

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Rediseño y montaje de un sistema de aire comprimido a 40 BAR  
de presión para líneas de soplado de botellas”

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Juan Pablo Castillo Apolo

Guayaquil – Ecuador

Año: 2009

## **AGRADECIMIENTO**

El agradecimiento infinito a Dios por darme sabiduría, fortalece, paciencia y por ser el amigo que jamás abandona.

Mi sincero agradecimiento a mis padres Juan José y María Rosario por sus sabios consejos, a mis hermanas Johana e Indira por su leal ayuda a lo largo de esta etapa en mi vida, a mi abuelita Elicia por sus oraciones, a mi tío Lucio y a mi tía Gloria por acogerme en Guayaquil como un miembro más de su familia.

Agradezco a la ESPOL y al amigo Ing. Ernesto Martínez, por sus valiosas enseñanzas en la realización de esta tesis y durante las prácticas profesionales.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo a mis queridos padres y hermanas como muestra tangible de gratitud y cariño por su apoyo incondicional para cumplir con éxito un objetivo más en este caminar.

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



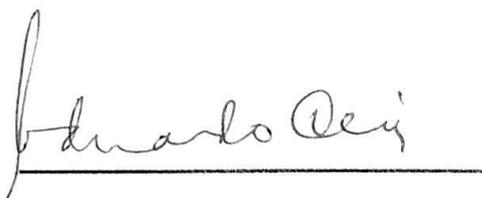
---

Ing. Francisco Andrade S.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



---

Ing. Ernesto Martínez L.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Eduardo Orcés P.  
VOCAL PRINCIPAL



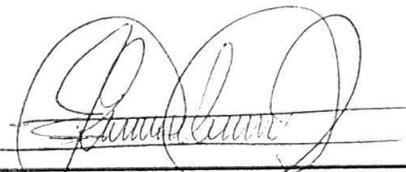
---

Ing. Andrés Rigail C.  
VOCAL ALTERNO

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



---

Juan Pablo Castillo Apolo

## RESUMEN

Este proyecto surgió por la necesidad de mejorar el sistema de distribución de aire comprimido a 40 BAR en una empresa fabricante de botellas plásticas que se encuentra en continuo crecimiento por el incremento de la demanda en el mercado nacional de botella PET.

Es así que, se describió el proceso de soplado de botellas, se presentó el levantamiento de información referente a la situación actual, localización e identificación del proceso, puntos de consumo, suministro y redes de distribución de aire comprimido; se debió también establecer los requerimientos de presión, caudal, calidad y la demanda de éstos parámetros a futuro.

Con los datos obtenidos se realizó los cálculos necesarios para determinar la capacidad real actual y con los datos, de nuevos equipos a ser instalados se determinó la nueva demanda, se presentó el cálculo para dimensionar la nueva red de distribución de aire comprimido de las sopladoras de botellas,

se hizo el trazado de la nueva trayectoria del circuito de tal manera que incorpore a los equipos existentes minimizando el tiempo de sacar de operación dichos equipos durante el montaje. También se detalló el material necesario, el proceso de construcción del circuito de tuberías y las actividades de montaje de la misma.

Con la finalidad de mejorar la eficiencia de los compresores durante la época de calor debido a la temperatura ambiente, la torre de enfriamiento existente no logra retirar el calor en la cantidad necesaria, causando la detención de los compresores por temperatura alta de agua de enfriamiento; para evitar dicho problema se recurre a la colocación de marquetas de hielo en la cisterna de la torre de enfriamiento.

Es así que, se seleccionó una nueva torre para uno de los compresores de tal manera que a cada sistema de compresión le corresponda un compresor más una torre de enfriamiento, se determinó la ubicación de las torres de enfriamiento para los compresores existentes y futuros que proporcionarán aire comprimido a 40 BAR al nuevo sistema y se presentó el cálculo de la estructura que soportará las torres de enfriamiento.

Finalmente se evaluó las mejoras implementadas en la fábrica tomando en cuenta puntos de vista técnicos y económicos.

## ÍNDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
ANTECEDENTES.....	1
<b>CAPÍTULO 1</b>	
<b>1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
1.1. Descripción del proceso de soplado.....	3
1.2. Características de la fábrica.....	6
1.3. Demanda futura.....	11
1.4. Identificación del problema.....	12
<b>CAPÍTULO 2</b>	
<b>2. REDISEÑO Y MONTAJE.....</b>	<b>15</b>
2.1. Requerimientos del sistema de aire comprimido.....	15
2.2. Cálculos del sistema de aire comprimido.....	17

2.3. Trayectoria del sistema de aire comprimido.....	38
2.4. Procedimientos de construcción del sistema de aire comprimido.....	39
2.5. Montaje del sistema de aire comprimido.....	55

### **CAPÍTULO 3**

#### **3. MEJORA EN LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE LOS**

<b>COMPRESORES DE AIRE.....</b>	<b>75</b>
3.1. Aumento en la capacidad de enfriamiento utilizando torres .....	75
3.2. Ubicación de torres de enfriamiento.....	79
3.3. Cálculo de estructura- soporte para torres de enfriamiento.....	79

### **CAPÍTULO 4**

#### **4. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA.....** **89** |

4.1. Evaluación técnica.....	89
4.2. Evaluación económica.....	91

### **CAPÍTULO 5**

#### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....** **96** |

### **APÉNDICES**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## ABREVIATURAS

BAR	Bar
ft	Pie
°C	Grados Celsius
°K	Grados Kelvin
h	Hora
KW	Kilowatt
lb	Libra
lt	Litro
m	Metro
mm	Milímetro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
pie <sup>2</sup>	Pie cuadrado
pie <sup>3</sup>	Pie cúbico
"	Pulgada
s	Segundo
slug	Slug

## SIMBOLOGÍA

A	Área
C1	Compresor #1
C2	Compresor #2
D	Diámetro de la tubería
$D_i$	Diámetro interno
$\Delta P$	Diferencial del presión
$\varepsilon$	Rugosidad equivalente
$\rho$	Densidad del fluido
g	Aceleración de la gravedad
H	Pérdida de carga
L	Longitud de la tubería
$L_t$	Longitud total
$L_{eq}$	Longitud equivalente
$\lambda$	Coefficiente de pérdida de carga
$\mu$	Viscosidad dinámica
P	Presión del fluido
$P_i$	Presión interna
Q	Caudal de diseño
Re	Número de Reynolds
S	Resistencia del Material
S1	Sopladora #1
S2	Sopladora #2
S3	Sopladora #3
SN	Cédula de la tubería
v	Velocidad del fluido
z	Altura del fluido

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pag.
Figura 1.1	Diagrama de Flujo del Proceso de Soplado.....	5
Figura 1.2	Sopladora #1.....	7
Figura 1.3	Sopladora #2.....	7
Figura 1.4	Sopladora #3.....	8
Figura 1.5	Compresor #1.....	9
Figura 1.6	Compresor #2.....	9
Figura 1.7	Compresor #3.....	12
Figura 2.1	Ángulo de bisel para tubo 6".....	41
Figura 2.2	Pase de raíz.....	42
Figura 2.3	Pase caliente.....	43
Figura 2.4	Cordón de acabado.....	43
Figura 2.5	Cercha dispuesta para el tramo 1 y 9.....	45
Figura 2.6	Cercha modificada.....	46
Figura 2.7	Soporte para tramo 2, 3, 4 y 10.....	47
Figura 2.8	Cable soporte para tramo 5 (medidas en metros).....	48
Figura 2.9	Tramo CB.....	49
Figura 2.10	Triángulo de fuerzas.....	50
Figura 2.11	Soportes de línea secundaria sopladora #3.....	53
Figura 2.12	Dimensiones de soporte.....	54
Figura 2.13	Montaje de cercha tramo 1.....	55
Figura 2.14	Tramo 1 de tubería 6".....	56
Figura 2.15	Montaje soporte tramo 3.....	57
Figura 2.16	Montaje tramo 2.....	58
Figura 2.17	Montaje tramo 3.....	59
Figura 2.18	Soporte final del tramo 3.....	60
Figura 2.19	Vista del tramo 6.....	61
Figura 2.20	Vista del cable parabólico tramo 5.....	62
Figura 2.21	Unión tramo 1 y 3.....	63
Figura 2.22	Tramo 7.....	64
Figura 2.23	Tramo 8.....	65
Figura 2.24	Tramo 9.....	66
Figura 2.25	Bajante.....	67
Figura 2.26	Línea secundaria modificada para S3.....	68
Figura 2.27	Tramo 10.....	69

Figura 2.28	Tubería C1 a modificarse.....	70
Figura 2.29	Unión del tramo 7 y tubería 4”.....	71
Figura 2.30	Unión tramo 7 con tubería C2.....	72
Figura 2.31	Unión tramo 7 con tubería C1.....	72
Figura 2.32	Material particulado resultado del barrido.....	73
Figura 3.1	Diagramas de momento y cortante en viga principal.....	80
Figura 3.2	Diagramas de momento y cortante en vigas secundarias.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pag.
Tabla 1	Descripción de las sopladoras de botellas PET.....	6
Tabla 2	Descripción de los equipos de generación.....	6
Tabla 3	Demanda total de aire comprimido.....	16
Tabla 4	Accesorios a utilizar en el anillo principal.....	18
Tabla 5	Longitud equivalente de accesorios 4”.....	21
Tabla 6	Longitud equivalente de accesorios 6”.....	25
Tabla 7	Longitud equivalente de accesorios línea secundaria 1.....	31
Tabla 8	Hoja de cálculo para línea secundaria 1.....	31
Tabla 9	Longitud equivalente de accesorios línea secundaria 2.....	32
Tabla 10	Hoja de cálculo para línea secundaria 2.....	33
Tabla 11	Longitud equivalente de accesorios línea secundaria 3.....	34
Tabla 12	Hoja de cálculo para línea secundaria 3.....	34
Tabla 13	Longitud equivalente de accesorios línea secundaria 4.....	36
Tabla 14	Hoja de cálculo para línea secundaria 4.....	36
Tabla 15	Lista de materiales para sistema de aire comprimido.....	40
Tabla 16	Lista de materiales para soportes.....	54
Tabla 17	Lista de materiales para estructura soporte.....	88
Tabla 18	Cotización sistema de aire comprimido.....	91
Tabla 19	Cotización estructura soporte de torres.....	94

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Sistema de Aire Comprimido a rediseñarse.
Plano 2	Nuevo Sistema de Aire Comprimido.
Plano 3	Tramos del Nuevo Sistema de Aire Comprimido.
Plano 4	Tramo 1.
Plano 5	Tramo 2.
Plano 6	Tramo 3.
Plano 7	Tramo 4.
Plano 8	Tramo 5.
Plano 9	Tramo 6.
Plano 10	Tramo 7.
Plano 11	Tramo 8.
Plano 12	Tramo 9.
Plano 13	Tramo 10.
Plano 14	Bajante
Plano 15	Estructura Soporte para Torres.
Plano 16	Vistas de Estructura Soporte para Torres.

## **ANTECEDENTES**

Según versiones de algunos expertos, se avizora un crecimiento limitado en la demanda de botellas PET en el 2009 como consecuencia de la recesión económica durante el primer trimestre del año y un aumento importante durante el 2010, por lo que cambia el panorama del PET.

Conforme a esto, la industria plástica mundial busca nuevas alternativa con tendencia a reducir los costos de envases PET para líquidos, disminuyendo el peso de la botella, desarrollando formatos innovadores entre otras disyuntivas.

La industria plástica ecuatoriana no es ajena a esta realidad y dentro de su planificación se proyecta a incrementar su producción con la ayuda de nuevas tecnologías que le permitan incremento en su producción, un ahorro energético y disminuir los costos por unidad producida.

En tal motivo, la empresa que se hace alusión en esta tesis planea incrementar su producción de botellas PET comprando nuevas máquinas sopladoras que les permitan cubrir la creciente demanda de envases PET en el mercado nacional.

La adquisición de nuevas máquinas sopladoras demanda a su vez el incremento del suministro de aire comprimido a 40 BARES de presión por lo cual el sistema de distribución del fluido compresible actual se tiene que rediseñar.

Entonces el objetivo de rediseñar y montar un nuevo sistema de aire comprimido a 40 BAR de presión para líneas de soplado de botellas es tener las condiciones necesarias para garantizar el abasto de aire comprimido a las sopladoras existentes y a las futuras sopladoras teniendo en cuenta que se proporcione calidad de aire comprimido y un crecimiento ordenado de la empresa.

También se necesita optimizar los espacios dentro de las instalaciones para colocar torres de enfriamiento por lo que se seleccionará el lugar adecuado para construir una plataforma que permita reubicar las torres de enfriamiento existentes y ubicar las futuras torres de los compresores de aire.

Además por medio de un análisis termodinámico se determinará cuál es la capacidad real de enfriamiento que se necesita para mantener el agua de refrigeración de los compresores dentro de los parámetros establecidos por el fabricante.

# CAPÍTULO 1

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del Proceso de soplado

El proceso de estirado - soplado se utiliza en la producción de envases PET (Tereftalato de Polietileno) para orientar a las moléculas en forma bi-axial. Éste ordenamiento permite mejorar propiedades físicas como de barrera para los gases, transparencia y claridad con la finalidad de cumplir las exigencias de una botella empleada en productos líquidos alimenticios y bebidas carbonatadas.

Para esto, las preformas (primera forma de una botella fabricada por inyección) son calentadas aproximadamente 100°C, temperatura a la cual el PET es gomoso, elástico, fácilmente deformable y en un

tiempo determinado crece la altura y diámetro a través del estirado - soplado adoptando múltiples formas.

Una botella de PET se plasma en tres pasos continuados:

- Estirado: La deformación longitudinal de la preforma se genera al introducir el vástago de acero en el cuello de ésta. La operación se realiza en forma simultánea con el siguiente paso descrito y tiene un tiempo de duración estimado de 0.6 segundos.
- Presoplado: se inserta aire a baja presión (6 – 12 BAR) en forma simultánea al ingreso del vástago en el cuello de la preforma lo que acompaña el crecimiento longitudinal y a la vez el incremento diametral.
- Soplado: el moldeo del material PET contra un molde cavado en negativo con la forma deseada se cristaliza cuando se ingresa aire comprimido seco y libre de aceite a alta presión entre 38-40 BAR respectivamente dependiendo del tamaño del envase. A mayor complejidad del diseño de la botella es necesario un tiempo mayor de incidencia del aire a alta presión (típicamente

0.4 segundos). La detención del proceso de biorientación y por consiguiente la rigidez del material PET se logra al impactar éste con el molde que se encuentra a una temperatura aproximada de 4°C. Por último, se produce el escape del aire comprimido (usualmente 0.3 segundos).

Un diagrama de flujo del proceso de soplado en botellas PET se presenta a continuación en forma general:

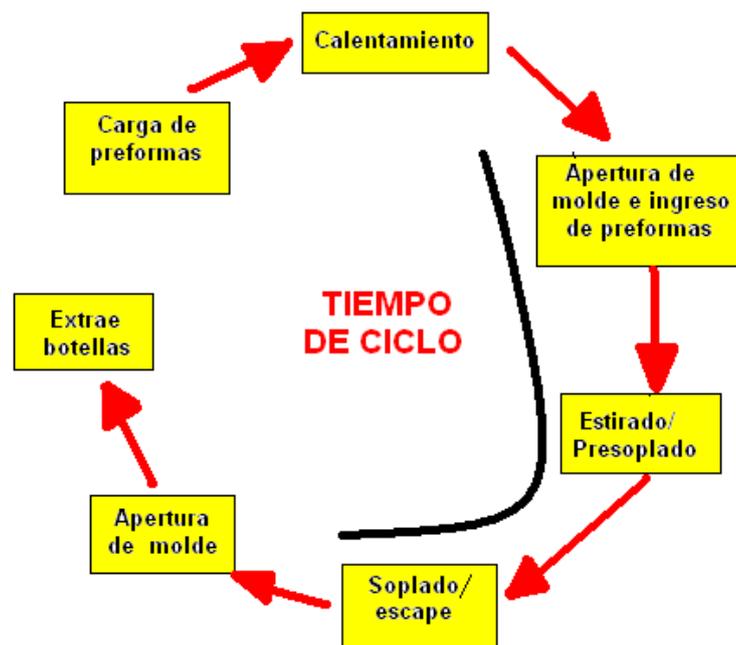


Fig. 1.1 Diagrama de Flujo del Proceso de Soplado

## 1.2. Característica de la Fábrica

Esta es una de las más importantes fábricas productora de envases plásticos en Ecuador. El proceso insignia que los caracteriza es la elaboración de botellas PET para bebidas carbonatadas y líquidos alimenticios. Tiene la capacidad de generar sus propias preformas. Al momento posee tres máquinas sopladoras de plásticos de dos cavidades cada una (S1= sopladora #1, S2= sopladora #2 Y S3= sopladora #3) que trabajan las 24 horas del día.

Tabla # 1

### DESCRIPCIÓN DE LAS SOPLADORAS DE BOTELLA PET

ITEM	EQUIPO	CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO (m <sup>3</sup> /h)	PRESIÓN DE TRABAJO (BAR)
1	Sopladora #1	420	40
2	Sopladora #2	420	40
3	Sopladora #3	420	40

Tabla # 2

### DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE GENERACIÓN

ITEM	EQUIPO	CAPACIDAD ESTIMADA (m <sup>3</sup> /h)	Presión de Aire (BAR)
1	Compresor #1	826	40
2	Compresor #2	826	40



Fig. 1.2 Sopladora #1



Fig. 1.3 Sopladora #2



Fig. 1.4 Sopladora #3

El suministro de aire comprimido se lo hace en forma continua o como la demanda lo requiera a través de dos compresores (C1= compresor #1, C2= compresor #2) con una capacidad individual de  $826\text{m}^3/\text{h}$  a 40 BAR de presión. Estos compresores realizan el suministro de aire a través de una tubería de 2". El fluido al salir de cada etapa de compresión tiene una temperatura de  $150^\circ\text{C}$  por lo que pasa a través del enfriador disminuyendo la temperatura a  $40^\circ\text{C}$ . A continuación el deshumificador se encarga de mejorar la calidad del aire disminuyendo moléculas de agua que éste contiene.



Fig. 1.5 Compresor #1



Fig. 1.6 Compresor #2

Para la distribución del fluido tienen un sistema de aire comprimido en configuración abierta con una línea principal de diámetro 4" de la cual nacen todas las ramificaciones para repartir a las sopladoras. La S1 se alimenta a través de una línea secundaria de 2". La S2 se abastece con una tubería de 2" que se expande a 3" en su empate con la línea principal. La S3 tiene en su totalidad una línea de 2" para aprovisionarse del fluido. Detalles más específicos como longitudes de las líneas de transmisión de aire comprimido los puede encontrar en los planos del 4 al 14.

Es importante destacar la inexistencia en la línea principal de:

- Cuellos de ganso al comenzar las líneas secundarias que alimentan a las sopladoras de botellas.
- Drenadores de condensado para evacuar el agua producto de la condensación del vapor de agua contenido en el aire mientras fluye a lo largo de la tubería.
- Válvulas de retención en las tuberías de suministro de aire desde cada uno de los compresores a la línea principal para permita el paso del fluido en una sola dirección.

- Manómetros estratégicamente colocados que permitan determinar las presiones del aire a través de la tubería.

### **1.3. Demanda Futura**

El incremento demográfico en el Ecuador es una de las principales causas del aumento en la demanda de botellas PET, razón más que suficiente para que las empresas plásticas nacionales visualicen a futuro oportunidades de aumentar su producción a través de inversiones en nuevas máquinas que les permitan convertirse en empresas sólidas y preparadas para suplir la futura demanda.

Por tal motivo, los administradores de esta fábrica han planificado realizar nuevas inversiones para incrementar su producción de botellas PET. Dentro del cronograma planificado consta:

- Adquirir una máquina sopladora de botellas PET de 8 cavidades.
- Traer una máquina sopladora de botellas PET de 4 o 8 cavidades no está totalmente definido.

- Instalar un nuevo compresor de aire (compresor #3) para suministrar aire comprimido a 40 BAR de presión en la línea principal de abastecimiento al soplado de botellas.



Fig. 1.7 Compresor #3

- Adquirir un nuevo compresor de aire (compresor #4) para suministrar aire comprimido a 40 BAR de presión en la línea principal de abastecimiento a las sopladoras de botellas.

#### **1.4. Identificación del Problema**

La próxima llegada de dos nuevas sopladoras de plástico y la incorporación de un nuevo equipo de generación de aire comprimido que ya está en las instalaciones de esta empresa, es la razón por la cual sus directivos deben rediseñar el sistema de aire comprimido a 40 BAR de presión para las sopladoras de botellas PET en pos de un

eficiente abastecimiento y un crecimiento ordenado de sus instalaciones. Esto significa, la red existente no resistirá el aumento del suministro de aire comprimido al doble de su capacidad actual con la puesta en marcha del nuevo compresor con 1500 m<sup>3</sup>/h de caudal de aire comprimido y a la vez se tendrá que extender la red dejando listas las tomas para conectar las nuevas sopladoras. Ahora bien, en esta empresa durante el proceso de construcción del nuevo sistema de aire comprimido a 40 BAR de presión no se detendrá la producción por lo que se tendrá que programar con el jefe de planta para la asignación tiempos y lugar de trabajo.

Al momento el sistema abierto de distribución de aire comprimido abastece a las 3 sopladoras de plástico existentes, pero los operadores de las máquinas no pueden visualizar cual es la presión del aire comprimido en los diferentes tramos de la red ni purgar el vapor de agua condensado en la tubería debido a la disminución de temperatura, es decir, no cumple las especificaciones de un correcto sistema de aire comprimido debido a que:

- No hay manómetros para control de presiones a través del sistema de distribución.

- No hay bajantes con drenadores que permitan evacuar el vapor de agua condensada.
- Ninguna de las tomas de aire comprimido para las sopladoras desde la línea principal nacen de la parte superior de la tubería formando un cuello de ganso.
- La tubería que abastece a la sopladora #3 nace justo de la parte terminal de la línea principal actual de aire comprimido, lo que no es recomendado.
- No existen válvula de retención en cada una de las tuberías que conducen el aire comprimido desde el compresor a la tubería principal de distribución.

A la vez se necesita seleccionar una nueva torre de enfriamiento que mejore el rendimiento de los compresores en la época de calor y construir una estructura soporte sobre el cuarto de compresores para colocar todas las torres de enfriamiento del sistema de compresión de aire.

# CAPÍTULO 2

## 2. REDISEÑO Y MONTAJE

### 2.1. Requerimientos del sistema de aire comprimido.

La empresa productora de botellas PET necesita un sistema de aire comprimido que le permita un eficiente abastecimiento del fluido a 40 BAR de presión tanto para las tres máquinas sopladoras existentes como para las dos nuevas sopladoras que dentro de la planificación de la empresa se adquirirán.

Además, el suministro del fluido compresible aumentará en 3000 m<sup>3</sup>/h con la adición de nuevos compresores al sistema de aire comprimido. Esto permitirá cubrir la demanda generada por las nuevas sopladoras.

A continuación se detalla cual será la demanda total de aire comprimido necesaria en el futura, que básicamente es la suma de los consumos de aire comprimido de las sopladoras de botellas existentes y las sopladoras que se ha planificado adquirir como si fueran las dos máquinas de ocho cavidades cada una que es el caso más crítico.

Tabla # 3

**DEMANDA TOTAL DE AIRE COMPRIMIDO**

<b>SOPLADORA</b>	<b>CONSUMO DE AIRE COMPRIMIDO (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>PRESIÓN DE TRABAJO (BAR)</b>
S1	420	40
S2	420	40
S3	420	40
S4	1500	40
S5	1500	40

Entonces se suma todos los consumos nos da un consumo total de 4260 m<sup>3</sup>/h que es el caudal de aire comprimido que manejará por hora el nuevo sistema de aire comprimido para abastecer a las sopladoras de plástico. Ahora bien, a este valor de caudal necesario para abastecer a las sopladoras de plástico que es el real, se le

adiciona un valor de 10% por pérdidas a lo largo de la tubería. Entonces el 10% equivale a 426 m<sup>3</sup>/h

Así nos quedará un valor de caudal = 4686 m<sup>3</sup>/h

Entonces a este valor de caudal que se lo llamará caudal de diseño, es el que tomaremos como dato para el cálculo del sistema de aire comprimido.

## **2.2. Cálculos del sistema de aire comprimido.**

El dato principal que se tiene para calcular el sistema de aire comprimido es el caudal de diseño ( $Q=4686 \text{ m}^3/\text{h}$ ) y los 40 BAR como presión a la que el fluido debe suministrarse a las sopladoras.

Para este cálculo asumiremos un sistema de aire comprimido en configuración cerrada con una longitud de diseño de 70890 mm que se justificará en el análisis de la trayectoria una vez calculado el diámetro de la tubería. Además se necesita conocer la longitud equivalente de todos los accesorios que intervienen en la línea, para esto, a continuación se presenta una lista detallada de cada uno de ellos:

Tabla #4

**ACCESORIOS A UTILIZAR EN EL ANILLO PRINCIPAL**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>
CODOS 90°	10
CODOS 45°	2
VÁLVULAS DE RETENCIÓN	3
TEE	10

La metodología a utilizar se describe a continuación.

Una vez conocido:

Caudal de diseño  $Q = 4686 \text{ m}^3/\text{h}$

Presión  $P = 40 \text{ BAR}$

Longitud de diseño  $L = 70890 \text{ mm} = 70.89\text{m}$

La viscosidad dinámica y la densidad del aire se seleccionan de la tabla de propiedades físicas del aire a presión normal, tomando en cuenta que Guayaquil está a una presión normal y a una temperatura de 32°C promedio (Ver apéndice A).

Viscosidad dinámica  $\mu = 3.90 \times 10^{-7}$  (lb.s/pie<sup>2</sup>)

Densidad  $\rho = 2.244 \times 10^{-3}$  (slug / pie<sup>3</sup>)

Una vez obtenidos los anteriores datos, el siguiente paso es asumir un diámetro de tubería, luego con la ayuda del diagrama de Moody (ver apéndice A), la ecuación de Darcy – Weisbach y la ecuación de Bernoulli, se encontrará la pérdida de carga a través de la tubería. Si las pérdidas son menores al 10% recomendado, se acepta el diámetro asumido, caso contrario se escoge un nuevo diámetro y se repiten las mismas operaciones hasta encontrar uno que cumpla el margen aceptable de pérdida.

