

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Mejoramiento de Capacidad de Moldeo de Fundidora de Metales
por Medio de Instalación de Red de Aire Comprimido”

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

Darwin Gabriel Ochoa Ordóñez

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2008

AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios. A mis Padres Darwin y Blanca, y a Maria Isabel, que siempre confiaron en mi. A toda mi familia que me brindaron su apoyo.

Al Ing. Ignacio Wiesner por su ayuda y sus enseñanzas en mi formación profesional. Y a mis compañeros y amigos que estuvieron siempre dispuestos a darme una mano.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

MIS HERMANAS

MI FAMILIA

Y A MARIA ISABEL

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Eduardo Orces P.
VOCAL

Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL

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 POLITECNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Darwin Gabriel Ochoa Ordóñez

RESUMEN

Este proyecto surge de la necesidad existente en una planta fundidora de metales de realizar mejoras en sus operaciones de moldeo en arena para disminuir los tiempos de trabajo, consiguiendo de esta manera un aumento en la capacidad de producción de la misma, disminución de costos de producción, y además mejoramiento de la calidad del producto terminado.

Para lograr esto, primeramente se estudiará el proceso actual de moldeo en la planta, estableciendo los puntos en los que se generan pérdidas de tiempo durante estas operaciones. Una vez se haya identificado el problema se planteará las mejoras que se realizará al proceso con el fin de reducir dichas pérdidas. Esto consiste básicamente en la implementación de una red de aire a presión para operar herramientas neumáticas que faciliten el trabajo en las rutinas de moldeo.

Se va a calcular los componentes de la línea de presión de aire, reutilizando un compresor existente en la planta que requiere de mantenimiento. Esta línea debe alimentar un grupo de émbolos neumáticos y una máquina de sandblasting también existentes y que de igual manera requieren mantenimiento. Luego se ejecutará el montaje con todas las operaciones necesarias para adaptar las herramientas indicadas, hasta su puesta en marcha.

Finalmente se evaluará las mejoras realizadas en la planta tomando en cuenta los indicadores de producción analizados inicialmente, y presentando los resultados, desde el punto de vista técnico y económico.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción del proceso de moldeo.....	3
1.2 Identificación del problema.....	12
1.3 Indicadores de producción.....	14
1.4 Mejoramiento de capacidad de moldeo.....	15
CAPITULO 2	
2. DISEÑO, CÁLCULOS Y MONTAJES DE EQUIPOS.....	17
2.1 Requerimiento de aire comprimido.....	17
2.2 Cálculos de línea de aire comprimido.....	20
2.3 Montaje de línea de aire comprimido.....	32
2.4 Puesta en marcha de línea de aire comprimido.....	48

CAPITULO 3

3. EVALUACIÓN DE TÉCNICA Y ECONÓMICA.....	50
3.1 Evaluación Técnica.....	50
3.2 Evaluación Económica.....	52

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
----------------------------------------	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

M	Metro
Ton	Tonelada métrica
Psi	Pulgada/pie cuadrado
CFM	Pie cúbico/minuto
Q	Caudal
μ	Viscosidad dinámica
ρ	Densidad
H	Perdida de carga
λ	Coefficiente de pérdida de carga
L	Longitud de la tubería
D	Diámetro de la tubería
v	Velocidad media del fluido
ft	Pie
Qa	Caudal de aire en condiciones actuales
FAD	Caudal de aire libre entregado
Pa	Presión actual absoluta
Ps	Presión Standard absoluta (14.5 psi)
Ta	Temperatura actual ambiente (°R)
Ts	Temperatura Standard (°R)
V	Volumen
A	Área
r	Radio
Re	Numero de Reynolds
K	Coefficiente de rugosidad
Δp	Caída de presión
Ct	Costo de tubería
Ca	Costo de accesorios
Cmi	Costo de mano de obra de instalación
Cme	Costo de mantenimiento de equipos

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1	Caja de Moldeo.....5
Figura 1.2	Moldeo de una Pieza(Difusor).....5
Figura 1.3	Llenado de Arena.....6
Figura 1.4	Caja de Moldeo con Vertedero.....7
Figura 1.5	Compactación Manual.....8
Figura 1.6	Moldes Listos para Colada.....9
Figura 1.7	Elaboración de los Machos.....10
Figura 1.8	Secado de la Arena con Mechero a Gas.....10
Figura 1.9	Desmoldeo de la Pieza.....11
Figura 2.1	Pisón Neumático.....32
Figura 2.2	Compactadora con Pisón Neumático33
Figura 2.3	Montaje de Compresor.....34
Figura 2.4	Soporte en forma de "A".....36
Figura 2.5	Soporte en forma de "PERA".....37
Figura 2.6	Tubería montada en Soporte en forma de "A".....38
Figura 2.7	Tubería montada en Soporte en forma de "PERA".....39
Figura 2.8	Tubería montada en Soporte en forma de "TEES".....39
Figura 2.9	Tubería montada en Soporte en forma de "MEDIA LUNA".....40
Figura 2.10	Montaje de Tuberías.....42
Figura 2.11	Vista General de La Nave de Producción.....43
Figura 2.12	Montaje de Manifold.....44
Figura 2.13	Montaje de Bajante de Toma de Aire.....44
Figura 2.14	Montaje de Purgas de Condensado.....46

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Distribución del tiempo del Moldeo antes del Montaje De la Línea de Aire Comprimido.....15
Tabla 2	Requerimiento Total de Aire del Sistema.....17
Tabla 3	Requerimiento considerando Factor de Coincidencia.....18
Tabla 4	Requerimiento de Aire a Corto Plazo.....19
Tabla 5	Requerimiento de Aire a Corto Plazo considerando Factor de Coincidencia.....20
Tabla 6	Accesorios utilizados en Anillo Principal.....21
Tabla 7	Longitud equivalente de accesorio de $\varnothing 1 \frac{1}{2}$ "23
Tabla 8	Longitud equivalente de accesorio de $\varnothing 2$ "26
Tabla 9	Longitud equivalente de accesorio de $\varnothing 1$ " para bajantes.....29
Tabla 10	Materiales utilizados en Montaje de Anillo Principal.....41
Tabla 11	Materiales Utilizados en Montaje45
Tabla 12	Materiales utilizados en montaje de Purgas de Condensado...47
Tabla 13	Distribución de Tiempo de Moldeo después del montaje de Línea de Aire Comprimido.....51
Tabla 14	Costo Total de accesorios del anillo Principal.....53
Tabla 15	Costo Total de Accesorios de Bajantes.....54
Tabla 16	Costo Total de Accesorios de Purgas de Condensado.....55
Tabla 17	Costo Total de la Instalación.....57
Tabla 18	Costo Real de la Instalación.....57

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1 Vista en Planta de la Instalación.

INTRODUCCIÓN

La fundición de partes es uno de los procesos de fabricación que ha entrado desde algunos años en la globalización, es por eso que en nuestro medio no es extraño encontrar tapas de registro usadas en la regeneración urbana hechas en Francia, Brasil, China u otro país que tenga liderazgo en la producción de hierro dúctil a bajo costo. Aunque en nuestro medio, usando la misma tecnología por medio de la fusión en horno de inducción y arena de sílice con bentonita sódica para la preparación de arena aglutinada, se alcanzaría una productividad con la que se podría competir con los precios internacionales.

Uno de los principales objetivos de la planta de transformación metalúrgica, Intramet, es crecer en la participación del Mercado, no solamente en volumen de fabricación sino en calidad del servicio prestado a sus clientes, basados siempre en el principio de mejoramiento continuo, y así participar de la demanda nacional de partes en hierro dúctil.

Bajo este concepto la planta tiene varios planes de mejoramiento, uno de ellos es aumentar su capacidad de producción con la meta de llegar a 2000 ton/año produciendo piezas en serie, y al mismo tiempo siempre buscar aumentar su productividad tornando cada vez más eficientes sus procesos de transformación.

El fin de este trabajo es aumentar la capacidad de moldeo, que constituye un cuello de botella en la producción de la planta, de una manera eficiente mecanizando parte de este proceso mediante la instalación de una línea de aire comprimido. Al final lo que se espera obtener es fabricar más piezas con los mismos recursos, o sin aumentar en gran cantidad los recursos utilizados, enfocado especialmente al recurso humano, es decir fabricar más piezas en el mismo tiempo y con el mismo personal.

CAPITULO 1

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Proceso de Moldeo.

De entre los diferentes procesos de moldeo que existen el más usado en esta planta fundidora es el moldeo en arena de sílice con bentonita y agua.

Este comienza construyendo la plantilla o patrón con la forma de la pieza que se quiere obtener, de algún material como aluminio, hierro fundido, resina, plástico, yeso o madera.

En algunas ocasiones la pieza requerida tiene alguna cavidad o hueco que no puede ser formada por la superficie de la cavidad del molde, entonces será necesario disponer de machos que eviten que el metal fundido rellene dichas oquedades. Cada patrón, si así lo requiere el diseño, debe tener su respectiva caja de machos y debe tener

prolongaciones que generen en el molde espacios donde se colocaran los machos.

Además deben ser contruidos de forma y tamaño ligeramente sobredimensionado previniendo la contracción del metal al solidificarse y enfriarse como sólido.

