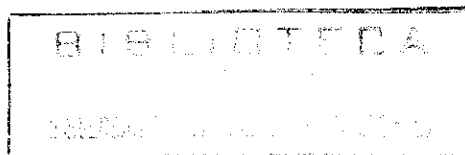


Universidad Del Valle De Guatemala
Facultad de Ciencias y Humanidades
Departamento de Ingeniería Química

*“Montaje de una planta inyectora de preformas para soplado de
botellas de Tereftalato de Polietileno (PET)”*


Rodolfo Bollat Montenegro

Trabajo de Graduación presentado para optar al grado académico de
Ingeniero Químico




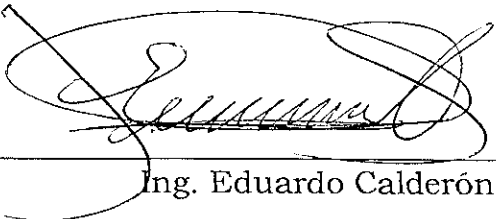
Guatemala, 2002


Vo. Bo.

(f) 
Asesor Ing. Federico Salazar

Tribunal:

(f) 
Ing. Federico Salazar

(f) 
Ing. Eduardo Calderón

(f) 
Ing. Fernando Montenegro

Fecha de aprobación: 6 de mayo del 2002

Dedicatoria

A Dios ...

A mis padres ...

A MamiLuz y la OtraMama...

Agradecimientos

A Dios
A mis padres
A mis dos abuelas
A mis cinco hermanos
Al Ing. Fernando Montenegro
Al Ing. Eduardo Calderón
Al Ing. Francisco Saravia
A Juan Carlos Villatoro
Al Ing. Federico Salazar
Al Ing. Rodolfo Castillo
A mis profesores
A María Regina Recinos
A mis compañeros de clase
A todo el personal de Proveesa
A mi incontable y maravillosa familia
A quien fue mi amigo y a quien no lo fue...
Cada uno de ustedes contribuyó de
manera muy especial para que hoy
pueda presentar este trabajo y alcanzar
otra meta más en mi vida. Gracias.

*Montaje de una planta inyectora de preformas para
soplado de botellas de Tereftalato de Polietileno (PET)*

Resumen

El trabajo consiste en el montaje de una planta industrial de inyección de preformas de tereftalato de polietileno (PET). Se incluyeron dentro de la maquinaria montada: dos máquinas de inyección (cada una con tres unidades: de cierre, de inyección y robot), un enfriador de agua (water chiller) con su sistema de bombas, un tanque para una red de distribución de agua separada y dos conjuntos de equipo de secado (uno para cada inyectora).

Se inicia con un estudio de las condiciones externas de operación de la maquinaria a instalar, así como de los servicios auxiliares que requieran para su correcto funcionamiento. Las condiciones evaluadas fueron las condiciones meteorológicas en la ciudad de Guatemala y las cualidades de los pisos donde se instalarían los equipos. Asimismo, se realizaron balances de energía y masa en los sistemas de servicios auxiliares para determinar la necesidad de instalación de otros equipos.

La maquinaria se instaló en un área designada dentro de una fábrica existente. Se diseñaron y construyeron los sistemas de tuberías que conducen aire comprimido y aguas de enfriamiento. También fue necesaria la construcción de un mezanine para la instalación del equipo de secado de moldes y resina.

Luego de la instalación, se puso en marcha exitosamente, y se tuvo como único inconveniente un mal funcionamiento de una bomba hidráulica de la inyectora número 1. Dicho problema fue resuelto por la casa matriz de la máquina en calidad de garantía. Esto ocasionó un retraso de 15 días en la planificación original.