### **Ecuación de Bernoulli**

$$\frac{P_1}{\rho_1} + z_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - H = \frac{P_2}{\rho_2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

P= presión del fluido.

$\rho$ = densidad del fluido.

z = altura del fluido.

v = velocidad del fluido.

g = aceleración de la gravedad.

H = pérdida de carga.

### Ecuación de Dancy – Weisbach

$$H = \lambda \frac{L}{D_i} \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

H = pérdida de carga.

$\lambda$  = coeficiente de pérdida de carga.

L = longitud total de la tubería.

D= diámetro de la tubería.

v= velocidad del fluido.

g= aceleración de la gravedad.

Ahora bien, para ejecutar la primera iteración se asumirá un diámetro de tubería de 4", y a continuación se determinará la longitud equivalente debido a los accesorios.

Tabla # 5

**LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS 4"**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>L. EQUIV. UNITARIO (m)</b>	<b>L. EQUIV. TOTAL (m)</b>
CODOS 90° x 4"	10	3.1	31
CODOS 45° x 4"	2	1.2	2.4
VÁLVULAS DE RETENCIÓN x 2"	3	3.4	10.2
TEE x 4"	10	6.1	61
<b>TOTAL (m)</b>			<b>104.6</b>

Entonces la longitud total ( $L_t$ ) es igual a la suma de la longitud de diseño ( $L$ ) más la longitud equivalente ( $L_{eq}$ ) de todos los accesorios.

$$L_t = L + L_{eq}$$

$$L_t = 70.89\text{m} + 104.6 \text{ m}$$

$$L_t = 175.49 \text{ m}$$

Ahora con el caudal de aire comprimido a utilizarse, se determinará la velocidad del fluido a través de la tubería, considerando que el diámetro interno de la tubería de 4" es de 102.26 mm.

$$Q = A \times v$$

$$Q = \frac{\pi}{4} D_i^2 \times v$$

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times D_i^2} = \frac{4 \times 4686 \frac{m^3}{h}}{\pi \times (0.10226 m)^2}$$

$$v = 570558.02 \frac{m}{h} = 158.49 \frac{m}{s} = 519.97 \frac{ft}{s}$$

Una vez que se ha obtenido la velocidad del fluido a través de la tubería se procederá a calcular el número de Reynolds.

$$Re = \frac{v \times D_i}{\mu}$$

$$Re = \frac{519.97 \frac{ft}{s} \times 0.3355 ft}{3.90 \times 10^{-7} \frac{lb \cdot s}{ft^2}}$$

$$Re = 447308622$$

Para conocer la rugosidad equivalente  $\epsilon$  para tubos nuevos, revisar el apéndice A y elegir la rugosidad equivalente para tubos de acero comercial o hierro forjado que es 0.0005 ft o 0.15 mm.

Luego se encuentra la rugosidad relativa

$$\frac{\xi}{D} = \frac{0.15}{102.26}$$

$$\frac{\xi}{D} = 0.00147$$

Entonces, encontrado el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería con la ayuda del diagrama de Moody, se determinará el factor de fricción  $\lambda$ .

$$\lambda = 0.0225 \text{ (ver apéndice A)}$$

Con los valores calculados y con la ecuación de Darcy – Weisbach, se calculará las pérdidas de carga a través del sistema de aire comprimido.

$$H = \lambda \frac{L}{D_i} \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$H = 0.0225 \frac{175.49m}{0.10226m} \frac{\left(158.49 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$H = 49434.92m = 162187.6ft$$

En la ecuación de Bernoulli se hace una comparación entre dos puntos del circuito. Por tal motivo, se puede suprimir los términos de comparación en altura entre dos puntos porque el diferencial de altura debe ser despreciable. Otro término que se puede cancelar es la velocidad que debe ser la misma en todos los puntos. Y también se asume que la densidad del aire en todo el sistema no cambia. De acuerdo a estas consideraciones la expresión se reduce a:

$$\frac{P_1}{\rho} - H = \frac{P_2}{\rho}$$

$$\Delta P = H \times \rho$$

Ahora con esta expresión se encuentra la caída de presión a través de la línea principal de distribución de aire comprimido.

$$\Delta P = H \times \rho$$

$$\Delta P = 162187.6 \text{ ft} \times 2.244 \times 10^{-3} \frac{\text{slug}}{\text{ft}^3}$$

$$\Delta P = 363.95 \frac{\text{slug}}{\text{ft}^2} = 11719.16 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} = 5.61 \text{ BAR}$$

$$\% \Delta P = 14.03\%$$

Este porcentaje de caída de presión supera el 10% de pérdidas que es permisible tener cuando se diseña un sistema como este; por lo que a continuación se empieza otra iteración utilizando un diámetro de tubería de 6".

Para esto se comienza encontrando las longitudes equivalentes respecto a los accesorios.

Tabla # 6

**LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS 6"**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	L. EQUIV. UNITARIO (m)	L. EQUIV. TOTAL (m)
CODOS 90° x 6"	10	4,3	43
CODOS 45° x 6"	2	2,1	4,2
VÁLVULAS DE RETENCIÓN x 2"	3	3.4	29,4
TEE x 6"	10	9,2	92

<b>TOTAL (m)</b>	168.6
------------------	-------

Entonces la longitud total ( $L_t$ ) es igual a la suma de la longitud de diseño ( $L$ ) más la longitud equivalente ( $L_{eq}$ ) de todos los accesorios.

$$L_t = L + L_{eq}$$

$$L_t = 70.89\text{m} + 168.6 \text{ m}$$

$$L_t = 239.49 \text{ m}$$

Ahora con el caudal de aire comprimido a utilizarse, se determinará la velocidad del fluido a través de la tubería, considerando que el diámetro interno de la tubería de 6" es de 154.08 mm.

$$Q = A \times v$$

$$Q = \frac{\pi}{4} D_i^2 \times v$$

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times D_i^2} = \frac{4 \times 4686 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{\pi \times (0.15408 \text{ m})^2}$$

$$v = 251315.84 \frac{\text{m}}{\text{h}} = 69.81 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 229.04 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$$

Una vez que se ha obtenido la velocidad del fluido a través de la tubería se procede a calcular el número de Reynolds.

$$Re = \frac{v \times D_i}{\mu}$$

$$Re = \frac{229.04 \frac{ft}{s} \times 0.51 ft}{3.90 \times 10^{-7} \frac{lb \cdot s}{ft^2}}$$

$$Re = 299513846$$

Para conocer la rugosidad equivalente  $\epsilon$  para tubos nuevos, revisar el apéndice A y elegir la rugosidad equivalente para tubos de acero comercial o hierro forjado que es 0.0005 ft o 0.15 mm.

Luego se encuentra la rugosidad relativa

$$\frac{\xi}{D} = \frac{0.15}{154.08}$$

$$\frac{\xi}{D} = 0.00097$$

Entonces, encontrado el número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería con al ayuda del diagrama de Moody, se determinará el factor de fricción  $\lambda$ .

$$\lambda = 0.02 \text{ (ver apéndice A)}$$

Con los valores calculados y con la ecuación de Darcy – Weisbach, se calculará las pérdidas de carga a través del sistema de aire comprimido.

$$H = \lambda \frac{L}{D_i} \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$$H = 0.02 \frac{239.49m}{0.15408m} \frac{\left(69.81 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}}$$

$$H = 7721.60m = 25333.26 \text{ ft}$$

En la ecuación de Bernoulli se hace una comparación entre dos puntos del circuito. Por tal motivo, se puede suprimir los términos de comparación en altura entre dos puntos porque el diferencial de altura debe ser despreciable. Otro término que se puede cancelar es la velocidad que debe ser la misma en todos los puntos. Y también se

asume que la densidad del aire en todo el sistema no cambia. De acuerdo a estas consideraciones la expresión se reduce a:

$$\frac{P_1}{\rho} - H = \frac{P_2}{\rho}$$

$$\Delta P = H \times \rho$$

Ahora con esta expresión se encuentra la caída de presión a través de la línea principal de distribución de aire comprimido.

$$\Delta P = H \times \rho$$

$$\Delta P = 25333.26 \text{ft} \times 2.244 \times 10^{-3} \frac{\text{slug}}{\text{ft}^3}$$

$$\Delta P = 56.85 \frac{\text{slug}}{\text{ft}^2} = 1830.50 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^2} = 0.88 \text{ BAR}$$

$$\% \Delta P = 2.2\%$$

Como esta caída de presión es menor al 10% de las pérdidas, es aceptable. Entonces se utilizará una tubería de 6" en la línea principal de distribución de aire comprimido.

Para hacer el cálculo de las líneas secundarias se seguirá una metodología similar a la anterior, pero con la diferencia que en este caso se tomará en cuenta las diferencias de alturas entre el punto inicial y final de la línea secundaria. La velocidad y la densidad se seguirá asumiendo que es la misma en todos los puntos. Entonces la ecuación de Bernoulli se reduce a:

$$\frac{P_1}{\rho} + z_1 - H = \frac{P_2}{\rho} + z_2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \left[ z_1 - z_2 \right] = H$$

$$\Delta P = \left[ H - \left[ z_1 - z_2 \right] \right] \rho$$

Para el cálculo de las líneas secundarias 1 que abastecen del fluido a las sopladoras se asumirá un diámetro de 3". En vista de que son varias líneas secundarias se tomará de referencia el caso extremo, es decir, el que tenga mayor longitud, mayores accesorios y para la máquina sopladora de PET que necesite el mayor caudal equivalente a 1500m<sup>3</sup>/h. En esta ocasión se usará una hoja de cálculo en Excel que nos facilite las operaciones.

Tabla #7

**LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS LÍNEA  
SECUNDARIA 1**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	L. EQUIV. UNITARIO (m)	L. EQUIV. TOTAL (m)
CODOS 90° x 3"	5	2.1	10.5
VÁLVULAS DE BOLA	1	0.3	0.3
FILTRO	1	3.4	3.4
<b>TOTAL (m)</b>			<b>14.2</b>

Tabla #8

**HOJA DE CÁLCULO PARA LÍNEA SECUNDARIA 1**

L (m)		8	
Leq (m)		14.2	
Lt (m)		22.2	
Q (m <sup>3</sup> /h)		1500	
D (m) - (ft)		0.07792	0.255642
v (m/h)		314559.26	
v (m/s)		87.377572	
v (ft/s)		286.67183	
u (lb.s/ft <sup>2</sup> )		3.9E-07	
Re		187911383	
E (mm)		0.045	
E/D		0.0005775	
$\lambda$		0.0175	
H(m) - (ft)		1940.1845	6365.415
z1 (m)		1	3.28083
z2 (m)		3.8	12.46715
$\rho$ (slugs/ft <sup>3</sup> )		0.002244	
$\Delta P$ (slug/ft <sup>2</sup> ) - (BAR)		14.304606	0.22054

% $\Delta$ P	0.5513512
--------------	-----------

Como se obtuvo un porcentaje de pérdidas menor al 10% que es el recomendado, se puede afirmar que la línea secundaria par un caudal de 1500 m<sup>3</sup>/h se fabricará de 3”.

Para verificar las pérdidas de presión en la línea secundaria de la sopladora que necesita un caudal de 420 m<sup>3</sup>/h (línea secundaria 2) se muestra la siguiente hoja de cálculo. La tubería a comprobar si es la adecuada es de diámetro 2” .

Tabla #9

**LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS LÍNEA  
SECUNDARIA 2**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	L. EQUIV. UNITARIO (m)	L. EQUIV. TOTAL (m)
CODOS 90° x 2”	5	1.5	7.5
VÁLVULAS DE BOLA	1	1.8	1.8
FILTRO	1	3.4	3.4
<b>TOTAL (m)</b>			12.7

Tabla #10

**HOJA DE CÁLCULO PARA LÍNEA SECUNDARIA 2**

L (m)		6	
Leq (m)		12.7	
Lt (m)		18.7	
Q (m <sup>3</sup> /h)		420	
D (m) - (ft)		0.05248	0.172178
v (m/h)		194164.91	
v (m/s)		53.934697	
v (ft/s)		176.95111	
u (lb.s/ft <sup>2</sup> )		3.9E-07	
Re		78120720	
E (mm)		0.045	
E/D		0.0008575	
$\lambda$		0.019	
H(m) - (ft)		1003.7807	3293.234
z1 (m)		1	3.28083
z2 (m)		3.8	12.46715
$\rho$ (slugs/ft <sup>3</sup> )		0.002244	
$\Delta P$ (slug/ft <sup>2</sup> ) - (BAR)		7.4106311	0.114253
% $\Delta P$		0.2856325	

De igual manera y siguiendo la misma metodología anterior se procede a calcular el diámetro de la tubería que conducirá el fluido desde cada compresor a la línea principal de distribución (línea secundaria 3). Para este caso se asume que la velocidad y densidad del aire comprimido no cambia a lo largo de la tubería. Se tomará en cuenta la altura inicial y final de la línea. En vista de que el compresor de mayor caudal es de 1500m<sup>3</sup>/h, este se tomará como el caudal para

la determinación del diámetro. Se usará una hoja de cálculo en Excel para facilitar las operaciones. En esta primera iteración se asumirá un diámetro de 2”.

Tabla #11

**LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS LÍNEA  
SECUNDARIA 3**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>L. EQUIV. UNITARIO (m)</b>	<b>L. EQUIV. TOTAL (m)</b>
CODOS 90° x 2”	2	1.5	3
VÁLVULAS DE RETENCIÓN x 2”	1	3.4	3.4
<b>TOTAL (m)</b>			6.4

Tabla #12

**HOJA DE CÁLCULO PARA LÍNEA SECUNDARIA 3**

L (m)	5	
Leq (m)	6.4	
Lt (m)	11.4	
Q (m <sup>3</sup> /h)	1500	
D (m) - (ft)	0.05248	0.172178
v (m/h)	693446.1	
v (m/s)	192.6239	
v (ft/s)	631.9682	
u (lb.s/ft <sup>2</sup> )	3.90E-07	
Re	2.79E+08	

E (mm)	0.045	
E/D	0.000857	
$\lambda$	0.0175	
H(m) - (ft)	7189.033	23586
z1 (m)	1	3.28083
z2 (m)	3.8	12.46715
$\rho$ (slugs/ft <sup>3</sup> )	0.002244	
$\Delta P$ (slug/ft <sup>2</sup> ) - (BAR)	52.94759	0.816316
% $\Delta P$	2.040791	

Debido a que el porcentaje de pérdidas de presión a lo largo de la tubería es menor al 10% recomendado, el diámetro de 2" para esta conexión es el adecuado.

A continuación también se presentará una hoja de cálculo donde se verifica el porcentaje de pérdidas a través de la tubería de 2" que une a cada compresor con la línea principal de distribución (línea secundaria 4). La metodología es igual al anterior cálculo y se asumen las mismas condiciones a diferencia del caudal que en esta vez es de 826 m<sup>3</sup>/h.

Tabla #13

**LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS LÍNEA  
SECUNDARIA 4**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	L. EQUIV. UNITARIO (m)	L. EQUIV. TOTAL (m)
CODOS 90° x 2"	2	1.5	3
VÁLVULAS DE RETENCIÓN x 2"	1	3.4	3.4
<b>TOTAL (m)</b>			6.4

Tabla #14

**HOJA DE CÁLCULO PARA LÍNEA SECUNDARIA 4**

L (m)	6	
Leq (m)	6.4	
Lt (m)	12.4	
Q (m <sup>3</sup> /h)	826	
D (m) - (ft)	0.05248	0.172178
v (m/h)	381857.7	
v (m/s)	106.0716	
v (ft/s)	348.0038	
u (lb.s/ft <sup>2</sup> )	3.9E-07	
Re	1.54E+08	
E (mm)	0.045	
E/D	0.000857	
$\Lambda$	0.019	
H(m) - (ft)	2574.426	8446.255

z1 (m)	1	3.28083
z2 (m)	3.8	12.46715
$\rho$ (slugs/ft <sup>3</sup> )	0.002244	
$\Delta P$ (slug/ft <sup>2</sup> ) - (BAR)	18.97401	0.292531
% $\Delta P$	0.731327	

Como el porcentaje de pérdidas es menor al 10% de pérdidas recomendado, entonces se puede decir que el diámetro de 2" es correcto.

Después de hacer el cálculo de diámetros en las tuberías para todo el sistema de aire comprimido a 40 BARES de presión, y verificando sus respectivas pérdidas, se consigue decir que en el caso más crítico desde que sale el fluido del compresor, pasa a la línea principal y luego continua a través de la línea secundaria hasta la máquina sopladora de botellas PET se genera una pérdida de 1.92 BARES que equivale al 4.79% de pérdidas, aceptable según la norma de diseño.

Calculados ya los diámetros de las tuberías, entonces se procede a calcular la cédula de los tubos a utilizar para las líneas. En este caso se determina la cédula de la tubería de 6" para la línea principal de distribución. El material a utilizar es acero A 106 que tiene una resistencia de 20000 lb/in<sup>2</sup> (ver apéndice A). La presión interna de la

tubería es de 600 lb/in<sup>2</sup>. Con estos datos y utilizando la siguiente ecuación, se determina la cédula de la tubería.

$$SN = 1000 \frac{P_i}{S} \rightarrow \text{cédula}$$

$P_i = \text{presión interna}$

$S = \text{resistencia del material}$

$$SN = 1000 \frac{600}{20000}$$

$$SN = 30$$

Según el resultado de la ecuación anterior se obtiene que la cédula de la tubería es de 30. Ahora como en el mercado solo hay cédula 20, 40 y 80, entonces se selecciona el número de cédula inmediato superior a 30 que es el de 40. Por lo cual para todos los diámetros se utiliza tuberías cédula 40.

### 2.3. Trayectoria del sistema de aire comprimido.

En el sistema de aire comprimido se ha decidido que la red principal tenga una configuración cerrada para que las presiones de las tuberías sean igual a lo largo de la línea, esto es, se construirá un

anillo de tubería para el transporte del fluido que circunde a las sopladoras de botellas plásticas PET y tenga facilidad para el suministro desde los compresores. La longitud estimada del anillo principal de distribución de aire comprimido es de 141780 mm. Como se está hablando de que es una configuración cerrada, el fluido puede ir por las dos direcciones; debido a esto, la longitud de tubería necesaria para diseñar el nuevo circuito es de la mitad de la longitud total del anillo, es decir, 70890 mm.

Para mayor detalle de la trayectoria del circuito ver el plano 2 y 3 donde se encuentra el esquema del circuito.

#### **2.4. Procedimientos de construcción del sistema de aire comprimido.**

Una vez que anteriormente se ha calculado el diámetro de la tubería principal, de las líneas secundarias y de las líneas que conducen el fluido desde los compresores a la línea principal, se presentará a continuación el listado de materiales que a utilizar para comenzar la construcción.

Tabla #15

**LISTA DE MATERIALES PARA SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO**

<b>ITEM</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>Cant</b>	<b>unid</b>
1	accesorio T 6" cédula 40 para soldar	9	unid
2	brida ciega de 2" x 300	1	unid
3	brida ciega de 3" x 300	3	unid
4	brida ciega de 6" x 300	1	unid
5	brida soldable de 2"x300	8	unid
6	brida soldable de 3"x300	3	unid
7	brida soldable de 6"x 300	11	unid
8	carga de argón	4	unid
9	codo 1/2" x 90 cédula 40	9	unid
10	codo 2" x 90 cédula 40 para soldar	4	unid
11	codo 3" x 90 cédula 40 para soldar	6	unid
12	codo 4" x 90 cédula 40 para soldar	1	unid
13	codo 6" x 90 cédula 40 para soldar	2	unid
14	codo 6" x 45 cédula 40 para soldar	4	unid
15	Diluyente	6	galon
16	drenadores de agua para línea de aire comprimido 600psi 1/2" NPT	3	unid
17	electrodo E6010 x 1/8"	30	kg
18	electrodo E7018 x 1/8"	45	kg
19	electrodo Ø 3/32 para TIG	20	unid
20	neplo 1/2" x 4" cédula 40	3	unid
21	neplo 1/2" x 6" cédula 40	21	unid
22	perno 3/4" x 5" completo	48	unid
23	perno 5/8" x 3" completo	88	unid
24	pintura blanca esmalte, marca unidas	5	galon
25	pintura gris mate anticorrosiva	4	galon
26	reducción campana 2"x1/2" cédula 40 para soldar	3	unid
27	reducción campana 4" x 2" cédula 40 para soldar	1	unid
28	reducción campana 6"x2" cédula 40 para soldar	1	unid
29	reducción campana 6"x3" cédula 40 para soldar	4	unid
30	reducción campana 6"x4" cédula 40 para soldar	5	unid
31	termómetros de dial de 4", 800 psi, vertical, conexión 1/2".	3	unid

32	tubo A 106 2" cédula 40	24	m
33	tubo A 106 3" cédula 40	6	m
34	tubo A 106 4" cédula 40	12	m
35	tubo A 106 6" cédula 40	108	m
36	válvula 1/2" de acero al carbono	6	unid

Luego de conocer los materiales necesarios se explicará las actividades a realizar para comenzar la construcción del sistema de aire comprimido.

La preparación superficial es la primera acción a ejecutar para unir los tubos por medio de soldadura y bridas respectivamente. El tipo de junta para tuberías más recomendado por el Piping Handbook es junta a tope. El tamaño del bisel depende del espesor del tubo (ver apéndice A). Así, con herramientas mecánicas se procede a retirar la pintura del tubo en el lado terminal a unir con el otro tubo. Luego con herramientas de desbaste (amoladora con disco de pulir) se debe hacer un bisel en V con las siguientes características:

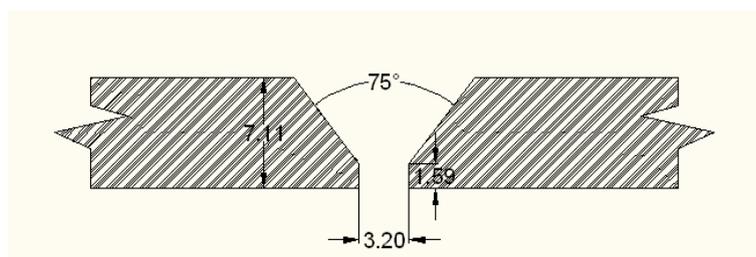


Fig. 2.1 Ángulo de bisel para tubo 6".

En la figura anterior se muestra un ángulo de  $75^\circ$  para el bisel. Según la tabla del apéndice este ángulo tiene un rango de operatividad de acuerdo al ancho de pared del tubo. Por lo que estos  $75^\circ$  se deben usar también para los tubos de 4", 3" y 2".

Luego haciendo alusión al proceso de soldadura, es necesario aclarar una condición importante antes de escoger el proceso de soldadura como lo es evitar que en el interior del tubo quede escoria por el cordón de raíz. Esta escoria es peligrosa porque puede desprenderse y ocasionar problemas durante el soplado de botellas. Para contrarrestar esto, se va a utilizar un cordón de raíz hecho con un proceso TIG y así evitar la formación de escoria. Se utilizará varillas 70S-6 de  $\varnothing 3/32$ " fabricando un cordón de raíz de aproximadamente 3.5mm de espesor.

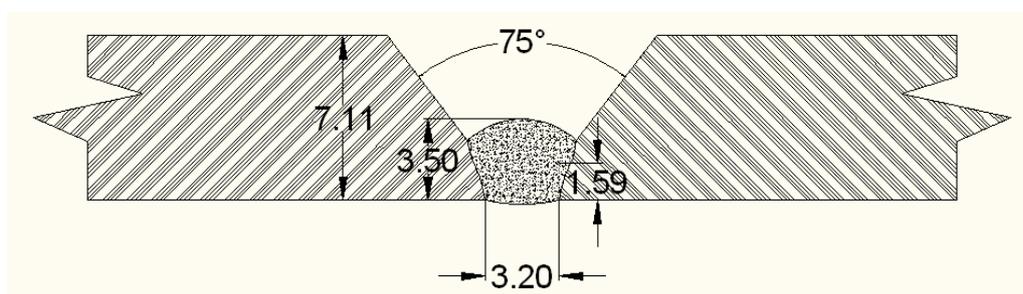


Fig. 2.2 Pase de raíz.

Luego se procederá a desbastar la rugosidad de la superficie del cordón de raíz con la ayuda de herramienta mecánica, para seguidamente hacer un pase caliente con soldadura de arco eléctrico usando electrodo 6010 dejando un espesor aproximado de 1.5mm de cordón.

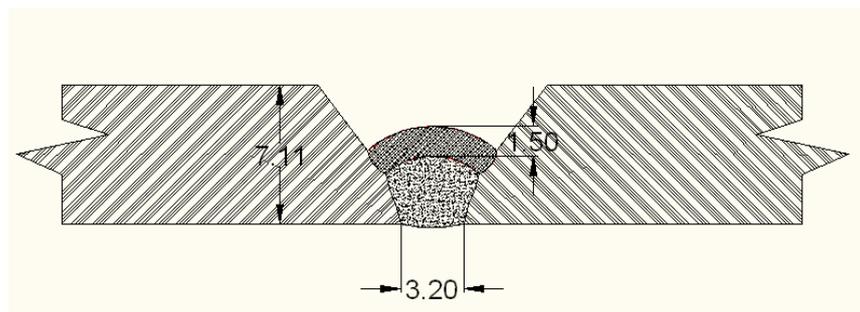


Fig. 2.3 Pase caliente

Después de este pase caliente, es necesario realizar una limpieza superficial de la escoria, para luego dar el último pase de soldadura empleando un electrodo 7018. Este cordón deberá tener aproximadamente 4mm de espesor.

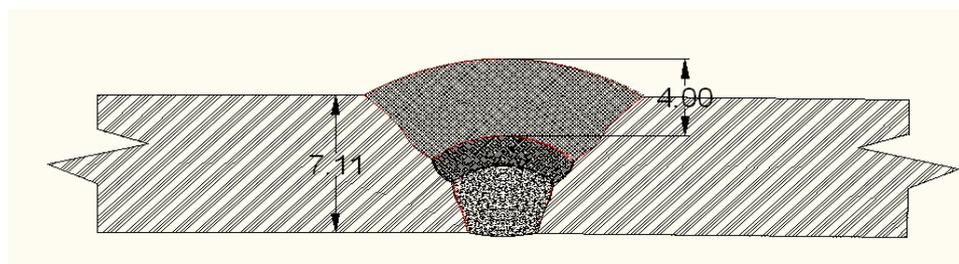


Fig. 2.4 Cordón de acabado.