Mientras tanto se comienza a preparar la arena. Primeramente se elimina las partículas extrañas con ayuda de una criba, luego, como la arena no tiene suficiente resistencia para conservar su forma, se la mezcla con un aglutinante que generalmente es arcilla y agua, esto es con la ayuda de un molino mezclador de rueda (tipo chileno) que distribuya el aglutinante uniformemente en los granos de arena. La mezcla adquiere resistencia a la compresión por medio de compactación manual o mecánica.

Luego de obtener el patrón y preparar la arena se escogen las cajas de moldeo, que son unos marcos de metal con guías para facilitar el moldeo por uso de tapa y fondo, permitiéndole mantener la misma posición relativa entre ellas, y dentro las cuales se va a armar el molde, se debe seleccionar aquellos que tengan el tamaño adecuado en relación al modelo. Por lo general se elabora el molde en dos mitades, tapa y fondo como ya se dijo, y así poder retirar el patrón con facilidad.

En algunas ocasiones se moldean varias unidades pequeñas en un mismo marco o caja de moldeo.



FIGURA 1.1 CAJA DE MOLDEO



FIGURA 1.2 MOLDEO DE UNA PIEZA (DIFUSOR)

A continuación se cubre el patrón con grafito para evitar que quede pegado a la arena, se lo coloca sobre una tabla de moldeo que coincide con la caja que servirá como base y se va llenando con arena, compactándola en torno al modelo con las manos o con la ayuda de apisonadores manuales hasta llenar completamente la caja, y luego se quita el exceso con una barra recta llamada rasera.

Suelen hacerse pequeños agujeros en la arena para ayudar al escape de gases de la fundición. Hecho esto se voltea la base quedando la tabla de moldeo sobre esta, se retira la tabla dejando el patrón expuesto, se limpia la superficie del patrón, se alisa la superficie de la arena con una espátula de moldeador y se la cubre con una capa fina de arena de separación, de granos finos para evitar que se pegue la arena de la tapa sobre la arena de la base.



FIGURA 1.3 LLENADO DE ARENA



FIGURA 1.4 CAJA DE MOLDE CON VERTEDERO

Seguidamente se ubica la tapa sobre la base alineándolas con los pasadores en sus respectivos agujeros guía. Se coloca a unos pocos centímetros de un costado del modelo un tubo o cilindro que dará forma al vertedero, conducto por donde ingresara el metal fundido al molde, de ser necesario se coloca otro tubo por lo general en el lado opuesto al vertedero que formara el rebosadero, que sirve como suministro de metal caliente mientras se va enfriando y contrayendo la pieza y además ayuda a la evacuación de gases; luego se llena la tapa de arena, compactándola y agujereándola para escape de gases, de igual manera como se realizo en la base.



FIGURA 1.5 COMPACTACIÓN MANUAL

El apisonado debe ser suficientemente fuerte tal que al mover el molde o al chocar el metal fundido contra el, la arena se mantenga en su posición, pero al mismo tiempo no extremadamente fuerte que no permita la evacuación de gases y vapores cuando ingrese el metal fundido. La resistencia mecánica debe estar entre 15 y 25 lbs/plg², aunque puede ser mayor de acuerdo al tamaño de grano de la arena de sílice.

Ahora el molde está completo y se debe quitar el modelo, para esto primero se extrae los tubos que dieron forma al rebosadero y vertedero, abocardando el ingreso para facilitar la entrada del metal fundido. A

continuación se levanta con cuidado la mitad de la caja correspondiente a la tapa y se coloca a un lado para poder extraer el modelo, pero antes se humedece ligeramente la arena alrededor del modelo para evitar que se desmorone al extraerlo.

Luego se encaja en el modelo unos pernos para poderlo retirar del molde, se golpea ligeramente los pernos en todas direcciones para aflojar el modelo y entonces ya se puede extraer el modelo levantándolo de los pernos. Seguidamente se colocan los machos en caso de que el modelo así lo requiera.



FIGURA 1.6 MOLDES LISTOS PARA COLADA

Los machos se realizan aparte en pequeños moldes hechos generalmente de resina. Debido a que va a ser manipulado, los machos se construyen con un tipo de arena de mejor calidad, sílice mas un aditivo, silicato de sodio, que endurece ante la presencia de anhídrido carbónico (CO₂), suministrado por botellas de dicho gas.



FIGURA 1.7 ELABORACIÓN DE LOS MACHOS

A continuación se corta del molde un pequeño conducto entre el vertedero y el espacio correspondiente a la pieza para permitir el paso de la colada, luego con ayuda de un mechero de gas se seca la superficie del molde que estará en contacto con el metal fundido, y que previamente fue rociada o espolvoreada con un material para recubrimiento que generalmente contienen polvo de sílice y grafito.



FIGURA 1.8 SECADO DE LA ARENA CON MECHERO A GAS

Finalmente se cierra la tapa alineándola correctamente con la base y se coloca algún peso sobre esta, presionándola para evitar que el metal vaciado fugue del molde por la línea de partición a consecuencia de la presión metalostática.

Todo este proceso se realiza mientras en el horno se encuentra fundiéndose el metal, al estar listo y a la temperatura adecuada, se vierte el metal en los moldes preparados y se los deja enfriar hasta la temperatura suficiente para el punto de solidificación del metal, y así empieza la solidificación que involucra un cambio de fase que requiere tiempo para completarse porque es necesario disipar una considerable cantidad de calor, y aun más se debe permitir que la temperatura descienda lo suficiente hasta que se pueda manipular.



FIGURA 1.9 DESMOLDEO DE LA PIEZA

Luego se remueve la pieza del molde, recirculando la arena para construcción de nuevos moldes, y se lleva la pieza obtenida para realizar labores posteriores al moldeo:

- Limpieza de arena, que se realiza con amoladora manual o cepillo de alambre.
- Desbaste de metal excedente como vertedero, rebosadero, mazarotas y rebabas, usando generalmente una amoladora manual.
- Maquinado, usando las maquinas herramientas (torno, fresadora, etc.) existentes en el taller.
- Tratamientos térmicos completos.
- Tratamientos superficiales, etc.

Alguna de estas operaciones no se las puede realizar en la planta y es necesario llevar la pieza a un taller especializado.

Finalizando todas estas operaciones se tienen definitivamente las piezas terminadas listas para entregarse.

1.2. Identificación del Problema.

Cabe indicar que teóricamente la capacidad máxima de moldeo diaria esta dada por la capacidad del horno de inducción, pero se encuentra limitada por la cantidad de moldes que los obreros pueden fabricar diariamente.

La meta de la planta es alcanzar la producción en serie usando el horno a toda capacidad, y para esto se necesita tener la capacidad de hacer la cantidad de moldes necesaria para ser llenados por la colada del horno a toda capacidad.

Los inconvenientes surgen durante la realización del molde, y es que el proceso de compactado manual además de ser trabajoso para el moldeador, le toma bastante tiempo, no permitiéndole construir suficientes moldes para cubrir la capacidad de moldeo del horno, y obligando a trabajar al horno a media capacidad o menos.

Además el compactado manual resulta en una mala compactación que deriva primeramente en desmoronamiento del molde durante la retirada del modelo, aumentando aún mas el tiempo de moldeo, o peor aun durante la colada que ocasionaría no solo perdida de tiempo para arreglar el acabado superficial sino también el descarte de la pieza por mala calidad.

También para mejorar el acabado superficial es necesario realizar algunas operaciones post moldeo, por ejemplo el proceso de sand blasting de la pieza, que por no tener las herramientas necesarias se realizan con instrumentos incorrectos o se las debe ejecutar en talleres externos aumentando no solo el tiempo sino el costo final de la pieza.

1.3. Indicadores de Producción.

El horno de inducción existente en la planta tiene una capacidad de 500 Kg. por colada, y cada colada tiene un tiempo de fundición de 2.5 horas, lo que resultaría en una capacidad de 2000 Kg. de metal líquido asumiendo que el horno trabaje 10 horas al día.

Considerando que la relación normal entre peso de arena y peso de metal fundido es de 4 a 1, la capacidad de moldeo debe ser de 8 toneladas de arena por día, lo cual es muy difícil de alcanzar con la técnica descrita en el apartado anterior.

En la planta existen cuatro obreros encargados del moldeo, que trabajan en dos parejas, cada pareja tiene actualmente capacidad de moldear alrededor de 1500 Kg. de arena en el día, lo que vendría a significar 3000 Kg. diarios en dos turnos de 4 horas cada uno.

