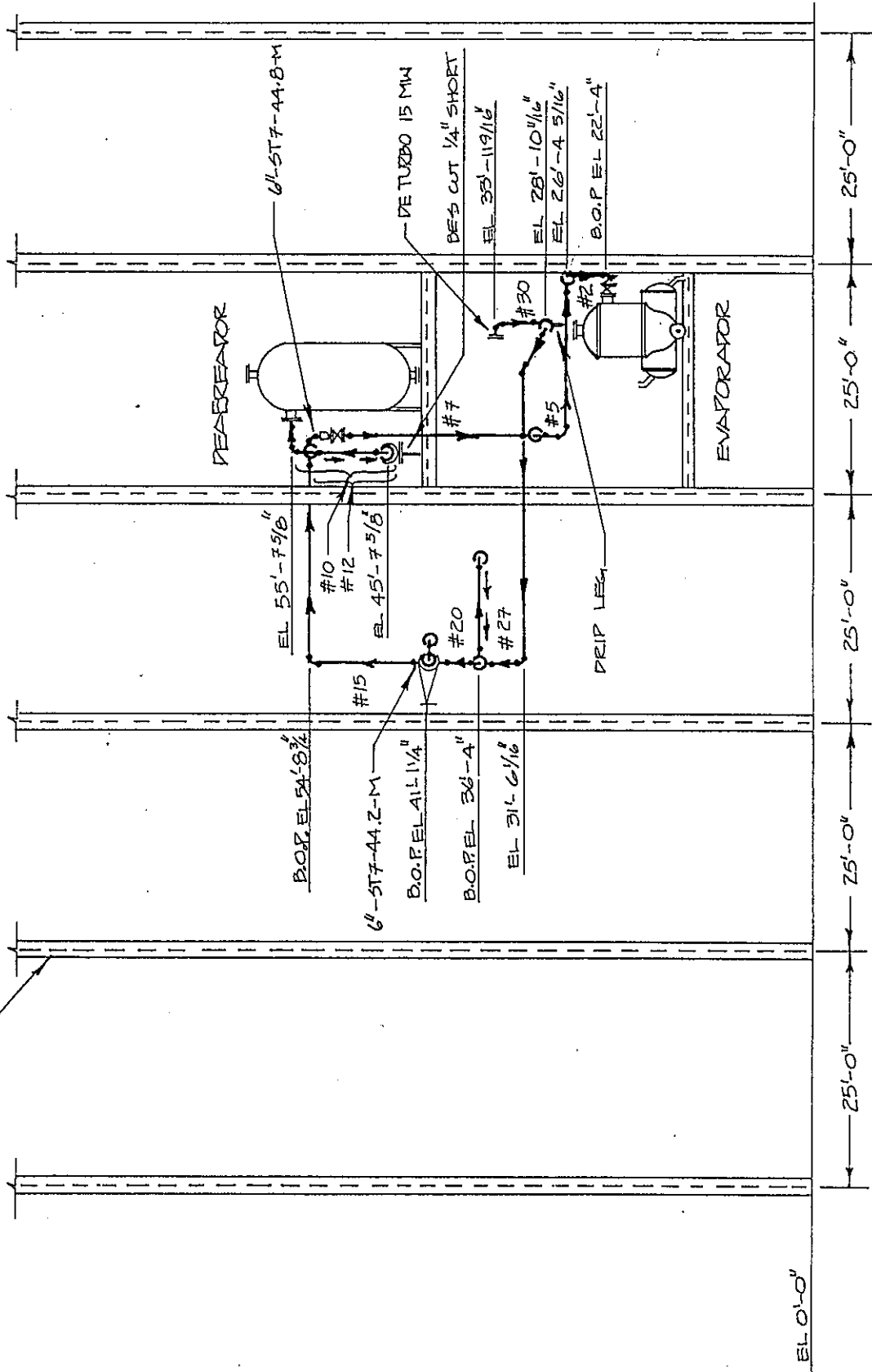
REFERENCIA		FECHA	PROYECTO
N. 237/02	GRUP - 02	19/08/02	PROYECTO
N. 238/02	GRUP - 01	19/08/02	PROYECTO
N. 239/02	GRUP - 01	19/08/02	PROYECTO
N. 240/02	GRUP - 01	19/08/02	PROYECTO
N. 241/02	GRUP - 01	19/08/02	PROYECTO
N. 242/02	GRUP - 02	19/08/02	PROYECTO

**INGENIO MADRE TIERRA**  
SANTA LUCIA COTZUMALUUPA, ESCUINTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACERO, A-53, Ø 5", VAPOR A 295 °F  
EXTRACCION TURBO 15 MW PARA ALIMENTACION  
DE BARRILAS Y PRECALENTADOR CALDERAS B/C.

PROYECTO 1  
AUTOR: [Illegible]  
FECHA: 19/08/02

COLUMNAS METALICAS  
TRASERAS EDIFICIO DE  
CALDERAS



# ELEVACION SUR

ESCALA 1/8" = 1'

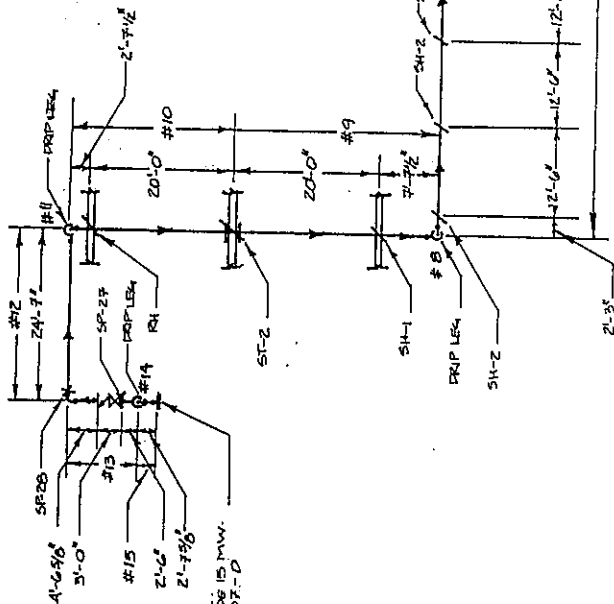
REFERENCIA	FECHA	DESCRIPCION
Nº 751/06-0307-04	1951/06	PROYECTO Nº 11
Nº 751/06-0308-01	1951/06	PROYECTO Nº 11
Nº 751/06-0308-01	1951/06	PROYECTO Nº 11
Nº 751/06-0308-01	1951/06	PROYECTO Nº 11
Nº 751/06-0308-01	1951/06	PROYECTO Nº 11
Nº 751/06-0308-01	1951/06	PROYECTO Nº 11
Nº 751/06-0308-01	1951/06	PROYECTO Nº 11
Nº 751/06-0308-01	1951/06	PROYECTO Nº 11

INGENIO MAQUE TIERRA  
SANTA LUISA COLZUMALUAPA, ESCUINTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACERO, A-53, Ø 6", VAPOR A 295 °F  
EXTRACCION TURBO 15 MW, PARA ALIMENTACION  
DE RECREADOR Y REACTOR, CALDERAS Nº 1 y 2.

PROYECTO Nº 11

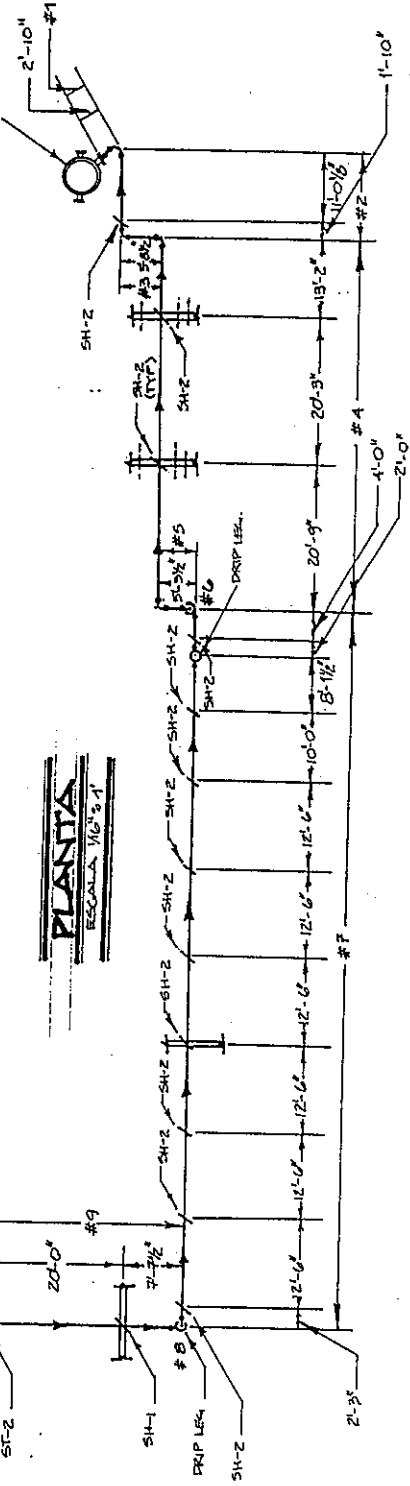
ESCALA 1/8" = 1'



DE TURBINA DE 15 MW.  
12'-1.5 - 107-D

CALENTADOR DE 14A

**PLANTA**  
ESCALA 1/60' = 1'



REFERENCIA	FECHA	REVISOR
NO. 7131/06 - 0701 - 04	28/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA
NO. 7131/06 - 0701 - 01	10/01/06	W.G. GARCIA

INGENIO MADRE TIERRA  
PARTE LICHA COTZUMALAPA, ESCUINTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

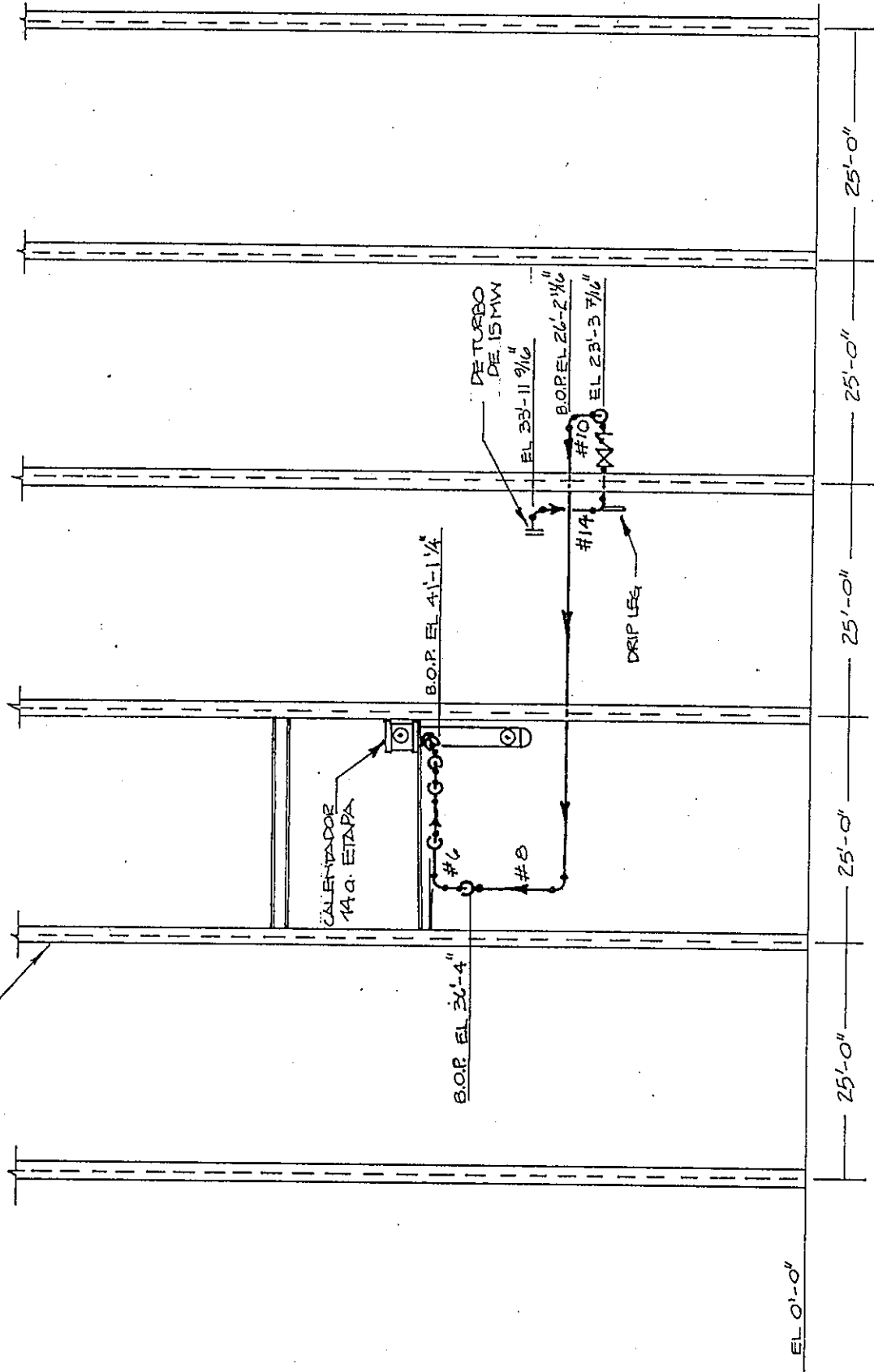
TUBERIA ACERO, A-53 1 1/2" VAPOR A 1/3 OF  
EXTRACCION TURBO 15 MW, PARA ALIMENTACION  
DE CALENTADOR DE 14A, ETAPA CALDERAS 3 & 4.

PLANO 01

FECHA 10/01/06

REVISOR

COLUMNAS METALICAS  
TRACERAS EDIFICIO DE  
CALDERAS



# ELEVACION SUR

ESCALA  $1/16" = 1'$

REFERENCIA	FECHA	INDICACION
NO. 1721/06 - 0707-04	2006-07-04	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO
NO. 1721/06 - 0707-01	2006-07-01	PROYECTO

INGENIO MADRE TIERRA  
SANTA LUISA COTAHUALUPA, ESCUINTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACERO: A-53 1/2" VAPOR A 173' OF  
EXTRACCION TURBO 15 MW, PARA ALIMENTACION  
DE CALENTADOR DE A.A. ETAPA CALDERAS S.L.C.

Auto: [ ]  
Dib: [ ]  
Revis: [ ]  
Aprob: [ ]

## **6. TEORÍA DE FÓRMULAS EXISTENTES EN NUESTRO MEDIO PARA EL CALCULO DE ELONGACIONES DE TUBERÍAS SOMETIDAS A UN CAMBIO DE TEMPERATURA**

### **6.1 INTRODUCCIÓN**

En la teoría existente en nuestro medio, se pueden encontrar únicamente dos fórmulas citadas por diferentes autores, que nos permite calcular la elongación o lo que se expande linealmente un metal al estar sometido a un cambio de temperatura .

Cada fórmula la citan varios autores en las cuales difieren muy pequeños factores, tales como el sistema de medición utilizado, y los factores que se utilizan, que vienen a cambiar los resultados de la misma ecuación, en mínima escala, pero que a la larga afectan un poco los resultados, máxime si el tramo a calcular es muy largo, los resultados pueden variar en forma considerable.

En nuestro caso los cálculos realizados con dichas fórmulas y que se enuncian en el CAPITULO 9, se realizaron con cuatro cifras decimales para poder ser lo más exacto posible .

Las fórmulas que se enuncian a continuación son las más exactas y convenientes, para realizar los cálculos necesarios.