Índice de Materias

	Página
Resumen	
I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	3
A. Descripción de la máquina de inyección	3
1. Unidad de Inyección.....	3
2. Unidad de Cierre	8
3. Unidad Robot.....	12
B. Descripción del equipo auxiliar de inyección.....	16
1. Secador.....	16
2. Deshumidificador.....	20
C. Enfriadores de Agua	22
III. Justificación.....	25
IV. Objetivos	26
A. Objetivos Generales	26
B. Objetivos Específicos	26
V. Problema a resolver	28
VI. Metodología.....	29
VII. Resultados	31
VIII. Discusión de resultados	57
A. Estudio de condiciones de operación	57
B. Construcciones.....	59
C. Montaje de maquinaria y equipo.....	64
D. Pruebas de operación	72
IX. Conclusiones.....	75

X. Recomendaciones.....	77
XI. Bibliografía.....	79
XII. Apéndice	80
A. Glosario.....	80
B. Tablas	83
C. Figuras.....	92
D. Cálculos.....	94

Índice de Figuras y Planos

		Página
Figura 2.1	Unidad de Inyección.....	4
Figura 2.2	Extrusor.....	7
Figura 2.3	Ciclo de cierre	9
Figura 2.4	Unidad de Cierre	10
Figura 2.5	Unidad de Cierre	11
Figura 2.6	Unidad de Robot	13
Figura 2.7	Herramientas U. Robot.....	14
Figura 2.8	Herramientas U. Robot.....	15
Figura 2.9	Flujo general de secador de aire	18
Figura 2.10	Tolva y Secador de resina.....	19
Figura 2.11	Deshumidificador de aire	21
Figura 2.12	Enfriador de agua	23
Figura 2.13	Enfriador de agua 2.....	24
Plano 7.1	Ubicación de Áreas en Fábrica	34
Plano 7.2	Tubería principal de aire comprimido	36
Plano 7.3	Tubería principal de agua de torre.....	38
Plano 7.4	Tubería principal de agua de enfriador 2.....	40
Plano 7.5	Conexión de tubería principal a sistema de bombeo y enfriador 2.....	41
Plano 7.6	Conexión de tubería principal a sistema de bombeo y enfriador 1.....	43
Plano 7.7	Dimensiones de tanque para sistema enfriador 1	46

Plano 7.8	Distribución final de inyectoras.....	49
Plano 7.9	Distribución final de equipo de secado	50
Plano 7.10	Distribución final de enfriadores	51
Figura 7.1	Parámetros de concentricidad de tobera.....	53
Figura 7.2	Vista isométrica de área de inyectoras.....	56
Figura A-1	Diagrama de Bloques de Proceso.....	92
Figura A-2	Diseño preliminar de instalación inyectoras	93

Índice de Tablas

	Página
Tabla 7.1	Balance de sistema de aire comprimido 31
Tabla 7.2	Balance de sistema de agua de torre de enfriamiento..... 31
Tabla 7.3	Balance de sistema de agua de enfriador 2 32
Tabla 7.4	Balance de sistema de agua de enfriador 1 32
Tabla 7.5	Balance de energía eléctrica..... 32
Tabla 7.6	Especificaciones de piso de instalación..... 33
Tabla 7.7	Especificaciones de terraza 33
Tabla 7.8	Condiciones ambientales de ciudad de Guatemala..... 33
Tabla 7.9	Presupuesto original del proyecto 33
Tabla 7.10	Desglose económico de construcción de mezanine 35
Tabla 7.11	Desglose económico de instalación de tubería de aire comprimido 37
Tabla 7.12	Filtros de aire utilizados en línea de aire comprimido..... 37
Tabla 7.13	Desglose económico de instalación de tubería procedente de torre de enfriamiento..... 39
Tabla 7.14	Desglose económico de instalación de tubería procedente de enfriador 2 39
Tabla 7.15	Desglose económico de conexión de tubería principal a sistema de bombeo y enfriador 2..... 42
Tabla 7.16	Desglose económico de conexión de tubería principal a sistema de bombeo y enfriador 1 44
Tabla 7.17	Dimensionamiento y selección de bomba para sistema de enfriador 1 45
Tabla 7.18	Caídas de presión observadas y estimadas..... 45