Haciendo un análisis de tiempos de moldeo la operación de compactado demora alrededor del 20% del total, además los tiempos muertos, ya sea por cansancio de los obreros, por daño del molde debido a mala compactación o por descarte de la pieza por mala calidad, puede alcanzar hasta el 20% de la jornada diaria de trabajo. O dicho de otra manera: considerando las 8 horas de la jornada diaria de trabajo, de ese tiempo 1.6 horas corresponde a la operación de compactado manual,

1.6 horas es tiempo muerto y 4.8 horas el resto de las operaciones de moldeo. Esto se resume en el siguiente cuadro:

TABLA 1
DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE MOLDEO ANTES DEL MONTAJE DE LA LÍNEA DE AIRE COMPRIMIDO

Descripción	Tiempo (horas)
Resto del proceso	4.8
Compactación Manual	1.6
Tiempos muertos	1.6
TOTAL	8.0

1.4. Mejoramiento de Capacidad de Moldeo.

Existen muchas maneras de mejorar el proceso de moldeo, pero en este proyecto se propone una específica que consiste en la instalación de una red de aire comprimido la cual alimentará primeramente unas herramientas neumáticas para compactar la arena, acortando de esta manera los tiempos de operación, con esto también se reducirá al mínimo tiempos muertos por cansancio, daño del molde por mala compactación o descarte de la pieza por mala calidad, con el objetivo de producir más piezas en el mismo tiempo, y con el mismo recurso humano, y facilitando en el futuro ocupar el horno a toda capacidad.

Además esta línea de aire comprimido alimentara una maquina portátil de “sand-blasting” que servirá para limpieza de la pieza fundida, operación que actualmente se la realiza con una amoladora manual lo cual resulta lento y tedioso e improductivo.

También esta línea en el futuro alimentara una maquina de sand-blasting de gran capacidad que la planta tiene planificado adquirir posteriormente dentro de su plan de crecimiento, la cual servirá para darle acabado superficial a las piezas que así lo requieran, actualmente cuando este proceso es solicitado se realiza en talleres externos.

De igual manera la línea de aire comprimido alimentara unas prensas excéntricas para moldeo por apriete, que utilizan un embrague accionado neumáticamente, actualmente en la planta existe una máquina de este tipo pero no esta habilitada pues no tiene el suministro de aire y necesita mantenimiento, y en el futuro se piensa adquirir dos máquinas más de este tipo.

Finalmente la línea de aire permitirá conectar unas pistolas de aire de limpieza y un soplete de pintura para operaciones varias.

CAPITULO 2

2. DISEÑO, CÁLCULO Y MONTAJE DE EQUIPOS

2.1. Requerimiento de Aire Comprimido.

Como se ha dicho anteriormente el objetivo de la planta es alcanzar la producción en serie y a tiempo completo, por tanto se va a considerar las exigencias de la planta en estas condiciones y suponiendo el peor factor de coincidencia en el cual todas las máquinas trabajan al mismo tiempo. Así pues se tiene los siguientes requerimientos:

TABLA 2

REQUERIMIENTO TOTAL DE AIRE DEL SISTEMA

Cantidad	Descripción	Presión psi	CFM unitario	CFM total
4	Pisones neumáticos para moldeo	90	30	120.0
1	Máquina de "sand-blasting" portátil	90	25	25.0
1	Máquina de "sand-blasting" grande	90	200	200.0
3	Máquina de moldeo por apriete	90	20	60.0
2	Pistolas de limpieza	60	15	30.0
1	Soplete para pintura	40	12	12.0

A manera de estimación del factor de coincidencia se va a hacer el siguiente análisis: para conocer el consumo máximo real vemos cual es el peor de los casos de coincidencia de uso de estas máquinas, así pues por ejemplo, cuando se este realizando moldeo con los pisones neumáticos, no se va a usar las máquinas de moldeo por apriete, y de igual manera no se va a utilizar las dos máquinas de sand-blasting al mismo tiempo, y las pistolas de limpieza junto con el soplete de pintura se van a usar muy intermitentemente, entonces se considera que el peor de los casos de consumo máximo sería el siguiente:

TABLA 3

REQUERIMIENTO CONSIDERANDO FACTOR DE COINCIDENCIA

Cant.	Descripción	CFM unitario	CFM total	Factor de coincidencia	CFM corregido
4	Pisones neumáticos para moldeo	30	120	0.6	72.0
1	Máquina "sand-blasting" portátil	25	25	0.6	15.0
1	Máquina "sand-blasting" grande	200	200	0.5	100.0
3	Máquina de moldeo por apriete	20	60	0.5	30.0
2	Pistolas de limpieza	15	30	0.4	12.0
1	Soplete para pintura	12	12	0.3	3.6
	TOTAL		447		232.6

Este valor corregido de 232.6 CFM, además le aplicaremos un porcentaje por pérdidas debido a fugas del 10% y un factor de previsión a expansión futura del 25%.

Así pues finalmente el valor es de $232.6 \times 1.1 \times 1.25 = 320$ CFM

Este valor es el que utilizaremos para el cálculo de la línea de aire comprimido. Sin embargo a corto plazo no se van a usar todos estos requerimientos sino un valor más reducido como se indica a continuación.

TABLA 4
REQUERIMIENTO DE AIRE A CORTO PLAZO

Cantidad	Descripción	Presión psi	CFM unitario	CFM total
2	Pisones neumáticos para moldeo	90	30	60
1	Máquina de "sand-blasting" portátil	90	25	25
1	Máquina de moldeo por apriete	90	20	20
1	Pistolas de limpieza	60	15	15
1	Soplete para pintura	40	12	12

Aquí el análisis del factor de coincidencia es distinto pues a corto plazo la planta no entrara a toda capacidad, y los pisones no se usaran a tiempo completo, y menos aún la máquina de moldeo por apriete, y la

sand-blasting solamente para acabados, de igual manera con las demás herramientas. Tenemos así los siguientes datos:

TABLA 5
REQUERIMIENTO DE AIRE A CORTO PLAZO CONSIDERANDO
FACTOR DE COINCIDENCIA

Cant.	Descripción	CFM unitario	CFM total	Factor de coincidencia	CFM corregido
2	Pisones neumáticos para moldeo	30	60	0.4	24
1	Máquina "sand-blasting" portátil	25	25	0.3	7.5
1	Máquina de moldeo por apriete	20	20	0.1	2
1	Pistolas de limpieza	15	15	0.2	3
1	Soplete para pintura	12	12	0.2	2.4
	TOTAL		482		38.9

2.2. Cálculo de Línea de Aire Comprimido.

Para realizar el cálculo de la línea de aire comprimido tenemos como dato primario la cantidad de aire requerida que es de 320 cfm, a la presión de trabajo de 90 psi.

Ahora se hace un esquema del diseño de la línea para así estimar la longitud de tubería y longitud equivalente de los accesorios. Este esquema se lo puede ver en el plano mostrado en el apéndice.

Se eligió un diseño en anillo cerrado y del cual se derivan un ramal hacia la parte exterior y 7 bajantes en diferentes puntos de la planta. Para dimensionar primeramente el anillo principal tomamos la distancia del recorrido total de tubería que es de 113 m. Además se hace una lista de todos los accesorios de este anillo principal para luego encontrar su longitud equivalente, así pues tenemos:

TABLA 6
ACCESORIOS UTILIZADOS EN ANILLO PRINCIPAL

Descripción	Cantidad
Codos 90°	6
Codos 45°	6
Uniones	3
Uniones Universales	9
Válvulas de Bola	4
Tees	14

Vamos a usar la siguiente metodología. Primeramente conocido:

Caudal $Q = 320$ cfm,

Longitud $L = 113$ m,

La viscosidad dinámica del aire no varía mucho con respecto a la presión, y su valor es de $\mu = 3.89E-7$ lbs/pie².

La densidad del aire a las condiciones dadas es de $\rho = 0.517$ lb/pie³.

Con estos datos vamos asumiendo el diámetro de tubería y con ayuda del diagrama de Moody (Apéndice D), la Ecuación de Darcy-Weisbach, y la Ecuación de Bernoulli. Encontramos la pérdida de carga, y si esta es aceptable se escoge ese diámetro, caso contrario se elige el diámetro siguiente y se calcula nuevamente la pérdida de carga, la cual se recomienda que no exceda el 10% de la presión de servicio.

Ecuación de Bernoulli

$$\frac{P}{\rho_1} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\rho_2} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

Ecuación de Darcy-Weisbach

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

H = pérdida de carga

λ = coeficiente de pérdida de carga

L = longitud de la tubería

D = diámetro de la tubería

v = velocidad media del fluido

g = aceleración de la gravedad

En la primera iteración vamos a asumir diámetro 1 ½", con esto calculamos primeramente la longitud equivalente de los accesorios:

TABLA 7
LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE Ø1 ½"

Descripción	Cantidad	L. equiv unitaria (m)	L. equiv. Total (m)
Codos 90° Ø1 ½"	6	0.6	3.6
Codos 45° Ø1 ½"	6	0.4	2.4
Uniones Ø1 ½"	3	0.2	0.6
Uniones Universales Ø1 ½"	9	0.4	3.6
Válvulas de Bola Ø1 ½"	4	0.5	2.0
Tees Ø1 ½"	14	0.4	5.6
TOTAL			17.8

Entonces la longitud total de la tubería sería de

$$L = 113 + 17.8 = 130.8 \text{ m} = 429 \text{ ft.}$$

Con el caudal de aire libre, 320 cfm calculamos el caudal de aire a las condiciones en la tubería usando la siguiente expresión:

$$Q_a = \text{FAD} * (P_a / P_s) * (T_s / T_a)$$

Donde:

Q_a = caudal del flujo en condiciones actuales cfm

FAD = Aire libre entregado cfm

P_a = presión actual absoluta

P_s = presión Standard absoluta (14.5 psi)