### **6.2 ESPECIFICACIONES TEÓRICAS DE LA FORMULA DE HOLBORN Y DAY**

La fórmula de HOLBORN Y DAY es utilizada ampliamente y es citada por dos fuentes bibliográficas, por CENTRALES DE VAPOR de G.A. GAFFERT en cuyo caso se utiliza el sistema métrico para los cálculos y por EL MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO de MARKS en el cual se utiliza el sistema inglés.

A continuación se hará mención de ambas fórmulas por ser las más exactas que existen, en lo que a elongaciones se refiere, pero en este caso nos centraremos a la recomendada por el MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO de MARKS debido a que sus cálculos son realizados en sistema inglés, el mismo que se utiliza para dimensionar los tramos de tubería en cuestión.



### 6.2.1 FÒRMULA DE HOLBORN Y DAY CITADA POR G. A. GAFFERT EN CENTRALES DE VAPOR.

Esta fórmula posee las constantes de dilatación térmica en sistema métrico, por lo cual, sólo se hará mención de la misma pero no se utilizará para realizar cálculos.

La dilatación lineal o elongación de una tubería para los metales, cuyas constantes de dilatación aparecen en la tabla No. 13, puede calcularse por medio de la siguiente fórmula:

$$L_t = L_o * (1 + a*\Delta t + b*\Delta t^2)$$

**DONDE:**

**L<sub>t</sub>** = Longitud total (inicial + elongación) a la temperatura de trabajo

**L<sub>o</sub>** = Longitud inicial a temperatura ambiente

**Δt** = Diferencia de temps. °C ( temp. de trabajo - temp. ambiente).

**a,b** = Constantes de dilatación cuyos valores aparecen en la tabla No. 13.

**TABLA No. 13**

**COEFICIENTES DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA FÒRMULA DE HOLBORN Y DAY (sist. métrico).**

METAL	a	b
Fundición.....	98 E-7	6 E-9
Acero.....	112 E-7	5 E-9
Hierro forjado.....	117 E-7	5 E-9
Cobre.....	167 E-7	4 E-9

La presente tabla se puede visualizar en Centrales de Vapor de G. A. GAFFERT. pag 367

## 6.2.2 FÒRMULA DE HOLBORN Y DAY CITADA POR EL MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO DE MARKS.

Las constantes de dilatación de esta fórmula se dan en sistema inglés por lo que se hará énfasis en la misma.

La elongación de los metales, cuyas constantes de dilatación aparecen en la tabla No. 14, puede calcularse por medio de la fórmula siguiente:

$$L_t = L_o * (1 + (a * (\Delta t / 1000)) + (b * (\Delta t / 1000)^2))$$

**DONDE:**

$L_t$  = Longitud final a la temperatura de trabajo (long. inicial + elongación).

$L_o$  = Longitud inicial a temperatura ambiente.

$\Delta t$  = Diferencia de temps. °F ( temp. de trabajo - temp. ambiente).

a,b = Coeficientes de dilatación cuyos valores aparecen en la tabla No. 14.

**TABLA No. 14**

**COEFICIENTES DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA FÒRMULA DE HOLBORN Y DAY (sistema inglés).**

METAL	a	b	Intervalo de temp °F
Aluminio.....	12.58 E-3	3.0 E-3	32 - 1130
Fundición.....	5.441 E-3	1.747 E-3	32 - 1160
Hierro de lingote.....	6.375 E-3	1.636 E-3	32 - 1380
Hierro maleable.....	6.503 E-3	1.622 E-3	32 - 930
Lingote de acero.....	6.212 E-3	1.623 E-3	32 - 1380
Cobre.....	9.278 E-3	1.244 E-3	32 - 1160
Níquel.....	7.652 E-3	1.023 E-3	32 - 1830

Esta tabla se tomó del Manual del Ingeniero Mecánico de MARKS. pag 4-7.

### 6.3 ESPECIFICACIONES TEÓRICAS DE LA FORMULA DE DILATAIONES TÉRMICAS QUE SE PROPORCIONA EN RESISTENCIA DE MATERIALES

Un cambio en la temperatura de un objeto tiende a producir una variación en sus dimensiones. El material experimenta una **DEFORMACIÓN TÉRMICA UNIFORME** representada por “ $\epsilon t$ ”, y se calcula de la siguiente manera:

$$\epsilon t = \alpha (\Delta T)$$

El coeficiente  $\alpha$  es una propiedad del material y tiene unidades iguales al recíproco del cambio de temperatura.

Los cambios en las dimensiones del material pueden calcularse al multiplicar las dimensiones originales por la **DEFORMACIÓN TÉRMICA** así:

$$\delta t = \epsilon t * L_0 = \alpha * \Delta T * L_0$$

**DONDE:**

$\delta t$  = El elongamiento que sufre el material debido al cambio de temperatura.

$\alpha$  = Coeficiente de dilatación térmica cuyo valor para diferentes metales aparecen en la tabla No.15 que aparece a continuación.

$\Delta T$  = Incremento de temperatura ( Temp. de trabajo - Temp. ambiente).

$L_0$  = Longitud inicial (en mts).

Esta fórmula es citada del libro Resistencia de Materiales.

**TABLA No. 15**

**COEFICIENTES DE DILATACIÓN TÉRMICA PARA LA FÒRMULA DE RESISTENCIA DE MATERIALES (sist. métrico).**

MATERIAL	COEF $\alpha$ ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{C}$ )
Acero.....	11.7 E-6
Aluminio.....	23.0 E-6
Bronce.....	18.9 E-6
Cobre.....	16.8 E-6

Esta información se puede encontrar en Resistencia de Materiales de FERDMAN L. SINGER. pag 52.

## 7. PUBLICACIÓN DE TABLAS DE ELONGACIONES PARA DISTINTOS TIPOS DE ACEROS EN LÍNEAS DE VAPOR TANTO DE EMPRESAS COMO DE FUENTES CONFIABLES EN NUESTRO MEDIO

### 7.1 INTRODUCCION

En el presente capítulo se dan a conocer tablas que se han recopilado referentes a elongaciones y dilataciones térmicas en distintos aceros, y que son el producto de múltiples pruebas y experimentos que han realizado empresas y estudiosos que tienen relación con este campo, con el fin de estandarizar y poder utilizar confiablemente dicha información, que es de donde partimos para hacer comparaciones y determinar la fórmula más exacta en el cálculo de elongaciones de aceros, en el capítulo posterior.

### 7.2 DILATACIÓN TÉRMICA DE DISTINTOS METALES SOMETIDOS A CAMBIOS DE TEMPERATURA CITADOS POR EL MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO.

A continuación se enuncian las dilataciones térmicas de distintos metales y aleaciones para temperaturas de 70 °F a 1400 °F, citada en el MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO la cual es una fuente de muy alta confiabilidad; en la cual, en el literal A se dan los valores del COEFICIENTE MEDIO DE DILATACIÓN TÉRMICA, y en el literal B se dan LAS DILATACIONES TÉRMICAS DEL MATERIAL a la temperatura indicada que se experimenta en 100 pies de longitud (plg/100 pies).

TABLA No. 16

#### DILATACIÓN TÉRMICA LINEAL QUE SUFREN DISTINTOS METALES

Material	Coefi- ciente	Intervalo de temperaturas: 70 °F (21 °C) a												
		70 (21)	200 (93)	300 (149)	400 (205)	500 (260)	600 (316)	700 (371)	800 (427)	900 (482)	1000 (538)	1100 (593)	1200 (649)	1300 (705)
Acero al carbono; acero al carbono-molibdeno; aceros al bajo cromo (hasta 3% Cr)	A	6.38	6.60	6.82	7.02	7.23	7.44	7.65	7.84	7.97	8.12	8.19	8.28	8.36
	B	0	0.99	1.82	2.70	3.62	4.60	5.63	6.70	7.81	8.89	10.04	11.10	12.22
Aceros de aleación intermedia: 5 Cr Mo-9 Cr Mo	A	6.04	6.19	6.34	6.50	6.66	6.80	6.96	7.10	7.22	7.32	7.41	7.49	7.55
	B	0	0.94	1.71	2.50	3.35	4.24	5.14	6.10	7.07	8.06	9.05	10.00	11.06
Aceros inoxidables austeníticos	A	9.34	9.47	9.59	9.70	9.82	9.92	10.03	10.16	10.29	10.39	10.48	10.54	10.60
	B	0	1.46	2.61	3.80	5.01	6.24	7.50	8.80	10.12	11.48	12.84	14.20	15.56
Aceros inoxidables al cromo puro: 12 Cr, 17Cr, and 27 Cr	A	5.50	5.66	5.81	5.96	6.13	6.26	6.39	6.52	6.63	6.72	6.78	6.85	6.90
	B	0	0.86	1.56	2.30	3.08	3.90	4.73	5.60	6.49	7.40	8.31	9.20	10.11
25 Cr-20 Ni	A	7.76	7.92	8.08	8.22	8.38	8.52	8.68	8.81	8.92	9.00	9.08	9.12	9.18
	B	0	1.21	2.18	3.20	4.24	5.33	6.44	7.60	8.78	9.95	11.12	12.31	13.46
Monel 67; Ni-30 Cu	A	7.84	8.02	8.20	8.40	8.58	8.78	8.96	9.16	9.34	9.52	9.70	9.88	10.04
	B	0	1.22	2.21	3.25	4.33	5.46	6.64	7.85	9.12	10.42	11.77	13.15	14.58
Monel 66; Ni-29 CuAl	A	7.48	7.68	7.90	8.09	8.30	8.50	8.70	8.90	9.10	9.30	9.50	9.70	9.89
	B	0	1.17	2.12	3.13	4.17	5.28	6.43	7.62	8.86	10.16	11.50	13.00	14.33
Aluminio	A	12.95	13.28	13.60	13.90	14.20								
	B	0	2.00	3.66	5.39	7.17	9.03							
Fundición gris	A	5.75	5.93	6.10	6.28	6.47	6.65	6.83	7.00	7.19				
	B	0	0.90	1.64	2.42	3.24	4.11	5.03	5.98	6.97	8.02			
Bronce	A	10.03	10.12	10.21	10.32	10.44	10.52	10.62	10.72	10.80	10.90	11.00		
	B	0	1.56	2.79	4.05	5.33	6.64	7.95	9.30	10.68	12.05	13.47	14.92	
Latón	A	9.76	10.00	10.21	10.47	10.69	10.92	11.16	11.40	11.63	11.85	12.09		
	B	0	1.52	2.76	4.05	5.40	6.80	8.26	9.78	11.35	12.98	14.65	16.39	
Hierro forjado	A	7.32	7.48	7.61	7.73	7.88	8.01	8.13	8.29	8.39				
	B	0	1.14	2.06	3.01	3.99	5.01	6.06	7.12	8.26	9.36			
Cuproniquel (70/30)	A	8.54	8.71	8.90										
	B	0	1.33	2.40	3.52									

A = coeficiente medio de dilatación térmica  $\times 10^6$ , pulg/pulg. °F, al ir de 70 °F (21 °C) a la temperatura indicada.  
 B = dilatación térmica lineal, pulg-100 pie, al ir de 70 °F (21 °C) a la temperatura indicada.  
 Multiplíquese los valores de A que se muestran por 1.8, para obtener los coeficientes de dilatación en cm/cm °C.  
 Multiplíquese los valores de B que se muestran por 8.33, para obtener la dilatación lineal en cm por 100 m.

Esta tabla fue tomada del Manual del Ingeniero Mecánico. pag. 8-195

### 7.3 ELONGACIONES PARA DISTINTOS MATERIALES EN LÍNEAS DE VAPOR PROPORCIONADAS POR EMPRESAS QUE SE DEDICAN A ESE RAMO.

A continuación se enuncia la tabla para determinar las elongaciones de tuberías sometidas a cambios de temperatura citada por RICWIL PIPING SYSTEM fuente de mucho renombre y confiabilidad, en la cual se dá el elongamiento que se experimenta en 100 pies de longitud (plg/100pies). En esta tabla solamente se pueden calcular elongaciones de tubería a temperaturas de vapor saturado, debido a que se utiliza en diseños con tubería clase ASTM A-53 y ASTM A-106 tubería de aleación de Acero-Carbono- Cromo.

**TABLA No. 17**

#### ELONGAMIENTO DE TUBERÍA DE ACERO DE ACUERDO A LAS NORMAS DE RICWIL PIPING SYSTEM

PRES. VAPOR SATURADO psi.	TEMP. ° F	ELONGAMIENTO plg/100 pies	PRES. VAPOR SATURADO psi.	TEMP. ° F	ELONGAMIENTO plg/100 pies
	50	0	95	335	2.293
	60	0.081	100	338	2.349
	80	0.213	105	341	2.358
	100	0.386	110	344	2.383
	120	0.543	115	347	2.408
	140	0.697	120	350	2.434
	160	0.856	125	353	2.459
	180	1.016	130	355	2.475
	200	1.179	135	358	2.501
2.5	220	1.341	140	361	2.526
5	227	1.398	145	364	2.553
10	239	1.498	150	366	2.572
15	250	1.589	175	377	2.676
20	260	1.371	180.9	380	2.699
25	266	1.701	200	387	2.761
30	274	1.787	232.4	400	2.863
35	280	1.838	250	406	2.923
40	286	1.889	293.7	420	3.054
45	292	1.939	366.1	440	3.228
50	297	1.982	451.3	460	3.417
55	302	2.024	550.3	480	3.588
60	307	2.067	664.3	500	3.784
65	312	2.111	795.3	520	3.975
70	316	2.144	945.3	540	4.158
75	320	2.178	1115.3	560	4.348
80	324	2.212	1308.3	580	4.539
85	328	2.247	1525.3	600	4.735
90	331	2.272	1768.3	620	4.925
			2041.3	640	5.115

Las elongaciones citadas anteriormente se dan en pulgadas por cada 100 pies de longitud, por lo que se debe de tener en cuenta esto para el cálculo de la elongación de un tramo en particular. Si se desea saber la elongación por cada pie de tubería se debe de dividir la elongación citada en la tabla dentro de 100.

Esta información pertenece a la tabla manual portátil que proporciona la RICWIL PIPING SYSTEM.

## 7.4 OTRAS ELONGACIONES IMPORTANTES CITADAS POR FUENTES CONFIABLES.

En seguida se dan a conocer los valores de la expansión lineal que se da en una tubería al someterla a un cambio de temperatura a partir de 0 °F a 1000 °F según EL CATÁLOGO No. 60 DE VÁLVULAS Y FITINGS DE CRANE. Las expansiones se visualizan según la de temperatura de trabajo, y son las experimentadas por cada 100 pies de longitud (plg/ 100 pies) . Las elongaciones que utilizaremos en nuestro estudio son las del acero (STEEL) cuya casilla está situada al lado derecho de las temperaturas en °F.