Cabe destacar que se realizará el ensayo no destructivo con tintas penetrantes en el cordón de raíz. Esto nos permitirá descartar posibles porosidades o fisuras inamissibles en este trabajo.

Una vez establecido como será el proceso de construcción de las juntas soldadas, se tiene previsto que para construir el anillo de aire comprimido, se dividirá en 10 tramos (ver plano 3). Con los tramos se podrá trabajar a nivel del suelo, dando mayor facilidad para alinear los tubos y el soldador tendrá una posición de trabajo más cómodo; se recomienda construir tramos de aproximadamente 18m de largo. Para identificar los diferentes tramos, configuración y dimensiones se recomienda ver planos del 3 al 14.

En cuanto a las bajantes, se deben construir tres unidades. Cada una consta de un manómetro que le permitan verificar la presión del anillo de aire comprimido. Las bajantes se ubicarán, dos en las esquinas más alejadas al suministro de los compresores y la tercera en la unión de la tubería actual a reutilizar y la nueva tubería bajo la toma de aire de la máquina sopladora # 2. Para observar la disposición de los accesorios en las bajantes ver plano 14.

El anillo de aire comprimido para ser fijado en su posición dispuesta en el plano hay que construir soportes que permitan sostener y fijar la tubería. De acuerdo a un análisis del área, se tendrán que fabricar cinco tipos de soportes diferentes que se detalla a continuación.

- Para el tramo 1, 7 y tramo 8 existen las cerchas del galpón que se puede aprovechar. Estas cerchas están dispuestas así:

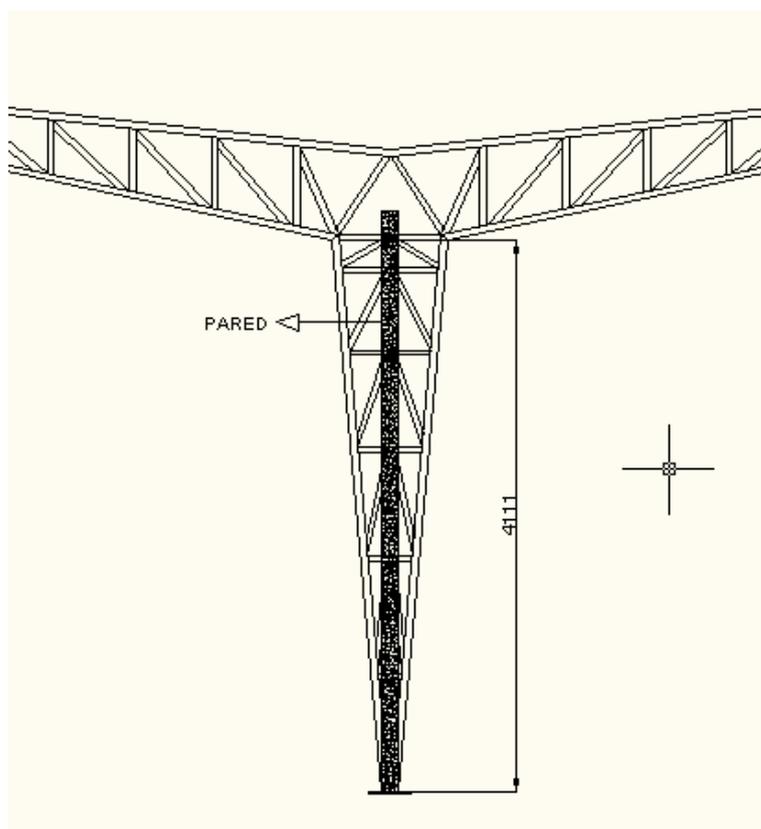


Fig. 2.5 Cercha dispuesta para tramo 1 ,7 y 8.

Entonces se aprovecha esta cercha para acondicionarla de tal forma que nos permita ubicar la línea principal a una altura de 3850mm desde el piso. Esta nueva cercha tiene que asemejarse a la estructura de la cercha actual para no desentonar con la estética general de la planta. En total son siete cerchas modificadas a ejecutar para los tramos mencionados. En la figura 2.6 se puede observar como se ha planificado hacerla.

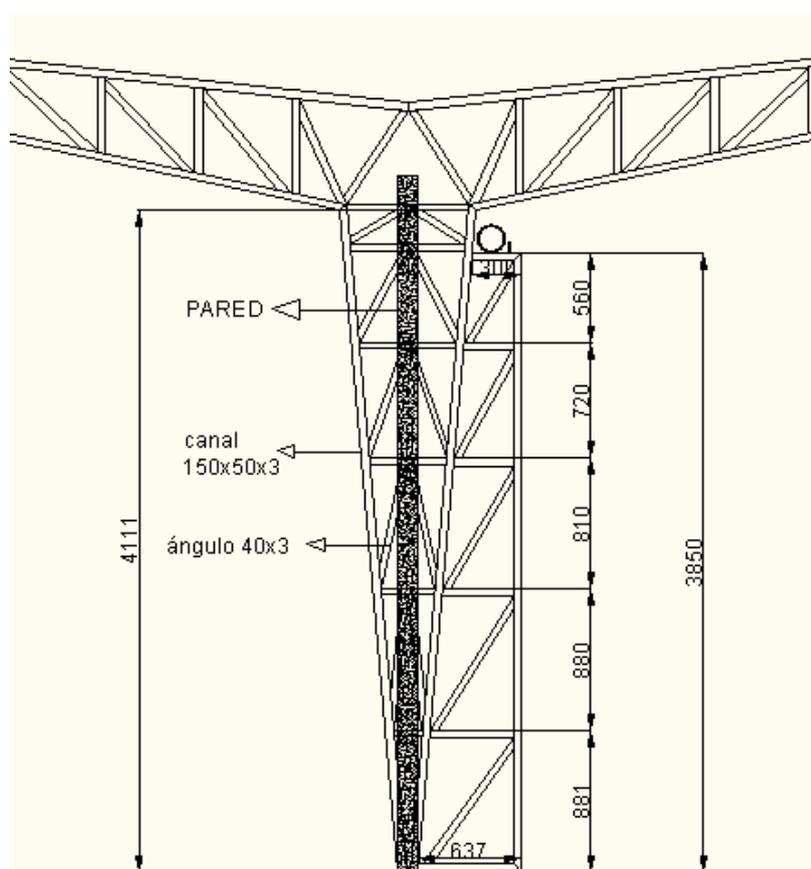


Fig. 2.6 Cercha modificada.

- Para el tramo 2, 3, 4 y 10 se va a fabricar un soporte tipo marco que se unirá a las columnas metálicas existentes por medio de soldadura. En total se tendrían que fabricar 12 soportes. Para mejor comprensión en la figura 2.7 se definen las medidas del soporte y también como se divisará pegado a la columna..

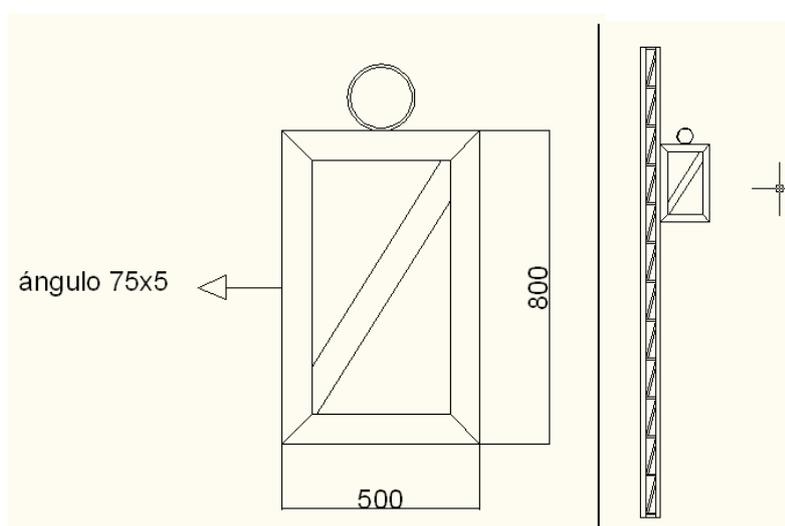


Fig. 2.7 Soporte para tramo 2, 3, 4 y 10.

- Como los tramos 5 y 6 atraviesan cada uno un galpón en forma transversal, entonces no se pueden pegar soportes ni construir nuevos soportes desde el suelo porque en esta área se ubican algunas máquinas sopladoras de botellas y otra parte funciona como área de carga. Para esto se ha decidido soportar la tubería colocando un soporte unido a la columna inicial y otro

en la columna terminal del galpón. A través de toda la luz del galpón se utilizará cables para sostener la tubería. A continuación se expone el cálculo para determinar el tipo de cable y la longitud necesaria.

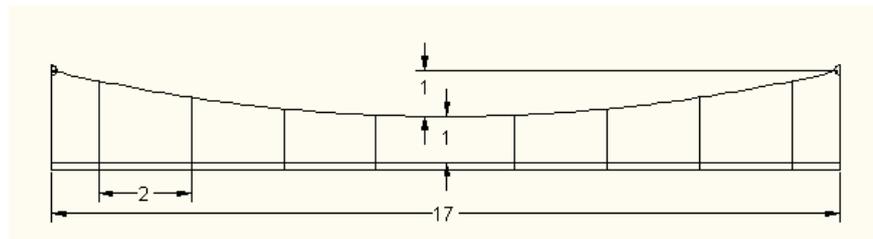


Fig. 2.8 Cable soporte para tramo 5 (cotas en metros)

Primero se calculará la carga total que tienen que soportar los cables en el tramo 5. Esta carga la componen el peso de la tubería de 6" y el peso del aire comprimido a 40 BARES contenido en aproximadamente 17 m de tubería.

Peso de la tubería de 6" = 28.26 Kg/m

Peso del aire comprimido  $m = \frac{P \times V}{R \times T} = 0.853 \text{ Kg/m}$

$w = p.tubería + p.aire comprimido$

$w \approx 30 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$

La carga total para el tramo CB (fig. 2.9) del cable está dada por:

$$W = w \times x_B$$

$$W = 30 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 8.520 \text{m}$$

$$W = 255.6 \text{ Kg}$$

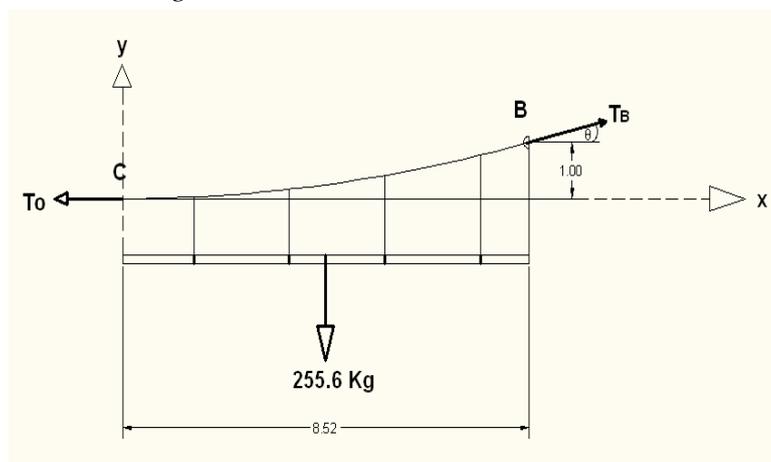


Fig. 2.9 Tramo CB.

Se suman los momentos con respecto a B y se escribe:

$$\leftarrow \sum M_B = 0$$

$$\left( W \times \frac{x_B}{2} \right) - T_o \times 1 \text{m} = 0$$

$$255.6 \times 4.26 - T_o \times 1 \text{m} = 0$$

$$T_o = 1089 \text{ Kg}$$

A partir del triángulo de fuerzas (fig. 2.10) se obtiene:

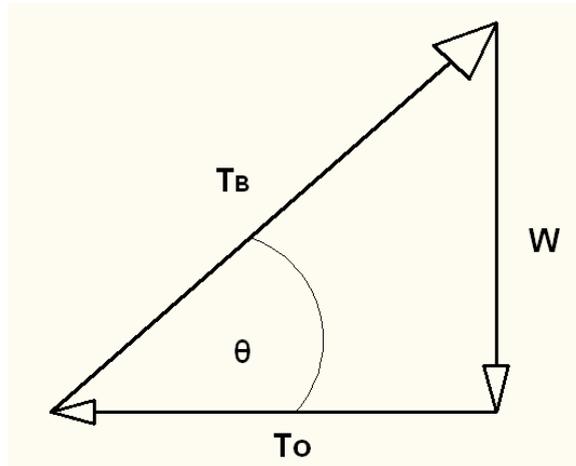


Fig. 2.10 Triángulo de fuerzas.

$$T_B = \sqrt{T_o^2 + W^2}$$

$$T_B = 1119 \text{ Kg}$$

La pendiente del cable en B la se calcula a partir del triángulo de fuerzas:

$$\tan \theta = \frac{W}{T_o}$$

$$\tan \theta = 0.24$$

$$\theta = 13.5^\circ$$

La longitud del cable ( $s_B$ ) se la determina con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$s_B = x_B \left[ 1 + \frac{2}{3} \left( \frac{y_B}{x_B} \right)^2 + \dots \right]$$

$$s_B = 8.52m \left[ 1 + \frac{2}{3} \left( \frac{1}{8.52} \right)^2 \right]$$

$$s_B = 8.6m \quad \text{LONGITUD} = 2S_B = 17.2m$$

Como se necesita una cierta longitud adicional para doblar el cable y sujetarlo con grilletes en cada argolla de los extremos, a  $s_B$  se lo modifica por 18.7 m que será la longitud necesaria para el soporte. Ahora bien, se necesita cable también para sujetar la tubería con el cable parabólico. Este cable se ubicará cada 2m de distancia y en cada uno se utilizará un tensor que le facilite el montaje. El tensor mide aproximadamente 0.5m y la longitud promedio de cable necesaria para unir el tensor con el cable y el tensor con el tubo es de 2m. Si se implementarán 8 templadores serían 16m de cable adicional. En total para el tramo 5 se necesitarán 34.7m de cable.

Para el tramo 6 se necesita una cantidad semejante porque la distancia de luz entre el galpón para el tramo 5 y 6 es bastante similar.

El diámetro del cable que necesitamos para esta ocasión se lo calcula de la siguiente manera tomando en cuenta que se va a utilizar un cordón galvanizado de puente cuya resistencia última

$$\sigma_{ult} = 13600 \text{ Kg/cm}^2.$$

$$A = \frac{3T_B}{\sigma_{ult}}$$

$$A = \frac{3 \times 1119 \text{ Kg}}{13600 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A = 0.25 \text{ cm}^2$$

$$\frac{\pi \times d^2}{4} = 0.25$$

$$d = \sqrt{\frac{0.25 \times 4}{\pi}}$$

$$d = 0.6 \text{ cm}$$

Entonces se requiere un cable de 1/4" de diámetro pero utilizaremos de 3/8" como seguridad.

- En la línea secundaria de aire comprimido que abastece a sopladora #3, se colocarán tres soportes tipo ménsula que rigidicen la tubería para impedir su vibración causada por el golpe de ariete del aire comprimido durante el proceso de soplado. A su vez para fijar la tubería al soporte se emplearán abrazaderas de 2". En la figura 2.11 se indica la disposición de los soportes.

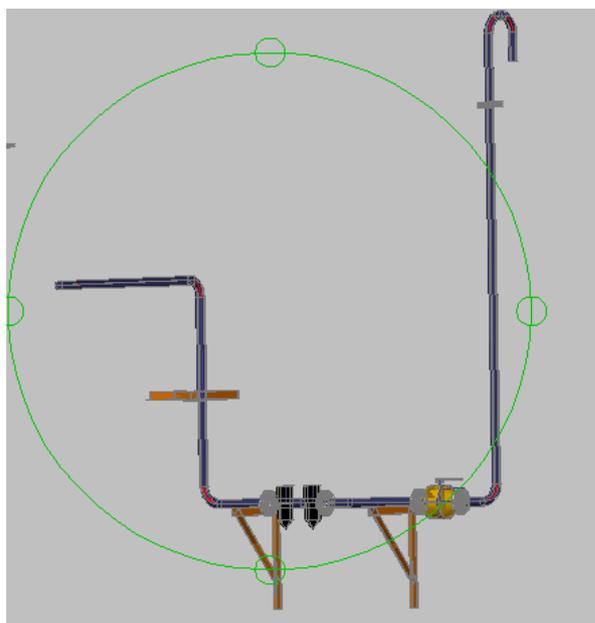


Fig. 2.11 Soportes de línea secundaria sopladora #3.

Las dimensiones de los soportes se pueden ver en la siguiente figura 2.12.

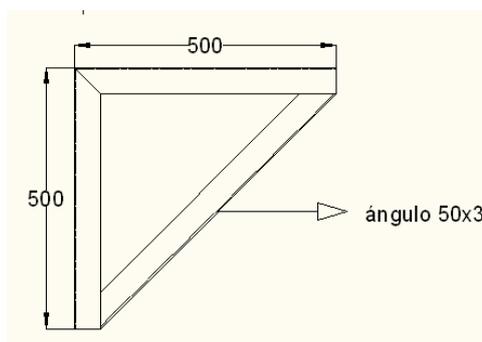


Fig. 2.12 Dimensiones de soporte

Una vez que se ha establecido los tipos de soportes a utilizar en el montaje del sistema de aire comprimido, a continuación se mostrará la lista de materiales necesaria para fabricarlos.

Tabla #16

### LISTA DE MATERIALES PARA SOPORTES

ITEM	MATERIALES	Cant	unid
1	ángulo laminado 75x6	12	unid
2	ángulo laminado 40x3	21	unid
3	ángulo laminado 50x3	2	unid
4	cable de acero 3/8"	147	m
5	canal 150x50x3	7	unid
6	disco de corte 7" x 1/16"	2	unid
7	electrodo E6010	5	Kg
8	electrodo E7018	5	Kg
9	grilletes para cable 3/8"	88	unid
10	placa ASTM A-36 200x200x5	8	unid
11	templadores reforzados para cable 3/8"	20	unid

## 2.5. Montaje del sistema de aire comprimido.

Para realizar el montaje de los elementos que componen el sistema de aire comprimido se ha diagramado un cronograma de fabricación y montaje (Apéndice B) en el que se enuncia una serie de pasos. Las actividades correspondientes a la fabricación (tipo de junta, proceso de unión) se trató en el ítem anterior. A continuación se detallará los pasos correspondientes al montaje del sistema.

- Montaje de cerchas en tramo 1, 7 y 8.



Fig. 2.13 Montaje de cercha tramo 1

Como primer paso hay que tomar nivel de manguera para ubicar las cerchas a la misma altura. Por medio de soldadura se une las nuevas cerchas a las existentes. De esta manera se podrá colocar en forma correcta en la parte superior de la cercha la tubería de 6".

- Montaje tramo 1.



Fig. 2.14 Tramo 1 de tubería 6".

En el montaje del tramo 1 el primer paso es alinear la tubería en el suelo, luego con la ayuda de tecles, se procede a levantar el tramo de tubería hasta ubicarlo en la posición correcta.

- Montaje soportes para tramo 2, 3, 4 y 10.



Fig. 2.15 Montaje soporte tramo 3

Una vez cogido el nivel se procede a soldar el soporte a la cercha existente. Se generará la junta soldando por ambos lados de la parte del soporte que pega a la cercha a través de tres cordones

intermitentes de 120mm de largo por lado distribuidos uniformemente.

- Montaje tramo 2.



Fig. 2.16 Montaje tramo 2.

Para el montaje de este tramo se utiliza un montacargas que agarra al tramo de la parte central y en cada uno de los extremos se asegura la tubería con tecles. Luego de llegar a la ubicación final se tiene que unir este tramo con el tramo 1 a través de bridas. De similar forma al otro lado queda lista la brida para empatar de forma rápida el tramo 5.

- Montaje tramo 3.



Fig. 2.17 Montaje tramo 3.

Para este montaje hasta asentar la tubería en los soportes se tiene que parar momentáneamente la sopladora #3 y desconectar parte de la tubería de 2" que le abastece de aire comprimido. Luego con la ayuda de un montacarga que se coloca en el centro de la tubería y sujeta con cabos en los extremos se iza y coloca en su sitio. Después de nuevo se monta la parte de tubería de 2" que se retiró para que continúe funcionando la sopladora #3.

- Montaje tramo 5.



Fig. 2.18 Soporte final del tramo 3.

Como se puede apreciar en la figura 2.18 este soporte y otro similar se encuentra a 17 m aproximadamente es donde en forma provisional se asienta el tramo 5 al momento del montaje. Para izar la tubería se usa un montacarga, en el extremo bridado se lo une a la brida del tramo 3 y el otro extremo se asienta en el soporte quedando una brida en su terminación para unir el tramo 6 a este. Luego se asegura la tubería de 6" con cabos a las cerchas del galpón hasta colocar los cables soportes.

- Montaje tramo 6.



Fig. 2.19 Vista del tramo 6.

Se ubica el tramo en el suelo bajo la posición a fijarse pero para iniciar el izaje, primero es necesario desconectar la conexión eléctrica de una máquina sopladora de galones. Luego de esto, con la ayuda de un montacargas se levanta la tubería y a través de junta bridada se une este tramo al tramo 5. El otro extremo se lo amarra con un cabo hasta en pasos posteriores poder unir con el tramo 7.

- Montaje cable soporte para tramo 5 y 6.



Fig. 2.20 Vista del cable parabólico tramo 5.

Se suelda ambos extremos una argolla donde soportar el cable parabólico. Primero se fija un lado del cable con grilletes y en el otro extremo con un tecele se tensiona el cable. Tomar en cuenta que los templadores estén en su máxima longitud de tal manera que de ser necesario permita tensionar en mayor escala el cable. Después se une el cable parabólico con la tubería de 6" espaciando cables y los tensores de unión tal indica la figura 15.

- Parada de sopladora #3

Antes de ejecutar este paso es necesaria una coordinación previa con el jefe de planta debido a que esta parada se prolongará hasta la finalización de la obra.

- Desmontaje de línea secundaria 2" de la sopladora #3.

Es necesario retirar esta línea porque obstaculiza el montaje del resto del sistema de aire comprimido. Para esto se recomienda seccionar esta línea y facilitar el desmontaje.

- Unión tramo 1 y 3.



Fig. 2.21 Unión tramo 1 y 3.

Una vez hecho el cordón de raíz se debe verificar la calidad del cordón por medio del ensayo no destructivo de tintas penetrantes.

- Montaje tramo 4.

Para esta operación es necesario un montacarga y cabos que den seguridad en el izaje de la tubería. A través de una junta bridada de 8 pernos se une el tramo 3 y 4. En el otro extremo queda lista una brida para unir con el tramo 10.

- Montaje tramo 7.



Fig. 2.22 Tramo 7.

El izaje del tramo 7 se lo realizará con tecles. En esta instancia solo se ubicará la tubería a la altura final y se lo dejará asegurado con cabos hasta poder fijarlo en un paso posterior.

- Montaje tramo 8.



Fig. 2.23 Tramo 8.

Con la ayuda de tecles se eleva este tramo y se lo asegura con cabos en la altura final sobre sus soportes hasta en pasos posteriores poder fijarlo.

- Montaje tramo 9.

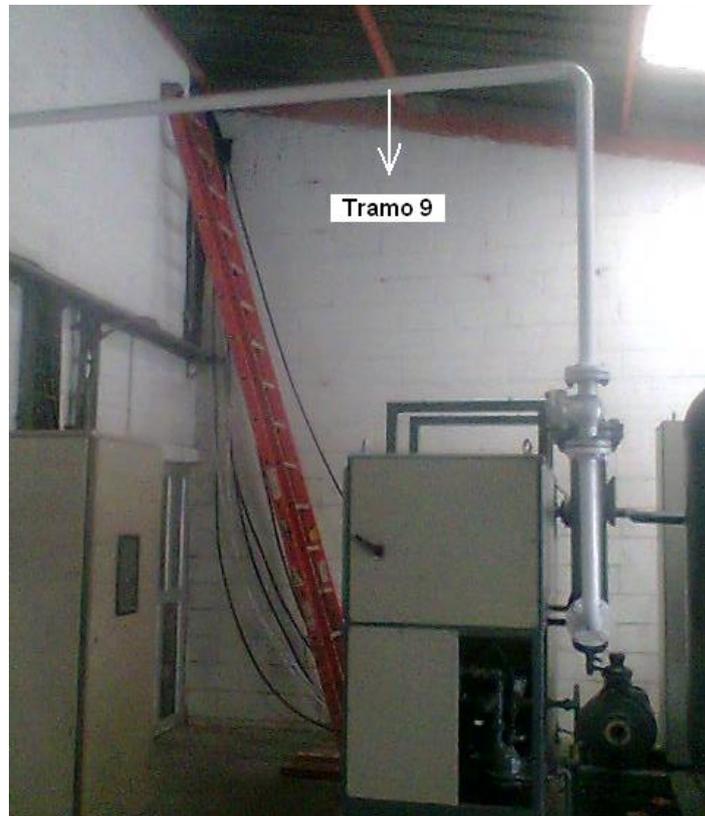


Fig. 2.24 Tramo 9

Es necesario hacer un orificio en la pared para que un extremo de esta se una al tramo 8 y el otro extremo por medio de una junta bridada se una a la salida de aire comprimido del compresor.

- Montaje de bajantes.



Fig. 2.25 Bajante.

Con la ayuda de un sacabocado se hace el orificio para ubicar la bajante. En total son tres bajantes que se ubicarán en todo el sistema.

- Modificación de línea secundaria 2" de la sopladora #3.



Fig. 2.26 Línea secundaria modificada para S3.

Hay que adaptar la anterior línea secundaria con su respectivo filtro y válvula de corte para que nazca desde una derivación en forma de cuello de ganso ubicada en el tramo 3 del nuevo sistema de distribución de aire comprimido.

- Parada general de sopladoras de botellas PET.