T_a = Temperatura actual ambiente (°R)

T_s = Temperatura Standard (°R)

Así tenemos que:

$$Q_a = 320 (14.5/114.5) ((86+460)/520) = 42.55 \text{ cfm}$$

Ahora hallamos la velocidad del flujo, consideremos que el diámetro interno de la tubería de 1 ½ " es de $D = 0.1342 \text{ ft}$ de donde $r = .0671$

$$Q_a = V \cdot \text{Área}$$

$$V = Q / A = Q / \pi \cdot r^2 = 42.55 / 3.1416 \cdot (.0671)^2 = 3008.2 \text{ ft / min.}$$

$$V = 50 \text{ ft / s}$$

Con este valor calculamos el número de Reynolds:

$$Re = Vd. / \mu$$

Pero antes para hacer coherente las unidades hallamos la densidad en slug/pie³

$$\rho' = \rho/g = 0.517/32.2 = 1.6E-2 \text{ slug/pie}^3$$

Ahora si calculamos el número de Reynolds:

$$Re = (50) (0.1342) (1.6E-2) / 3.89E-7$$

$$Re = 275990$$

Conociendo este dato vamos a la tabla de coeficientes de rugosidad, y tomamos el valor para tubería de acero laminado oxidado, pues este es

el tipo de tubería que vamos a usar, como se había dicho anteriormente se va a usar una tubería reciclada. El valor del coeficiente de rugosidad es de:

$$k = 0.25 \text{ mm} = 8.2\text{E-}4 \text{ ft}$$

Y hallamos la rugosidad relativa:

$$k/D = 8.2\text{E-}4 / 0.1342 = 6.11\text{E-}3$$

Con estos datos entramos al diagrama de moody y hallamos el coeficiente de fricción λ que nos da un valor de:

$$\lambda = 0.033$$

Con este valor Calculamos la perdida de carga usando la ecuación de Darcy- Weisbach

$$H = \lambda (L/D) (V^2/2g)$$

$$H = 0.033 (429 / 0.1342) [(50)^2/2(32.2)] = 4095.2 \text{ ft}$$

En la Ecuación de Bernoulli se considera que la altura que varia el recorrido de tubería es despreciable, además al ser la tubería de sección constante, su velocidad en todo el recorrido es constante, y por tanto se anulan las expresiones de altura y de velocidad, y por ultimo se considera que la densidad no varia en el recorrido, así pues la Ecuación de Bernoulli queda reducida a la siguiente expresión:

$$p_1/\rho + H = p_2/\rho$$

$$\Delta p = H * \rho$$

Y hallamos la caída de presión del sistema:

$$\Delta p = 4095.2 * 0.517 = 2117.2 \text{ lb / ft}^2 = 14 \text{ psi}$$

Esta caída de presión es demasiado alta, no es aceptable, por tanto se toma la medida siguiente y se vuelve a calcular, hasta encontrar una caída de presión aceptable.

Como se dijo inicialmente se va a usar una tubería reciclada cedula 80, y se conoce que hay disponible en medidas de 1", 1 ½ ", 2" y 2 ½ ", por tanto al ver que la tubería de 1 ½ " no resulta, se opta por la medida siguiente disponible que es de 2" y se vuelve a recalcularse la caída de presión siguiendo la misma metodología.

. TABLA 8
LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE Ø 2"

Descripción	Cant.	L. equiv unitaria (m)	L. equiv. Total (m)
Codos 90° Ø2"	6	0.8	4.8
Codos 45° Ø2"	6	0.5	3.0
Uniones Ø2"	3	0.3	0.9
Uniones Universales Ø2"	9	0.5	4.5
Válvulas de Bola Ø2"	4	0.6	2.4
Tees Ø2"	14	1.0	14.0
TOTAL			29.6

$$L = 113 + 29.6 = 142.6 \text{ m} = 467 \text{ ft.}$$

$$Q_a = 42.55 \text{ cfm}$$

$$\text{Diámetro interno } D = 0.1616 \text{ ft de donde } r = 0.0808$$

$$Q_a = V \cdot \text{Área}$$

Velocidad:

$$V = Q / A = Q / \pi \cdot r^2 = 42.55 / 3.1416 \cdot (.0808)^2 = 2074.56 \text{ ft /min.}$$

$$V = 34.6 \text{ ft / s}$$

Densidad

$$\rho' = \rho/g = 0.517/32.2 = 1.6\text{E-}2 \text{ slug/ft}^3$$

Numero de Reynolds

$$Re = V \cdot D \cdot \rho / \mu$$

$$Re = (34.6) (0.1616) (1.6\text{E-}2) / 3.89\text{E-}7$$

$$Re = 229979 = 2.3\text{E}5$$

Coefficiente de rugosidad:

$$k = 0.25 \text{ mm} = 8.2\text{E-}4 \text{ ft}$$

Rugosidad relativa:

$$k/D = 8.2\text{E-}4 / 0.1616 = 5.07\text{E-}3$$

Coeficiente de fricción del diagrama de Moody:

$$\lambda = 0.031$$

Ecuación de Darcy- Weisbach

$$H = \lambda (L/D) (V^2/2g)$$

$$H = 0.031 (467 / 0.1616) [(34.6)^2/2(32.2)] = 1667.27 \text{ ft}$$

Ecuación de Bernoulli

$$p_1/\rho + H = p_2/\rho$$

$$\Delta p = H * \rho$$

Caída de presión:

$$\Delta p = 1667.27 * 0.517 = 861.98 \text{ lb / ft}^2 = 6 \text{ psi}$$

Esta caída de presión es aceptable por ser inferior al 10% de la presión de trabajo. Por tanto esta es la tubería recomendada, diámetro 2".

Para calcular las bajantes se usa el mismo procedimiento:

Vamos a asumir diámetro 1 ", y el flujo máximo que recorra por cada bajante será de 60 cfm correspondiente a dos tomas de aire , y la longitud es de 3.5 m.

TABLA 9
LONGITUD EQUIVALENTE DE ACCESORIOS DE Ø 1 " PARA
BAJANTES

Descripción	Cant.	L. equiv. unitaria (m)	L. equiv. Total (m)
Codos 90° Ø 1 "	2	0.4	0.8
Uniones Universales Ø 1 "	1	0.3	0.3
Tees Ø 1 "	2	0.3	0.6
TOTAL			1.7

$$L = 3.5 + 1.7 = 5.2 \text{ m} = 17 \text{ ft.}$$

Con el caudal de aire libre, 70 cfm calculamos el caudal de aire a las condiciones en la tubería:

$$Q_a = 60 (14.5/114.5) ((86+460)/520) = 7.98 \text{ cfm}$$

Diámetro interno de la tubería de 1 "

$$D = 0.07975 \text{ ft de donde } r = .039875$$

$$Q_a = V * \text{Area}$$

$$V = Q / A = Q / \pi \cdot r^2 = 7.98 / 3.1416 * (.039875)^2 = 1597.54 \text{ ft /min}$$

$$V = 26 \text{ ft / s}$$

Densidad:

$$\rho' = \rho/g = 0.517/32.2 = 1.6E-2 \text{ slug/pe}^3$$

Número de Reynolds:

$$Re = V.D.\rho / \mu$$

$$Re = (26) (0.07975) (1.6E-2) / 3.89E-7$$

$$Re = 85285 = 8.5E4$$

Coefficiente de rugosidad:

$$k = 0.25 \text{ mm} = 8.2E-4 \text{ ft}$$

Y hallamos la rugosidad relativa:

$$k/D = 8.2E-4 / 0.07975 = 1.02E-2$$

Del Diagrama de Moody, coeficiente de fricción:

$$\lambda = 0.039$$

Ecuación de Darcy- Weisbach

$$H = \lambda (L/D) (V^2/2g)$$

$$H = 0.039 (17 / 0.07975) [(26)^2/2(32.2)] = 87 \text{ ft}$$

Ecuación de Bernoulli

$$p_1/\rho + H = p_2/\rho$$

$$\Delta p = H * \rho$$

Caída de presión del sistema:

$$\Delta p = 87 * 0.517 = 45 \text{ lb / ft}^2 = 0.31 \text{ psi}$$

En la bajante de 1" la caída de presión es despreciable, pero vamos a usar esta tubería porque es la que tenemos disponible.

Entonces resumiendo el sistema se instalara colocando una anillo principal de 2" de diámetro y las bajantes de 1" de diámetro.

Este sistema va a alimentar maquinas de sand-blasting y herramientas neumáticas, por tanto se recomienda que lleve separador de condensados y filtro de partículas. La caída de presión hasta la toma de la herramienta es menor a 7 psi, y se conoce por tablas de fabricantes que entre el filtro de condensados y filtro de partículas no sobrepasa los 3 psi. Entonces se puede asumir una caída de presión del sistema máxima de 10 psi.

Así pues usando un margen de funcionamiento del 10%, el compresor debe seleccionarse de tal manera que alcance 110 psi y 320 cfm.