TABLA No. 18

### EXPANSIÓN LINEAL DE TUBERÍAS DE LÍNEAS DE VAPOR

#### Linear Expansion in Pipe Lines

Temp. Deg. Fahr.	Inches per 100 Feet				Temp. Deg. Fahr.	Inches per 100 Feet				Temp. Deg. Fahr.	Inches per 100 Feet	
	Steel	Wrought Iron	Brass	Copper		Steel	Wrought Iron	Brass	Copper		Steel	Wrought Iron
0°	0	0	0	0	340°	2.76	2.87	4.30	3.95	680°	5.965	6.20
20	.15	.155	.25	.25	360	2.935	3.05	4.58	4.15	700	6.17	6.42
40	.30	.31	.45	.45	380	3.11	3.235	4.85	4.40	720	6.375	6.625
60	.455	.475	.67	.65	400	3.29	3.43	5.14	4.64	740	6.58	6.835
80	.61	.63	.92	.87	420	3.465	3.62	5.45	4.89	760	6.79	7.05
100	.77	.80	1.17	1.10	440	3.65	3.805	5.73	5.15	780	6.99	7.275
120	.915	.96	1.41	1.35	460	3.835	4.00	5.96	5.37	800	7.21	7.49
140	1.075	1.13	1.69	1.57	480	4.02	4.19	6.25	5.64	820	7.415	7.73
160	1.235	1.29	1.91	1.77	500	4.21	4.39	6.55	5.88	840	7.63	7.93
180	1.40	1.46	2.15	2.00	520	4.39	4.58	...	...	860	7.84	8.145
200	1.57	1.64	2.43	2.25	540	4.59	4.78	...	...	880	8.055	8.37
220	1.73	1.81	2.71	2.52	560	4.78	4.975	...	...	900	8.28	8.60
240	1.89	1.98	2.97	2.74	580	4.975	5.175	...	...	920	8.495	8.82
260	2.065	2.16	3.22	2.95	600	5.17	5.38	...	...	940	8.72	9.05
280	2.23	2.335	3.47	3.17	620	5.365	5.58	...	...	960	8.945	9.28
300	2.41	2.52	3.76	3.42	640	5.565	5.785	...	...	980	9.17	9.52
320	2.59	2.70	4.07	3.70	660	5.765	5.99	...	...	1000	9.40	9.75

To find the expansion in any length of pipe, obtain the difference in increased length at minimum and maximum temperatures. Divide this result by 100 to obtain the increase in length per foot; multiply this value by the length of the line in feet.

Esta tabla se puede encontrar en el Catálogo No. 60 de Válvulas y Fittings de CRANE. pag 344.

Para cálculos de elongación con cualquiera de las tablas antes citadas, la elongación real que sufrirá la tubería será la siguiente:

$$\text{Elong. real} = (\text{Elong. a temp. de trabajo} - \text{Elong. a temp. ambiente}) \times \text{Tramo en cuestión}$$

## **8. DETERMINACIÓN DE LA FORMULA MAS EXACTA PARA EL CALCULO DE ELONGACIONES**

### **8.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se calcula la elongación de un tramo de tubería con las fórmulas existentes en nuestro medio, y con las tablas recopiladas que se dieron a conocer en los capítulos anteriores, comparando los resultados, posteriormente, para determinar la fórmula más exacta y poder utilizarla confiablemente.

### **8.2 CÁLCULO DE UN TRAMO DE TUBERÍA CON REFERENCIA A LOS DATOS POSEIDOS POR LAS TABLAS Y FÓRMULAS DE FUENTES O EMPRESAS CONFIABLES.**

#### **8.2.1 CÁLCULOS DE LA ELONGACIÓN DEL TRAMO No.8 DE LA TUBERÍA 10"-ST-125-D2, ASTM A-335, CROMO-MOLIBDENO, VAPOR VIVO DE ALIMENTACIÓN DE LA TURBINA DEL TURBOGENERADOR DE 15 MW CON LAS FÓRMULAS EXISTENTES EN NUESTRO MEDIO.**

##### **DATOS:**

- Tubería 10"-ST-125-D2, ASTM A-335, 1 1/4 Cr-1/2 Mo
- Temperatura de trabajo: 825 °F --- 440.56 °C
- Temperatura ambiente: 59 °F --- 15 °C

##### **8.2.1.1 CÁLCULOS CON LA FORMULA DE HOLBORN Y DAY.**

Al hacer referencia, en el capítulo No. 6, la fórmula de HOLBORN Y DAY:

$$L_t = L_o * (1 + a*(\Delta T/1000) + b*(\Delta T/1000)^2)$$

De tabla No. 14 de coeficientes de dilatación térmica para el acero:  $a = 6.212 \text{ E-3}$   
 $b = 1.623 \text{ E-3}$

entonces:  $\Delta T = \text{Temp. de trabajo} - \text{Temp. Ambiente}$

$$\Delta T = 825 \text{ °F} - 59 \text{ °F} = 766 \text{ °F}$$

Entonces la fórmula se transforma en:

$$L_t = L_o * (1 + (6.212\text{E-3}*(766/1000)) + (1.623\text{E-3}*(766/1000)^2))$$

Se tiene que el tramo #8 de la tubería 10"-ST-125-D2 ASTM A-335 es:

$$\text{TRAMO \#8} = 20'-0''$$

$$l_o(\text{pies}) = 20'-0'' = 20 \text{ pies}$$

$$l_f(\text{pies}) = 20*(1 + (6.212\text{E-3}*(766/1000)) + (1.623\text{E-3}*(766/1000)^2))$$

$$= 20.1142 \text{ pies}$$

$$(l_f - l_o)(\text{pies}) = 20.1142 - 20 = 0.1142 \text{ pies}$$

como el pie tiene 12 pulgadas entonces se multiplica la elongación en pies por 12 para obtener pulgadas.

$$(l_f - l_0)(\text{pies}) = 0.1142 * 12 = \boxed{1.3706 \text{ plg.}}$$

### 8.2.1.2 CÁLCULOS CON LA FORMULA DE RESISTENCIA DE MATERIALES

Recordando el capítulo No. 6 la fórmula de RESISTENCIA DE MATERIALES es:

$$\delta t = L_0 * \alpha_{ac} * \Delta T$$

De la tabla No.15 de coeficientes de dilatación térmica para el acero, determinamos  $\alpha_{acero}$ :

$$\alpha_{ac} = 11.7 \text{ E-6}$$

Entonces:  $\Delta T = \text{Temp. de trabajo} - \text{Temp ambiente}$   
 $\Delta T = 440.56 \text{ °C} - 15 \text{ °C} = 425.56 \text{ °C}$

Entonces la fórmula se transforma en:

$$\delta t = L_0 * 11.7 \text{ E-3} * 425.56$$

Se tiene que el TRAMO #8 de la tubería 10"-ST-125-D2 ASTM A-335 es:

$$\begin{aligned} \text{TRAMO \#8} &= 20' - 0'' \\ l_0(\text{pie}) &= 20' - 0'' = 20 \text{ pies} \end{aligned}$$

como la fórmula se trabaja en sistema métrico pasamos la dimensión anterior a metros multiplicándola por 0.3048 debido a que 1 pie = 0.3048 m.

$$\begin{aligned} l_0(\text{m}) &= 20 * 0.3048 = 6.096 \text{ m} \\ (l_f - l_0)(\text{m}) &= 6.096 * 11.7\text{E-3} * 425.56 = 0.0304 \text{ m} \end{aligned}$$

Ahora trasladando nuevamente las dimensiones a pulgadas debido a que es esta la dimensión que interesa comparar. Se hace multiplicando la cantidad por 3.281 y luego por 12 debido a que 1m = 3.281 pies y 1 pie = 12 plg.

$$(l_f - l_0)(\text{plg}) = 0.0304 * (3.281 * 12) = \boxed{1.195 \text{ plg.}}$$



**8.2.2 CÁLCULOS DE LA ELONGACIÓN DEL TRAMO No.8 DE LA TUBERÍA 10"-ST-125-D2, ASTM A-335, CROMO-MOLIBDENO, VAPOR VIVO DE ALIMENTACIÓN DE LA TURBINA DEL TURBOGENERADOR DE 15 MW CON LAS TABLAS CITADAS EN EL CAPITULO No.7.**

Con la tabla No. 17 de elongaciones de tuberías de la RICWIL PIPING, no es posible realizar los cálculos para las condiciones que tenemos, puesto que la misma es sólo para vapor saturado y la máxima temperatura de éste es de 640 °F, y en la tubería en cuestión la temperatura de trabajo es de 825 °F y es vapor sobrecalentado.

**8.2.2.1 CÁLCULOS CON LA TABLA DE DILATACIÓN TÉRMICA CITADA EN EL MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO.**

En esta tabla No. 16 que está enunciada en el capítulo No. 7 se toma como material el acero al carbono, aceros al carbono-molibdeno y aceros al bajo cromo (hasta 3% Cr), debido a que la tubería ASTM 335 contiene 1 1/4 Cr- 1/2 Mo.

En dicha tabla se procede a calcular con los datos de la literal B, que son la dilatación térmica lineal en plg/100 pies.

Tenemos que la **ELONGACIÓN REAL** será:

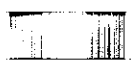
$$\text{Elongación Real} = \frac{(\text{Elong. a temp. de trabajo} - \text{Elong. a temp ambiente}) * \text{Tramo en cuestión}}{100}$$

Como la temperatura ambiente tomada en este estudio es de 15 °C, que es la temperatura ambiente más baja que se da en la zona, correspondiente a las épocas de diciembre por la noche, y la temperatura menor en la tabla para dilataciones es de 21 °C a la cual corresponde cero pulgadas, entonces a la dilatación a la temperatura de trabajo no se le tiene que restar la dilatación de la temperatura ambiente para encontrar la elongación real, sino que será entonces la siguiente:

$$\text{Elongación Real} = \frac{\text{Elong. a temp. de trabajo} * \text{Tramo en cuestión}}{100}$$

Entonces se tiene que para 825 °F no hay en la tabla valor para la dilatación, por lo que se interpolará:

Temp. °F	Dilatación lineal (plg/100 pies)
800 -----	6.70
825 -----	X = 6.9775
900 -----	7.81



Como el tramo en estudio es el TRAMO # 8 de la tubería 10"-ST-125-D2 ASTM A- 335 que corresponde a 20'-0" entonces se calcula la Elongación Real:

$$\text{Elongación real} = \frac{6.975 * 20}{100} = \boxed{1.3955 \text{ plg.}}$$

### 8.2.2.2 CÁLCULOS CON LA TABLA DE EXPANSIONES LINEALES EN TUBERÍAS DE LÍNEAS DE VAPOR PARA DISTINTOS METALES DEL CATALOGO No. 60 DE VÁLVULAS Y FITINGS DE CRANE.

En esta tabla No.18 presentada en el capítulo No. 7 se enuncian las expansiones por dilatación térmica a partir desde 0 °F a 1000 °F . Como la temperatura ambiente tomada en el presente estudio es de 15 °C = 59 °F se calculará la ELONGACIÓN REAL de la siguiente manera:

$$\text{Elong. Real} = \frac{(\text{Elong. a la temp. de trabajo} - \text{Elong. a temp. ambiente}) * \text{Tramo en cuestión}}{100}$$

Las elongaciones o expansiones en dicha tabla se dan en plg por cada 100 pies de longitud.

En nuestro caso se tomará la dilatación para el ACERO (steel) que aparece al lado derecho de las temperaturas. Como para las temperaturas a las cuales necesitamos las elongaciones no aparecen en las tablas se procede a interpolar:

#### ELONGAMIENTO A LA TEMP. DE TRABAJO

Temp. °F	Dilatación lineal (plg/100 pies)
800	7.415
825	X = 7.4687
840	7.63

#### ELONGAMIENTO A TEMP. AMBIENTE

Temp. °F	Dilatación lineal (plg/100 pies)
40	0.30
59	X = 0.4472
60	0.455

El tramo en estudio es el TRAMO # 8 de la tubería 10"-ST-125-D2, ASTM A-335 que es igual a 20'-0" entonces procedemos a calcular la Elongación Real:

$$\text{Elong. Real} = \frac{(7.4687 - 0.4472) * 20}{100} = \boxed{1.4043 \text{ plg.}}$$

### 8.3 COMPARACIONES DEL CÁLCULO DE ELONGACIONES ENTRE FÓRMULAS POSEIDAS Y TABLAS DE FUENTES Y EMPRESAS CONFIABLES.

**ELONGACIONES PARA EL TRAMO No. 8 TUBERÍA 10"-ST-125-D2, ASTM A-335, CROMO-MOLIBDENO, VAPOR VIVO DE ALIMENTACIÓN DEL TURBOGENERADOR DE 15 MW.**

**ELONGAMIENTO DEL TRAMO # 8 = 20 PIES DE CÁLCULOS POR TABLAS**

Tabla citada por El Manual del Ing. Mecánico = 1.3955 plg de elongamiento  
Tabla citada por otras fuentes confiables = 1.4093 plg de elongamiento

**ELONGAMIENTO DEL TRAMO # 8 = 20 PIES DE CÁLCULOS POR FÓRMULAS**

Fórmula de Horborn y Day = 1.3706 plg de elongamiento  
Fórmula de Resistencia de Materiales = 1.195 plg de elongamiento

### 8.4 DETERMINACIÓN DE LA FÓRMULA MÁS EXACTA, Y RECOMENDACIONES PARA SU UTILIZACIÓN Y CONFIABILIDAD.

Por simple comparación se puede determinar que la fórmula más confiable es la de **HOLBORN Y DAY DEL MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO.**

$$L_t = L_o * (1 + (a * (\Delta T / 1000)) + (b * (\Delta T / 1000)^2))$$

Esta fórmula se puede utilizar con toda confianza para cálculos de elongamientos de tuberías sometidas a cambios de temperaturas, y será la utilizada para calcular las deformaciones que sufrirá la tubería del presente estudio en el capítulo No. 9.

## 9. CÁLCULOS DE LAS ELONGACIONES DE LAS LÍNEAS DE VAPOR DEL PROYECTO DE COGENERACIÓN REALIZADOS CON LA FORMULA DE HOLBORN Y DAY DEL MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO, DE MARKS.

### 9.1 INTRODUCCIÓN

A continuación se dan a conocer los cálculos de las elongaciones producidas por el cambio de temperatura de las líneas conductoras de vapor, de la planta de cogeneración, realizados con la fórmula más exacta, determinada en el capítulo anterior, y que se muestran tabulados para una mejor visualización.