Para realizar las siguientes operaciones se requiere parar el sistema de soplado de botellas PET. Hay que cortar el abastecimiento de aire comprimido desde los compresores y despresurizar toda la línea para comenzar a trabajar en los empates finales del sistema de aire comprimido. Tomar muy en cuenta que esta parada no puede durar más de 15 horas.

- Montaje tramo 10.



Fig. 2.27 Tramo 10.

En primera instancia hay que modificar el tramo existente cortando la tubería para dejar el espacio adecuado donde encaje el tramo 10. Luego se eleva el tramo 10 con cabos hasta llegar a la posición correcta y se asegura un extremo con el tramo 4 a través de una brida. El otro extremo se tiene que unir por medio de junta soldada y soldar el cuello de ganso que es la salida para alimentar la línea secundaria de abastecimiento de aire comprimido a la sopladora #2.

- Modificación de tubería en C1 y C2 para montaje de válvulas de retención.



Fig. 2.28 Tubería C1 a modificarse.

Estas líneas de tubería une la salida de aire comprimido del compresor y la línea principal de distribución. Se debe seccionar la tubería y colocar bridas para ubicar las válvulas de retención.

- Unión de tramo 7 con tramo de 4" de tubería actual y tuberías de abastecimiento de aire comprimido desde C1 y C2.



Fig. 2.29 Unión de tramo 7 y tubería 4\".



Fig. 2.30 Unión Tramo 7 con tubería C2.



Fig. 2.31 Unión Tramo 7 con tubería C1.

Se debe cortar el tramo de 4" de diámetro existente que recoge el aire comprimido de tal manera que permita acoplar el tramo 7 y las tuberías que vienen desde el compresor #1 y compresor #2. Luego es preciso unir al tramo 7 al tramo 8 y al tramo 5. Unido el tramo 8 al 7 se procede a unir el tramo 9 al 8.

- Barrido general del sistema de aire comprimido.



Fig. 2.32 Material particulado resultado del barrido.

Una vez hechos todos los empates, el sistema de aire comprimido está listo para ser abastecido del fluido compresible. El primer paso es desconectar las líneas secundarias antes del filtro de aire

de cada sopladora impidiendo que el material particulado producto del polvo, del corte con herramientas mecánicas y de la oxidación contamine el proceso de soplado. Luego se abren las válvulas de las bajantes y se prenden los compresores. El proceso de purga se mantiene por el lapso de 2 horas. Por último después de la limpieza volver a conectar las líneas secundarias a las sopladoras y cerrar las válvulas de las bajantes.

- Puesta en marcha y revisión de fugas.

El sistema de aire comprimido está listo para entrar en operación y abastecer al proceso de soplar botellas PET. Supervisar que en las juntas bridadas no existan fugas cuando el sistema alcance su máxima presión.

# **CAPÍTULO 3**

## **3. MEJORAMIENTO EN LA CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE LOS COMPRESORES DE AIRE**

### **3.1. Aumento de la capacidad de enfriamiento utilizando torres.**

La utilización de una torre de enfriamiento TEVA modelo 465 genera problemas en las épocas de alta temperatura ambiente porque su capacidad de refrigerar no es suficiente para bajar en 5°C el agua de refrigeración de los compresores C1 y C2; esto es contrarrestado en la actualidad al colocar hielo antes del medio día y así evitar que las temperaturas lleguen a rangos críticos.

A continuación se determinará el calor generado en el proceso de compresión del aire en las 4 etapas. Con este calor se podrá encontrar cual es el flujo de agua de torre necesaria para disipar temperatura y permitir que continúe el ciclo de refrigeración.

Al analiza en forma termodinámica el proceso de compresión del aire, se observa que el trabajo es un mecanismo de interacción de la energía entre el sistema y sus alrededores, y el trabajo de frontera  $W$  representa la cantidad de energía transferida desde el sistema durante el proceso de compresión. En el caso de un compresor de aire el trabajo que ejerce el motor se usa para hacer girar el cigüeñal y mover pistones y otros mecanismos. El trabajo que se ejerce en los pistones es para vencer la fricción entre el émbolo y el cilindro, y realizar el trabajo de frontera hecho por el aire en el momento de la compresión. A su vez la compresión del aire y la fricción de émbolo y el cilindro transforman el trabajo que reciben en calor. Este calor generado es el que se debe extraer con el agua de refrigeración para hacer que el proceso de compresión de aire en cada etapa sea un ciclo politrópico.

Entonces si el motor del compresor es de 160 KW y 142 KW es la potencia absorbida por el compresor, gran parte de este trabajo se

convierte en calor. Para este de análisis asumiremos que todos los 142 KW absorbidos por el compresor se transforman en calor  $\dot{Q}$  y procederemos a calcular el flujo de agua de torre  $\dot{m}$  necesario para cumplir el ciclo de refrigeración de agua que llega a la torre con aproximadamente 43°C y debería salir con 38°C.

$$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T$$

$$C_p = 4.178 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \quad \text{Calor específico del agua a } 40^\circ C \text{ (Ver apéndice C).}$$

$$\Delta T = 5^\circ C \quad \text{Temperatura a ser disipada por la torre.}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C_p \Delta T} = \frac{142 KW}{4.178 \frac{KJ}{Kg \cdot K} \times 5^\circ K} = 6,8 \frac{Kg}{s}$$

$$\rho = 992,2 \frac{Kg}{m^3} \quad \text{Densidad del agua a } 40^\circ C \text{ (Ver apéndice C).}$$

Entonces el caudal de refrigeración a manejar en la torre para cumplir el normal ciclo de refrigeración debe ser:

$$Caudal = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{6.8 \frac{Kg}{s}}{992.2 \frac{Kg}{m^3}} = 0,00685 \frac{m^3}{s} = 6.85 \frac{lt}{s}$$

Como son dos compresores de similares características, ambos se abastecen con el agua de refrigeración de la misma torre. Es decir que para disipar 5°C es necesario una torre de enfriamiento con un caudal de enfriamiento de  $13.7 \frac{lt}{s}$ . Solo sí se podría mantener los niveles de temperaturas recomendadas por el fabricante del compresor para un normal funcionamiento.

Por lo tanto, si se observa en el apéndice C el caudal de refrigeración de la torre TEVA modelo 465 es de  $12.8 \frac{lt}{s}$ , en épocas cuando la temperatura ambiente es alta, se denota que el caudal de refrigeración de esta torre es insuficiente por lo se agregar hielo a la misma para lograr disipar los 5°C.

### **3.2. Ubicación de torres de enfriamiento.**

De acuerdo a la distribución de la planta y al reducido espacio libre disponible para colocar las torres de enfriamiento, se ha llegado a la conclusión con los directivos de la empresa en ubicar estos dispositivos en una estructura metálica sobre los compresores C1 y C2. Esto permite construir una plataforma de  $81\text{m}^2$  que a más de albergar las tres torres de enfriamiento para los compresores quedará un lugar disponible para en el futuro colocar tres torres de enfriamiento adicionales.

### **3.3. Cálculo de estructura soporte para torre de enfriamiento.**

El diseño de la estructura soporte de las torres de enfriamiento implica usar las AISCS y las AISCM para seleccionar las distintas vigas necesarias en su construcción.

Se inicia estableciendo la carga a ser soportada. Cada torre de enfriamiento en funcionamiento tiene un peso aproximado de 5000kg.

Se asume un peso estimado de la estructura de 14000 kg y una carga viva en los pasillos de 1000 kg.

A continuación, se procede a diseñar cada uno de los elementos estructurales que constituyen esta plataforma.

- Viga Principal

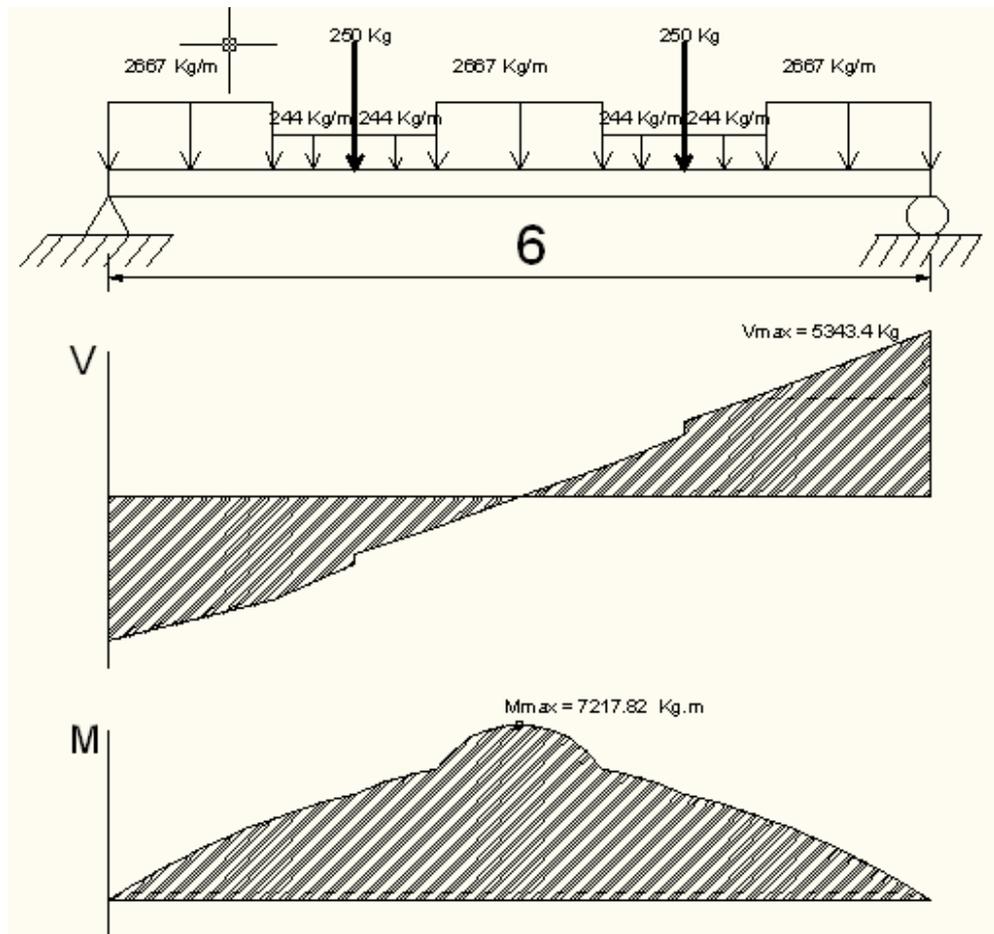


Fig. 3.1 Diagramas de momento y cortante en viga principal

Selección del grado del acero: A36,  $F_y = 36 \text{ Ksi.} = 248211.3 \text{ KN/m}^2$

Ciclos de carga < 2000; ninguna revisión por fatiga es necesaria.

Carga estática: ningún factor por impacto es necesario.

Suponemos una viga arriostrada lateralmente.

Resistencia de diseño por flexión:

$$\phi_b M_n = 0.9 M_p = 0.9 \times Z_x F_y$$

Suponemos que el alma es compacta en cortante.

Resistencia de diseño por cortante:

$$\phi V_n = 0.9 \times V_n = 0.9 \left( 0.6 F_y A_w \right)$$

Momento de diseño requerido:

$$M_u = 7217.82 \text{ Kg.m} = 70.8 \text{ KN.m}$$

Fuerza cortante de diseño requerida:

$$V_u = 5343.4 \text{ Kg} = 52.42 \text{ KN}$$

Módulo de sección plástico requerido:

$$Z_{req} = \frac{M_{max}}{0.9 \times F_y} = 3.16934 \times 10^{-4} m^3 = 19.34 in^3$$

Selección del tamaño de la viga: W8x21,  $Z_x = 20.4 in^3$  (Ver apéndice D

Tabla de selección por Factor de carga)

Revisión del peso de la viga: 28.6 Kg/m

Revisión de la compacidad del patín:

$$\frac{b_f}{2t_f} = 6.5875 < \frac{65}{\sqrt{F_y}} = 10.8 \quad \text{CORRECTO}$$

Revisión de la compacidad del alma por flexión:

$$\frac{h}{t_w} = 29.92 < \frac{640}{\sqrt{F_y}} = 106.7 \quad \text{CORRECTO}$$

Revisión de la estabilidad lateral: El patín de compresión está arriostrado  
(CORRECTO)

Revisión de la compacidad por cortante:

$$\frac{h}{t_w} = 29.92 < 260 \quad \text{CORRECTO}$$

$$\frac{h}{t_w} = 29.92 < \frac{418}{\sqrt{F_y}} \quad \text{CORRECTO}$$

Resistencia de diseño por cortante:

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0.9 \times V_n = 0.9 \left( 0.6 F_y A_w \right) \\ &= 0.9 \left( 0.6 \times F_y \times d \times t_w \right) \\ &= 0.9 \left( 0.6 \times 248211.3 \times 0.21 \times 0.00635 \right) \\ &= 179 \text{ KN} > 52.42 \text{ KN} \quad \text{CORRECTO} \end{aligned}$$

Revisión de la deflexión por carga viva:

$$\frac{5 \times w_L \times L_4}{384 \times E \times I_x} = \frac{5 \times 1.17 \frac{\text{lb}}{\text{in}} \times \left( 36.2198 \text{ in} \right)^4}{384 \times 29000 \times 10^3 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 76.11 \text{ in}^4} = 0.021 \text{ in}$$

$$\frac{L}{360} = \frac{236.22}{360} = 0.66 \text{ in} > 0.021 \text{ in} \quad \text{CORRECTO}$$

- Viga secundaria

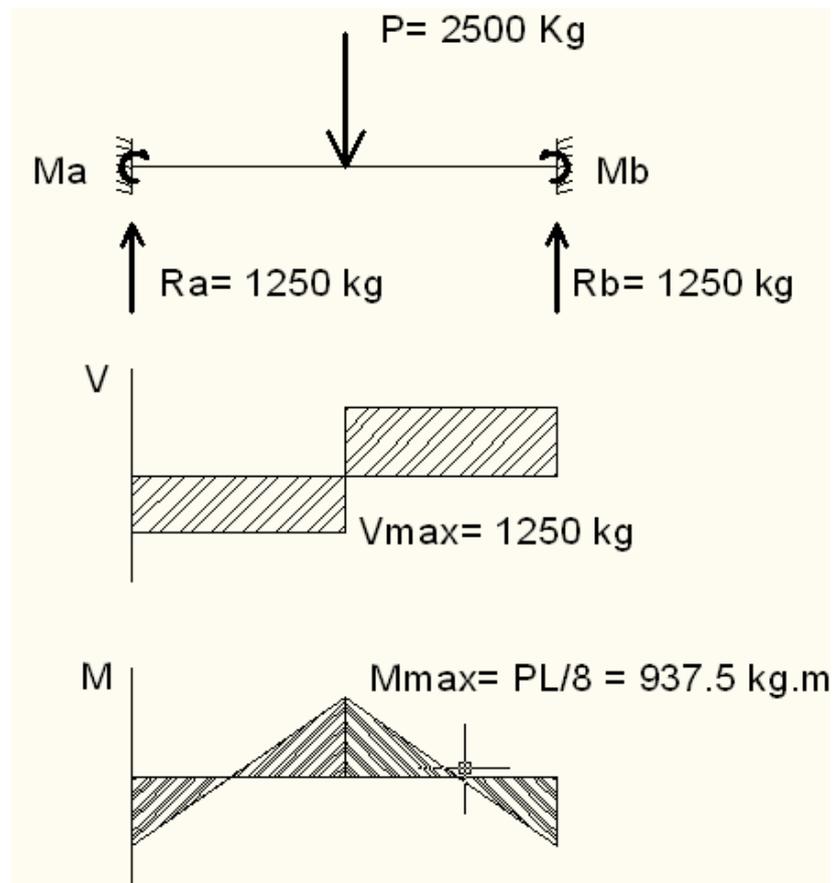


Fig. 3.2 Diagramas de cortante y momento en vigas secundarias

Selección del grado del acero: A36,  $F_y = 36 \text{ Ksi.} = 248211.3 \text{ KN/m}^2$

Ciclos de carga  $< 2000$ ; ninguna revisión por fatiga es necesaria.

Carga estática: ningún factor por impacto es necesario.

Suponemos una viga arriostrada lateralmente.

Momento de diseño requerido:

$$M_u = 937.5 \text{ Kg.m} = 9.2 \text{ KN.m}$$

Fuerza cortante de diseño requerida:

$$V_u = 1250 \text{ Kg} = 12.3 \text{ KN}$$

Módulo de sección plástico requerido:

$$Z_{req} = \frac{M_{max}}{0.9 \times F_y} = 4.12 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = 2.51 \text{ in}^3 = 41.18397 \text{ cm}^3$$

Selección del tamaño de la viga: Tubo estructural cuadrado 100x100x4,

$$Z_x = 45.22 \text{ cm}^3 \text{ (Apéndice D)}$$

Revisión de la deflexión por carga.

$$y = \frac{Pb^2}{48EI} (L - 4b) = \frac{2(4500 \times 1.5^2)}{48 \times 200 \times 10^9 \times 25.8 \times 10^{-6}} [6] - 4[.5] = 1.335 \times 10^{-3} \text{ m} = 0.0526 \text{ in}$$

$$\frac{L}{360} = \frac{118.11}{360} = 0.328 \text{ in} > 0.0526 \text{ in} \quad \text{CORRECTO}$$

- Columna

Se diseña una columna de patín ancho W de 16.4 ft de longitud para soportar una carga muerta axial de 15.8 kips y una carga viva de 2.2 kips. La base de la columna está rígidamente unida a una zapata y la parte superior de la columna está rígidamente conectada a vigas muy rígidas.

Fuerzas axiales:

Por carga muerta:  $P_d = 15.8$  kips incluye peso propio de 2 kips.

Por carga viva  $P_l = 2.2$  kips

Fuerza requerida

$$P_u = 1.2 P_d + 1.6 P_l = 22.48 \text{ Kips}$$

Tipo de columna: Perfil de patín ancho laminado

Tamaño de columna: W6x 16

Grado del acero: A36

Factor de longitud efectiva: (ver tabla apéndice D):  $K_x = 1.2$ ,  $K_y = 0.65$

Longitud:  $L = 16.4$  ft

Propiedades del material:  $F_y = 36$  Ksi,  $E = 29000$  Ksi

Propiedades de la sección transversal:  $A = 4.74$  in<sup>2</sup>  $r_x = 2.6$ in

$r_y = 0.966$ in



Entonces los materiales necesarios para la construcción de la estructura soporte propuesta en esta tesis se detalla a continuación:

Tabla #17

### LISTA DE MATERIALES PARA ESTRUCTURA SOPORTE

<b>MATERIALES</b>	<b>Cant</b>	<b>unid</b>
W8X21	36.00	m
W6X16	48.00	m
Tubo cuadrado 100x100x4	108.00	m
Tubo rectangular 100x50x3	96.00	m
Ángulo 50x3	166.00	m
PanCHA antideslizante ASTM A36 e=3mm	38.00	unid
Tubo cuadrado 200x100x2	48.00	m
Tubo mecánico Ø2" e=1.10mm	150.00	m
Tubo mecánico Ø2 3/4"	12.00	m
Placa ASTM A36 200x200x8	40.00	unid
Soldadura E6010	20.00	kg
Soldadura E7018	20.00	kg
Disco de corte 7" x 1/16"	25.00	unid
Disco de pulir 7"	5.00	unid
Diluyente	5.00	galon
Pintura anticorrosiva	7.00	galon
Brocha 4"	5.00	unid
Perno Ø 3/8"	40.00	unid

# CAPÍTULO 4

## 4. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

### 4.1. Evaluación técnica

La siguiente evaluación técnica del nuevo sistema de aire comprimido enmarca el cumplimiento de los tiempos de ejecución del proyecto comparándolos con los especificados en el cronograma propuesto.

Durante la construcción del sistema de aire comprimido que se hizo dentro de la fábrica en el galpón donde se encuentra la S3 no se generaron retrasos significativos, mas en el momento de ubicar la

tubería en la altura y sitio definitivo, y fabricar las juntas soldadas que estuvieron cerca a sopladoras u otras máquinas, causaron demora porque el jefe de planta no permitió ejecutar los procesos de soldadura hasta que todas las máquinas salgan de funcionamiento a pesar de la planificación previa. Por otra parte, dilaciones por corrección de defectos de soldadura se presentaron solo dos, gracias a que el sitio de ejecución de la obra es un local cerrado y el viento no afectó el trabajo del gas argón de la soldadura TIG, por lo que de todas las juntas hechas solo 2 presentaron defectos en el cordón de raíz, detectados al momento de aplicar el ensayo de tintas penetrantes, se asume que esto se generó por la incomodidad del sitio donde se tuvo que hacer estas juntas soldadas.

Entonces de acuerdo a lo expuesto los tiempos descritos en el cronograma se cumplieron en un 94 % y al momento el sistema de aire comprimido se encuentra 100% funcional con todas las características definidas en la presentación del proyecto. Es decir la fábrica está en plenitud de condiciones para instalar dos nuevas sopladoras de 8 cavidades y dos nuevos compresores de 1600 m<sup>3</sup>/h cada uno.

## 4.2. Evaluación económica

La implementación de un nuevo sistema de aire comprimido para abastecer a las sopladoras de plástico, le permitirá a esta empresa cubrir el aumento en la demanda de botellas PET del mercado nacional en el futuro. A continuación se detallará cual es el costo que acarrea construir esta obra, tomando en cuenta costos de materiales y mano de obra.

En los materiales se ha cotizado conforme los precios actuales en el mercado nacional y para el cálculo del costo mano de obra se lo hará cobrando \$5 por metro equivalente de tubería construida y montada; además utilizamos un factor de corrección de 1.2. La tabla contigua describe como se cotizó todo el proyecto.

Tabla # 18

### COTIZACIÓN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Rediseño y Montaje de un Sistema de Aire Comprimido a 40 BAR de presión para Líneas de Soplado de Botellas								
ITEM	MATERIALES	Cant	unid	meq	mater	peso	V Unitario	V Venta
1	accesorio T 6" cédula 40 para soldar	9	unid	12	acc	5.44	46.24	416
2	brida ciega de 2" x 300	1	unid	2	acero	8.00	11.92	12
3	brida ciega de 3" x 300	3	unid	3	acero	11.89	17.72	53
4	brida ciega de 6" x 300	1	unid	6	acero	27.20	40.53	41
5	brida soldable de 2"x300	8	unid	2	acero	2.94	4.38	35
6	brida soldable de 3"x300	3	unid	3	acero	4.80	7.15	21
7	brida soldable de 6"x 300	11	unid	6	acero	16.69	24.87	274

8	carga de argón	4	unid				150.00	600
9	codo 1/2" x 90 cédula 40	9	unid	0.5	acero	0.50	0.75	7
10	codo 2" x 90 cédula 40 para soldar	4	unid	2	acero	1.32	1.97	8
11	codo 3" x 90 cédula 40 para soldar	6	unid	3	acero	3.32	4.95	30
12	codo 4" x 90 cédula 40 para soldar	1	unid	4	acero	5.25	7.82	8
13	codo 6" x 90 cédula 40 para soldar	2	unid	6	acero	15.00	22.35	45
14	codo 6" x 45 cédula 40 para soldar	4	unid	6	acero	15.00	22.35	89
15	diluyente	6	galon				4.00	24
16	drenadores de agua para línea de aire comprimido 600psi 1/2" NPT	3	unid	0.5	acc		80.00	240
17	electrodo E6010 x 1/8"	30	kg				3.00	90
18	electrodo E7018 x 1/8"	45	kg				2.50	113
19	electrodo Ø 3/32 para TIG	20	unid				5.00	100
20	empaquete para aire comprimido 600 psi	3	m				20.00	60
21	neplo 1/2" x 4" cédula 40	3	unid	0.5	neplo	0.91	3.64	11
22	neplo 1/2" x 6" cédula 40	21	unid	0.5	neplo	1.22	4.88	102
23	perno 3/4" x 5" completo	48	unid		acero	1.81	2.70	129
24	perno 5/8" x 3" completo	88	unid		acero	1.15	1.71	151
25	pintura blanca esmalte, marca unidas	5	galon		pintura		40.00	200
26	pintura gris mate anticorrosiva	4	galon		pintura		35.00	140
27	reducción campana 2"x1/2" cédula 40 para soldar	3	unid	2	acero	3.00	4.47	13
28	reducción campana 4" x 2" cédula 40 para soldar	1	unid	4	acero	13.44	20.03	20
29	reducción campana 6"x2" cédula 40 para soldar	1	unid	6	acero	17.00	25.33	25
30	reducción campana 6"x3" cédula 40 para soldar	4	unid	6	acero	16.85	25.11	100
31	reducción campana 6"x4" cédula 40 para soldar	5	unid	6	acero	13.00	19.37	97
32	termómetros de dial de 4", 800 psi, vertical, conexión 1/2".	3	unid	0.5	acc		20.00	60
33	tubo A 106 2" cédula 40	24	m	2	tubo	5.44	9.25	222
34	tubo A 106 3" cédula 40	6	m	3	tubo	11.29	19.19	115
35	tubo A 106 4" cédula 40	12	m	4	tubo	16.07	27.32	328
36	tubo A 106 6" cédula 40	108	m	6	tubo	28.26	48.04	5189
37	válvula 1/2" de acero al carbono	6	unid	0.5	valvula		30.00	180
<b>MATERIAL SOPORTES</b>								
1	ángulo laminado 75x6	12	unid		perfil	37.80	68.04	816
2	ángulo laminado 40x3	21	unid		perfil	10.23	18.41	387
3	ángulo laminado 50x3	2	unid		perfil	13.14	23.65	47
4	cable de acero 3/8"	147	m		acero	4.78	8.60	1265
5	canal 150x50x3	7	unid		perfil	32.26	58.07	406
6	disco de corte 7" x 1/16"	2	unid				3.50	7
7	electrodo E6010	5	Kg				3.00	15
8	electrodo E7018	5	Kg				2.50	13
9	grilletes para cable 3/8"	88	unid		acc	0.14	2.00	176
10	placa ASTM A-36 200x200x5	8	unid		acero	3.15	5.67	45

11	templadores reforzados para cable 3/8"	20	unid		acc	0.50	15.00	300
53								
54	<b>COSTO MATERIALES</b>	0.6	0.02	1137	proyect	1671	<b>A</b>	12825
55	<b>COSTO TRANSPORTE herramientas y personal</b>	1	0.02			0.52 14.59	<b>B</b>	257
56	<b>COSTO ALQUILER EQUIPOS</b>	7,695	0.02			1670.7 24664	<b>C</b>	257
57	.					3410		
58	<b>MANO DE OBRA</b>	<b>cant</b>	<b>unid</b>			<b>factor</b>	<b>v unit</b>	<b>V Venta</b>
59	Construccion y montaje de sistema de aire comprimido para sopladoras de PET	1137	meq			1.2	5.00	6819
60	Construccion de soportes para tubería	1671	kg			1.2	1.00	2005
61								0
62								0
63	<b>Costo mano de obra</b>					0.398	<b>D</b>	8824
64	<b>COSTO A + B + C + D</b>						A+B+C+D	22162
65	<b>DIRECCION / UTILIDAD</b>						10%	2216
66	<b>SUB TOTAL SIN IVA</b>							24378

La construcción y montaje de todo el sistema de aire comprimido tiene un costo de \$24,378.00 de los cuales \$22,162.00 es el costo del material, \$8,824.00 el costo de mano de obra y \$2,216.00 el costo de dirección y utilidad.