Respecto al tanque acumulador, para dimensionarlo usamos la siguiente formula del manual de aire comprimido de Kaeser:

$$V_t = 0.25 \times Q \times 60 \times p_{at} / 40 \times (p_f - p_i)$$

$$V_t = 0.25 \times 320 \times 60 \times 14.7 / 40 \times (100 - 0)$$

$V_t = 17.64 \text{ ft}^3$ que es el volumen del tanque acumulador necesario.

2.3. Montaje de Línea de Aire Comprimido.

Para realizar el montaje de la línea de aire comprimido se realizó un cronograma (Apéndice C) con una serie de pasos que se detallan a continuación:

- Mantenimiento de maquina de sand-blasting.

En el taller existe una maquina de sand-blasting portátil que no se encontraba habilitada, a esta maquina se le dio mantenimiento para habilitarla, la maquina necesitaba cambio de válvulas, y de mangueras, además se construyo la tobera en acero templado.

- Mantenimiento de herramientas neumáticas.

Los pisones neumáticos que había en la planta se encontraban en desuso desde hace algún tiempo, se los envió a un taller especializado donde les hicieron una revisión general y además se les aplico lubricante.



FIGURA 2.1 PISÓN NEUMÁTICO



FIGURA 2.2 COMPACTADORA CON PISÓN NEUMÁTICO

- Mantenimiento de compresor

El compresor que teníamos disponible es un compresor de émbolos Atlas Copco de dos etapas 40 cfm 110 psi, este compresor es de capacidad suficiente para abastecer las herramientas que se van a usar actualmente.

Durante el mantenimiento se la realizo cambio de filtro, cambio de sellos y empaques, limpieza de todo el equipo, y mantenimiento del motor eléctrico, todo en un taller especializado.

- Montaje de Compresor

Luego para su montaje se instalo una botonera con relay, se hizo el cambio de conexión de la bobina para que el motor trabaje a 440 Voltios, puesto que en la planta el transformador de 220 Voltios esta copado en su capacidad, Se instalo también un presostato con un manómetro a la salida del tanque acumulador, y se lo dejo calibrado entre 95 psi y 105 psi.



FIGURA 2.3 MONTAJE DE COMPRESOR

- Limpieza de tuberías

La tubería que se uso para la instalación era una tubería que se dio de baja en otra planta industrial, esta tubería estaba disponible en diámetros 1", 1 ½ ", 2" y 2 ½ ", esta tubería se encontraba oxidada exterior e interiormente, y para ponerlas operativas se les aplico un tratamiento con ataque químico de ácido cítrico al 5% por un lapso de 24 a 48 horas según el estado en que se encontraban, los resultados fueron satisfactorios puesto que se desprendió el oxido y las incrustaciones del interior de las tuberías.

- Corte y roscado de tuberías:

Las tuberías de 1" estaban disponibles en unidades de 6 m de longitud, se utilizaron 8 tramos de esta tubería.

Las tuberías de 2" se encontraban en tramos que iban desde 6 m hasta 10 m de longitud. En total se utilizaron 113 m de esta tubería. Todas las roscas se las realizo con una tarraja manual y los cortes con una sierra alternativa.

- Construcción de soportes

Para soportar el anillo principal se construyo soportes en forma de "A" con varilla de acero de construcción de 12 mm soldadas como el diseño mostrado en el dibujo.

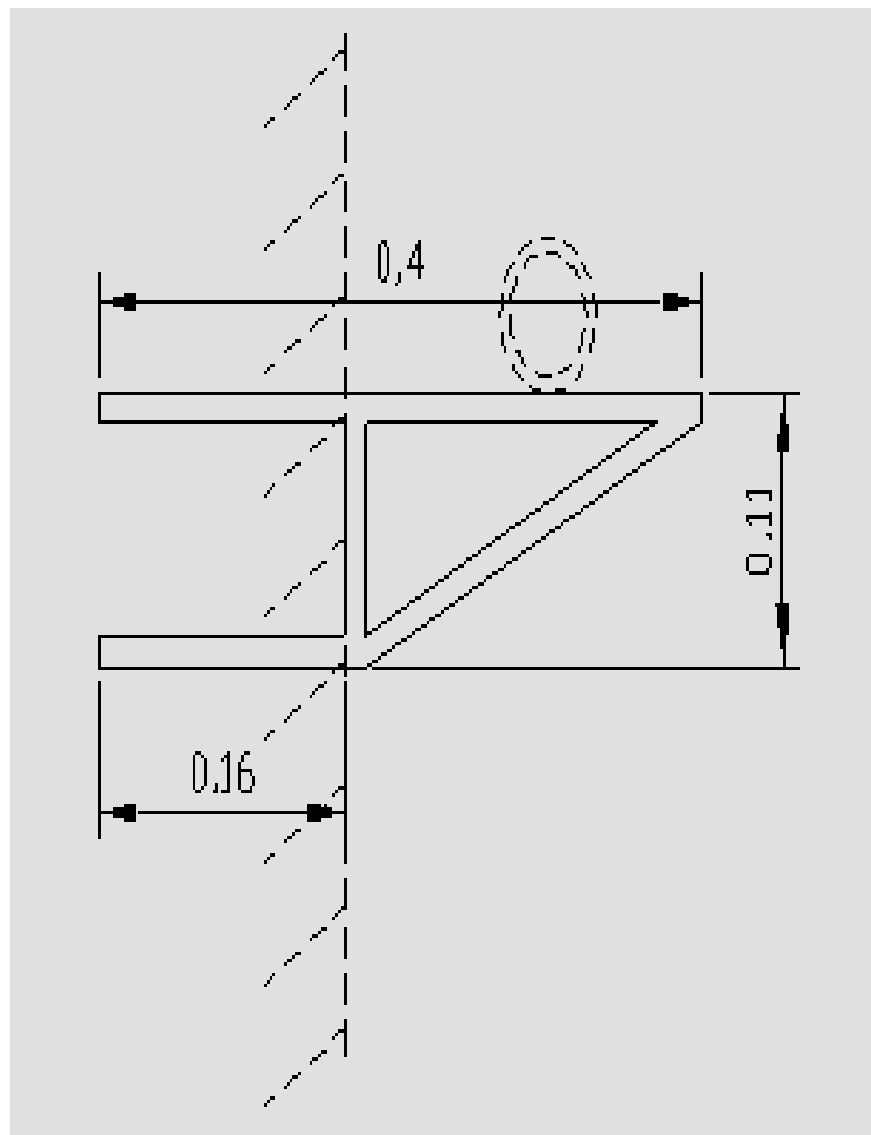


FIGURA 2.4 SOPORTE EN FORMA DE "A"

Estos soportes funcionaron en las paredes laterales de la planta, exceptuando en un tramo de 12 m en el que la tubería hubiera interferido con una canastilla de cables eléctricos que ya existían, aquí se construyeron unos apoyos en forma de "pera" con platina de acero.

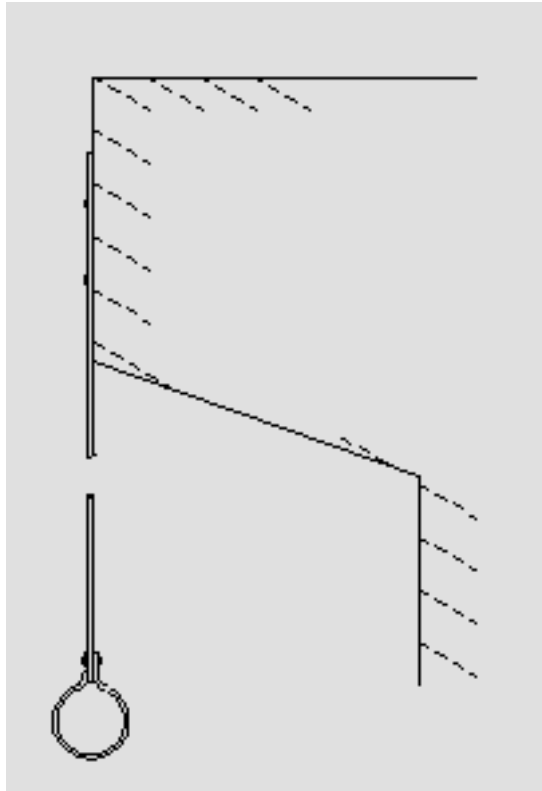


FIGURA 2.5 SOPORTE EN FORMA DE “PERA”

En la pared del fondo de la planta no se pudo taladrar para empotrar los soportes por lo que se construyo otro tipo de soporte en forma de “T” usando tubería de 1” como estructura. y empotrados en la parte inferior en una mesa de trabajo de hormigón que se construyo paralelamente a este proyecto.

Por ultimo, la parte donde se bifurca la tubería no se encuentra adosada a ninguna pared, mas bien se encuentra sobre una pared interior y en este sitio se construyo soportes con ángulos de $\frac{1}{8}$ “ x 1” como base

soldado a un tubo de 1" de 10 cm. y se le puso un apoyo en media luna fabricada con retazos de tubería de 2 ½ ".

- Colocación de soportes

Los soportes en forma de "A" se los instalo empotradas en la pared con asistencia de un taladro de percusión. Con ayuda de Autocad se calculo la altura que debía tener cada soporte dado que la altura inicial era 4 m con respecto al piso y considerando que la instalación debe tener una pendiente de aproximadamente 2% para flujo de condensados.