### 9.2 CALCULOS

#### TUBERÍA 10"-LS-106-D1. VAPOR VIVO DE ALIMENTACIÓN DE TURBINA TURBO 5 MW.

DATOS: acero A-234 ASTM, de la tabla No. 14 de coeficientes definimos:  $a = 6.212 \text{ E-3}$   
 $b = 1.623 \text{ E-3}$

temperatura de trabajo =  $398.89^\circ \text{C} \text{ -- } 750^\circ \text{F}$

temperatura ambiente =  $15^\circ \text{C} \text{ -- } 59^\circ \text{F}$

$\Delta t = \text{temp. de trabajo} - \text{temp. ambiente} = 750^\circ \text{F} - 59^\circ \text{F} = 691^\circ \text{F}$

Entonces la fórmula queda así:

$$L_f = L_o * (1.0 + (6.212 \text{E-3} * (691/1000)) + (1.623 \text{E-3} * (691/1000)^2))$$

Se procede a calcular el TRAMO No. 1:

$$L_o(\text{pie}) = 1'-10'' = 1 + (10/12) = 1.833 \text{ pies}$$

$$L_f(\text{pie}) = 1.833 * (1.0 + (6.212 \text{E-3} * (691/1000)) + (1.623 \text{E-3} * (691/1000)^2)) = 1.84226 \text{ pies}$$

$$L_f - L_o(\text{pie}) = 1.8426 - 1.833 = 0.0093 \text{ pies}$$

$$L_f - L_o(\text{plg}) = 0.0093 * 12 = 0.1115 \text{ plg}$$

TABLA No. 19  
 CÁLCULOS DE ELONGACIONES DE LA TUBERÍA 10"-LS-106-D1

TRAMO	lo(pie-plg)	lo(pie)	lf(pie)	lf-lo(pte)	lf-lo(plg)
Tramo #1	1'-10"	1.833	1.8426	0.0093	0.1115
Tramo #2	21'- 8 1/2"	21.7083	21.8183	0.1100	1.3201
Tramo #3	16'- 3 1/4"	16.2708	16.3533	0.0825	0.9894
Tramo #4	42'-10 1/4"	42.8542	43.0713	0.2172	2.6059
Tramo #5	6'-10 47/64"	6.8945	6.9295	0.0349	0.4193
Tramo #6	10'- 6 1/4"	10.5208	10.5741	0.0533	0.6398
Tramo #7	12'- 1 1/2"	12.125	12.1864	0.0614	0.7373
Tramo #8	14'-11 1/2"	14.9583	15.0341	0.0758	0.9096
Tramo #9	23'-10 1/2"	23.8750	23.996	0.121	1.4518
Tramo #10	35'- 1"	35.0833	35.2611	0.1778	2.1334
Tramo #11	23'-10 1/2"	23.8750	23.996	0.121	1.4518
Tramo #12	3'- 0"	3.0	3.0152	0.0152	0.1824
Tramo #13	34'-11 1/2"	34.9583	35.1355	0.1771	2.1258
Tramo #14	2'- 3"	2.25	2.2614	0.0144	0.1368
Tramo #15	7'- 3 7/8"	7.3229	7.36	0.0371	0.4453
Tramo #16	11'- 3"	11.25	11.307	0.057	0.6841
Tramo #17	12'- 7 1/2"	12.625	12.689	0.064	0.7677
Tramo #18	10'- 0"	10.0	10.0507	0.0507	0.6081
Tramo #19	12'- 7 1/2"	12.625	12.689	0.064	0.7677
Tramo #20	37'- 7 3/16"	37.599	37.7895	0.1905	2.2864
Tramo #21	14'- 0"	14.0	14.0709	0.0709	0.8513
Tramo #22	3'- 6 1/2"	3.5417	3.5596	0.0179	0.2154
Tramo #23	2'-10 3/4"	2.8958	2.9105	0.0147	0.1761

**TUBERÍA 12"-LS-107-D. VAPOR EXTRACCIÓN DE TURBINA TURBO 5 MW.**

**DATOS:** acero A-216 ASTM de tabla No. 14 de coeficientes definimos:  $a = 6.212 \text{ E-3}$   
 $b = 1.623 \text{ E-3}$

temperatura de trabajo =  $273.89 \text{ }^\circ\text{C} - 525 \text{ }^\circ\text{F}$   
 temperatura ambiente =  $15 \text{ }^\circ\text{C} - 59 \text{ }^\circ\text{F}$

$$\Delta t = \text{temp. de trabajo} - \text{temp. ambiente} = 525 \text{ }^\circ\text{F} - 59 \text{ }^\circ\text{F} = 466 \text{ }^\circ\text{F}$$

Entonces la fórmula queda así:

$$L_f = L_o * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (466/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (466/1000)^2))$$

Se procede a calcular el TRAMO No. 1:

$$\begin{aligned} L_o(\text{pie}) &= 4'-0'' = 4.0 \text{ pies} \\ L_f(\text{pies}) &= 4.0 * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (466/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (466/1000)^2)) = 4.013 \text{ pies} \\ L_f - L_o(\text{pies}) &= 4.013 - 4.0 = 0.013 \text{ pies} \\ L_f - L_o(\text{plg}) &= 0.013 * 12 = 0.1559 \text{ plg} \end{aligned}$$

**TABLA No. 20**  
**CÁLCULOS DE ELONGACIONES DE LA TUBERÍA 12"-LS-107-D**

TRAMO	lo(pie-plg)	lo(pie)	lf(pie)	lf-lo(pie)	lf-lo(plg)
Tramo # 1	4'- 0"	4.0	4.013	0.013	0.15559
Tramo # 2	7'- 2"	7.1667	7.1899	0.0233	0.2793
Tramo # 3	18'- 4"	18.3333	18.3929	0.0595	0.7144
Tramo # 4	29'- 1"	29.0833	29.1778	0.0944	1.1333
Tramo # 5	74'- 0"	74.0	74.2403	0.2403	2.8835
Tramo # 6	20'- 0"	20.0	20.0649	0.0649	0.7793
Tramo # 7	5'- 0"	5.0	5.0162	0.0162	0.1948
Tramo # 8	57'- 11"	57.9167	58.1047	0.1881	2.2568
Tramo # 9	8'- 0"	8.0	8.026	0.026	0.3117
Tramo #10	2'- 0"	2.0	2.0065	0.0065	0.0779
Tramo #11	26'- 7 1/2"	26.625	26.7115	0.0865	1.0375
Tramo #12	24'- 11"	24.9167	24.9976	0.0809	0.9709
Tramo #13	32'- 0"	32.0	32.1039	0.1039	1.2469
Tramo #14	24'- 11"	24.9167	24.9976	0.0809	0.9709
Tramo #15	3'- 0"	3.0	3.0097	0.0097	0.1169
Tramo #16	40'- 3 1/2"	40.2917	40.4225	0.1308	1.57
Tramo #17	7'- 4 7/8"	7.4063	7.4303	0.0024	0.2886
Tramo #18	5'- 9"	5.75	5.7687	0.0187	0.2241
Tramo #19	12'- 7 1/2"	12.625	12.666	0.041	0.492
Tramo #20	15'- 6"	15.5	15.5503	0.0503	0.604
Tramo #21	12'- 7 1/2"	12.625	12.666	0.041	0.492
Tramo #22	13'- 0"	13.0	13.0422	0.0422	0.5066
Tramo #23	12'- 7 1/2"	12.625	12.666	0.041	0.492
Tramo #24	10'- 8"	10.667	10.7013	0.0346	0.4156
Tramo #25	8'- 6 3/16"	8.5156	8.5433	0.0277	0.3318
Tramo #26	3'- 11 1/8"	3.9271	3.9398	0.0128	0.153
Tramo #27	2'- 0 1/8"	2.0104	2.0169	0.0065	0.0783
Tramo #28	4'- 11 5/8"	4.9688	4.9849	0.0161	0.1936

## TUBERÍA 20"-EXS-108-D. VAPOR DE ESCAPE DE TURBINA TURBO 5 MW.

DATOS: acero A-216 ASTM, de la tabla No. 14 de coeficientes definimos  $a = 6.212 \text{ E-3}$   
 $b = 1.623 \text{ E-3}$

temperatura de trabajo =  $148.89 \text{ }^\circ\text{C} \text{ -- } 300 \text{ }^\circ\text{F}$   
 temperatura ambiente =  $15 \text{ }^\circ\text{C} \text{ -- } 59 \text{ }^\circ\text{F}$

$\Delta t = \text{temp. de trabajo} - \text{temp. ambiente} = 300 \text{ }^\circ\text{F} - 59 \text{ }^\circ\text{F} = 241 \text{ }^\circ\text{F}$

Entonces la fórmula queda así:

$$L_f = L_o * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (241/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (241/1000)^2))$$

Se procede a calcular el TRAMO No. 1:

$L_o(\text{pie}) = 5' - 0'' = 5.0 \text{ pies}$   
 $L_f(\text{pie}) = 5.0 * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (241/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (241/1000)^2)) = 5.008 \text{ pies}$   
 $L_f - L_o(\text{pie}) = 5.008 - 5.0 = 0.008 \text{ pies}$   
 $L_f - L_o(\text{plg}) = 0.008 * 12 = 0.0955 \text{ plg}$

TABLA No. 21

### CÁLCULOS DE ELONGACIONES DE LA TUBERÍA 20"-EXS-108-D

TRAMO	lo(pie-plg)	lo(plg)	lf(pie)	lf-lo(pie)	lf-lo(plg)
Tramo # 1	5'- 0"	5.0	5.008	0.008	0.0955
Tramo # 2	24'- 0"	24.0	24.0382	0.0382	0.4583
Tramo # 3	21'- 4"	21.3333	21.3673	0.0339	0.4074
Tramo # 4	29'- 1"	29.0833	29.1296	0.0463	0.5554
Tramo # 5	72'- 0"	72.0	72.1146	0.1146	1.3749
Tramo # 6	5'- 0"	5.0	5.008	0.008	0.0955
Tramo # 7	45'-10"	45.8333	45.9063	0.0729	0.8752
Tramo # 8	5'- 0"	5.0	5.008	0.008	0.0955
Tramo # 9	4'- 0"	4.0	4.0064	0.0064	0.0764
Tramo #10	38'- 7 1/2"	38.625	38.6865	0.0615	0.7376
Tramo #11	16'-10"	16.8333	16.8601	0.0268	0.3215
Tramo #12	23'- 0"	23.0	23.0366	0.0366	0.4392
Tramo #13	1 6'-10"	16.8333	16.8601	0.0268	0.3215
Tramo #14	38'- 6"	38.5	38.5613	0.0613	0.7352
Tramo #15	5'-10"	5.8333	5.8426	0.0093	0.1114
Tramo #16	9'-10"	9.8333	9.849	0.0156	0.1878
Tramo #17	57'- 8"	57.6667	57.7584	0.0918	1.1012
Tramo #18	2'- 0 13/16"	2.0677	2.071	0.0033	0.0395
Tramo #19	7'- 2"	7.1667	7.1781	0.0114	0.1369
Tramo #20	2'- 0"	2.0	2.0032	0.0032	0.0382
Tramo #21	1'- 3"	1.25	1.252	0.002	0.0239
Tramo #22	5'- 9"	5.75	5.7592	0.0092	0.1098

## TUBERÍA 10"-ST-125-D2. VAPOR VIVO DE ALIMENTACIÓN A TURBINA, TURBOGENERADOR DE 15 MW.

DATOS: acero A-335 ASTM. CROMO MOLIBDENO. Como en la tabla No. 14 no existe valor alguno para esta aleación, procedemos a calcular ésta línea de vapor como se ha estado haciendo con las anteriores, ya que el cambio de elongamiento entre acero normal y una aleación, se puede despreciar por ser un valor muy pequeño que varía. Entonces de la tabla No. 13 de coeficientes para el acero sin aleación se tiene que:  $a = 6.212 \text{ E-3}$

$$b = 1.623 \text{ E-3}$$

temperatura de trabajo =  $440.56 \text{ }^\circ\text{C} - 825 \text{ }^\circ\text{F}$

temperatura ambiente =  $15 \text{ }^\circ\text{C} - 59 \text{ }^\circ\text{F}$

$\Delta t = \text{temp. de trabajo} - \text{temp. ambiente} = 825 \text{ }^\circ\text{F} - 59 \text{ }^\circ\text{F} = 766 \text{ }^\circ\text{F}$

Entonces la fórmula queda así:

$$L_f = L_o * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (766/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (766/1000)^2))$$

Se procede a calcular el TRAMO No. 1:

$$L_o(\text{pie}) = 2'-6'' = 2 + (6/12) = 2.5 \text{ pies}$$

$$L_f(\text{pie}) = 2.5 * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (766/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (766/1000)^2)) = 2.5143 \text{ pies}$$

$$L_f - L_o(\text{pie}) = 2.5143 - 2.5 = 0.0143 \text{ pies}$$

$$L_f - L_o(\text{plg}) = 0.0143 * 12 = 0.1713 \text{ plg}$$

TABLA No. 22  
CÁLCULOS DE ELONGACIONES DE LA TUBERÍA 10"-ST-125-D2

TRAMO	lo(pie-plg)	lo(pie)	lf(pie)	lf-lo(pie)	lf-lo(plg)
Tramo # 1	2'- 6"	2.5	2.5143	0.0143	0.1713
Tramo # 2	3'- 6 1/8"	3.5104	3.5305	0.02	0.2406
Tramo # 3	18'- 1 3/8"	18.1458	18.2495	0.1036	1.2435
Tramo # 4	8'- 1"	8.0833	8.1295	0.0462	0.5539
Tramo # 5	34'- 8"	34.6667	34.8646	0.198	2.3756
Tramo # 6	20'- 0"	20.0	20.1142	0.1142	1.3706
Tramo # 7	19'- 0"	19.0	19.1085	0.1085	1.302
Tramo # 8	20'- 0"	20.0	20.1142	0.1142	1.3706
Tramo # 9	32'- 0 1/4"	32.0208	32.2037	0.1829	2.1943
Tramo #10	1'- 9 3/4"	1.8125	1.8229	0.0104	0.1242
Tramo #11	14'- 1 3/4"	14.1458	14.2266	0.0808	0.9694
Tramo #12	7'- 6"	7.5	7.5428	0.0428	0.5140
Tramo #13	7'- 6"	7.5	7.5428	0.0428	0.5140
Tramo #14	15'- 0"	15.0	15.0857	0.0857	1.0279
Tramo #15	19'- 4 15/16"	19.4115	19.5223	0.1109	1.3302
Tramo #16	29'- 6 3/4"	29.5625	29.7313	0.1688	2.0259
Tramo #17	19'- 2"	19.1667	19.2761	0.1095	1.3135
Tramo #18	12'- 9 15/16"	12.8281	12.9014	0.0733	0.8791
Tramo #19	7'- 3 1/8"	7.2604	7.3019	0.0415	0.4975
Tramo #20	4'- 0"	4.0	4.0228	0.0228	0.2741
Tramo #21	23'- 6 1/2"	23.5417	23.6761	0.1344	1.6133
Tramo #22	23'-10 1/2"	23.8750	24.0113	0.1363	1.6361
Tramo #23	38'- 2"	38.1667	38.3846	0.218	2.6155
Tramo #24	23'-10 1/2"	23.8750	24.0113	0.1363	1.6361
Tramo #25	3'- 3"	3.0	3.0171	0.0171	0.2056
Tramo #26	33'- 5"	33.4167	33.6075	0.1908	2.29
Tramo #27	2'- 3"	2.25	2.2628	0.0128	0.1542
Tramo #28	5'- 2 15/16"	5.2448	5.2747	0.03	0.3594
Tramo #29	11'- 6 1/2"	11.5417	11.6076	0.0659	0.7909
Tramo #30	10'- 8"	10.6667	10.7276	0.0609	0.7310
Tramo #31	10'- 0"	10.0	10.0571	0.0571	0.6853
Tramo #32	38'- 6"	38.5	38.7199	0.2199	2.6383
Tramo #33	7'- 1"	7.833	7.1238	0.0405	0.4854
Tramo #34	21'- 4 1/2"	21.3750	21.4971	0.1221	1.4648
Tramo #35	2'- 6"	2.5	2.5143	0.0143	0.1713
Tramo #36	2'-10"	2.8333	2.8495	0.0162	0.1942
Tramo #37	7'- 9 1/2"	7.7917	7.8362	0.0445	0.534
Tramo #38	6'- 0 1/16"	6.0052	6.0395	0.00343	0.4115
Tramo #39	4'- 2 1/2"	4.2083	4.2324	0.024	0.2884
Tramo #40	1'- 8"	1.6667	1.6762	0.0095	0.1142

**TUBERÍA 4"-ST3-44.1-D. VAPOR DE EXTRACCIÓN DE LA 3a. ETAPA TURBINA, TURBO 15 MW.**

DATOS: acero A-106 ASTM, de la tabla No. 14 de coeficientes definimos  $a = 6.212 \text{ E-3}$   
 $b = 1.623 \text{ E-3}$

temperatura de trabajo =  $354.44 \text{ }^\circ\text{C} - 670 \text{ }^\circ\text{F}$   
 temperatura ambiente =  $15 \text{ }^\circ\text{C} - 59 \text{ }^\circ\text{F}$