En lo referente a la cotización de la estructura soporte para torres de enfriamiento se hace el cálculo del costo de mano de obra en base al peso del material a utilizar en la construcción. Para más detalle se presenta la siguiente hoja de cálculo:



Entonces el precio de la estructura soporte es de \$32,206.4 de los cuales \$11,099.1 es el costo de mano de obra, \$29,278.6 costo de materiales y \$ 2,927.9 es el costo por dirección y utilidad.

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

- Tomando como referencia el caso más crítico se determinó que la mayor pérdida de presión a generarse utilizando el nuevo sistema de aire comprimido, es decir, desde que el fluido compresible sale del compresor, pasa por la línea principal y línea secundaria hasta llegar a la máquina sopladora es de 4.79% .
- La inspección de todos los cordones de raíz en las juntas soldadas permitió que al momento de la puesta en marcha del sistema de aire comprimido no queden fugas en las uniones de este tipo.

- Durante la prueba se presentaron un par de fugas en las juntas bridadas pero se dio solución apretando más los pernos.
- El 6% de retraso de acuerdo al tiempo estimado en el cronograma se dio en mayor grado por no obstaculizar el proceso productivo de la empresa.
- El material particulado que se observó salir de la tubería durante el barrido antes de poner en operación el sistema se generó en su mayoría porque algunas tuberías tenían corrosión interior, mas no se produjo por escoria producto de la soldadura. Por lo cual fue acertado utilizar soldadura TIG en el cordón de raíz.
- Los drenadores automáticos a ser adquiridos por la empresa no los pudieron conseguir en el mercado nacional por lo que las tres bajantes se dejaron en su terminación con un válvula de corte.
- Las 15 horas planificadas de parada general de las sopladoras de plástico fueron suficientes para realizar los empates finales de la tubería y dejar operativo el sistema de aire comprimido.
- Como el aire comprimido sale del secador a la temperatura del punto de rocío (8 - 10°C), libre de humedad, una vez que entra

en la tubería se equilibra con la temperatura de la tubería. El diferencial de temperatura es de aproximadamente  $10^{\circ}\text{C}$  en condiciones críticas por lo que la expansión lineal del lado más largo del anillo es 4.92 mm. Como la expansión lineal en el caso extremo es baja no se utilizó una junta de expansión y se decidió que el sistema de aire comprimido no esté sujeto a los soportes en forma fija, solo se asienta en ellos para permitir una mínima expansión.

- La torre TEVA modelo 465 no posee el caudal de enfriamiento adecuado para disipar  $5^{\circ}\text{C}$  del agua de refrigeración del compresor C1 y C2.
- La mejor ubicación para las torres de enfriamiento es construyendo una plataforma sobre los compresores C1 y C2, para lo cual se presenta el diseño de una estructura soporte metálica con  $82.9\text{ m}^2$  de superficie para colocar seis torres de enfriamiento.

## **RECOMENDACIONES**

- En forma periódica abrir la válvula de corte en la bajante para evacuar el condensado acumulado.

- Cuando se vaya a suministrar toda la capacidad de diseño del sistema de aire comprimido, es decir, adicionar el segundo compresor de aire de  $1500\text{m}^3/\text{h}$ , se recomienda cambiar el tramo de 4" a 6" en la esquina cercana a la sopladora #1 que por pedido de la empresa se mantuvo del viejo sistema de aire comprimido.
- Luego de la construir la estructura soporte para torres de enfriamiento, lo más adecuada sería que cada compresor tenga su propia torre de enfriamiento. La torre TEVA modelo 465 quede para C1 y se coloque una torre TEVA modelo 270 para C2. De manera similar para C3 se debe instalar su propia torre.

# **APENDICE A**

TABLAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DEL  
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

**Propiedades físicas del aire a presión atmosférica normal**

TABLA B.3  
Propiedades físicas del aire a presión atmosférica normal (unidades SIG)<sup>a</sup>

Temperatura (°F)	Densidad $\rho$ (slugs/pie <sup>3</sup> )	Peso específico <sup>b</sup> , $\gamma$ (lb/pie <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica, $\mu$ (lb-s/pie <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática, $\nu$ (pies <sup>2</sup> /s)	Razón de calores específicos, $k$ (—)	Velocidad del sonido, $c$ (pies/s)
-40	2.939 E-3	9.456 E-2	3.29 E-7	1.12 E-4	1.401	1004
-20	2.805 E-3	9.026 E-2	3.34 E-7	1.19 E-4	1.401	1028
0	2.683 E-3	8.633 E-2	3.38 E-7	1.26 E-4	1.401	1051
10	2.626 E-3	8.449 E-2	3.44 E-7	1.31 E-4	1.401	1062
20	2.571 E-3	8.273 E-2	3.50 E-7	1.36 E-4	1.401	1074
30	2.519 E-3	8.104 E-2	3.58 E-7	1.42 E-4	1.401	1085
40	2.469 E-3	7.942 E-2	3.60 E-7	1.46 E-4	1.401	1096
50	2.420 E-3	7.786 E-2	3.68 E-7	1.52 E-4	1.401	1106
60	2.373 E-3	7.636 E-2	3.75 E-7	1.58 E-4	1.401	1117
70	2.329 E-3	7.492 E-2	3.82 E-7	1.64 E-4	1.401	1128
80	2.286 E-3	7.353 E-2	3.86 E-7	1.69 E-4	1.400	1138
90	2.244 E-3	7.219 E-2	3.90 E-7	1.74 E-4	1.400	1149
100	2.204 E-3	7.090 E-2	3.94 E-7	1.79 E-4	1.400	1159
120	2.128 E-3	6.846 E-2	4.02 E-7	1.89 E-4	1.400	1180
140	2.057 E-3	6.617 E-2	4.13 E-7	2.01 E-4	1.399	1200
160	1.990 E-3	6.404 E-2	4.22 E-7	2.12 E-4	1.399	1220
180	1.928 E-3	6.204 E-2	4.34 E-7	2.25 E-4	1.399	1239
200	1.870 E-3	6.016 E-2	4.49 E-7	2.40 E-4	1.398	1258
300	1.624 E-3	5.224 E-2	4.97 E-7	3.06 E-4	1.394	1348
400	1.435 E-3	4.616 E-2	5.24 E-7	3.65 E-4	1.389	1431
500	1.285 E-3	4.135 E-2	5.80 E-7	4.51 E-4	1.383	1509
750	1.020 E-3	3.280 E-2	6.81 E-7	6.68 E-4	1.367	1685
1000	8.445 E-4	2.717 E-2	7.85 E-7	9.30 E-4	1.351	1839
1500	6.291 E-4	2.024 E-2	9.50 E-7	1.51 E-3	1.329	2114

<sup>a</sup>Con base en datos de R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., Nueva York, 1984.  
<sup>b</sup>La densidad y el peso específico están relacionados a través de la ecuación  $\gamma = \rho g$ . Para esta tabla,  $g = 32.174$  pies/s<sup>2</sup>.

## Tubería para Vapor sin costura Cédula 40

## Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A 53 GR B para conducción de fluidos
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6,00 m.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



## Resistencia Mecánica

<b>Resistencia a la tracción</b>	60000 psi ( 42,2 Kg F/mm <sup>2</sup> )
<b>Límite de elasticidad</b>	35000 psi ( 24,6 Kg F/mm <sup>2</sup> )
<b>Alargamiento</b>	0.5%

DIAMETRO NOMINAL	EXTERIOR		ESPELOR	PRESION/PRUEBA pulg	PRESION/PRUEBA kg/cm <sup>2</sup>	PRESION/PRUEBA lb/pulg <sup>2</sup>	PESO kg/mt
	mm	pulg	e				
			mm				
1/4"	13.70	0.54	2.24	0.08	49	700	0.63
3/8"	17.10	0.37	2.81	0.09	49	700	0.85
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	155	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.55	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.18	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65

**Rugosidad promedio en tuberías comerciales.**

Tabla 9.1  
Rugosidad promedio de tubos comerciales

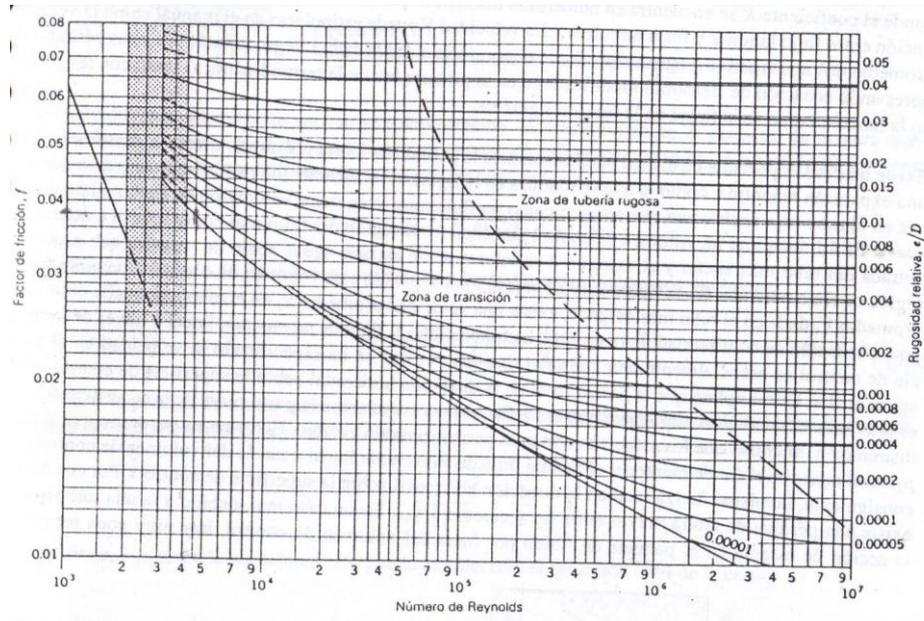
Material (nuevo)	$\epsilon$	
	pies	mm
Vidrio	0.000001	0.0003
Tubería estirada	0.000005	0.0015
Acero, hierro forjado	0.00015	0.046
Hierro fundido asfaltado	0.0004	0.12
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro fundido	0.00085	0.26
Madera cepillada	0.0006–0.003	0.18–0.9
Concreto	0.001–0.01	0.3–3.0
Acero remachado	0.003–0.03	0.9–9.0

### Longitud equivalente de accesorios para tubería.

Accesorios y válvulas expresados en pies (m) equivalente de tubería				
Accesorios y válvulas	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"
	(50 mm)	(65 mm)	(80 mm)	(90 mm)
Codo a 45°	2 (0,6)	3 (0,9)	3 (0,9)	3 (0,9)
Codo normalizado a 90°	5 (1,5)	6 (1,8)	7 (2,1)	8 (2,4)
Codo de gran radio a 90°	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	5 (1,5)
T o cruz (corriente que gira 90°)	10 (3,1)	12 (3,7)	15 (4,6)	17 (5,2)
Válvula de compuerta	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)
Válvula de mariposa	6 (1,8)	7 (2,1)	10 (3,1)	---
Válvula de retención con clapeta oscilante*	11 (3,4)	14 (4,3)	16 (4,9)	19 (5,8)

Accesorios y válvulas expresados en pies (m) equivalente de tubería				
Accesorios y válvulas	4/4"	5"	6"	8"
	(100 mm)	(125 mm)	(150 mm)	(200 mm)
Codo a 45°	4 (1,2)	5 (1,5)	7 (2,1)	9 (2,7)
Codo normalizado a 90°	10 (3,1)	12 (3,7)	14 (4,3)	18 (5,5)
Codo de gran radio a 90°	6 (1,8)	8 (2,4)	9 (2,7)	13 (4,0)
T o cruz (corriente que gira 90°)	20 (6,1)	25 (7,6)	30 (9,2)	35 (10,7)
Válvula de compuerta	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)
Válvula de mariposa	12 (3,7)	9 (2,7)	10 (3,1)	12 (3,7)
Válvula de retención con clapeta oscilante*	22 (6,7)	27 (8,2)	32 (9,8)	45 (13,7)

### Diagrama de Moody.

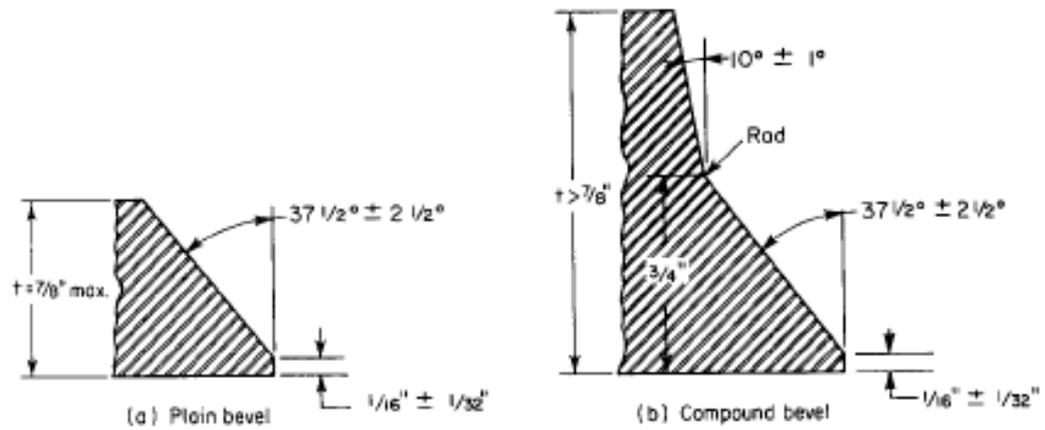


**Propiedades de Tuberías de Acero al Carbono.**

**TABLE A-1 (CONT'D)**  
**BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS<sup>1</sup>**  
 Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

Material	Spec. No.	P-No. or S-No. (5)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (6)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp.		
						Tensile	Yield	to 100	200	300
<b>Carbon Steel</b>										
<b>Pipes and Tubes (2)</b>										
A 285 Gr. A	A 134	1	...	(8b)(57)	B	45	24	15.0	14.6	14.2
A 285 Gr. A	A 672	1	A45	(57)(59)(67)		B	45	24	15.0	14.6
Butt weld	API 5L	S-1	A25	(8a)	-20	45	25	15.0	15.0	14.5
Smis & ERW	API 5L	S-1	A25	(57)(59)		B	45	25	15.0	15.0
...	A 179	1	...	(57)(59)	-20	47	26	15.7	15.0	14.2
Type F	A 53	1	Gr. A	(8a)(77)	20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 139	S-1	A	(8b)(77)		A	48	30	16.0	16.0
...	A 587	1	...	(57)(59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 53	1	A	(57)(59)	} B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 106	1	A	(57)						
...	A 135	1	A	(57)(59)						
...	A 369	1	FPA	(57)						
...	API 5L	S-1	A	(57)(59)(77)						
A 285 Gr. B	A 134	1	...	(8b)(57)	B	50	27	16.7	16.4	16.0
A 285 Gr. B	A 672	1	A50	(57)(59)(67)		B	50	27	16.7	16.4
A 285 Gr. C	A 134	1	...	(8b)(57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 524	1	Gr. 11	(57)		-20	55	30	18.3	18.3
...	A 333	1	1	} (57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 334	1	1							
A 285 Gr. C	A 671	1	CA55							
A 285 Gr. C	A 672	1	A55	(57)(59)(67)	A }	55	30	18.3	18.3	17.7
A 516 Gr. 55	A 672	1	C55	(57)(67)	C }	55	30	18.3	18.3	17.7
A 516 Gr. 60	A 671	1	CC60	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
A 515 Gr. 60	A 671	1	CB60	} (57)(67)	B }	60	32	20.0	19.5	18.9
A 515 Gr. 60	A 672	1	B60							
A 516 Gr. 60	A 672	1	C60							
...	A 139	S-1	B	(8b)	A	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 135	1	B	(57)(59)	} B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 524	1	Gr. 1	(57)						
...	A 53	1	B	(57)(59)	} B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 106	1	B	(57)						
...	A 333	} 1	6	(57)						
...	A 334									
...	A 369									
...	A 381	S-1	Y35	...	A	60	35	20.0	20.0	20.0
...	API 5L	S-1	B	(57)(59)(77)	B					

**Bisel Básico de Soldadura.**



Nominal pipe wall thickness $t$	End preparation
Less than $x^*$	Cut square or slightly chamfer, at manufacturer's option
$x^*$ to $7/8$ incl.	Plain bevel as in (a) above
More than $7/8$	Compound bevel as in (b) above

$x^* = 3/16$ " for carbon steel, ferritic alloy steel, or wrought iron;  $1/8$ " for austenitic alloy steel

**FIGURE A2.22** Basic welding bevel for all components (without backing ring, or with split ring).



## APÉNDICE C

### TABLAS UTILIZADAS EN ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

#### Propiedades del Agua.

Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes								
a) Líquidos								
Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades de líquido			
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización, $h_g$ kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, $h_f$ kJ/kg	Temp., °C	Densidad $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $C_p$ kJ/kg · °C	
Aceite (ligero)					25	910	1.80	
Agua	100	2 257	0.0	333.7	0	1 000	4.23	
					25	997	4.18	
					50	988	4.18	
					75	975	4.19	
					100	958	4.22	
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84	

## Tabla de selección Torres de Enfriamiento TEVA modelo RVA

Modelo RVA	Capacidad enfriamiento (*) l/s	Caudal aire m <sup>3</sup> /s	Nº ventil	Nº y Pot, motores kW	Nivel sonoro a 5 mts, dB(A)	Caudal agua recirc, l/s	Pot, bomba kW	Dimensiones totales			Pesos	
								Largo mm	Ancho mm	Alto mm	Vacio Kg	Carga Kg
020	1,1	4,05	1	1 x 1,1	60	3,01	0,37	1200	930	3100	515	970
040	1,9	2,93	1	1 x 0,55	56	3,01	0,37	1200	930	3100	580	1065
050	2,2	3,78	1	1x 1,1	61	3,01	0,37	1200	930	3100	585	1070
055	2,7	3,17	1	1 x 0,75	58	3,01	0,37	1200	930	3100	650	1165
065	2,9	3,44	1	1 x 1,1	60	3,01	0,37	1200	930	3100	655	1170
070	3,1	3,85	1	1 x 1,5	62	3,01	0,37	1200	930	3100	665	1180
110	4,0	5,10	2	2 x 0,55	58	4,52	0,55	1800	930	3100	800	1540
115	4,5	4,20	2	2 x 0,37	56	4,52	0,55	1800	930	3100	915	1705
130	5,2	5,02	2	2 x 0,55	60	4,52	0,55	1800	930	3100	915	1710
140	5,7	5,84	2	2 x 1,1	63	4,52	0,55	1800	930	3100	930	1720
230	6,2	7,54	2	2 x 1,1	64	6,03	0,55	2400	930	3100	995	1980
250	7,1	6,40	2	2 x 0,75	61	6,03	0,55	2400	930	3100	1140	2195
265	7,7	7,12	2	2 x 1,1	64	6,03	0,55	2400	930	3100	1150	2205
270	8,0	7,50	2	2 x 1,5	65	6,03	0,55	2400	930	3100	1165	2220
300	8,6	10,40	2	2 x 1,5	66	7,97	0,55	2400	1230	3220	1250	2565
310	9,1	11,42	2	2 x 2,2	67	7,97	0,55	2400	1230	3220	1265	2575
325	10,4	9,54	2	2 x 1,5	65	7,97	0,55	2400	1230	3220	1455	2865
340	11,7	11,32	2	2 x 3	69	7,97	0,55	2400	1230	3220	1470	2875
465	12,8	11,00	2	2 x 1,5	66	9,96	0,75	3000	1230	3220	1775	3525
495	14,3	12,82	2	2 x 3	69	9,96	0,75	3000	1230	3220	1785	3540
550	15,7	13,05	3	3 x 1,1	65	11,96	1,1	3600	1230	3220	2040	4145
565	16,8	14,31	3	3 x 1,5	67	11,96	1,1	3600	1230	3220	2065	4165
575	17,9	15,78	3	3 x 2,2	69	11,96	1,1	3600	1230	3220	2080	4185
590	20,2	15,18	3	3 x 2,2	71	11,96	1,1	3600	1230	3320	2400	4645
600	17,0	19,78	2	2 x 3	69	14,82	1,5	3000	1830	3260	2280	4705
670	22,5	21,00	2	2 x 4	71	14,82	1,5	3000	1830	3260	2690	5285
710	24,4	20,80	2	2 x 3	69	17,7	1,5	3600	1830	3260	3050	6160

# APÉNDICE D

## TABLAS UTILIZADAS EN DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE PARA TORRES

Tabla de selección para vigas en perfiles W, método del factor de carga.

<b>Z<sub>x</sub></b> LOAD FACTOR DESIGN SELECTION TABLE For shapes used as beams $\phi_b = 0.90$											
<i>F<sub>y</sub></i> = 36 ksi					<i>Z<sub>x</sub></i>	Shape	<i>F<sub>y</sub></i> = 50 ksi				
<i>BF</i>	<i>L<sub>r</sub></i>	<i>L<sub>p</sub></i>	$\phi_b M_r$	$\phi_b M_p$			$\phi_b M_p$	$\phi_b M_r$	<i>L<sub>p</sub></i>	<i>L<sub>r</sub></i>	<i>BF</i>
Kips	Ft	Ft	Kip-ft	Kip-ft	in. <sup>3</sup>	Kip-ft	Kip-ft	Ft	Ft	Kips	
4.18	19.0	6.4	34.6	147	54.6	W14x34	205	146	5.4	14.4	6.58
5.70	14.3	4.9	32.0	146	54.0	W16x31	203	142	4.1	11.0	8.85
3.47	20.6	6.4	88.9	138	51.2	W12x35	192	137	5.4	15.2	5.67
1.26	46.7	8.7	84.4	132	49.0	W8x48	184	130	7.4	31.1	2.27
3.92	17.9	6.2	81.9	128	47.3	W14x30	177	126	5.3	13.7	6.06
1.93	31.2	6.3	82.1	126	46.8	W10x39	176	126	7.0	21.8	3.32
5.15	13.3	4.7	74.9	119	44.2	W16x26	166	115	4.0	10.4	7.88
3.22	19.1	6.3	75.3	116	43.1	W12x30	162	116	5.4	14.4	5.10
4.44	13.4	4.5	68.8	109	40.2	W14x26	151	106	3.8	10.3	6.96
1.25	39.1	8.5	69.2	107	39.8	W8x40	149	107	7.2	26.4	2.22
1.89	27.4	6.1	68.3	105	38.8	W10x33	146	105	6.9	19.7	3.15
2.99	18.1	6.3	65.1	100	37.2	W12x26	140	100	5.3	13.8	4.64
2.44	20.3	5.7	63.2	98.8	36.6	W10x30	137	97.2	4.8	14.5	4.13
1.23	35.1	8.5	60.8	93.7	34.7	W8x35	130	93.6	7.2	24.1	2.16
4.06	12.5	4.3	56.6	89.6	33.2	W14x22	125	87.0	3.7	9.7	6.26
2.34	18.5	5.7	54.4	84.5	31.3	W10x26	117	83.7	4.8	13.5	3.85
1.21	32.0	6.4	53.6	82.1	30.4	W8x31	114	82.5	7.1	22.3	2.07
3.88	11.1	3.5	49.5	79.1	29.3	W12x22	110	76.2	3.0	8.4	6.24
1.27	27.3	6.8	47.4	73.4	27.2	W8x28	102	72.9	5.7	18.9	2.22
2.19	16.9	5.5	45.2	70.2	26.0	W10x22	97.5	69.6	4.7	12.7	3.50
3.61	10.4	3.4	41.5	66.7	24.7	W12x19	92.6	63.9	2.9	7.9	5.70
1.24	24.4	6.7	40.6	62.6	23.2	W8x24	87.0	62.7	5.7	17.2	2.11
2.60	12.0	3.6	36.7	58.3	21.6	W10x19	81.0	56.4	3.1	8.9	4.26
1.46	18.6	5.3	35.5	55.1	20.4	W8x21	76.5	54.6	4.5	13.3	2.47
3.30	9.6	3.2	33.3	54.3	20.1	W12x16	75.4	51.3	2.7	7.4	5.12
0.741	31.3	6.3	32.6	51.0	18.9	W6x25	70.9	50.1	5.4	21.0	1.33
2.46	11.2	3.5	31.6	50.5	18.7	W10x17	70.1	48.6	3.0	8.4	3.97
2.97	9.2	3.1	29.1	47.0	17.4	W12x14	65.3	44.7	2.7	7.2	4.56
1.40	16.7	5.1	29.6	45.9	17.0	W8x18	63.8	45.6	4.3	12.3	2.30
2.34	10.3	3.4	26.9	43.2	16.0	W10x15	60.0	41.4	2.9	7.9	3.69
0.728	25.6	6.3	26.1	40.2	14.9	W6x20	55.9	40.2	5.3	17.7	1.27
3.32	6.9	2.3	23.6	38.6	14.3	M12x11.8	53.7	36.3	2.0	5.4	5.10
1.53	12.6	3.7	23.0	36.7	13.6	W8x15	51.0	35.4	3.1	9.2	2.56

## Tabla de selección de para vigas en perfil tubo cuadrado.

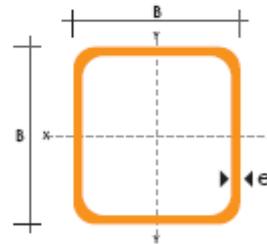
### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales

<b>Norma</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o galvanizado
<b>Largo normal</b>	6 mts.
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20mm a 100mm
<b>Espesor</b>	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	i
mm	mm	Kg/m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



## Tabla para selección de factor de longitud para columnas.

**Tabla 4.1** Factores  $K$  de longitud efectiva para columnas cargadas axialmente con diversas condiciones idealizadas de extremo

La forma pandeada de la columna se muestra con línea de rayas.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de $K$	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor recomendado para $K$ cuando se está cerca de las condiciones ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo		Rotación impedida	Traslación impedida			
		Rotación libre	Traslación impedida			
		Rotación impedida	Traslación libre			
		Rotación libre	Traslación libre			

## BIBLIOGRAFÍA

1. Shames Irving, Mecánica de Fluidos, McGrawHill, Tercera edición, 1995.
2. Cengel Yunus – Boles Michael, Termodinámica, McGrawHill, Cuarta edición, 2003.
3. Catálogo de Acero, DIPAC, 2008.
4. <http://www.auxxon.com.ar/productos.html>
5. Galambos Theodore V, Diseño de Estructura de Acero con LRFD, Rentice Hall, México, 1999.
6. Process Piping, ASME B31.3, 2002.
7. Nayyar Mohinder, Piping Handbook, Séptima edición.
8. Manual of Steel Construction, AISC u Institute of Steel Construction, Second Edition.