FIGURA 2.6 TUBERÍA MONTADA EN SOPORTES EN FORMA DE "A"

En la zona donde la tubería coincidía con la canastilla de cables eléctricos como ya se dijo se instalo los apoyos en forma de pera que fueron sujetados en un diente de apoyo que existía en la columna para

una próxima instalación de un puente grúa. Estos apoyos se los instalo con pernos y tacos de expansión.

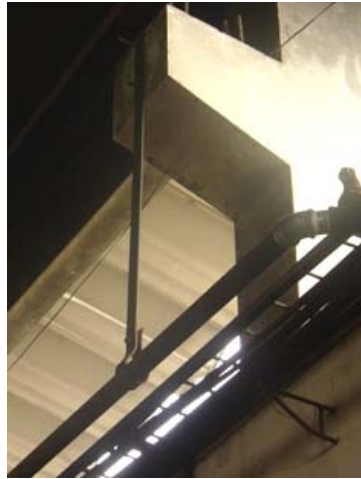


FIGURA 2.7 TUBERÍA MONTADA EN SOPORTES EN FORMA DE “PERA”

Los apoyos en forma de “T” se los instalo empotrados por su parte inferior en una mesa de trabajo de hormigón que se construyo paralelamente a este proyecto.



FIGURA 2.8 TUBERÍA MONTADA EN SOPORTES EN FORMA DE “TEES”

Y los soportes en forma de media luna se los coloco sobre el borde superior de una pared interna de igual manera con pernos y tacos de expansión.



FIGURA 2.9 TUBERÍA MONTADA EN SOPORTES EN FORMA DE “MEDIA LUNA”

Con respecto a la distancia entre apoyo y apoyo, se recomienda colocarlos separados a una distancia de 4 m como mínimo entre cada uno para evitar deflexión por el peso de la tubería, pero considerando el peso de la tubería y la rigidez de los apoyos en forma de “A”, se opto por ubicarlos con una separación de 2 m entre cada apoyo, en la zona de Soportes en forma de “T” se uso una distancia de 3 m entre cada apoyo y entre los apoyos en forma de media luna se dejo una distancia de 4 m.

Un caso particular fue la zona de los apoyos en forma de “pera”, una zona de 12 m en la cual como se dijo la tubería no podía ir cerca de la pared porque coincidía con una canastilla de cables, aquí solamente se pudo instalar tres apoyos separados 6 m cada uno, pero se los construyo con suficiente rigidez para soportar el peso de la tubería.

- Montaje de anillo principal

Para el montaje de el anillo principal, se hizo un diseño de la distribución como se muestra en el plano 1 adjunto , y con ayuda de este se planteó una lista de accesorios que se detalla a continuación.

TABLA 10

MATERIALES UTILIZADOS EN MONTAJE DE ANILLO PRINCIPAL

Cantidad	Descripcion	Medida
6	Codo 90°	2"
6	Codo 45°	2"
14	Tee	2"
3	Unión	2"
9	Unión Universal	2"
19	Neplo Perdido	2"
4	Neplo Perdido	1/2"
3	Tapón Macho	2"
4	Reducción	2" - 1"
7	Bushing	2" - 1"
4	Válvula de Bola	2"
15	Teflón	18 mm

De igual manera guiándose en el plano se eligió las tuberías según el tamaño de estas para decidir en que lugar del diseño colocarlas, de tal manera que se realicen la menor cantidad de cortes posibles.



FIGURA 2.10 MONTAJE DE TUBERÍAS

La elevación de las tuberías se uso la ayuda de una estructura móvil en forma de pórtico, con una canastilla en la parte superior. El acople de las tuberías se realizo con accesorios roscados. En algunos puntos de la tubería se colocó una tee cuya ramificación se cerró con tapón, esto es para posibles ampliaciones futuras. También en varios puntos del anillo se colocó uniones universales, no solo para facilitar el acople sino para en el futuro facilitar el desmontaje sea por mantenimiento, reparaciones o ampliaciones.



FIGURA 2.11 VISTA GENERAL DE LA NAVE DE PRODUCCIÓN

Al inicio de la línea de distribución, para acoplarla con el compresor, se construyó un “manifold” usando un pedazo de tubería de 4” que había en la bodega del taller, esto fue para permitir que más de un compresor pueda ser conectado al sistema.

El acople entre el compresor y el manifold se realizó con manguera flexible para no transmitir vibraciones a la tubería.

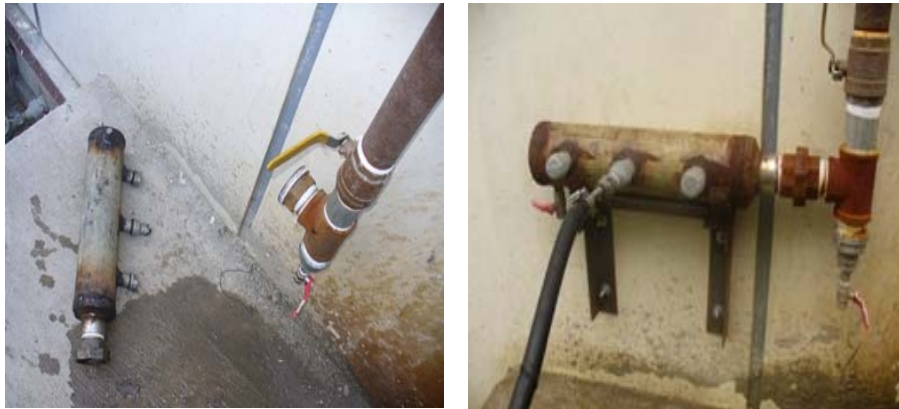


FIGURA 2.12 MONTAJE DE MANIFOLD

- Montaje de bajantes y purgas

Una vez que estuvo hecho el montaje de el anillo principal, se realizo el montaje de las bajantes con el diseño mostrado en la figura.



FIGURA 2.13 MONTAJE DE BAJANTE DE TOMA DE AIRE

Este diseño de toma de aire por la parte superior es para evitar tomar condensados por la bajante, y en la parte inferior tiene además de la válvula de servicio una válvula para desagüe de condensados que se pudieran acumular con el tiempo.

En total se montaron 7 bajantes, y se utilizó los siguientes accesorios:

TABLA 11

MATERIALES UTILIZADOS EN MONTAJE

Cantidad	Descripcion	Medida
13	Codo 90°	1"
8	Tee	1"
7	Union Universal	1"
7	Neplo Perdido	1"
14	Neplo Perdido	1/2"
7	Neplo	1"x3"
8	Neplo	1"x6"
1	Tapon Macho	1"
14	Bushing	1" - 1/2"
14	Valvula de Bola	1/2"
30	Teflón	10 mm

Para las purgas de condensado se las hizo como en la figura mostrada a continuación.



FIGURA 2.14 MONTAJE DE PURGAS DE CONDENSADO

En total se instalaron 3 purgas de condensado, dos en la parte mas baja del sistema y otra en donde hubo un severo cambio de dirección debido a que la tubería coincidía con una canastilla de cables eléctricos. Otras purgas se instalaron en el anillo principal, una en el manifold y una en la parte inferior e la tubería que sube desde el manifold hacia este anillo.

En este montaje se uso los siguientes accesorios:

TABLA 12
MATERIALES UTILIZADOS EN MONTAJE DE PURGAS DE
CONDENSADO

Cantidad	Descripción	Medida
2	Codo 90°	1"
3	Unión Universal	1"
7	Neplo Perdido	1"
14	Neplo Perdido	1/2"
7	Neplo	1"x3"
8	Neplo	1"x6"
1	Tapón Macho	1"
14	Bushing	1" - 1/2"
14	Válvula de Bola	1/2"
30	Teflon	10 mm

- Montaje de acoples de servicio

En la planta en realidad se dejó habilitada solamente cuatro tomas de aire, una doble en la zona de moldeo y dos en la zona de taller. En cada toma se colocó un dispositivo de acople rápido para facilitar el trabajo y

para que la toma sea usada por cualquiera de las herramientas requeridas.

2.4. Puesta en Marcha de Línea de Aire Comprimido.

- Prueba del sistema

Luego de concluir el montaje del sistema se dio arranque al compresor, se midió presiones verificando que en todas las tomas se obtenga la presión requerida. Un aspecto a considerar aquí es que aparentemente el sistema presentaba fugas en algunos puntos.

- Corrección de fugas.

Primeramente se hizo un análisis minucioso a lo largo de todo el recorrido de la tubería, con ayuda de agua jabonosa para detectar los lugares donde había fugas, se encontró tres puntos de fuga, se procedió a desmontar en esos puntos desacoplando las uniones universales y luego ajustando y sellando los lugares en donde se encontró las fugas.

- Pruebas finales y puesta en marcha.

Luego de corregir las fugas se comprobó nuevamente la existencia de estas, al cerciorarnos que no habían más fugas de consideración se puso en marcha el sistema quedando habilitado para alimentar los

pisones neumáticos, la maquina de sand-blasting portátil, pistola de limpieza y soplete de pintura.