$\Delta t = \text{temp. de trabajo} - \text{temp ambiente} = 670 \text{ }^\circ\text{F} - 59 \text{ }^\circ\text{F} = 611 \text{ }^\circ\text{F}$

Entonces la fórmula queda así:

$$L_f = L_o * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (611/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (611/1000)^2))$$

Se procede a calcular el TRAMO No. 1:

$L_o(\text{pie}) = 18' - 7 \frac{5}{8}" = 18 + (7 + (5/8))/12 = 18.6354 \text{ pies.}$   
 $L_f(\text{pie}) = 18.6354 * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (611/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (611/1000)^2)) = 18.7174 \text{ pies}$   
 $L_f - L_o(\text{pie}) = 18.7174 - 18.6354 = 0.082 \text{ pies}$   
 $L_f - L_o(\text{pie}) = 0.082 * 12 = 0.9843 \text{ plg}$

**TABLA No. 23**

**CÁLCULOS DE ELONGACIONES DE LA TUBERÍA 4"-ST3-44.1-D**

TRAMO	lo(pie-plg)	lo(pie)	lf(pie)	lf-lo(pie)	lf-lo(plg)
Tramo # 1	18'- 7 5/8"	18.6354	18.7174	0.082	0.9843
Tramo # 2	12'- 3"	12.25	12.3039	0.0539	0.647
Tramo # 3	7'- 5 7/8"	7.4896	7.5225	0.0033	0.3956
Tramo # 4	1'- 1"	1.0	1.0044	0.0044	0.0528
Tramo # 5	15'- 8 3/8"	15.6979	15.767	0.0691	0.8291
Tramo # 6	3'- 8 5/8"	3.7188	3.7351	0.0164	0.1964
Tramo # 7	1'- 7 1/2"	1.625	1.6322	0.0072	0.0858
Tramo # 8	8'- 9"	8.75	8.7885	0.0385	0.4622
Tramo # 9	2'- 0 1/4"	2.0208	2.0297	0.0089	0.1067
Tramo #10	67'- 1"	67.0833	67.3786	0.2953	3.5432
Tramo #11	4'- 7 1/4"	4.6042	4.6244	0.0203	0.2432
Tramo #12	41'- 4"	41.3333	41.5153	0.1819	2.1831
Tramo #13	13'- 0"	13.0	13.0572	0.0572	0.6866
Tramo #14	20'- 7"	20.5833	20.6739	0.0906	1.0872
Tramo #15	13'- 0"	13.0	13.0572	0.0572	0.6866
Tramo #16	39'- 2 1/2"	39.2083	39.3809	0.1726	2.0709
Tramo #17	3'- 9 1/2"	3.7917	3.8084	0.0167	0.2003
Tramo #18	10'- 1 5/16"	10.1094	10.1539	0.0445	0.5339
Tramo #19	45'- 1 1/2"	45.125	45.3236	0.1986	2.3834
Tramo #20	3'- 1 1/4"	3.1042	3.1178	0.0137	0.164
Tramo #21	21'- 4 1/2"	21.375	21.4691	0.0941	1.129
Tramo #22	7'- 4"	7.3333	7.3656	0.0323	0.3873
Tramo #23	10'- 8 1/8"	10.6771	10.7241	0.047	0.5639
Tramo #24	2'- 1 1/8"	2.0938	2.103	0.0092	0.1106
Tramo #25	1'- 2 1/4"	1.1875	1.1927	0.0052	0.0627



**TUBERÍA 6"-ST7-44.2-M. VAPOR EXTRACCIÓN DE 7a. ETAPA DE TURBINA, TURBO 15 MW.**

**DATOS:** acero A-106 ASTM. de la tabla No. 14 de coeficientes definimos  $a = 6.612 \text{ E-3}$   
 $b = 1.623 \text{ E-3}$

temperatura de trabajo =  $252.78 \text{ }^\circ\text{C} - 487 \text{ }^\circ\text{F}$   
 temperatura ambiente =  $15 \text{ }^\circ\text{C} - 59 \text{ }^\circ\text{F}$

$$\Delta t = \text{temp. de trabajo} - \text{temp. ambiente} = 487 \text{ }^\circ\text{F} - 59 \text{ }^\circ\text{F} = 428 \text{ }^\circ\text{F}$$

Entonces la fórmula queda así:

$$L_f = L_o * (1.0 + (6.212\text{E-}3 * (428/1000)) + (1.623\text{E-}3 * (428/1000)^2))$$

Se procede a calcular el TRAMO No. 1:

$$\begin{aligned} L_o(\text{pie}) &= 6'-4'' = 6 + (4/12) = 6.3333 \text{ pies} \\ L_f(\text{pie}) &= 6.3333 * (1.0 + (6.212\text{E-}3 * (428/1000)) + (1.623\text{E-}3 * (428/1000)^2)) = 6.3521 \text{ pies} \\ L_f - L_o(\text{pie}) &= 6.3521 - 6.3333 = 0.0187 \text{ pies} \\ L_f - L_o(\text{plg}) &= 0.0187 * 12 = 0.2247 \text{ plg} \end{aligned}$$

**TABLA No. 24**

**CÁLCULOS DE ELONGACIONES DE LA TUBERÍA 6"-ST7-44.2-M**

TRAMO	lo(pie-plg)	lo(pie)	lf(pie)	lf-lo(pie)	lf-lo(plg)
Tramo # 1	6'- 4"	6.3333	6.3521	0.0187	0.2247
Tramo # 2	10'- 0"	10.0	10.0296	0.0296	0.3547
Tramo # 3	10'- 0"	10.0	10.0296	0.0296	0.3547
Tramo # 4	8'- 3"	8.25	8.2744	0.0244	0.2926
Tramo # 5	17'- 6"	17.5	17.5517	0.0517	0.6208
Tramo # 6	1'- 4 7/8"	1.4063	1.4104	0.0042	0.0499
Tramo # 7	5'- 3"	5.25	5.2655	0.0155	0.1862
Tramo # 8	5'- 2 1/4"	5.1875	5.2028	0.0153	0.1840
Tramo # 9	7'- 6"	7.5	7.5222	0.0222	0.266
Tramo #10	1'- 0"	1.0	1.003	0.003	0.0355
Tramo #11	3'- 7 1/4"	3.6042	3.6148	0.0107	0.1278
Tramo #12	3'-11 5/8"	3.9688	3.9805	0.0117	0.1408
Tramo #13	3'- 3"	3.25	3.2596	0.0096	0.1153
Tramo #14	1'- 0 7/8"	1.0729	1.0761	0.0032	0.0381
Tramo #15	64'- 7"	64.5833	64.7742	0.1909	2.2909
Tramo #16	0'- 9 5/8"	0.8021	0.8045	0.0024	0.0285
Tramo #17	42'- 3 1/2"	42.2917	42.4167	0.125	1.5002
Tramo #18	13'- 0"	13.0	13.0384	0.0384	0.4611
Tramo #19	18'- 8"	18.6667	18.7218	0.0552	0.6622
Tramo #20	13'- 0"	13.0	13.0384	0.0384	0.4611
Tramo #21	40'- 2"	40.1667	40.2854	0.1187	1.4248
Tramo #22	4'- 9"	4.75	4.7640	0.014	0.1685
Tramo #23	10'- 1 5/16"	10.1094	10.1393	0.0299	0.3586
Tramo #24	46'- 1"	46.0833	46.2196	0.1362	1.6347
Tramo #25	2'- 2 11/16"	2.224	2.2305	0.0066	0.0789
Tramo #26	15'- 8"	15.6667	15.713	0.0463	0.5557
Tramo #27	7'- 4"	7.3333	7.355	0.0217	0.2601
Tramo #28	5'- 9 11/16"	5.8073	5.8245	0.0172	0.206
Tramo #29	3'-10 1/8"	3.8438	3.8551	0.0114	0.1363
Tramo #30	5'- 1 1/8"	5.0938	5.1088	0.0151	0.1807

# TUBERÍA 8"-ST11-44.3-M. VAPOR DE EXTRACCIÓN DE 11a. ETAPA DE TURBINA, TURBO 15 MW.

DATOS: acero A-53 ASTM, de tabla No. 14 de coeficientes definimos  $a = 6.212 \text{ E-3}$   
 $b = 1.623 \text{ E-3}$

temperatura de trabajo =  $162.78 \text{ }^\circ\text{C} - 325 \text{ }^\circ\text{F}$   
 temperatura ambiente =  $15 \text{ }^\circ\text{C} - 59 \text{ }^\circ\text{F}$

$$\Delta t = \text{temp. de trabajo} - \text{temp. ambiente} = 325 \text{ }^\circ\text{F} - 59 \text{ }^\circ\text{F} = 266 \text{ }^\circ\text{F}$$

Entonces la fórmula queda así:

$$L_f = L_o * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (266/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (266/1000)^2))$$

Se procede a calcular el TRAMO No. 1:

$$\begin{aligned} L_o(\text{pie}) &= 2'-0'' = 2.0 \text{ pies} \\ L_f(\text{pie}) &= 2.0 * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (266/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (266/1000)^2)) = 2.0035 \text{ pies} \\ L_f - L_o(\text{pie}) &= 2.0035 - 2.0 = 0.0035 \text{ pies} \\ L_f - L_o(\text{plg}) &= 0.0035 * 12 = 0.0424 \text{ plg} \end{aligned}$$

TABLA No. 25

## CÁLCULOS DE ELONGACIONES DE LA TUBERÍA 8"-ST11-44.3-D

TRAMO	lo(pie-plg)	lo(pie)	lf(pie)	lf-lo(pie)	lf-lo(plg)
Tramo # 1	2'- 0"	2.0	2.0035	0.0035	0.0424
Tramo # 2	3'- 8 5/16"	3.6927	3.6992	0.0065	0.0783
Tramo # 3	4'- 7"	4.5833	4.5914	0.0081	0.0972
Tramo # 4	19'- 6 3/16"	19.5156	19.5501	0.0345	0.4139
Tramo # 5	4'- 0"	4.0	4.0071	0.0071	0.0848
Tramo # 6	7'- 9"	7.75	7.7637	0.0137	0.1644
Tramo # 7	24'- 8 7/16"	24.7031	24.7468	0.0437	0.5239
Tramo # 8	1'- 7"	1.5833	1.5861	0.0028	0.0336
Tramo # 9	6'- 4"	6.3333	6.3445	0.0112	0.1343
Tramo #10	10'- 0"	10.0	10.0177	0.0177	0.2121
Tramo #11	6'-10 7/8"	6.9063	6.9185	0.0122	0.1465
Tramo #12	9'- 5 1/8"	9.4271	9.4437	0.0167	0.1999
Tramo #13	12'- 6"	12.5	12.5221	0.0221	0.2651
Tramo #14	18'- 8"	18.6667	18.6997	0.033	0.3959
Tramo #15	13'- 7 1/2"	13.625	13.6491	0.0241	0.2889
Tramo #16	1'- 2"	1.1667	1.1687	0.0021	0.0247
Tramo #17	14'- 8"	14.6667	14.6926	0.0259	0.311
Tramo #18	1'- 6"	1.5	1.5027	0.0027	0.0318
Tramo #19	39'- 0"	39.0	39.0689	0.0689	0.8271
Tramo #20	4'- 9 1/4"	4.7708	4.7793	0.0084	0.1012
Tramo #21	46'- 5 1/2"	46.4586	46.5404	0.0821	0.9852
Tramo #22	12'- 0"	12.0	12.0212	0.0212	0.2545
Tramo #23	16'- 4"	16.3333	16.3622	0.0289	0.3464
Tramo #24	12'- 0"	12.0	12.0212	0.0212	0.2545
Tramo #25	41'- 4"	41.3333	41.4064	0.0730	0.8765
Tramo #26	2'- 3"	2.25	2.2540	0.0040	0.0477
Tramo #27	5'- 1 15/16"	5.1615	5.1706	0.0091	0.1095
Tramo #28	37'- 5 5/16"	35.4427	35.5053	0.0626	0.7516
Tramo #29	22'-10 3/4"	22.8958	22.9363	0.0405	0.4855
Tramo #30	5'- 0 5/8"	5.0729	5.0819	0.009	0.1076
Tramo #31	1'- 7"	1.5833	1.5861	0.0028	0.0336

**TUBERÍA 12"-ST14-44.4-E. VAPOR DE EXTRACCIÓN 14a. ETAPA  
TURBINA, TURBO 15 MW.**

**DATOS: acero A-53 ASTM, de la tabla No. 14 de coeficientes definimos  $a = 6.212 \text{ E-3}$   
 $b = 1.623 \text{ E-3}$**

temperatura de trabajo = 83.33 °C -- 182 °F  
temperatura ambiente = 15 °C -- 59 °F

$\Delta t = \text{temp. de trabajo} - \text{temp ambiente} = 182 \text{ °F} - 59 \text{ °F} = 123 \text{ °F}$

Entonces la fórmula queda así:

$$L_f = L_o * (1.0 + (6.212 \text{ E-3} * (123/1000)) + (1.623 \text{ E-3} * (123/1000)^2))$$

Se procede a calcular el TRAMO No. 1:

Lo(pie) = 2'-10" = 2 + (10/12) = 2.8333 pies  
 Lf(pie) = 2.8333 \* (1.0 + (6.212E-3\*(123/1000)) + (1.623E-3\*(123/1000)²)) = 2.8356 pies  
 Lf-Lo(pie) = 2.8356 - 2.8333 = 0.0022 pies  
 Lf-Lo(plg) = 0.0022 \* 12 = 0.0268 plg

**TABLA No. 26**

**CÁLCULOS DE ELONGACIONES DE LA TUBERÍA 12"-ST14-44.4-E**

TRAMO	lo(pie-plg)	lo(pie)	lf(pie)	lf-lo(pie)	lf-lo(plg)
Tramo # 1	2'-10"	2.8333	2.8356	0.0022	0.0268
Tramo # 2	12'-10 1/8"	12.8438	12.8539	0.0101	0.1215
Tramo # 3	5'- 8 1/2"	5.7083	5.7128	0.0045	0.054
Tramo # 4	54'- 2"	54.1667	54.2094	0.0427	0.5126
Tramo # 5	5'- 3 1/2"	5.2917	5.2958	0.0042	0.0501
Tramo # 6	4'- 9 1/4"	4.7708	4.7746	0.0038	0.0451
Tramo # 7	101'- 4 1/2"	101.375	101.4549	0.0799	0.9594
Tramo # 8	10'- 1 5/16"	10.1094	10.1173	0.0088	0.0957
Tramo # 9	27'- 7 1/2"	27.625	27.6468	0.0218	0.2614
Tramo #10	22'- 7 1/2"	22.6250	22.6428	0.0178	0.2141
Tramo #11	3'- 5 1/4"	3.4375	3.4402	0.0027	0.0325
Tramo #12	24'- 7"	24.5833	24.6027	0.0194	0.2326
Tramo #13	10'- 0 5/8"	10.0521	10.06	0.0079	0.0951
Tramo #14	10'- 8 1/8"	10.6771	10.6855	0.0084	0.1010
Tramo #15	2'- 7 5/8"	2.6354	2.6375	0.0021	0.0249

## **10. COMPARACIÓN GRÁFICA DE LA DEFORMACIÓN FINAL DE LAS LÍNEAS DE VAPOR CON RESPECTO A LA INICIAL POR MEDIO DE PLANOS.**

### **10.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se presentan los planos en los cuales se hace una comparación gráfica de lo que es la tubería de las líneas de vapor elongadas tomando en cuenta sus condiciones de trabajo, y como originalmente se encuentran cuando la planta no está operando.