A

A

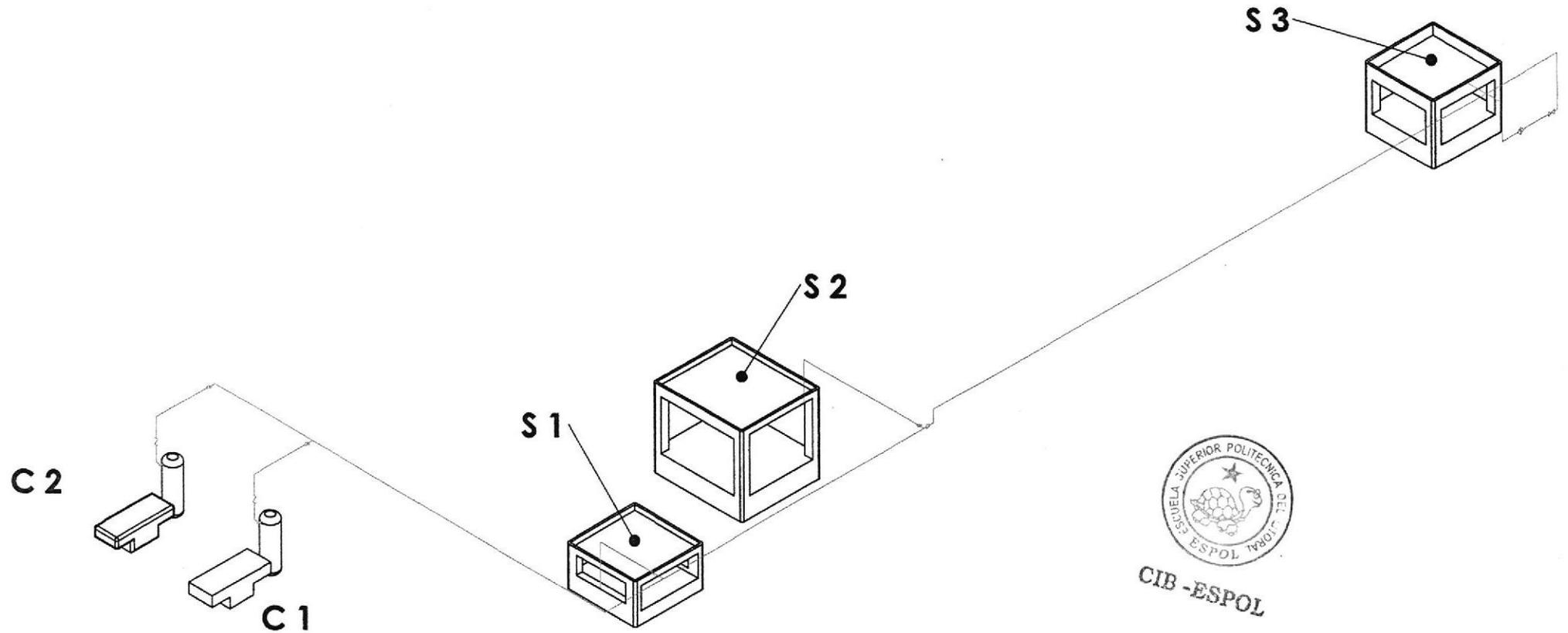
B

B

C

C

D



CIB-ESPOL

SIMBOLO	DESCRIPCIÓN
C1	Compresor #1
C2	Compresor #2
S1	Sopladora #1
S2	Sopladora #2
S3	Sopladora #3

# FIMCP - ESPOL

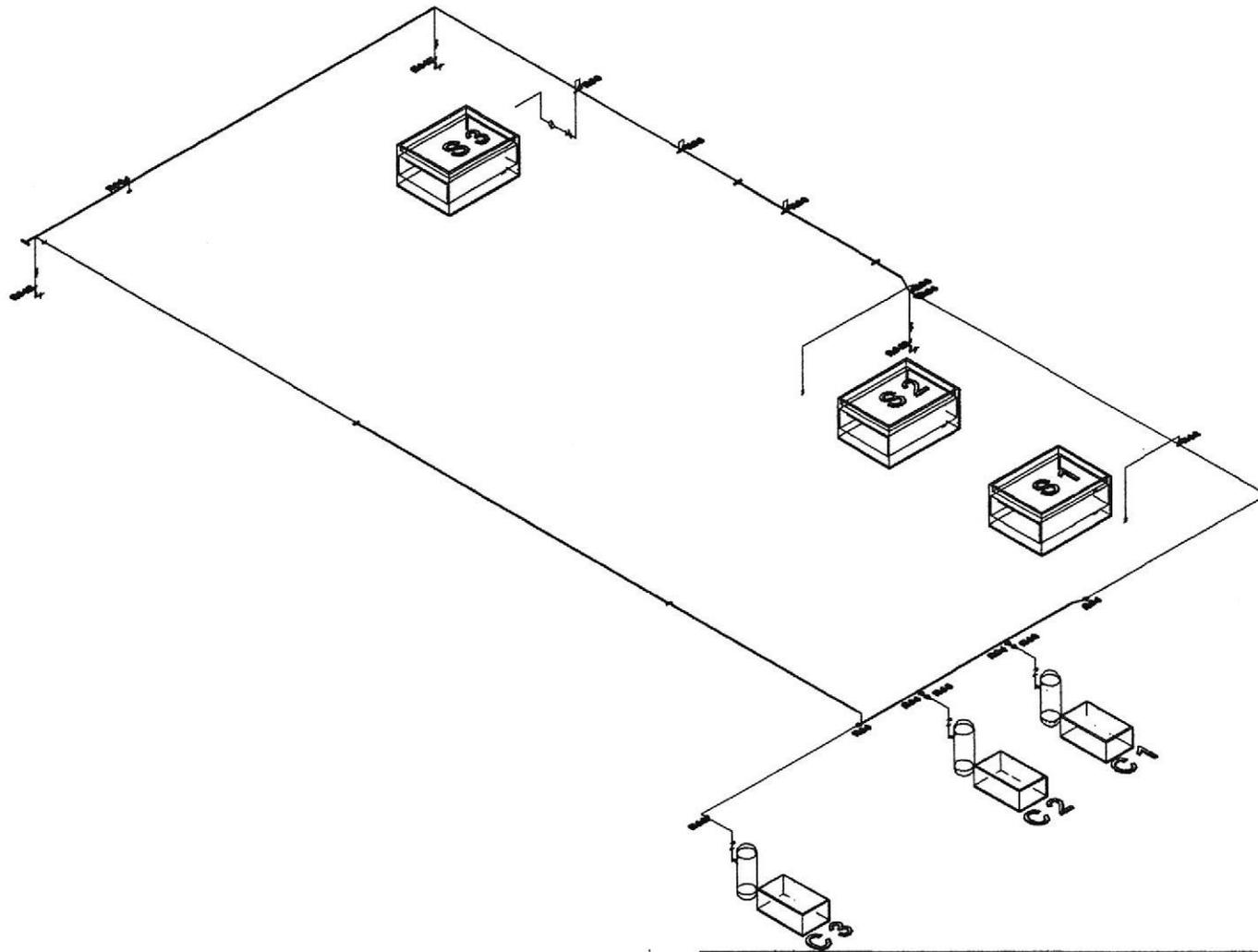
TÍTULO:

## Sistema de Aire Comprimido a Rediseñarse

	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	PLANO No.	
Dibujo	Juan P. Castillo	01/01/2010	ASTM A106	1	A4
Revisión	Ernesto Martínez	05/07/2010			
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PESO:	ESCALA: 1:210	

1

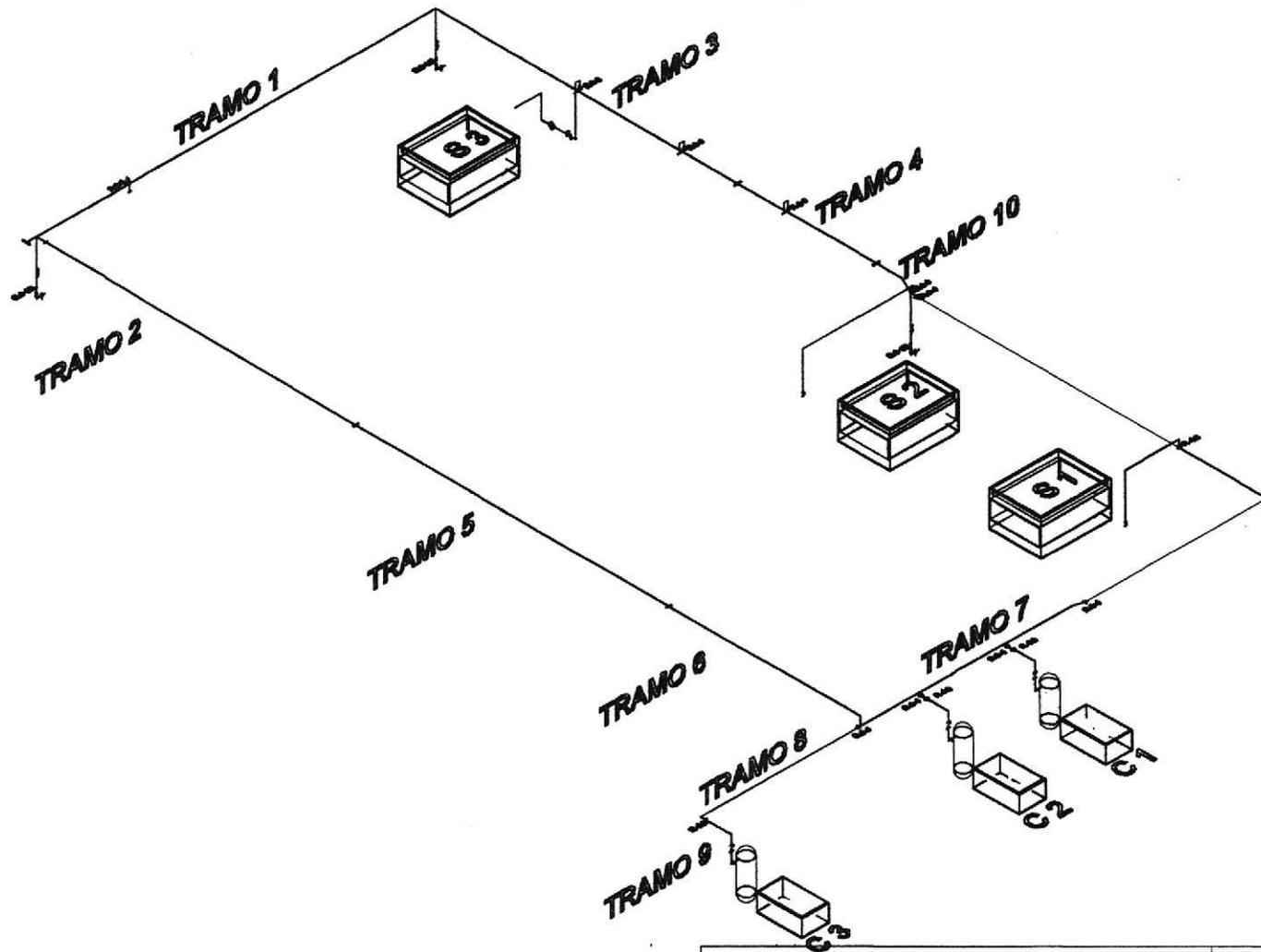
2



# FIMCP - ESPOL

TITULO:  
**Nuevo Sistema de Aire Comprimido**

	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	PLANO NO.	A4
Dibujo	Juan P. Castillo	01/01/2010	ASTM A106	2	
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010			
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PESO:	ESCALA: 1:285	



# FIMCP - ESPOL

TITULO:  
Tramos del nuevo Sistema de Aire Comprimido

	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	PLANO NO.	A4
Dibujo	Juan P. Castillo	01/01/2010	ASTM A106	3	
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010			
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PEÑO:	ESCALA:1:285	

A

A

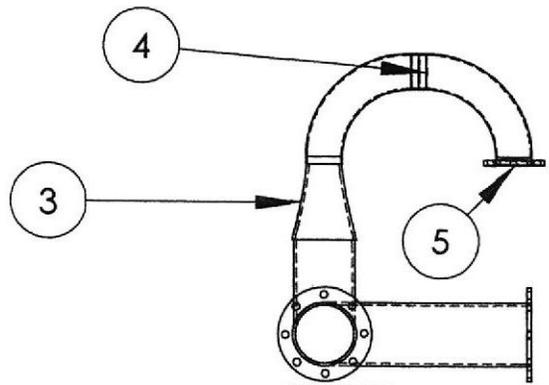
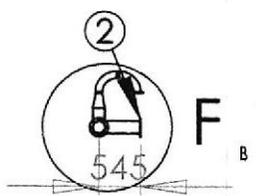
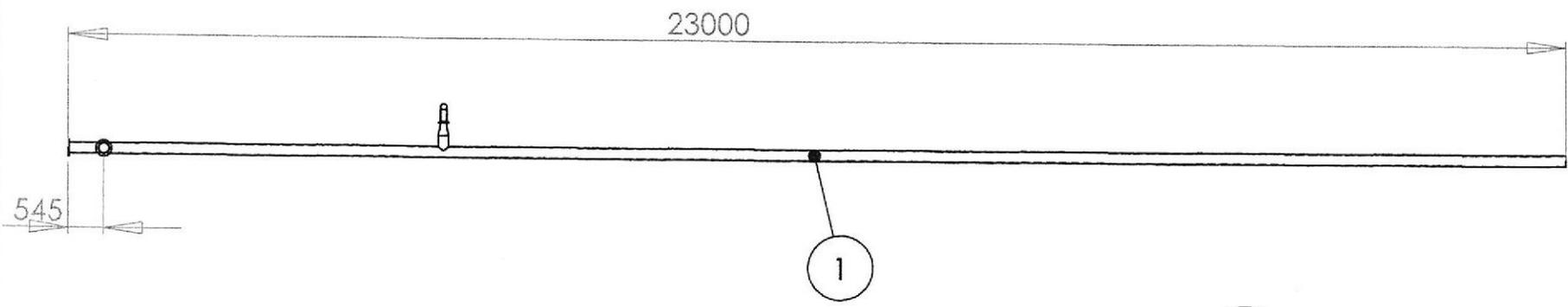
B

B

C

C

D



DETALLE F  
ESCALA 1 : 20

Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	tramo 1	Tubería A 106 SH40	1
2	brida 6	Brida 6"	2
3	red 63	Reducción 6" a 3" SH40	1
4	cd3	Codo $\varnothing$ 3 SH40	2
5	brida 3	Brida 3"	1

# FIMCP - ESPOL

TITULO:  
Tramo 1

Dibujo	Juan P. Castillo	FECHA	01/01/2010	MATERIAL:	PLANO No.	4	A4
Revisión	Ernesto Martínez		05/02/2010				
Aprov	Ernesto Martínez		07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:100		

1

2

A

A

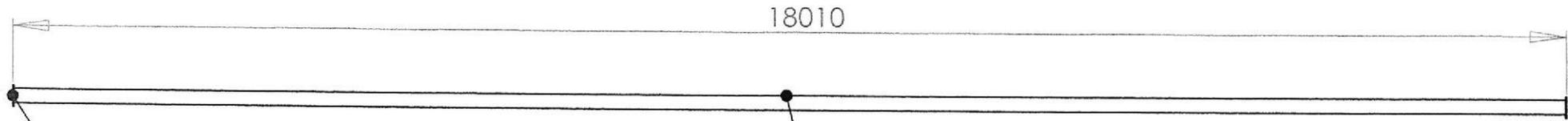
B

B

C

C

D



18010

2

1



CIB-ESPOL

Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Tubo tramo 2	Tubería A106 $\varnothing$ 6" SH40	1
2	brida 6	Brida 6"	2

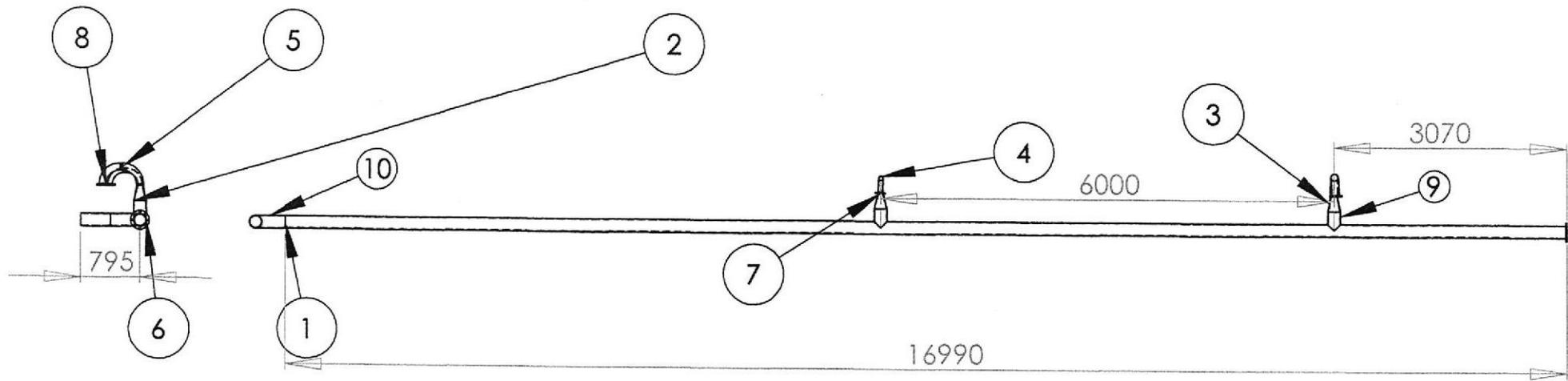
# FIMCP - ESPOL

TITULO: Tramo 2

Dibujo	Juan P. Castillo	FECHA	01/01/2010	MATERIAL:	PLANO No.	5	A4
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010					
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:70			

1

2



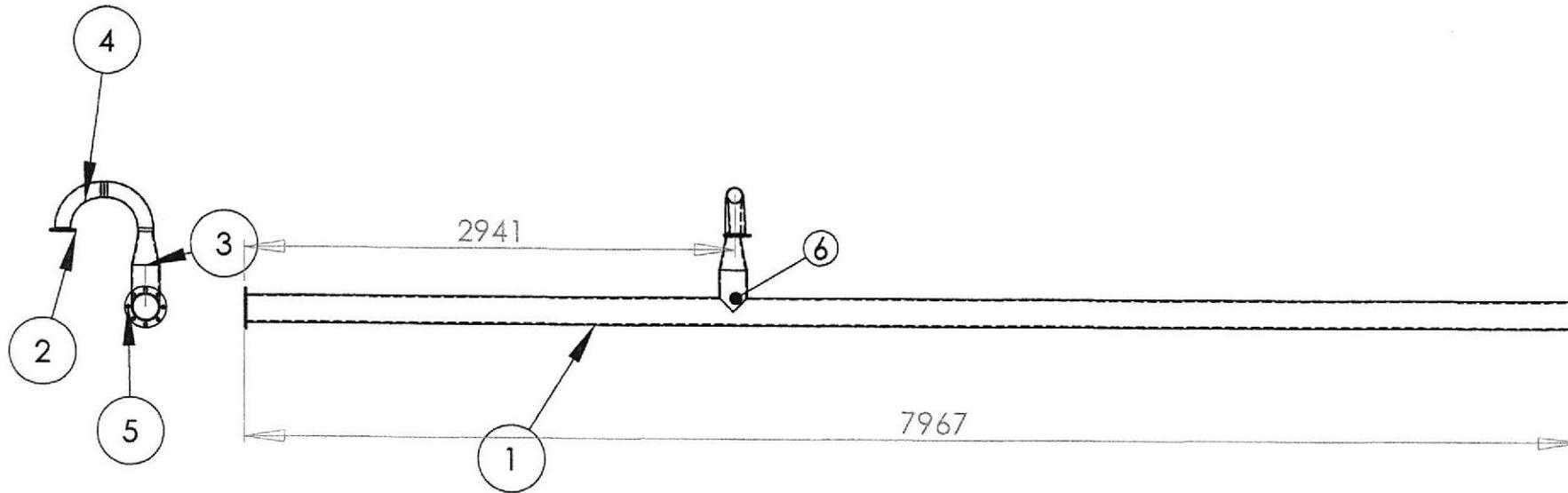
ELEMENTO N°	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	tubo tramo 3	Tubería A106 Ø6" SH40	1
2	red 62	Reducción 6"a2" SH40	1
3	red 63	Reducción 6"a3" SH40	1
4	cd2	Codo Ø2" SH40	2
5	cd3	Codo Ø3" SH40	2
6	brida 6	Brida 6"	1
7	brida 2	Brida 2"	1
8	brida 3	Brida 3"	1
9	T6	Tee Ø6"	2
10	cd6	Codo Ø6" SH40	1

# FIMCP - ESPOL

TITULO:

Tramo 3

Dibujo	Juan P. Castillo	FECHA	01/01/2010	MATERIAL:	PLANO No.	6	A4
Revisión	Ernesto Martínez		05/02/2010				
Aprov	Ernesto Martínez		07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:80		



Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	tubo tramo 4	Tubería A106 Ø6" SH40	1
2	brida 3	Brida 6"	1
3	red 63	Reducción 6"a 3" SH40	1
4	cd3	Codo 3" x 90 SH40	2
5	brida 6	Brida 6"	2
6	T6	Tee 6" SH40	1

# FIMCP - ESPOL

TITULO:

Tramo 4

	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	PLANO No.	
Dibujo	Juan P. Castillo	01/01/2010		7	A4
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010			
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:70	

A

A

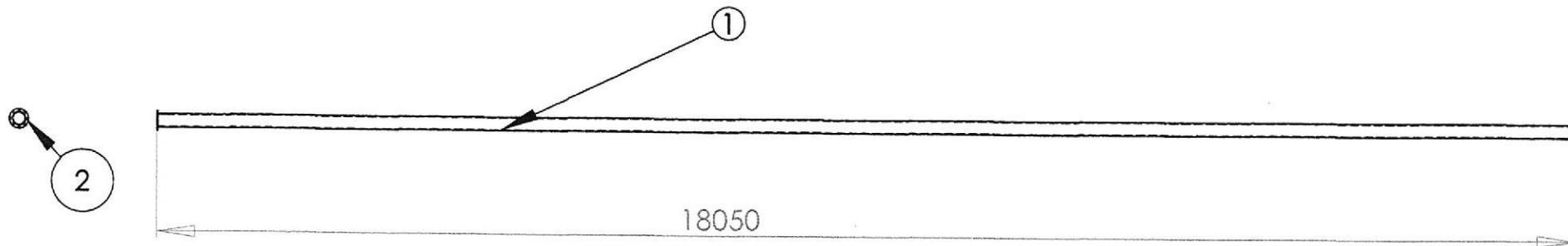
B

B

C

C

D



Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Tubo tramo 5	Tubería A106 Ø6" SH40	1
2	brida 6	Brida 6"	2

1

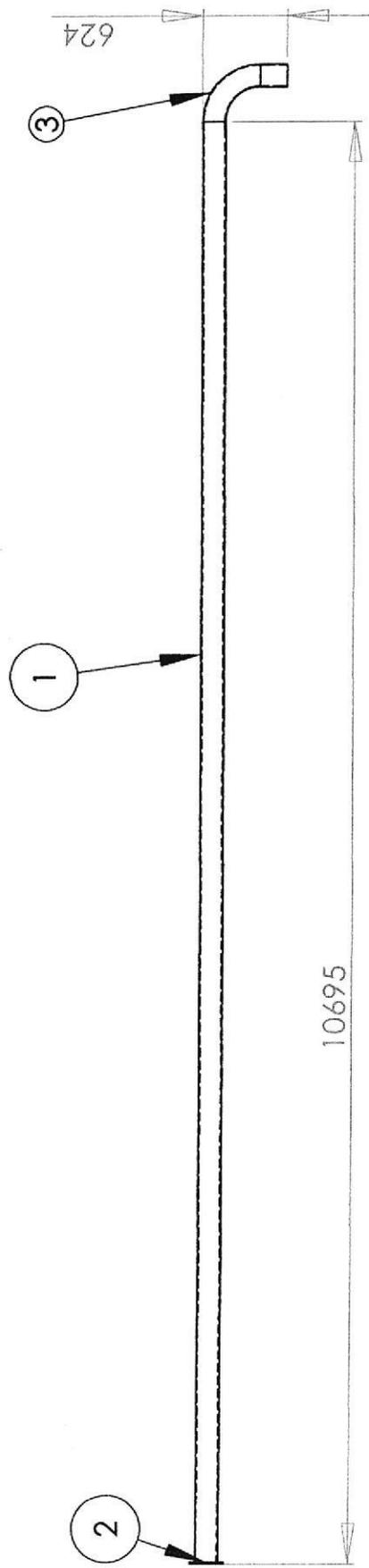
2

# FIMCP - ESPOL

TÍTULO:

Tramo 5

	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	PLANO No.	A4
Dibujo	Juan P. Castillo	01/01/2010		8	
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010			
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:70	



CIB - ESPOL

N° DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Tubo tramo 6	Tubería A106 Ø6" SH40	1
2	brida 6	Brida 6"	1
3	Cd6	Codo 6" x 90 SH40	1

TITULO:

# FIMCP - ESPOL

Tramo 6

NOMBRE MATERIAL:

PLANO NO. 9

A4

Dibujo Juan P. Castillo

FECHA 01/01/2010

Revisión Ernesto Martínez

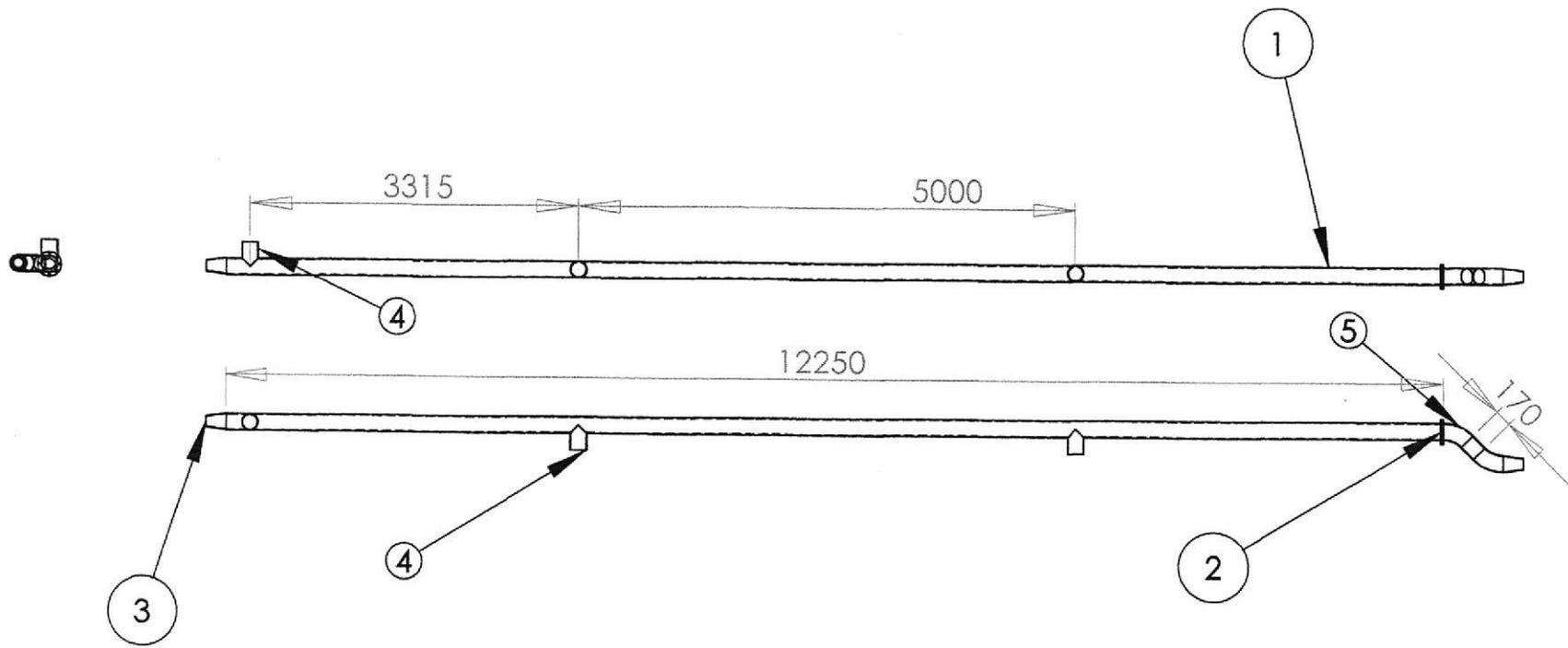
05/02/2010

Aprov Ernesto Martínez

07/02/2010

PESO:

ESCALA:1:50



Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Tubo tramo 7	Tubería A106 $\varnothing$ 6" SH40	1
2	brida 6	Brida 6"	2
3	red 64	Reducción 6" a 4" SH40	2
4	T6	Tee 6" SH40	3
5	Cd645	Codo 6" x 45 SH40	2

# FIMCP - ESPOL

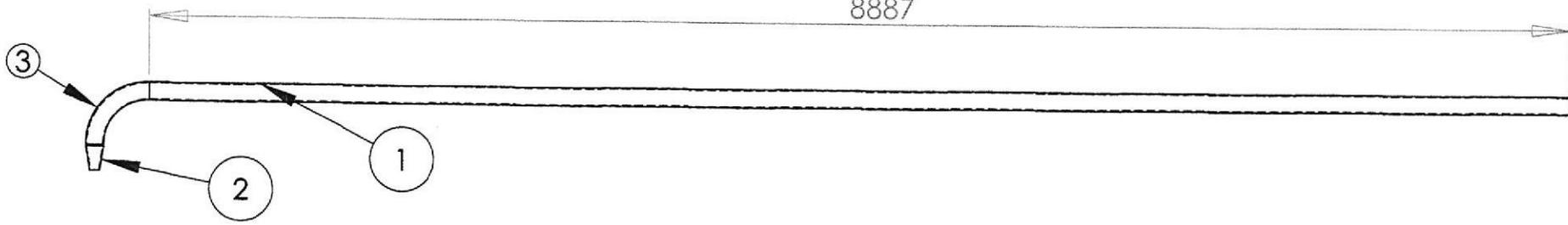
TÍTULO:  
Tramo 7

NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	PLANO No.	A4
Dibujo Juan P. Castillo	01/01/2010		10	
Revisión Ernesto Martínez	05/02/2010			
Aprov Ernesto Martínez	07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:70	

A

A

8887



B

B

C

C

N° DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Tubo tramo 8	Tubería A106 Ø4" SH40	1
2	red 42	Reducción 4" a 2" SH40	1
3	Cd4	Codo Ø4"90 SH40	1

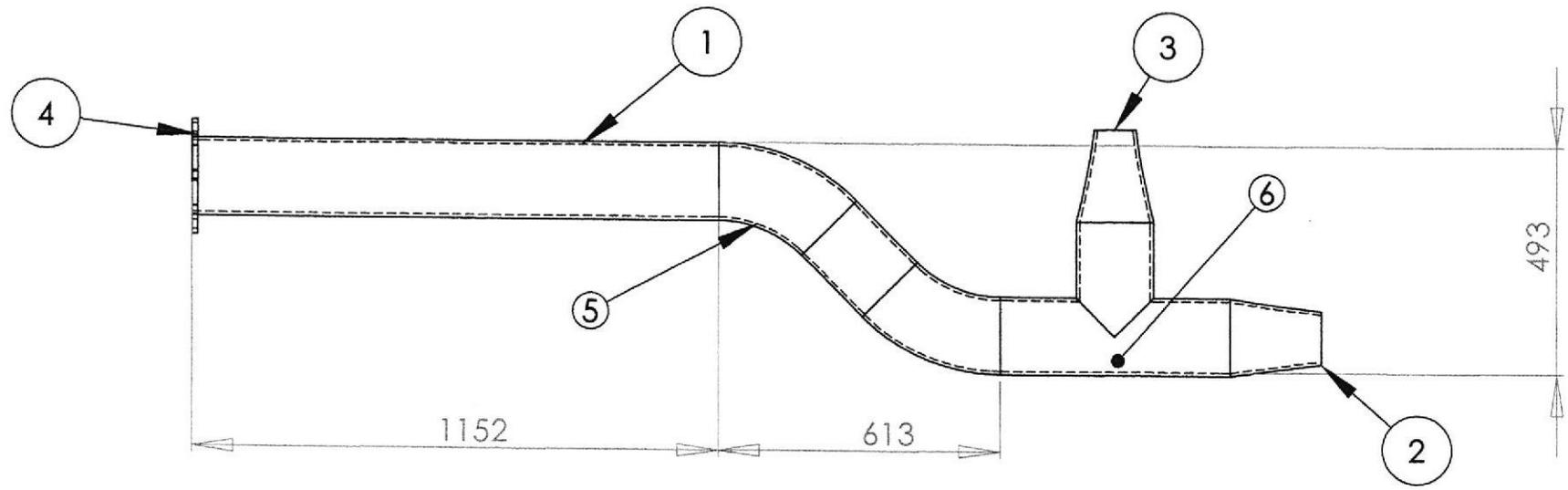
# FIMCP - ESPOL

TITULO:  
Tramo 8

Dibujo	Juan P. Castillo	FECHA	01/01/2010	MATERIAL:	PLANO No.	11	A4
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010					
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:40			

1

2

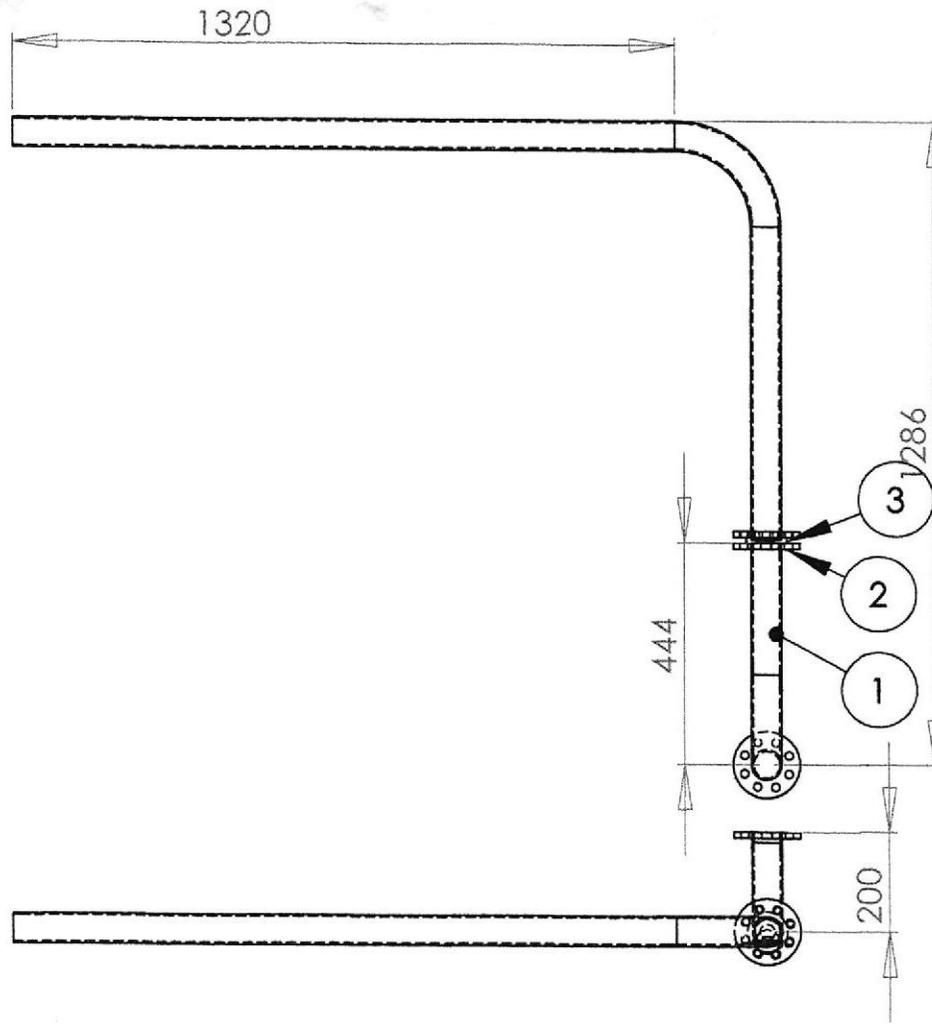


Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Tubo tramo 10	Tubería A106 Ø6" SH40	1
2	red 64	Reducción 6" a 4" SH40	1
3	red 63	Reducción 6" a 3" SH40	1
4	brida 6	Brida 6"	1
5	T6	Tee 6" SH40	1
6	Cd645	Codo 6" x 45 SH40	2

# FIMCP - ESPOL

TITULO:  
Tramo 10

Dibujo	Juan P. Castillo	FECHA	01/01/2010	MATERIAL:	PLANO No.	13	A4
Revisión	Ernesto Martínez		05/02/2010				
Aprov	Ernesto Martínez		07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:15		



Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	tubo tramo 9	Tubería A106 Ø2" SH40	1
2	brida 2	Brida 2"	3
3	Ensamblajevr	Válvula check 2" 600psi	1

# FIMCP - ESPOL

TÍTULO:

Tramo 9

	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	PLANO No.	A4
Dibujo	Juan P. Castillo	01/01/2010		12	
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010			
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PESO:	ESCALA:1:15	

A

B

C

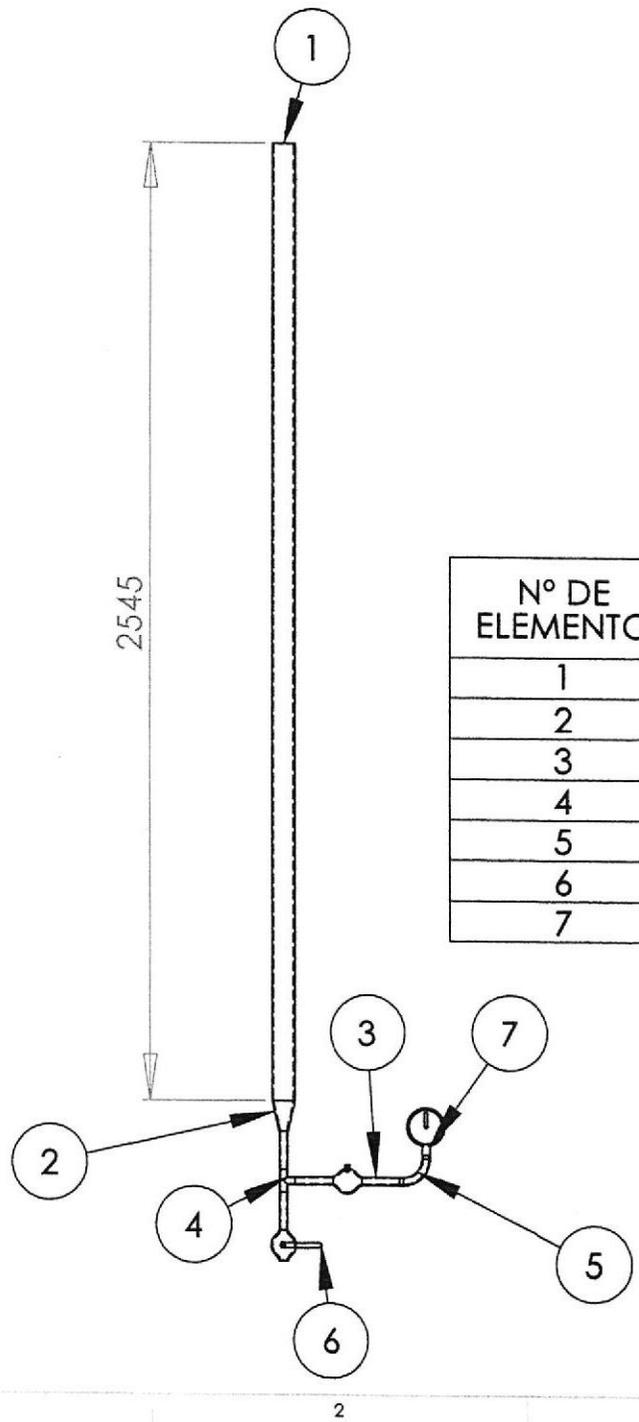
D

A

B

C

D

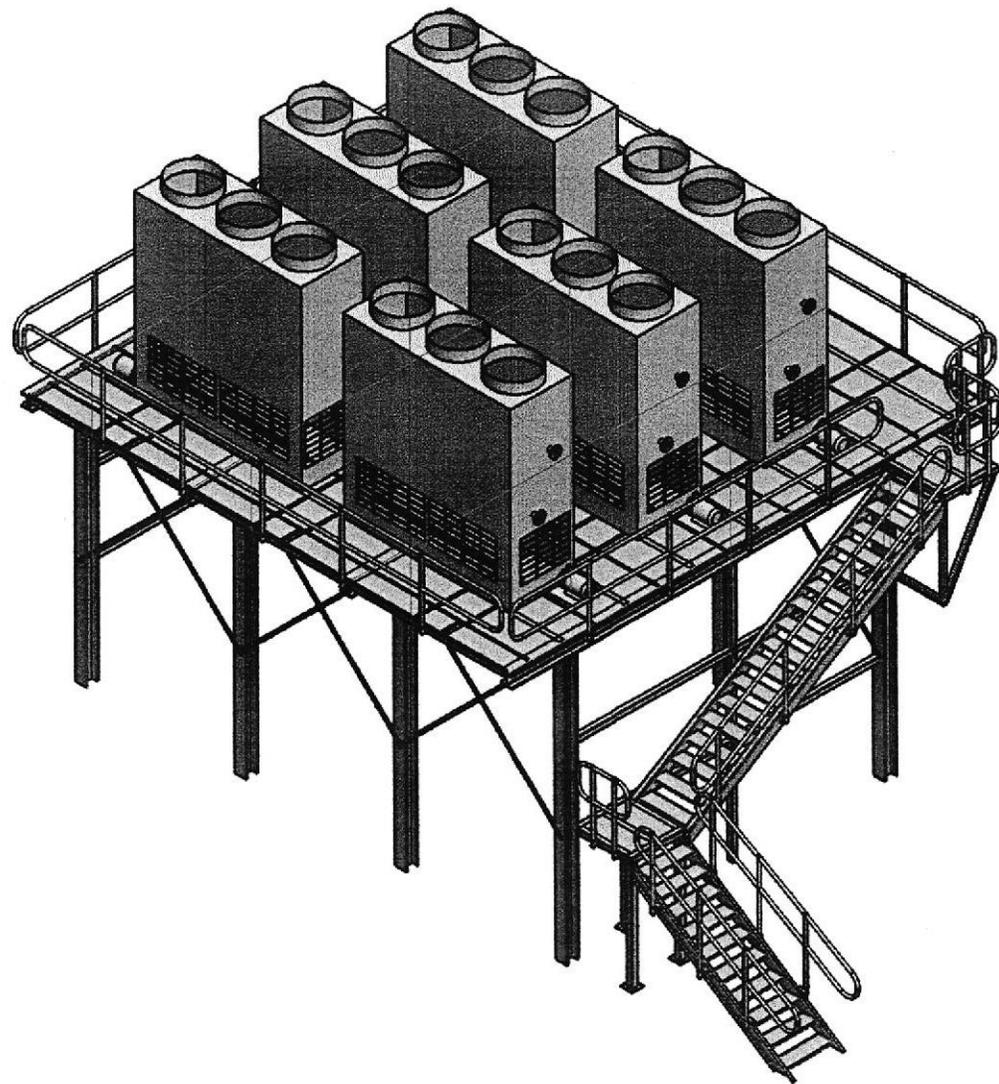


Nº DE ELEMENTO	NÚMERO DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANT.
1	Tubo bajante	Tubería A106 $\varnothing 2''$ SH40	1
2	red 205	Reducción 2" a 1/2" SH40	1
3	n054	Neplo $\varnothing 1/2'' \times 4''$	4
4	T05	Tee 1/2" SH40	1
5	cd05	Codo $\varnothing 1/2''$ SH40	1
6	V05	Válvula cierre rápido 1/2" acero al carbono	2
7	mn 4	Manómetro vertical 4" caraf 0-600PSI	1

# FIMCP - ESPOL

TITULO:  
Bajante

	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	DIBUJO NO.	A4
Dibujo	Juan P. Castillo	01/01/2010			
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010			
Aprov	Ernesto Martínez	07/02/2010	PEÑO:	ESCALA:1:15	

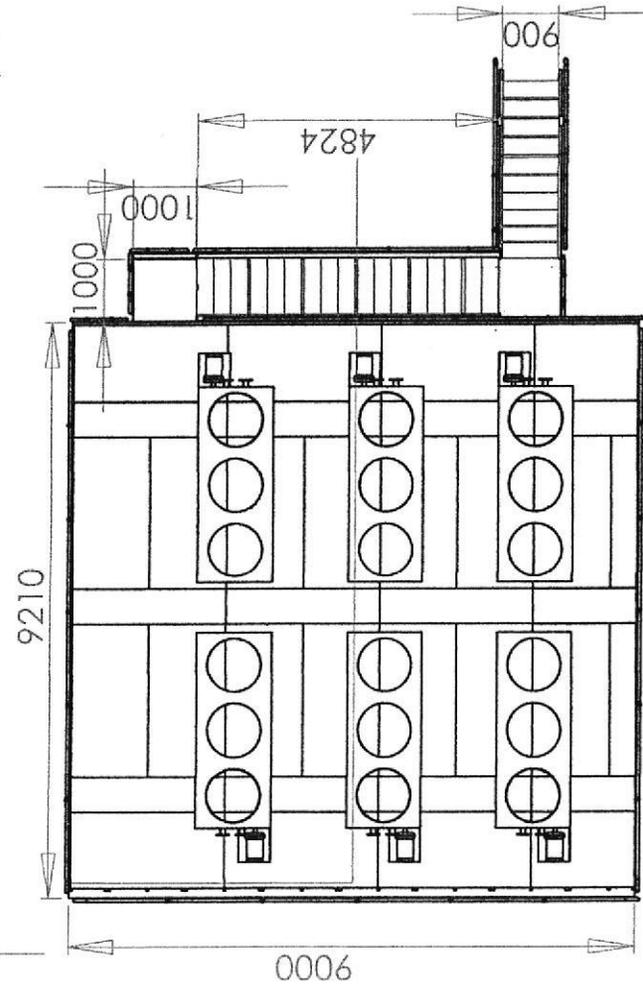
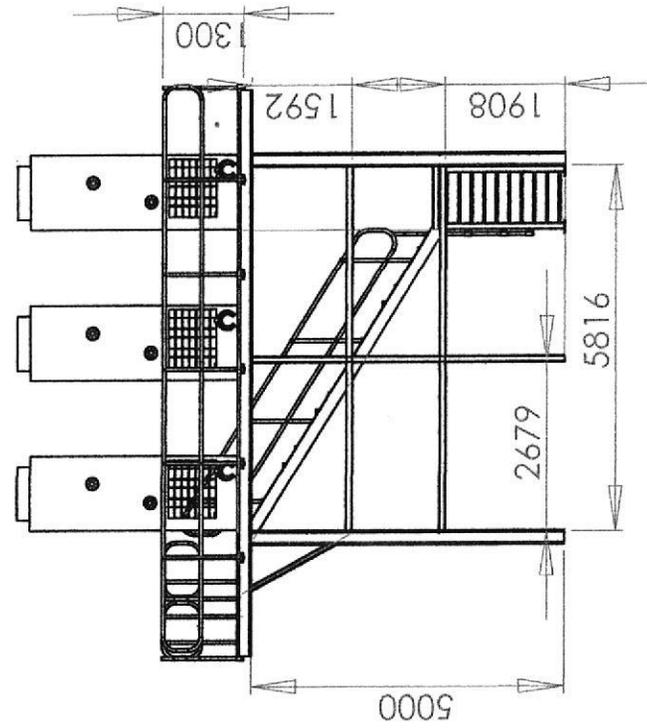
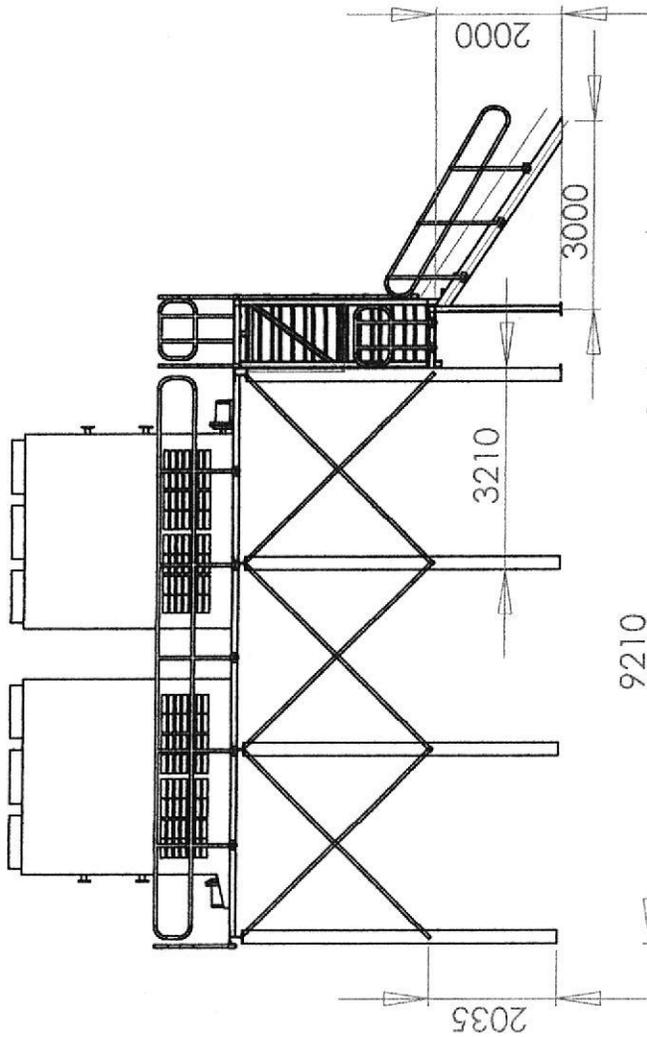


Peso estructura + torres = 43858 Kg

# FIMCP - ESPOL

TITULO:  
Estructura soporte para torres

	NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	PLANO NO.	A4
Dibujo	Juan P. Castillo	01/01/2010	ASTM A36	15	
Revisión	Ernesto Martínez	05/02/2010			
Aprov	Ernesto Martínez	07/01/2010	PESO: 13858 Kg	ESCALA:1:100	



CIB-ESPOL

<b>FIMCP - ESPOL</b>		TÍTULO: <b>Vistas de estructura soporte para torres</b>		PLANO No. <b>16</b>	<b>A4</b>
NOMBRE Juan P. Castillo Ernesto Martínez Ernesto Martínez	FECHA 01/01/2010 05/02/2010 07/02/2010	MATERIAL: <b>ASTM A36</b>	PESO: <b>13858 Kg</b>	ESCALA: <b>1:100</b>	
Dibujo Revisión Aprob					

# APENDICE A

## TABLAS UTILIZADAS EN EL DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

### Propiedades físicas del aire a presión atmosférica normal

TABLA B.3  
Propiedades físicas del aire a presión atmosférica normal (unidades SIG)<sup>a</sup>

Temperatura (°F)	Densidad $\rho$ (slugs/pie <sup>3</sup> )	Peso específico <sup>b</sup> , $\gamma$ (lb/pie <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica, $\mu$ (lb-s/pie <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática, $\nu$ (pies <sup>2</sup> /s)	Razón de calores específicos, $k$ (-)	Velocidad del sonido, $c$ (pies/s)
-40	2.939 E-3	9.456 E-2	3.29 E-7	1.12 E-4	1.401	1004
-20	2.805 E-3	9.026 E-2	3.34 E-7	1.19 E-4	1.401	1028
0	2.683 E-3	8.633 E-2	3.38 E-7	1.26 E-4	1.401	1051
10	2.626 E-3	8.449 E-2	3.44 E-7	1.31 E-4	1.401	1062
20	2.571 E-3	8.273 E-2	3.50 E-7	1.36 E-4	1.401	1074
30	2.519 E-3	8.104 E-2	3.58 E-7	1.42 E-4	1.401	1085
40	2.469 E-3	7.942 E-2	3.60 E-7	1.46 E-4	1.401	1096
50	2.420 E-3	7.786 E-2	3.68 E-7	1.52 E-4	1.401	1106
60	2.373 E-3	7.636 E-2	3.75 E-7	1.58 E-4	1.401	1117
70	2.329 E-3	7.492 E-2	3.82 E-7	1.64 E-4	1.401	1128
80	2.286 E-3	7.353 E-2	3.86 E-7	1.69 E-4	1.400	1138
90	2.244 E-3	7.219 E-2	3.90 E-7	1.74 E-4	1.400	1149
100	2.204 E-3	7.090 E-2	3.94 E-7	1.79 E-4	1.400	1159
120	2.128 E-3	6.846 E-2	4.02 E-7	1.89 E-4	1.400	1180
140	2.057 E-3	6.617 E-2	4.13 E-7	2.01 E-4	1.399	1200
160	1.990 E-3	6.404 E-2	4.22 E-7	2.12 E-4	1.399	1220
180	1.928 E-3	6.204 E-2	4.34 E-7	2.25 E-4	1.399	1239
200	1.870 E-3	6.016 E-2	4.49 E-7	2.40 E-4	1.398	1258
300	1.624 E-3	5.224 E-2	4.97 E-7	3.06 E-4	1.394	1348
400	1.435 E-3	4.616 E-2	5.24 E-7	3.65 E-4	1.389	1431
500	1.285 E-3	4.135 E-2	5.80 E-7	4.51 E-4	1.383	1509
750	1.020 E-3	3.280 E-2	6.81 E-7	6.68 E-4	1.367	1685
1000	8.445 E-4	2.717 E-2	7.85 E-7	9.30 E-4	1.351	1839
1500	6.291 E-4	2.024 E-2	9.50 E-7	1.51 E-3	1.329	2114

<sup>a</sup>Con base en datos de R. D. Blevins, *Applied Fluid Dynamics Handbook*, Van Nostrand Reinhold Co., Inc., Nueva York, 1984.  
<sup>b</sup>La densidad y el peso específico están relacionados a través de la ecuación  $\gamma = \rho g$ ,  $g = 32.174$  pies/s<sup>2</sup>.