CAPITULO 3

3. EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA

3.1. Evaluación Técnica.

Para comparar técnicamente el estado de funcionamiento actual de la planta con el estado antes de montar la línea de aire comprimido vamos a analizar los tiempos de moldeo:

Como se dijo anteriormente durante el proceso de moldeo la operación de compactado manual demora alrededor del 20% equivalente a 1.6 horas de las 8 de la jornada.

Con la herramienta neumática ese tiempo de compactación se redujo en un 80% comparado con la compactación manual, es decir de las 1.6 horas que se utilizaban para compactar, ahora ese mismo trabajo se lo hace en 0.32 horas dejando disponible 1.28 horas.

Respecto a los tiempos muertos se logro reducir del 20% al 5% debido a que los trabajadores ya no sentían gran agotamiento con la herramienta manual y que tenían menos daños del molde por mala compactación y menos piezas descartadas por mala calidad, se logro liberar 1.2 horas de tiempo muerto.

En resumen ahora ese proceso que se realizaba en 8 horas, ahora se lo realiza en 5.52 horas como se indica en la siguiente tabla:

TABLA 13
DISTRIBUCIÓN DE TIEMPO DE MOLDEO DESPUÉS DEL
MONTAJE DE LÍNEA DE AIRE COMPRIMIDO

Descripción	Tiempo (horas)
Resto del proceso	4.8
Compactado Neumático	0.32
Tiempos muertos	0.40
TOTAL	5.52

Es decir, la instalación de esta línea de aire comprimido permitió reducir el tiempo de moldeo en un 31%, o dicho de otra manera permitió aumentar en un 45% la capacidad de moldeo por unidad de tiempo, usando el mismo recurso humano.

Otro beneficio que se obtuvo fue la habilitación de la maquina de sand-blasting portátil lo cual ayudo en los procesos post-moldeo de limpieza de las piezas.

Además la línea quedo lista para habilitar una maquina de sand-blasting de mayor capacidad, las maquinas de moldeo por apriete, pistolas de limpieza y soplete de pintura.

3.2. Evaluación Económica.

Para establecer el costo de la instalación se tomaran los siguientes aspectos:

- Costo de Tubería:

Como se dijo inicialmente la tubería que se utilizo fue una tubería que se dio de baja en otra planta industrial, pero para motivo de análisis se va a suponer que el costo es el real del mercado.

Así tenemos que la tubería de 2" en el mercado tiene un costo de \$ 51,⁶⁰ el tramo de 6 metros, mientras que la tubería de 1" tiene un costo de \$23,⁹⁰ el tramo de 6 m.

Entonces tendríamos en total un costo de tubería de:

$$Ct = 19 * (51,60) + 8 * (23,90) = 980,40 + 191,20 = \$ 1171.60$$

- Costo de accesorios

El costo total de accesorios se lo tiene de las siguientes tablas:

TABLA 14
COSTO TOTAL DE ACCESORIOS DEL ANILLO PRINCIPAL

Cant.	Descripción	Medida	Precio unitario	Precio Total
6	Codo 90°	2"	\$ 1,89	\$ 11,34
6	Codo 45°	2"	\$ 1,76	\$ 10,56
14	Tee	2"	\$ 1,62	\$ 22,68
3	Unión	2"	\$ 1,38	\$ 4,14
9	Unión Universal	2"	\$ 3,16	\$ 28,44
19	Neplo Perdido	2"	\$ 1,29	\$ 24,51
4	Neplo Perdido	1/2"	\$ 0,40	\$ 1,60
3	Tapón Macho	2"	\$ 0,57	\$ 1,71
4	Reducción	2" - 1"	\$ 1,20	\$ 4,80
7	Bushing	2" - 1"	\$ 0,78	\$ 5,46
4	Válvula de Bola	2"	\$ 19,50	\$ 78,00
15	Teflón	18 mm	\$ 1,40	\$ 21,00
	TOTAL			\$ 214,24

TABLA 15
COSTO TOTAL DE ACCESORIOS DE BAJANTE

Cant.	Descripción	Medida	Precio unitario	Precio Total
13	Codo 90°	1"	\$ 0,51	\$ 6,63
8	Tee	1"	\$ 0,68	\$ 5,44
7	Union Universal	1"	\$ 1,91	\$ 13,37
7	Neplo Perdido	1"	\$ 0,71	\$ 4,97
14	Neplo Perdido	1/2"	\$ 0,40	\$ 5,60
7	Neplo	1"x3"	\$ 1,29	\$ 9,03
8	Neplo	1"x6"	\$ 1,81	\$ 14,48
1	Tapon Macho	1"	\$ 0,37	\$ 0,37
14	Bushing	1"-1/2"	\$ 0,30	\$ 4,20
14	Valvula de Bola	1/2"	\$ 3,20	\$ 44,80
30	Teflon	10 mm	\$ 0,25	\$ 7,50
	TOTAL			\$ 116,39

TABLA 16
COSTO TOTAL DE ACCESORIOS DE PURGAS DE
CONDENSADO

Cant.	Descripción	Medida	Precio unitario	Precio Total
2	Codo 90°	1"	\$ 0,51	\$ 1,02
3	Unión Universal	1"	\$ 1,91	\$ 5,73
7	Neplo Perdido	1"	\$ 0,71	\$ 4,97
14	Neplo Perdido	1/2"	\$ 0,40	\$ 5,60
7	Neplo	1"x3"	\$ 1,29	\$ 9,03
8	Neplo	1"x6"	\$ 1,81	\$ 14,48
1	Tapón Macho	1"	\$ 0,37	\$ 0,37
14	Bushing	1"-1/2"	\$ 0,30	\$ 4,20
14	Válvula de Bola	1/2"	\$ 3,20	\$ 44,80
30	Teflon	10 mm	\$ 0,25	\$ 7,50
	TOTAL			\$ 97,70

Lo que arroja un costo total por accesorios de:

$$C_a = 214,24 + 116,39 + 97,70 = \$ 428,33$$

- Costo de mano de obra de instalación:

Para establecer el costo de la mano de obra se considera que la instalación se realiza con dos ayudantes supervisados por un ingeniero de planta y que el tiempo de trabajo es de tres meses.

Entonces siendo los honorarios del ingeniero \$ 400,00 mensual y estimando que el ingeniero de planta ocupa el 40% de su jornada en la supervisión de la obra se calcula que el costo sería de \$ 160,00 mensual, y respecto a los ayudantes el salario semanal se fija en \$ 40,00 cada uno, se tiene un costo por mano de obra de:

$$C_{mi} = (3 * 160) + (40 * 12) = \$ 960,00$$

- Costo de mantenimiento de equipos:

Por el mantenimiento del compresor, entre mano de obra y repuestos se gastó \$ 180,00. Y con respecto a los pistones neumáticos el trabajo de mantenimiento tiene un valor de \$ 30,00. Mientras que en la máquina de sand-blasting portátil el costo fue de \$ 20,00. En total:

$$C_{me} = 180 + 30 + 20 = \$ 230,00$$

El costo total de la instalación se resume en el siguiente cuadro:

TABLA 17
COSTO TOTAL DE DE LA INSTALACIÓN

Descripción	Costo
Costo de Tubería	\$ 1'171.60
Costo de accesorios	\$ 428,33
Costo de mantenimiento de equipos	\$ 230,00
<u>SUBTOTAL</u>	\$ 1'879,93
Costo de mano de obra	\$ 960,00
<u>TOTAL</u>	\$ 2'789,93

Aunque, debido a que se utilizó bastante material que ya existía en el taller, y además la mano de obra fue proporcionada por quien escribe este proyecto y estudiantes realizando pasantías en la planta, el costo real fue el siguiente:

TABLA 18
COSTO REAL DE LA INSTALACIÓN

Descripción	Costo
Costo de accesorios	\$ 428,33
Costo de mantenimiento de equipos	\$ 230,00
<u>TOTAL</u>	\$ 658.33

Esta inversión permitió aumentar en un 45% la capacidad de moldeo de la planta.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- La instalación de esta línea de aire comprimido mejoró en un 45% la capacidad de moldeo de la planta, en el mismo tiempo y con el mismo recurso humano. Y permitirá en el futuro alcanzar la meta de 2000 ton / año de metal fundido.
- Se mejoró la calidad de las piezas gracias a un mejor acabado superficial producto de una buena compactación de arena, y gracias a proceso de sand-blasting habilitado para facilitar operaciones post-colado
- Se utilizo tubería reciclada, reduciendo los costos del proyecto en un 60% y dándole utilidad a un material que era chatarra.

- Para los cálculos se utilizó la ecuación básica de la mecánica de fluidos, la Ecuación de Bernoulli en conjunto con la ecuación de Darcy-Weisbach y el Diagrama de Moody.