Las elongaciones por cada tramo son mostradas y dimensionadas de acuerdo a los cálculos realizados en el capítulo anterior, con la fórmula que se determinó anteriormente más exacta, que es la fórmula de HOLBORN Y DAY DEL MANUAL DEL INGENIERO MECÁNICO.

Las dimensiones que se le dan a las elongaciones en los planos disminuidos que se presentan a continuación, no están a escala sino que se han exagerado a propósito para que el lector observe fácilmente las formas adoptadas por los componentes del diseño de la tubería que se encargan de que en la misma no se produzcan esfuerzos colapsantes.

Ahora se visualizan los cambios que se producen en las líneas al estar sometidas a las condiciones de operación de la planta.

### **10.2 PLANOS QUE MUESTRAN LAS DEFORMACIONES OBTENIDAS EN LAS LÍNEAS DE VAPOR AL SOMETERLAS A CONDICIONES DE TRABAJO.**

A continuación se visualizan los siguientes planos:

**PLANO No. 24 (planta y elevación):**

Comparación de elongaciones de la tubería 10"-LS-106-D1. Acero A-234 ASTM. Vapor vivo a 750 psi y 750 ° F, alimentación de turbina del turbogenerador de 5 MW (Página No. 99).

**PLANO No. 25 (planta y elevación):**

Comparación de elongaciones de la tubería 12"-LS-107-D. Acero A-216 ASTM. Vapor a 225 psi y 525 ° F, extracción de turbina del turbogenerador de 5 MW a proceso de fabricación en el Ingenio (página No. 100).

**PLANO No. 26 (planta y elevación):**

Comparación de elongaciones de la tubería 20"-EXS-108-D. Acero A-216 ASTM. Vapor a 20 psi y 300 ° F, escape de turbina del turbogenerador de 5MW a proceso de fabricación del Ingenio. (página No. 101).

**PLANO No. 27 (planta y elevación):**

Comparación de elongaciones de la tubería 10"-ST-125-D2. Acero A-335 ASTM. Vapor vivo a 650 psi y 825 ° F, alimentación de turbina del turbogenerador de 15 MW (Página No. 102).

**PLANO No. 28 (planta y elevación):**

Comparación de elongaciones de la tubería 4"-ST3-44.1-D. Acero A-106 ASTM. Vapor a 225 psi y 617 ° F, extracción 3a. etapa del turbogenerador de 15 MW que alimenta el calentador de condensados de alta presión de vapor (Página No. 103).

**PLANO No. 29 (planta y elevación):**

Comparación de elongaciones de la tubería 6"-ST7-44.2-M. Acero A-106 ASTM. Vapor a 90 psi y 446 °F, extracción 7a. etapa del turbogenerador de 15 MW que alimenta el calentador de condensados de presión media de vapor (página No. 104).

**PLANO No. 30 (planta y elevación):**

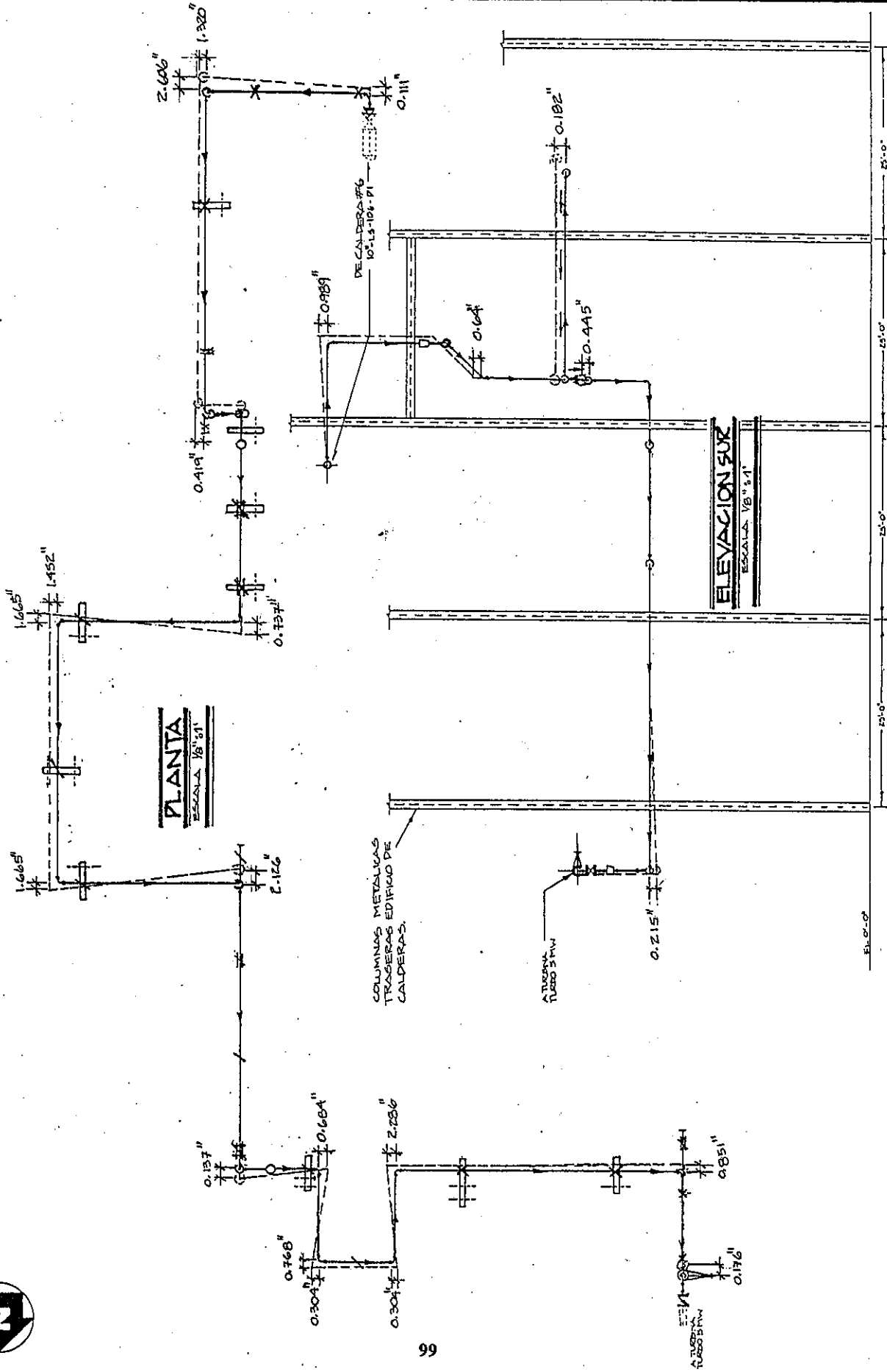
Comparación de elongaciones de la tubería 8"-ST11-44.3-M. Acero A-53 ASTM. Vapor a 35 psi y 617 ° F, extracción 11a. etapa del turbogenerador de 15MW que alimenta el deareador de las calderas No. 5 y No. 7 (Página No. 105).

**PLANO No. 31 (planta y elevación):**

Comparación de elongaciones de la tubería 12"-ST14-44.4-E. Acero A-53 ASTM. Vapor a 6.4 psi y 173 ° F, extracción 14a. etapa del turbogenerador de 15MW que alimenta el calentador de agua de baja presión de las calderas No. 5 y No. 7 (Página No. 106).

### **10.3 DISCUSIÓN DE ASPECTOS CON RELEVANCIA NOTADOS EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE VAPOR AL ESTAR SOMETIDAS A LAS CONDICIONES DE TRABAJO.**

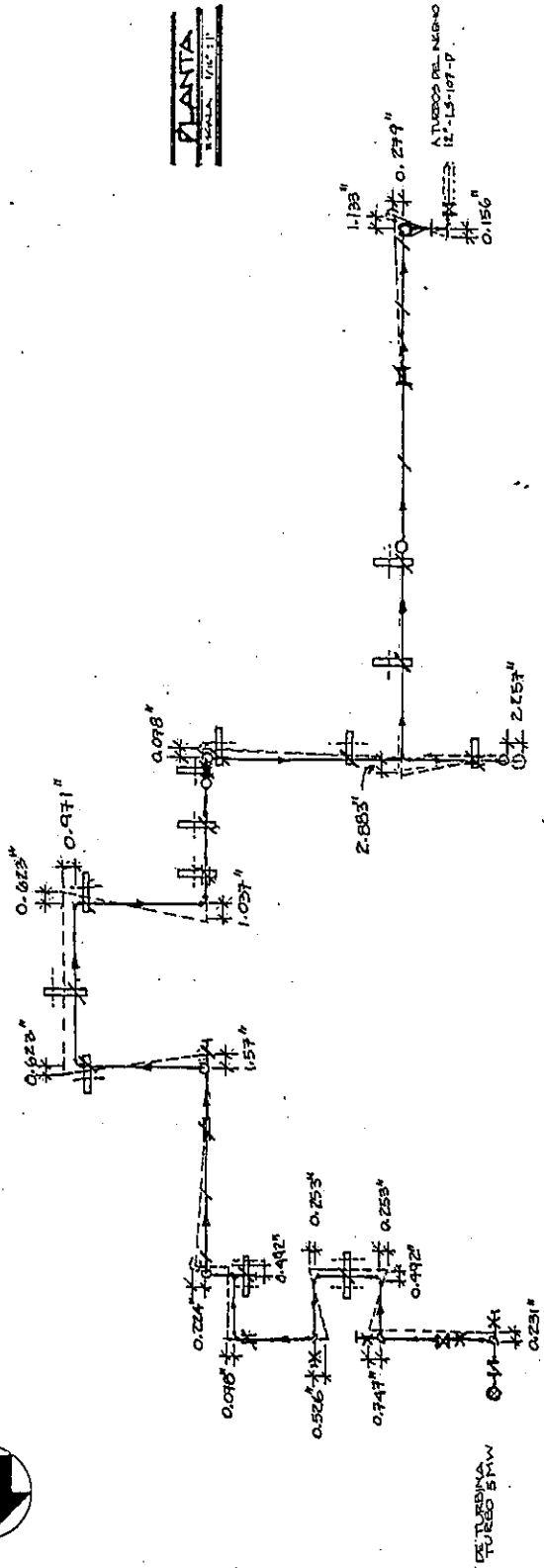
Los principales fenómenos que se puedan dar en una línea de vapor al someterse a condiciones de trabajo, y que puedan afectar su operación, se tratan en las conclusiones y recomendaciones del presente estudio, por lo que no se hace mención de los mismos en el presente capítulo.



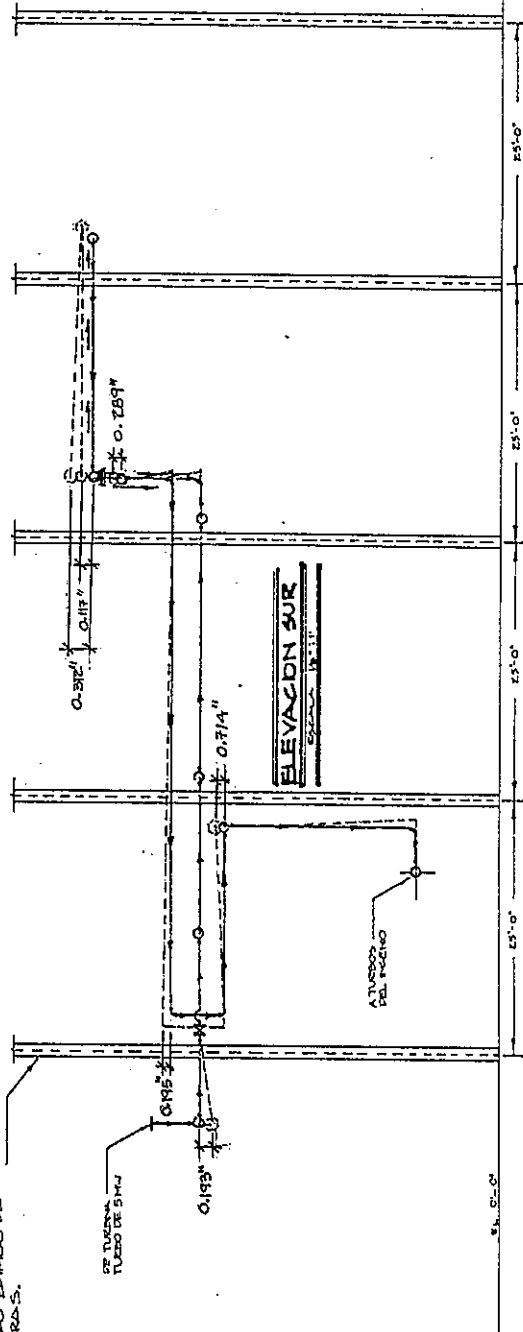
REFERENCIA	FECHA	DESCRIPCION
NO. 713/22-0107-03	1941.1.2.95	PROYECTO
NO. 713/22-0107-01	1941.1.2.95	PROYECTO
NO. 713/22-0107-01	1941.1.2.95	PROYECTO
NO. 713/22-0107-01	1941.1.2.95	PROYECTO
NO. 713/22-0107-01	1941.1.2.95	PROYECTO
NO. 713/22-0107-01	1941.1.2.95	PROYECTO
NO. 713/22-0107-01	1941.1.2.95	PROYECTO
NO. 713/22-0107-01	1941.1.2.95	PROYECTO

**INGENIO MADRE TIERRA**  
SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUAYULA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACERD A-234 ASTM, Ø 10", VAPOR A 750 °F  
ALIMENTACION DE TURBINA, TURBO 5 MW



COLUMNAS METALICAS  
TRASERAS ESPINOS DE  
CALDERAS.