CIB-ESPOL

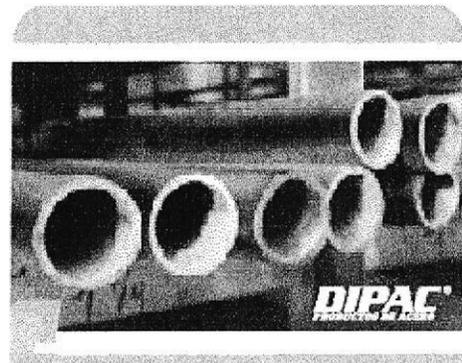
## Tubería para Vapor sin costura Cédula 40

### Especificaciones Generales

Norma	ASTM A 53 GR B para conducción de fluidos
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6,00 m.
Otros largos	Previa Consulta
Acabado	Natural
Otro acabado	Previa Consulta

### Resistencia Mecánica

Resistencia a la tracción	60000 psi ( 42,2 Kg F/mm <sup>2</sup> )
Límite de elasticidad	35000 psi ( 24,6 Kg F/mm <sup>2</sup> )
Alargamiento	0,5%



DIAMETRO NOMINAL	EXTERIOR		ESPESOR e		PRESION/PRUEBA		PESO
	mm	pulg	mm	pulg	kg/cm <sup>2</sup>	lb/pulg <sup>2</sup>	kg/mt
1/4"	13.70	0.54	2.24	0.08	49	700	0.63
3/8"	17.10	0.37	2.81	0.09	49	700	0.65
1/2"	21.30	0.84	2.77	0.10	49	700	1.27
3/4"	26.70	1.05	2.87	0.11	49	700	1.68
1"	33.40	1.31	3.38	0.13	49	700	2.50
1 1/4"	42.20	1.66	3.56	0.14	91	1300	3.38
1 1/2"	48.30	1.90	3.68	0.14	91	1300	4.05
2"	60.30	2.37	3.91	0.15	176	2500	5.44
2 1/2"	73.00	2.87	5.16	0.20	176	2500	8.62
3"	88.90	3.50	5.49	0.21	176	2500	11.29
4"	114.30	4.50	6.02	0.23	165	2210	16.07
5"	141.30	5.56	6.65	0.25	137	1950	21.78
6"	168.30	6.62	7.11	0.28	125	1780	28.26
8"	219.10	8.62	8.19	0.32	110	1570	42.53
10"	273.00	10.75	9.27	0.36	101	1430	60.29
12"	323.80	12.75	10.31	0.40	94	1340	79.65

## Rugosidad promedio en tuberías comerciales.

Tabla 9.1  
Rugosidad promedio de tubos comerciales

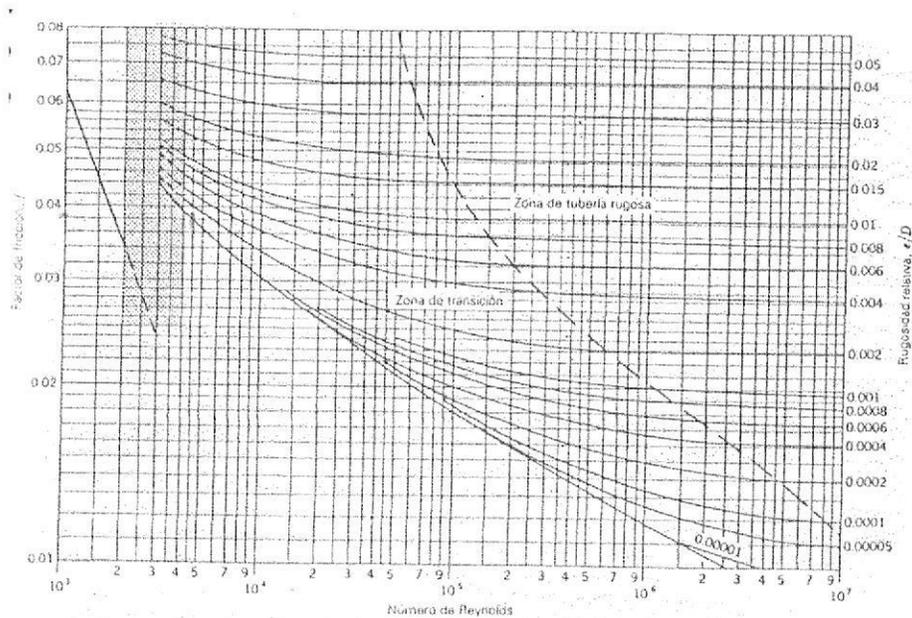
Material (nuevo)	ε	
	pies	mm
Vidrio	0.000001	0.0003
Tubería estirada	0.000005	0.0015
Acero, hierro forjado	0.00015	0.046
Hierro fundido asfaltado	0.0004	0.12
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro fundido	0.00085	0.26
Madera cepillada	0.0006-0.003	0.18-0.9
Concreto	0.001-0.01	0.3-3.0
Acero remachado	0.003-0.03	0.9-9.0

## Longitud equivalente de accesorios para tubería.

Accesorios y válvulas expresados en pies (m) equivalente de tubería				
Accesorios y válvulas	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"
	(50 mm)	(65 mm)	(80 mm)	(90 mm)
Codo a 45°	2 (0,6)	3 (0,9)	3 (0,9)	3 (0,9)
Codo normalizado a 90°	5 (1,5)	6 (1,8)	7 (2,1)	8 (2,4)
Codo de gran radio a 90°	3 (0,9)	4 (1,2)	5 (1,5)	5 (1,5)
T o cruz (corriente que gira 90°)	10 (3,1)	12 (3,7)	15 (4,6)	17 (5,2)
Válvula de compuerta	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)	1 (0,3)
Válvula de mariposa	6 (1,8)	7 (2,1)	10 (3,1)	---
Válvula de retención con clapeta oscilante*	11 (3,4)	14 (4,3)	16 (4,9)	19 (5,8)

Accesorios y válvulas expresados en pies (m) equivalente de tubería				
Accesorios y válvulas	4/4"	5"	6"	8"
	(100 mm)	(125 mm)	(150 mm)	(200 mm)
Codo a 45°	4 (1,2)	5 (1,5)	7 (2,1)	9 (2,7)
Codo normalizado a 90°	10 (3,1)	12 (3,7)	14 (4,3)	18 (5,5)
Codo de gran radio a 90°	6 (1,8)	8 (2,4)	9 (2,7)	13 (4,0)
T ó cruz (corriente que gira 90°)	20 (6,1)	25 (7,6)	30 (9,2)	35 (10,7)
Válvula de compuerta	2 (0,6)	2 (0,6)	3 (0,9)	4 (1,2)
Válvula de mariposa	12 (3,7)	9 (2,7)	10 (3,1)	12 (3,7)
Válvula de retención con clapeta oscilante*	22 (6,7)	27 (8,2)	32 (9,8)	45 (13,7)

### Diagrama de Moody.



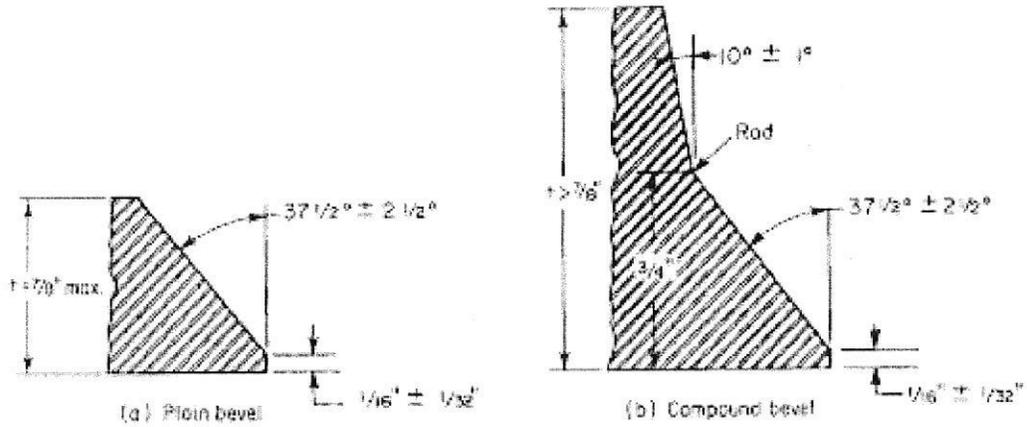
CIB-ESPOL

# Propiedades de Tuberías de Acero al Carbono.

TABLE A-1 (CONT'D)  
 BASIC ALLOWABLE STRESSES IN TENSION FOR METALS<sup>1</sup>  
 Numbers in Parentheses Refer to Notes for Appendix A Tables; Specifications Are ASTM Unless Otherwise Indicated

Material	Spec. No.	P-No. or S-No. (S)	Grade	Notes	Min. Temp., °F (S)	Specified Min. Strength, ksi		Min. Temp.		
						Tensile	Yield	as 100	200	300
Carbon Steel										
Pipes and Tubes (2)										
A 285 Gr. A	A 134	1	...	186(57)	B	45	24	15.0	14.5	14.2
A 285 Gr. A	A 572	1	A45	(57)(59)(67)		45	24	15.0	14.5	14.2
Butt weld Sms & ERW	API 5L	S-1	A25	(8a)	B	-20	45	25	15.0	15.0
	API 5L	S-1	A25	(57)(59)		45	25	15.0	15.0	14.5
...	A 179	1	...	(57)(59)	-20	47	26	15.7	15.0	14.2
Type P	A 53	1	Gr. A	(8a)(77)	B	20	48	30	16.0	16.0
...	A 139	S-1	A	(8b)(77)		A	48	30	16.0	16.0
...	A 587	1	...	(57)(59)	-20	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 53	1	A	(57)(59)	B	48	30	16.0	16.0	16.0
...	A 166	1	A	(57)						
...	A 135	1	A	(57)(59)						
...	A 369	1	FPA	(57)						
...	API 5L	S-1	A	(57)(59)(77)						
...	API 5L	S-1	A	(57)(59)(77)						
A 285 Gr. B	A 134	1	...	186(57)	B	50	27	16.7	16.4	16.0
A 285 Gr. B	A 572	1	A20	(57)(59)(67)		50	27	16.7	16.4	16.0
A 285 Gr. C	A 134	1	...	186(57)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 524	1	Gr. II	(57)		-20	55	30	18.3	18.3
...	A 333	1	I	(57)(59)	-50	55	30	18.3	18.3	17.7
...	A 334	1	I							
A 285 Gr. C	A 571	1	CA55	(59)(67)	A	55	30	18.3	18.3	17.7
A 285 Gr. C	A 572	1	A55	(57)(59)(67)						
A 516 Gr. 55	A 572	1	C55	(57)(67)	C	55	30	18.3	18.3	17.7
A 516 Gr. 60	A 571	1	CC60	(57)(67)						
A 515 Gr. 60	A 571	1	CR60	(57)(67)	B	60	32	20.0	19.5	18.9
A 515 Gr. 60	A 572	1	BB0							
A 516 Gr. 60	A 572	1	CC60	(57)(67)	C	60	32	20.0	19.5	18.9
A 516 Gr. 60	A 571	1	CC60	(57)(67)						
...	A 139	S-1	B	(8a)	A	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 135	1	B	(57)(59)						
...	A 524	1	Gr. I	(57)	-20	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 53	1	B	(57)(59)	B	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 166	1	B	(57)						
...	A 333	1	I	(57)	-50	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 334	1	I							
...	A 369	1	FPB	(57)	-20	60	35	20.0	20.0	20.0
...	A 382	S-1	Y35	...						
...	API 5L	S-1	B	(57)(59)(77)	B					

## Bisel Básico de Soldadura.



Nominal pipe wall thickness $t$	End preparation
Less than $x''$	Cut square or slightly chamfer, at manufacturer's option
$x''$ to $7/8$ incl.	Plain bevel as in (a) above
More than $7/8$	Compound bevel as in (b) above

$x'' = 3/16''$  for carbon steel, ferritic alloy steel, or wrought iron;  $1/8''$  for austenitic alloy steel

**FIGURE A2.22** Basic welding bevel for all components (without backing ring, or with split ring).



## APÉNDICE C

### TABLAS UTILIZADAS EN ANÁLISIS DE CAPACIDAD DE ENFRIAMIENTO DE AGUA

#### Propiedades del Agua.

Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes

Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades de líquido		
	Punto normal de ebullición, °C	Calor latente de vaporización, $h_g$ kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión, $h_f$ kJ/kg	Temp., °C	Densidad $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $C_p$ kJ/kg °C
Aceite (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2 257	0.0	333.7	0	1 000	4.21
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84



CIB-ESPOL

**Tabla de selección Torres de Enfriamiento TEVA modelo RVA**

Modelo RVA	Capacidad enfriamiento (°) l/s	Caudal aire m³/s	Nº ventili	Nº y Pot. motores kW	Nivel sonoro a 5 mts. dB(A)	Caudal agua recirc. l/s	Pot. bomba kW	Dimensiones totales			Pesos	
								Largo mm	Ancho mm	Alto mm	Vacio Kg	Carga Kg
020	1,1	4,05	1	1 x 1,1	60	3,01	0,37	1200	930	3100	515	970
040	1,9	2,93	1	1 x 0,55	56	3,01	0,37	1200	930	3100	580	1055
050	2,2	3,78	1	1x 1,1	61	3,01	0,37	1200	930	3100	585	1070
055	2,7	3,17	1	1 x 0,75	58	3,01	0,37	1200	930	3100	650	1165
065	2,9	3,44	1	1 x 1,1	60	3,01	0,37	1200	930	3100	655	1170
070	3,1	3,85	1	1 x 1,5	62	3,01	0,37	1200	930	3100	665	1180
110	4,0	5,10	2	2 x 0,55	58	4,52	0,55	1800	930	3100	800	1540
115	4,5	4,20	2	2 x 0,37	56	4,52	0,55	1800	930	3100	915	1705
130	5,2	5,02	2	2 x 0,55	60	4,52	0,55	1800	930	3100	915	1710
140	5,7	5,84	2	2 x 1,1	63	4,52	0,55	1800	930	3100	930	1720
230	6,2	7,54	2	2 x 1,1	64	6,03	0,55	2400	930	3100	995	1980
250	7,1	6,40	2	2 x 0,75	61	6,03	0,55	2400	930	3100	1140	2195
265	7,7	7,12	2	2 x 1,1	64	6,03	0,55	2400	930	3100	1150	2205
270	8,0	7,50	2	2 x 1,5	65	6,03	0,55	2400	930	3100	1165	2220
300	8,6	10,40	2	2 x 1,5	66	7,97	0,55	2400	1230	3220	1250	2565
310	9,1	11,42	2	2 x 2,2	67	7,97	0,55	2400	1230	3220	1265	2575
325	10,4	9,54	2	2 x 1,5	65	7,97	0,55	2400	1230	3220	1455	2865
340	11,7	11,32	2	2 x 3	69	7,97	0,55	2400	1230	3220	1470	2875
465	12,8	11,00	2	2 x 1,5	66	9,96	0,75	3000	1230	3220	1775	3525
495	14,3	12,62	2	2 x 3	69	9,96	0,75	3000	1230	3220	1785	3540
550	15,7	13,05	3	3 x 1,1	65	11,96	1,1	3600	1230	3220	2040	4145
565	16,8	14,31	3	3 x 1,5	67	11,96	1,1	3600	1230	3220	2065	4165
575	17,9	15,78	3	3 x 2,2	69	11,96	1,1	3600	1230	3220	2090	4185
590	20,2	15,18	3	3 x 2,2	71	11,96	1,1	3600	1230	3320	2400	4645
600	17,0	13,78	2	2 x 3	69	14,82	1,5	3000	1830	3260	2280	4705
670	22,5	21,00	2	2 x 4	71	14,82	1,5	3000	1830	3260	2690	5285
710	24,4	20,80	2	2 x 3	69	17,7	1,5	3600	1830	3260	3050	6160

# APÉNDICE D

## TABLAS UTILIZADAS EN DISEÑO DE ESTRUCTURA SOPORTE PARA TORRES

Tabla de selección para vigas en perfiles W.

LOAD FACTOR DESIGN SELECTION TABLE												
For shapes used as beams												
$\phi_p = 0.90$												
$F_y = 36 \text{ ksi}$						$F_y = 50 \text{ ksi}$						
$Z_x$	$L_r$	$L_p$	$\phi_b M_r$	$\phi_b M_o$	$Z_x$	Shape	$\phi_b M_r$	$\phi_b M_o$	$L_r$	$L_p$	$Z_x$	
Kips	Ft	Ft	Kip-ft	Kip-ft	$\text{in.}^3$		Kip-ft	Kip-ft	Ft	Ft	Kips	
4.16	19.0	6.4	34.8	147	64.9	W14x34	205	146	5.4	14.4	6.59	
5.70	14.3	4.8	32.0	146	64.9	W16x31	203	142	4.1	11.0	6.85	
3.47	20.6	6.4	33.9	133	61.2	W12x35	192	137	5.4	15.2	6.87	
1.26	43.7	8.7	34.4	132	49.0	W8x48	184	130	7.4	31.1	2.27	
3.92	17.9	6.2	31.9	128	47.3	W14x30	177	126	5.3	13.7	6.08	
1.93	21.2	6.3	32.1	125	45.8	W10x39	175	125	7.0	21.8	3.32	
5.16	13.3	4.7	34.8	119	44.2	W16x29	166	115	4.0	10.4	7.88	
3.22	19.1	6.3	35.3	115	43.1	W12x30	162	115	5.4	14.4	5.10	
4.44	13.4	4.5	33.8	109	40.2	W14x28	151	106	3.8	10.3	6.98	
1.23	29.1	8.6	32.2	107	39.8	W8x40	149	107	7.2	25.4	2.22	
1.89	27.4	8.1	33.3	105	38.8	W10x32	146	105	5.9	15.7	3.15	
2.59	18.1	6.3	35.1	100	37.2	W12x29	140	100	5.3	13.8	4.64	
2.14	20.3	5.7	33.2	98.8	35.5	W10x30	137	97.2	4.6	14.5	4.13	
1.23	25.1	8.5	30.8	92.7	34.7	W8x35	130	93.5	7.2	24.1	2.15	
4.06	12.5	4.3	35.6	89.8	33.2	W14x22	125	87.0	3.7	9.7	6.26	
2.34	18.3	5.7	34.4	84.5	31.3	W10x26	117	83.7	4.8	13.5	3.83	
1.21	32.0	6.4	33.6	82.1	30.4	W8x31	114	82.8	7.1	22.3	2.57	
3.88	11.1	3.8	43.5	79.1	29.3	W12x22	110	76.2	3.0	8.4	6.24	
1.27	27.3	6.8	47.4	73.4	27.2	W8x26	102	72.9	5.7	18.9	2.22	
2.18	16.5	5.8	45.2	70.2	25.0	W10x22	87.5	68.6	4.7	12.7	3.60	
3.61	10.4	3.4	41.5	66.7	24.7	W12x19	82.6	63.9	2.8	7.9	6.70	
1.24	24.4	6.7	40.8	62.6	23.2	W8x24	87.0	62.7	5.7	17.2	2.11	
2.60	12.0	3.6	36.7	58.3	21.8	W10x19	81.0	56.4	3.1	8.9	4.25	
1.46	18.6	5.3	35.5	55.1	20.4	W8x21	75.5	54.8	4.8	13.3	2.47	
3.36	8.6	3.2	33.3	54.3	20.1	W12x16	75.4	51.3	2.7	7.4	6.12	
0.741	31.3	6.3	32.6	51.0	19.9	W8x23	70.9	50.1	5.4	21.0	1.93	
2.46	11.2	3.5	31.6	50.5	18.7	W10x17	70.1	48.5	3.0	8.4	3.87	
2.67	5.2	3.1	29.1	47.0	17.4	W12x14	65.3	44.7	2.7	7.2	4.58	
1.40	15.7	5.1	29.8	45.9	17.0	W8x18	63.8	44.4	4.3	12.3	2.90	
2.34	10.3	3.4	28.9	42.2	16.0	W10x15	60.2	41.4	2.9	7.9	3.62	
0.728	25.6	6.3	28.1	40.2	14.9	W8x20	55.9	40.2	5.3	17.7	1.27	
3.32	6.5	2.9	25.8	38.8	14.3	W12x11.8	50.7	36.3	2.0	5.4	6.10	
1.53	12.6	3.7	23.0	37.7	13.5	W8x15	51.2	35.4	3.1	9.2	2.55	

## Tabla de selección de para vigas en perfil tubo cuadrado.

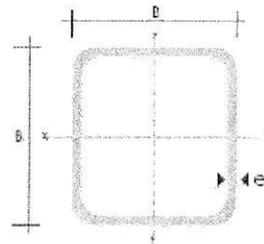
### TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

#### Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Longitud	6 mts.
Clase de acero	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 2,0mm a 5,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
20	1,2	0,72	0,60	0,53	0,63	0,77
20	1,5	0,86	1,03	0,55	0,66	0,74
20	2,0	1,16	1,34	0,59	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,35	1,91	1,26	1,18
30	1,5	1,33	1,63	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,50	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,26	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,69	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	5,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	5,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	6,59	10,66	89,96	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,07	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,67	54,11	3,84



## Tabla para selección de factor de longitud para columnas.

Tabla 4.1 Factores  $K$  de longitud efectiva para columnas cargadas axialmente con diversas condiciones idealizadas de extremo.

La forma pandeada de la columna se muestra con línea de rayas.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de $K$	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor recomendado para $K$ cuando se está cerca de las condiciones ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las condiciones de extremo		Rotación impedida	Traslación impedida			
		Rotación libre	Traslación impedida			
		Rotación impedida	Traslación libre			
		Rotación libre	Traslación libre			



CIB-ESPOL

## BIBLIOGRAFÍA

1. Shames Irving, Mecánica de Fluidos, McGrawHill, Tercera edición, 1995.
2. Cengel Yunus – Boles Michael, Termodinámica, McGrawHill, Cuarta edición, 2003.
3. Catálogo de Acero, DIPAC, 2008.
4. <http://www.auxxon.com.ar/productos.html>
5. Galambos Theodore V, Diseño de Estructura de Acero con LRFD, Rentice Hall, México, 1999.
6. Process Piping, ASME B31.3, 2002.
7. Nayyar Mohinder, Piping Handbook, Séptima edición.
8. Manual of Steel Construction, AISC u Institute of Steel Construction, Second Edition.

espol CIB  
Biblioteca 621.5  
[C.2] CAS  
  
D-43222



A.F. 142774