Recomendaciones:

Basados en los conceptos de mejora continua y producción más limpia se hacen las siguientes recomendaciones:

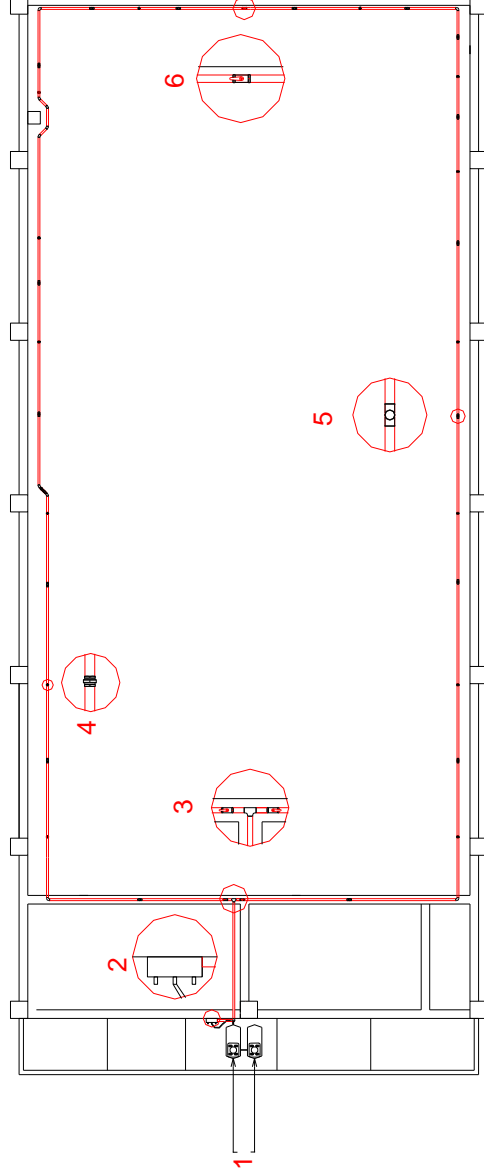
- Cuando se adquiera la nueva maquinaria, (sand-blasting de gran capacidad, más pisones, prensa excéntrica, etc.), no debe pretenderse usar el mismo compresor, porque aunque con un tanque acumulador lo suficientemente grande podría encontrarse una solución, esta sería ineficiente energéticamente. Lo recomendable es adquirir otro compresor que cubra la nueva capacidad y se lo podría usar en paralelo con el actual, manejados con algún sistema de control automático.
- Se debe cuidar la calibración de la presión de trabajo en el compresor en conjunto con el rango de presión controlado por el presostato. Si la presión no es la correcta o el rango de control demasiado amplio, las herramientas no funcionarán correctamente, y si el rango es muy corto el ciclo de

encendido del compresor será demasiado corto elevando el consumo de energía.

- Un inconveniente que se observó en el proceso de moldeo es el desperdicio de arena, se recomienda pasar al uso de sistemas de recirculación de arena de moldeo, en el cual se almacene arena nueva en tolvas y durante el proceso de moldeo esta pueda ser incorporada, mientras se realice el acondicionamiento de la arena de moldeo recirculada, para mantener propiedades consistentes con el proceso.

APÉNDICES:

PLANO 1: VISTA EN PLANTA DE LA INSTALACIÓN.

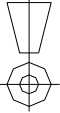


- 1- COMPRESORES
- 2- MANIFOLD
- 3- JUEGO PRINCIPAL DE VAVULAS
- 4- ACOPLES UNIVERSALES
- 5- ACOPLES EN T
- 6- VALVULA SECUNDARIA DE CIERRE

FIMCP - ESPOL

TITULO: Instalacion de Aire Comprimido
 Vista en Planta

ESCALA

FECHA	NOMBRE		PLANO N°
DIBUJA 01/02/08	D. OCHOA		
REVISAR	02/02/07	Ing. I WIESNER	

**APÉNDICE A: COEFICIENTE DE RUGOSIDAD EN TUBERÍAS
COMERCIALES**

<i>Tipo de tubería</i>	<i>Rugosidad absoluta</i> — <i>k</i> (mm)	<i>Tipo de tubería</i>	<i>Rugosidad absoluta</i> — <i>k</i> (mm)
Vidrio, cobre o latón estirado... Latón industrial... Acero laminado nuevo... Acero laminado oxidado... Acero laminado con incrustaciones... Acero asfaltado... Acero roblonado... Acero soldado, oxidado...	<0,001 (o lisa) 0,025 0,05 0,15 a 0,25 1,5 a 3 0,015 0,03 a 0,1 0,4	Hierro galvanizado... Fundición corriente nueva... Fundición corriente oxidada... Fundición asfaltada... Cemento alisado... Cemento bruto... Acero roblonado... Duelas de madera...	0,15 a 0,20 0,25 1 a 1,5 0,1 0,3 a 0,8 Hasta 3 0,9 a 9 0,183 a 0,91

APÉNDICE B: DIAGRAMA DE MOODY.

Diagrama de Moody

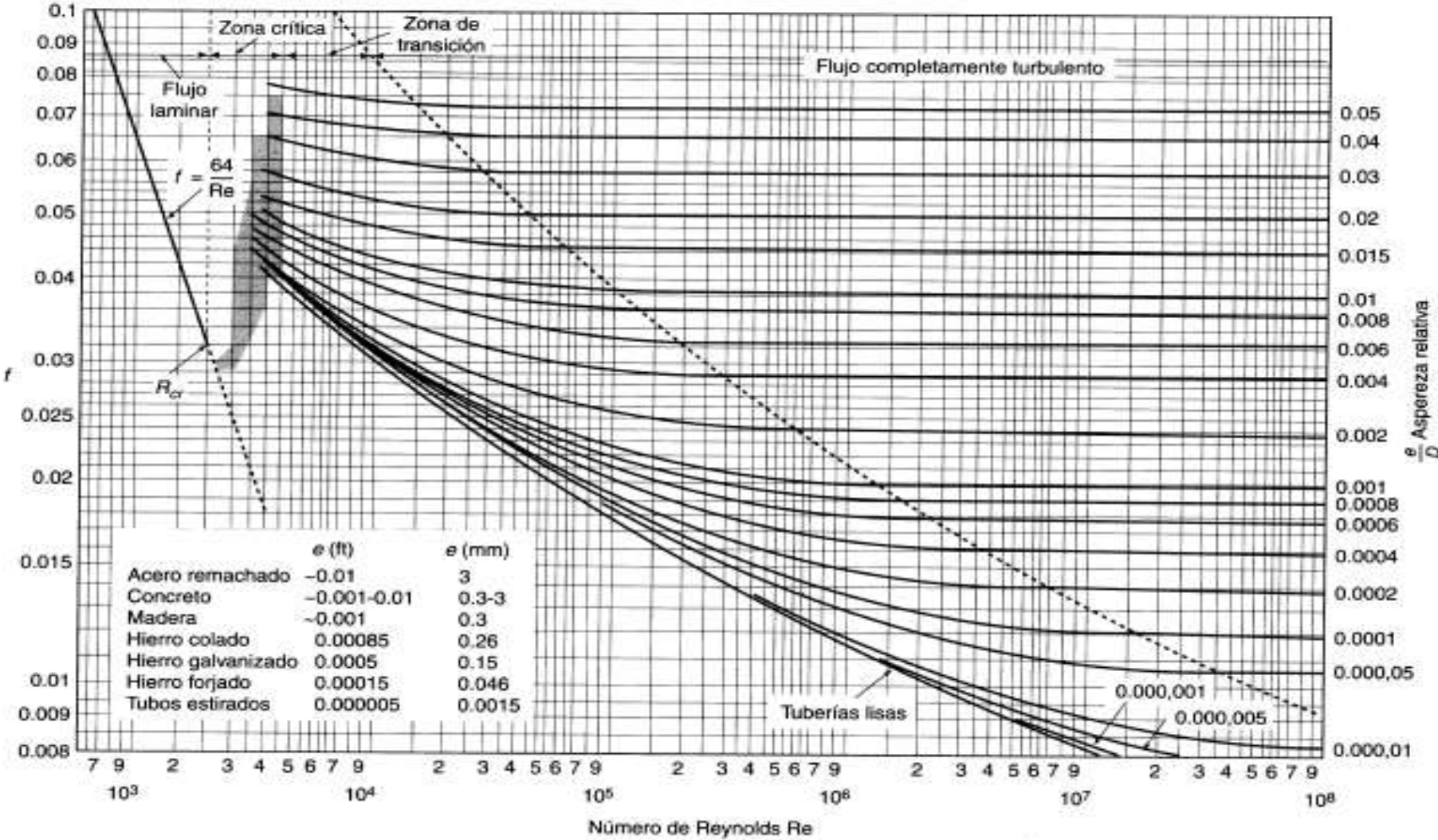


Diagrama de Moody. (De L.F. Moody, *Trans. ASME*, vol. 66, 1944.)

**APÉNDICE C: CRONOGRAMA DE TRABAJO DEL MONTAJE Y
PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA.**

BIBLIOGRAFÍA

1. Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas, 2^{da} edición.
Claudio Mataix. Ediciones del Castillo, S. A. Madrid, abril de 1986.
2. Manual de aire comprimido. Kaeser Compresores de Colombia Ltda. Bogota - Colombia, octubre del 2003.
3. Mecánica de los Fluidos e Hidraulica. Ranald V. Giles.
McGraw-Hill.
4. Compressed Air Manual. Atlas Copco Compressor AB. 6th edition. Nacka – Sweden, 1998
5. Flujo de fluidos en válvulas, accesorio

6. s y tuberías. Crane Co. McGraw-Hill

7. <http://plantasquimicas.iespana.es>