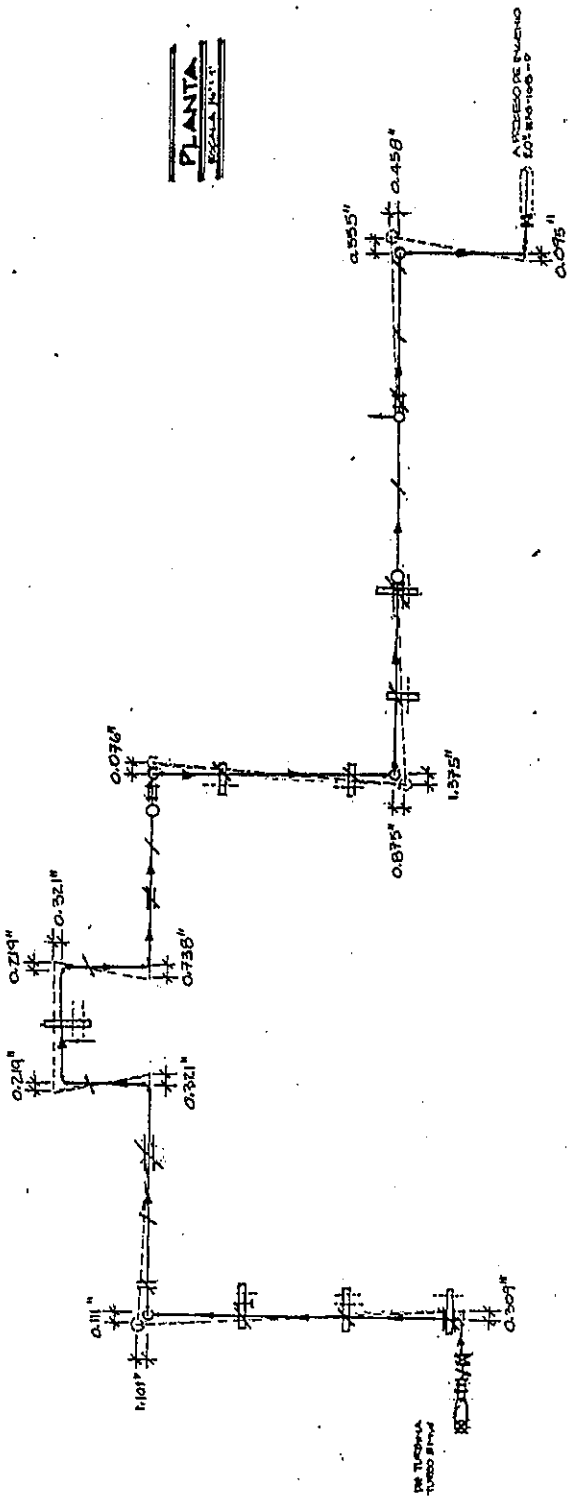


REFERENCIA		PROYECTO	
No. 1111/01-0101-02	TRAMITA	No. 1111/01-0101-02	INDUSTRIAL
No. 1111/01-0101-01	PROYECTO	No. 1111/01-0101-01	INDUSTRIAL
No. 1111/01-0101-01	PROYECTO	No. 1111/01-0101-01	INDUSTRIAL
No. 1111/01-0101-01	PROYECTO	No. 1111/01-0101-01	INDUSTRIAL
No. 1111/01-0101-01	PROYECTO	No. 1111/01-0101-01	INDUSTRIAL
No. 1111/01-0101-01	PROYECTO	No. 1111/01-0101-01	INDUSTRIAL
No. 1111/01-0101-01	PROYECTO	No. 1111/01-0101-01	INDUSTRIAL

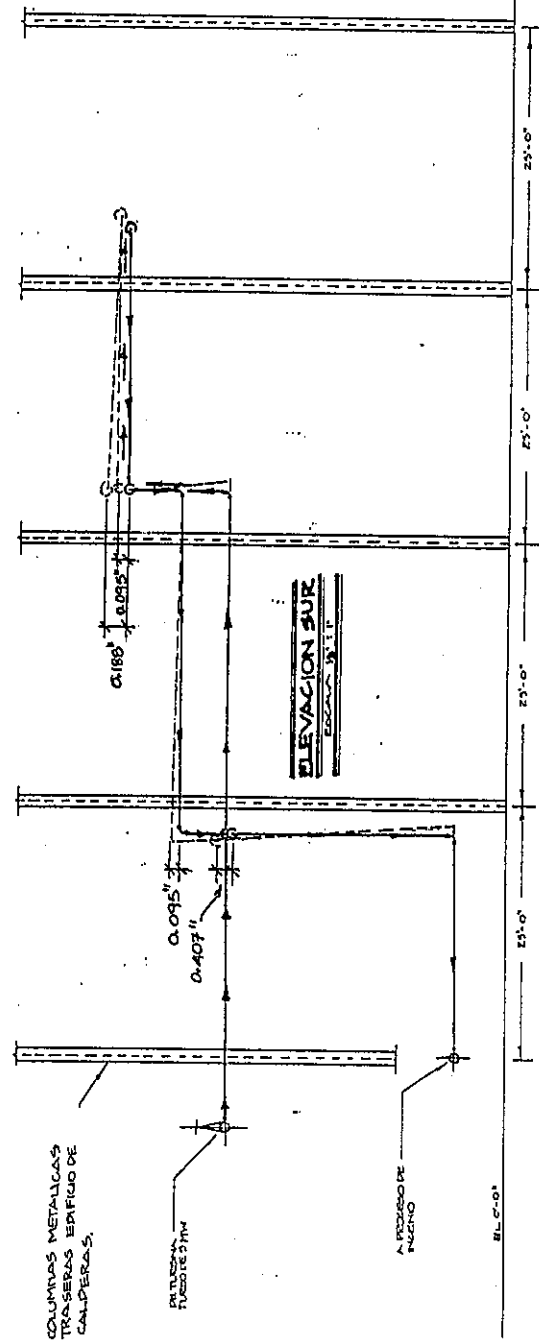
**INGENIO MADRE TIERRA**  
 SANTA LUCIA COTZUMALUUPA, ESCUINTLA  
 GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA AEREO A-216 527M, Ø12", VAPOR A 525 °F  
 EXTRACCION DE TURBINA, TURBO DE SHW

PLANTA  
 1111/01-0101-01



**PLANTA**  
ELEVACION SUR



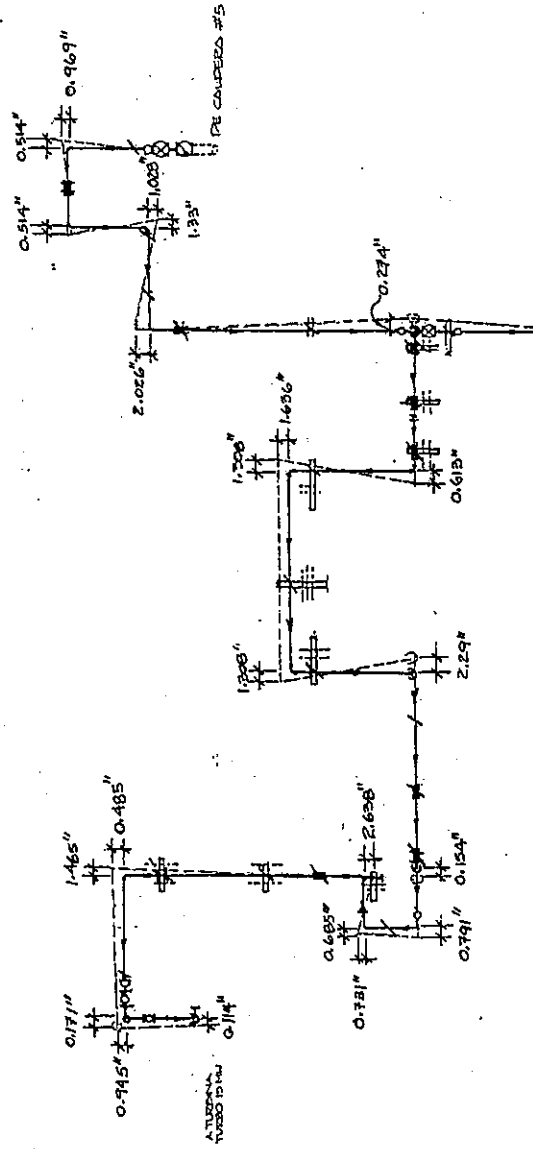
REFERENCIA	FECHA	NO. DE DISEÑO
MR. 012/08-0109-03	1973	03
MR. 012/08-0109-04	1973	04
MR. 012/08-0109-05	1973	05
MR. 012/08-0109-06	1973	06
MR. 012/08-0109-07	1973	07
MR. 012/08-0109-08	1973	08
MR. 012/08-0109-09	1973	09
MR. 012/08-0109-10	1973	10

**INGENIO MADRE TIERRA**  
SANTA LUCIA COTZUMALGUVA, ESCUINTLA  
GUATEMALA CENTRO AMERICA

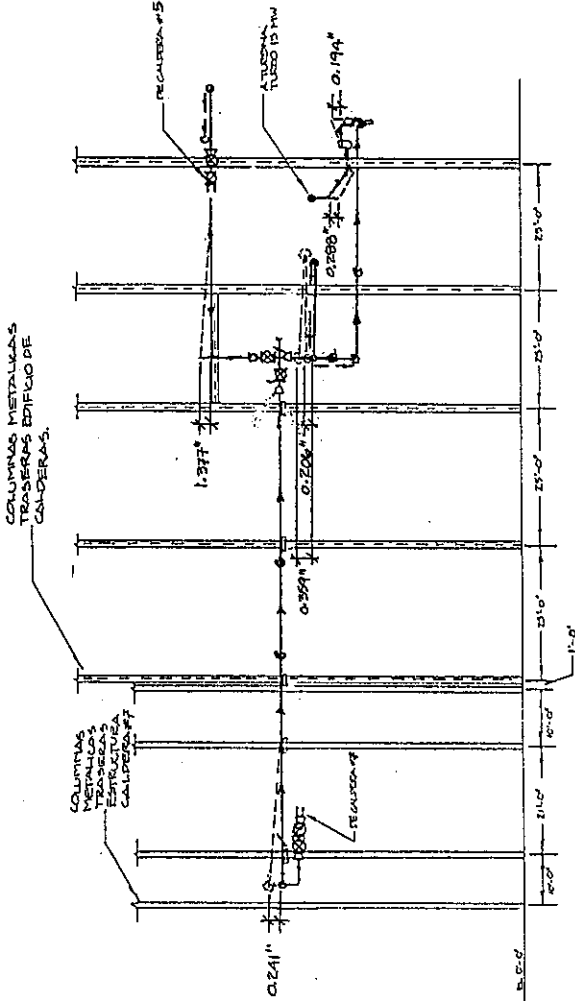
TURBINA AERO A-216 AOTM, Ø 20", VALOR A 300 \* F  
ESCAPE DE TURBINA, TURBO DE 5 MW

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central





PLANTA  
ESCALA 1/64" = 1'



ELEVACION SUR  
ESCALA 1/64" = 1'

REFERENCIA	REVISOR	FECHA
No. 752/04-0101-03	8/31/04	8/31/04
No. 752/04-0101-02	8/31/04	8/31/04
No. 752/04-0101-01	8/31/04	8/31/04
No. 752/04-0101-00	8/31/04	8/31/04
No. 752/04-0101-01	8/31/04	8/31/04
No. 752/04-0101-02	8/31/04	8/31/04
No. 752/04-0101-03	8/31/04	8/31/04

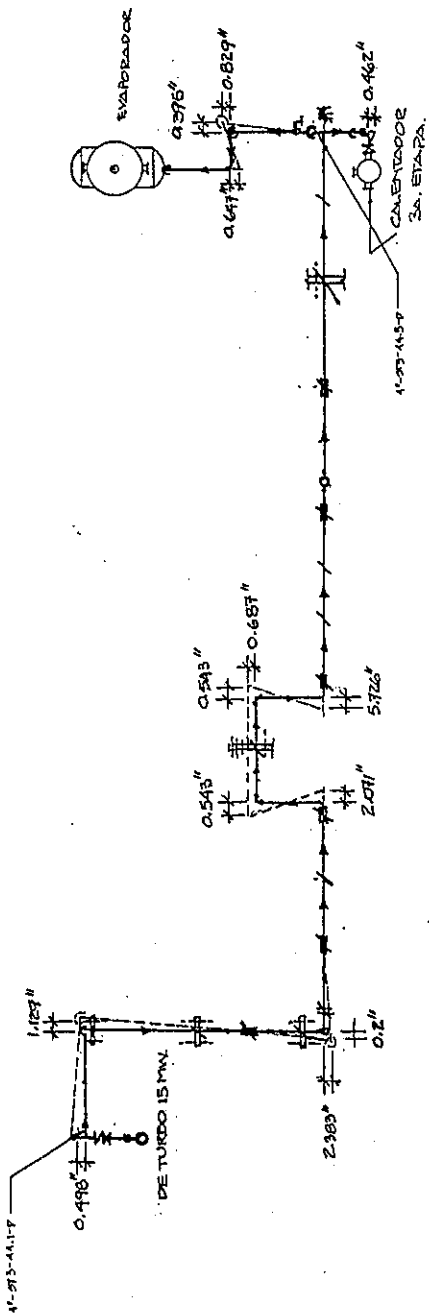
INGENIO MADRE TIERRA  
SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUAYULA  
GUATEMALA CENTRO AMERICA

TUBERIA ACEO A-595 ASTM, Ø 10", VAPORE A 825 °F  
ALIMENTACION DE TUBINA, TUBERO 15 1/4"

PROYECTO	FECHA
PROYECTO DE TUBERIA	8/31/04

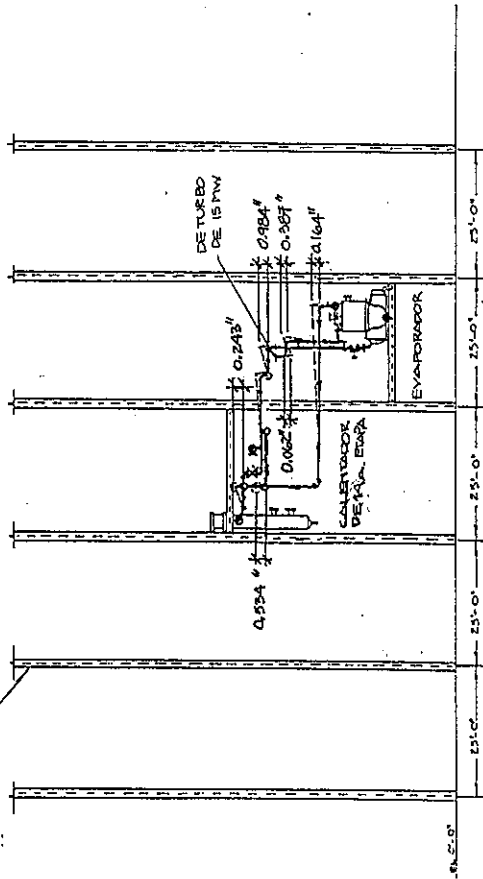


**PLANTA**  
ESCALA 1/16" = 1'



103

COLUMNAS METALICAS  
TRASERAS POR FASE DE  
CALDERAS

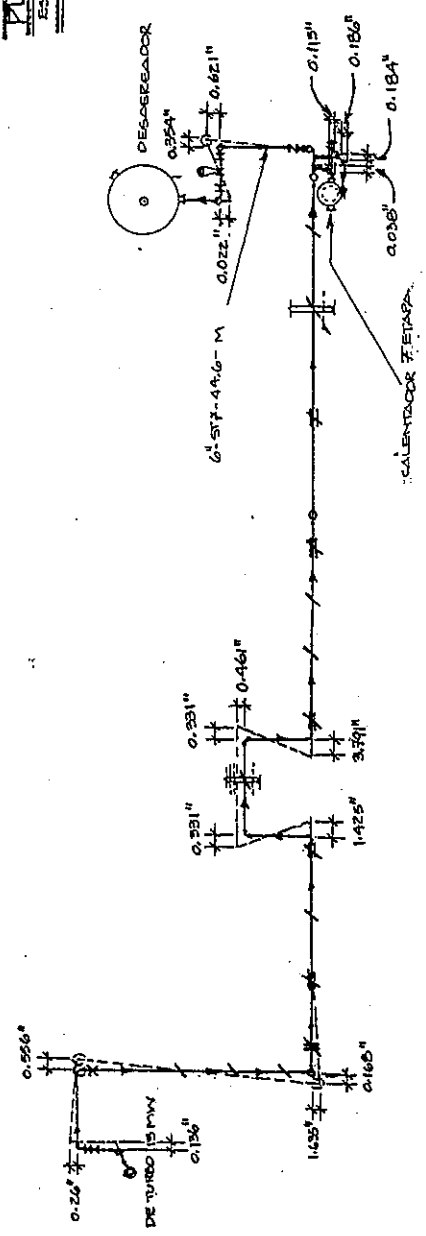


**ELEVACION SUR**  
ESCALA 1/16" = 1'

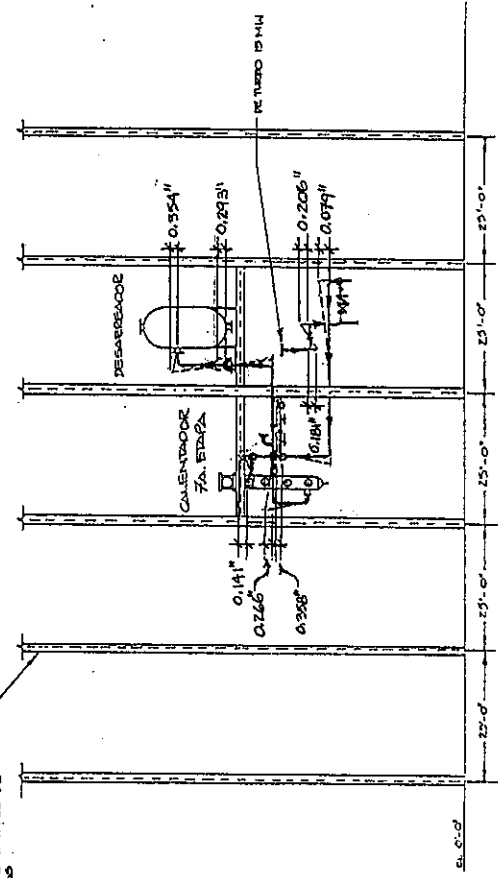
REFERENCIA	NUMERO DE DISEÑO	FECHA	PROYECTANTE
N.º 203/02 - 0727 - 04	02-02-02	1973-11	INGENIERO
N.º 203/04 - 0708 - 01			
N.º 203/05 - 0303 - 01			
N.º 203/06 - 0303 - 04			
N.º 203/08 - 0303 - 01			
N.º 203/09 - 0303 - 03			
N.º 203/05 - 0708 - 02			
N.º 203/05 - 0708 - 03			
N.º 203/05 - 0708 - 04			
INGENIO MADRE TIERRA SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA GUATEMALA, CENTRO AMERICA TUBERIA ACERO A-106 Ø 4", VAPOR A 617 °F EXTRACCION 3A. ETAPA, TURBO DE 15 MW			
PROYECTO			FECHA
AUTOR			REVISOR



**PLANTA**  
ESCALA 1/6" = 1'



COLUMNAS TRASERAS  
METALICAS EDIFICIO DE  
CALDERAS



**ELEVACION SUR**  
ESCALA 1/6" = 1'

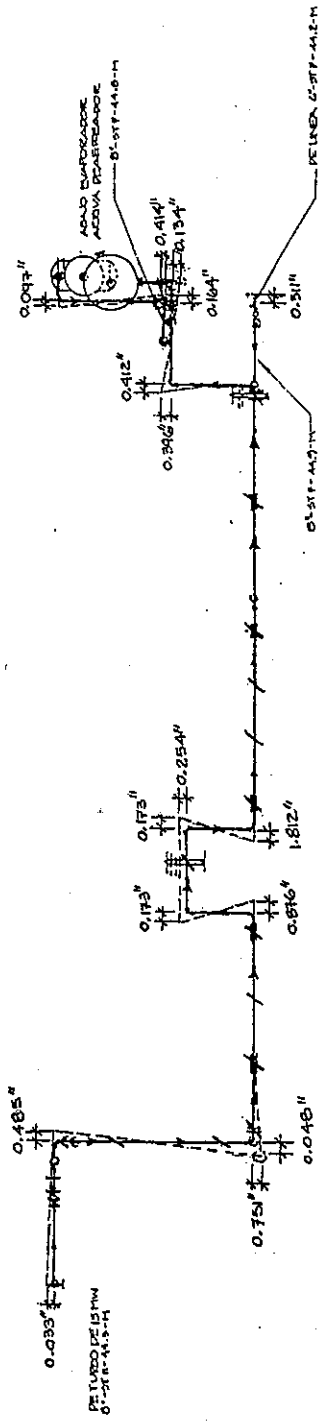
REFERENCIA	FECHA	DESCRIPCION
Nº. 7181/66 - 0102 - 04	23.08.66	BOQUIN W. I. F.
Nº. 7187/66 - 0707 - 01	19.07.66	REVISION
Nº. 7237/66 - 0101 - 01	24.01.67	REVISION
Nº. 7237/66 - 0103 - 04	24.01.67	REVISION
Nº. 7237/66 - 0707 - 01	19.07.66	REVISION
Nº. 7247/66 - 0707 - 05	19.07.66	REVISION
Nº. 7247/66 - 0707 - 05	19.07.66	REVISION

INGENIO MAJRE TIERRA  
SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCURTILA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACERO A-106 Ø 6", VAPORES A 446 OF  
EXTRACCION 7A. ETAPA, TURBO DE 15 MM

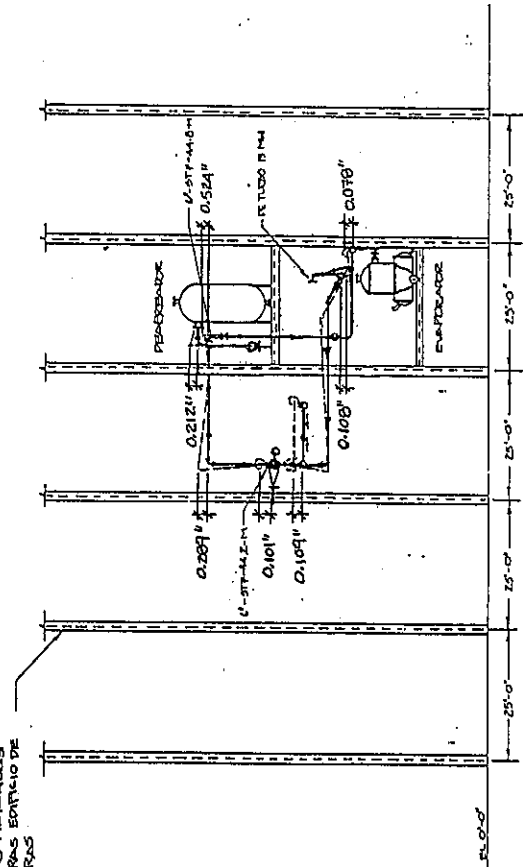


**PLANTA**  
ESCALA 1/8" = 1'-0"



105

COLUMNAS METÁLICAS  
TRANSVERSAS ENTORNO DE  
VALVEROS



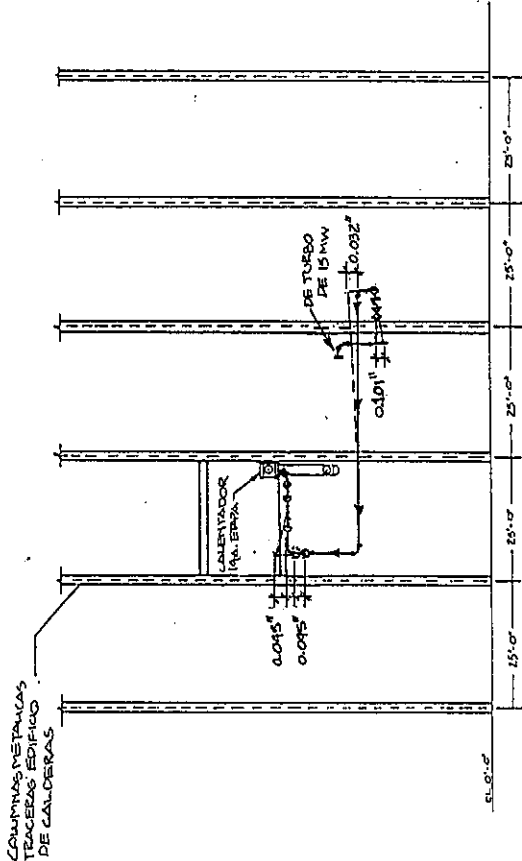
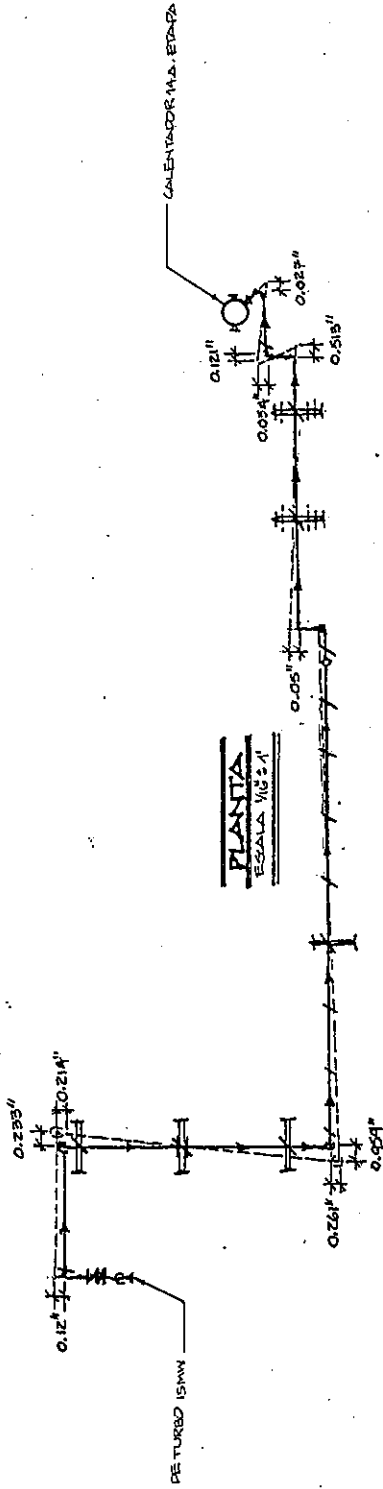
**ELEVACION SUR**  
ESCALA 1/8" = 1'-0"

REFERENCIA	FECHA	PROYECTO
No. 712 / 01 - 0107 - 02	1982	COMUN. M. S. I.
No. 712 / 01 - 0107 - 01	1982	PROYECTO
No. 712 / 02 - 0107 - 01	1982	PROYECTO
No. 712 / 02 - 0107 - 02	1982	PROYECTO
No. 712 / 02 - 0107 - 03	1982	PROYECTO
No. 712 / 02 - 0107 - 04	1982	PROYECTO
No. 712 / 02 - 0107 - 05	1982	PROYECTO
No. 712 / 02 - 0107 - 06	1982	PROYECTO

INGENIO MADRE TIERRA  
SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACEO. A-53, Ø 80, VAPOR A 295 OF  
EXTRACCION TURBO 13 MW PARA ALIMENTACION  
DE EMPORCADE Y DELERIBOR, CALDERAS D.T.C.

PLANO 1



**ELEVACION SUR**  
ESCALA 1/8" = 1'

REFERENCIA	FECHA	PROYECTANTE	REVISOR
Nº. 713/06 - 0101 - 06	06/07/06	Y. M. F.	Y. M. F.
Nº. 713/06 - 0101 - 01	01/07/06	Y. M. F.	Y. M. F.
Nº. 713/06 - 0101 - 01	01/07/06	Y. M. F.	Y. M. F.
Nº. 713/06 - 0101 - 01	01/07/06	Y. M. F.	Y. M. F.
Nº. 713/06 - 0101 - 01	01/07/06	Y. M. F.	Y. M. F.
Nº. 713/06 - 0101 - 01	01/07/06	Y. M. F.	Y. M. F.

**INGENIO MADRE TIERRA**  
SANTA LUCIA COTACALLI, ESCUINTLA  
GUATEMALA, CENTRO AMERICA

TUBERIA ACERO, A-53 1" Ø 12", VAPOR A 193 OF  
EXTRACCION TURBO 15 MW, PARA ALIMENTACION  
DE CALENTADOR DE 144. E.T.A.R.A. CALDERAS 5.14.

## CONCLUSIONES

- La correcta elección del espesor y tipo de tubería a utilizar en cada línea, según la norma de la sociedad americana de pruebas y materiales, es determinante para que la misma soporte los esfuerzos, siempre que se complemente con un diseño adecuado de soportes, extendiendo de este modo su vida útil y reduciendo al máximo las posibilidades de falla.
- La distancia entre soportes en la tubería es otro aspecto predominante a tomar en cuenta en el diseño del sistema, puesto que el uso de un mal espaciamiento entre éstos, generarán excesivos esfuerzos de flexión.
- La adecuada utilización de curvas y omegas a lo largo de las líneas que el sistema de tuberías Ricwil recomienda en base a experiencias, vienen a reducir en gran escala los esfuerzos provocados por el elongamiento de la tubería sometida a las condiciones de trabajo.
- Con base en experiencias, se ha determinado que las juntas de dilatación trabajan eficazmente cuando el tramo de la tubería es muy corto como para poder utilizar un tipo de curva u omega, que eviten el empuje ocasionado por el elongamiento térmico.
- La fórmula de elongamiento de tuberías de Holborn y Day según comparaciones con elongaciones reales y tablas experimentales recomendadas, resultó ser la más exacta, y su utilización es de plena confiabilidad, conjuntamente con las tablas utilizadas en el presente estudio.
- Del presente estudio se concluye que: las elongaciones se producen en sentido longitudinal de la tubería, éstas pueden ser calculadas con fórmulas o tablas que varían en mínima escala sobre los resultados reales experimentados. Estas elongaciones generan esfuerzos que son disminuidos a rangos permisibles por omegas, liras y juntas de expansión, que son intercalados a lo largo de la línea, soportando la tubería con cargadores sólidos y zapatas deslizantes que dejan que se mueva libremente hacia donde el diseño lo amerita.

## RECOMENDACIONES

- Se debe elegir la tubería adecuada para cada línea de vapor que las normas recomiendan; tomando en consideración la presión y temperatura de operación, evitando de este modo anomalías y fallas de las mismas que puedan acontecer a las condiciones de trabajo.
- Se deben seleccionar adecuadamente el tipo de soporte y la zapata móvil en cada caso según la dirección de la elongación que se experimente, y lograr de este modo el diseño adecuado para que el movimiento de la tubería al elongarse no generen esfuerzos excesivos.
- Tomar en consideración la distancia entre soportes de las tuberías utilizando las tablas que el Handbook piping nos proporciona, y tener presente, que éstas varían respecto al diámetro de las mismas, para evitar esfuerzos de flexión significativos.
- Preferir la utilización de curvas y omegas en el diseño de las líneas, en tramos largos, ya que con un anclaje adecuado, su funcionamiento es más seguro y su vida útil es mayor que las juntas de expansión según ha podido experimentarse.
- Las estructuras de los edificios del montaje de calderas o turbogeneradores, pueden ser aprovechadas para soldar a las mismas, los soportes que cargan las tuberías, y darles de esta manera la rigidez requerida.
- Para el cálculo del elongamiento de tuberías de distintos metales o aleaciones, se pueden utilizar la fórmula de Holborn y Day, que resultó ser la más exacta, o cualquiera de las tablas enunciadas en este estudio, ya que son de amplia confiabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1.- GAFFERT, Gustaf A. Centrales de Vapor. Cuarta edición. Argentina: Editorial Reverté, 1975. pp. 351.
- 2.- BAUMEISTER, Theodore, AVALLONE Eugene y BAUMEISTER III, Theodore MARKS. Manual del Ingeniero Mecánico. Octava edición. México: Editorial Mcgraw-Hill, 1984. pp. 4-2.
- 3.- SINGER, Ferdman L. et. al. Resistencia de Materiales. Tercera edición. México: Editorial Harla, 1982. pp. 51.
- 4.- TIMOSHENKO, Gere. Mecánica de Materiales. Segunda edición. México: Grupo editorial Iberoamérica, 1986. pp 71.
- 5.- KING, Reno C. Handbook piping. U.S.A. : Editorial Mcgraw-Hill, 1967. pp. 5-4.
- 6.- CRANE. Válvulas y fittings. Catálogo No. 60. U.S.A. s.p.i. 1960. pp. 344.
- 7.- ASME. Power Piping. Sección B 31. U.S.A. s.p.i. 1995. pp. 12.