Tabla 7.19	Aislamiento de tuberías	47
Tabla 7.20	Tiempos y movimientos de grúa para colocación de equipo de enfriamiento y sistemas de bombas	47
Tabla 7.21	Tiempos y movimientos de grúa para colocación de inyectoras y equipo de secado.....	47
Tabla 7.22	Listado de bultos que arribaron con inyectoras.....	48
Tabla 7.23	Listado de bultos que arribaron con equipo de secado	48
Tabla 7.24	Listado de bultos que arribaron con enfriador 2	48
Tabla 7.25	Llenado de tanques hidráulicos de dos inyectoras	52
Tabla 7.26	Nivelación de inyectoras	52
Tabla 7.27	Concentricidad de tobera.....	52
Tabla 7.28	Desglose de costos derivados de estancia de técnicos.....	54
Tabla 7.29	Resumen económico del proyecto	55
Tabla 7.30	Análisis químico del agua procedente de torre	55
Tabla 7.31	Análisis químico del agua de proceso de enfriador 2	55
Tabla 7.32	Análisis microbiológico del agua	55
Tabla 7.32	Potencia demandada de planta.....	55
Tabla A.1	Especificaciones generales de maquinaria de inyección.....	83
Tabla A.2	Especificaciones generales de equipo auxiliar	85
Tabla A.3	Especificaciones generales de Enfriadores de agua	86
Tabla A.4	Propiedades promedio de aire comprimido	87
Tabla A.5	Propiedades promedio de agua de sistema de enfriadores .	87
Tabla A.6	Propiedades promedio de agua de torre.....	87
Tabla A.7	Velocidades de flujo para tuberías	87

Tabla A.8	Capacidades de tuberías normalizadas	87
Tabla A.9	Longitudes equivalentes para accesorios.....	88
Tabla A.10	Conductividad térmica de materiales de aislamiento.....	88
Tabla A.11	Simbología utilizada en este trabajo.....	89
Tabla A.12	“Chek-List” de tareas de instalación.....	90

I. Introducción

En el presente trabajo se indican los pasos a seguir para el montaje de una planta industrial de inyección de preforma de tereftalato de polietileno (PET). Se da información sobre cada una de las partes de la maquinaria, así como los pasos de manipulación, alineación, montaje y puesta en marcha de cada una de ellas. Asimismo, se considera el montaje de los equipos auxiliares importantes para el buen desempeño de las inyectoras.

Es importante introducir los conceptos aplicados al montaje de una planta. Branam (1) plantea los siguientes puntos como indispensables a la hora de la definición y montaje de un proceso:

1. Balance de calor y materiales del proceso.
2. Balances de servicios generales (electricidad, agua de enfriamiento, etc.).
3. Diagrama de flujo del proceso.
4. Hojas de especificaciones del proceso.
5. Condiciones del sitio.
6. Áreas de servicio de la planta.
7. Contaminación del aire y disposición de desechos.
8. Sistemas secundarios y tubería de interconexión.
9. Sistemas de seguridad (rutas de evacuación, extintores, sistema de tuberías contra incendios, etc).
10. Instalaciones adicionales (almacenamiento y descarga, instalaciones de control, laboratorios satélites, talleres de mantenimiento, etc.).

Los puntos 1, 4, 6 y 10 no fueron tratados, debido a que únicamente se hizo referencia al montaje del equipo y no al diseño de la planta y definición del proceso.

En el caso particular de este trabajo, las inyectoras y el equipo de secado requieren para su funcionamiento los siguientes servicios generales: electricidad, aire comprimido para sistemas neumáticos de operación y agua de enfriamiento para sistemas de intercambio de calor. Este último consta de dos sistemas: uno procedente de un enfriador tipo torre de enfriamiento de agua a 20° C de temperatura, para enfriamiento del sistema hidráulico y otro procedente de un enfriador tipo concha y tubos (water chiller) a 10° C de temperatura, para enfriamiento de preformas.

En el presente trabajo se realiza el balance de todos los servicios generales, no obstante, solamente se realizó el montaje de los enfriadores de agua, debido a que, tanto los compresores de aire, como la torre de enfriamiento ya se encontraban instalados.

En lo que respecta a las condiciones del sitio, se realizó una comparación entre los requerimientos de las máquinas y las condiciones en la planta, tanto ambientales como de soporte de piso. Por otro lado, los sistemas de seguridad a considerarse son únicamente el espaciamiento de las máquinas y el estudio de colocación de sistemas contra fuego. Otros sistemas de seguridad, como rutas de evacuación y sistemas de tubería contra incendios, forman parte de las actividades de un diseño de planta y ya están realizados.

Una vez instalada la maquinaria y el equipo correspondiente, se debe proceder a realizar las pruebas de operación y puesta en marcha. Esta parte de la instalación es responsabilidad de la casa constructora de la maquinaria y del equipo. En el apéndice se muestran las figuras preliminares del proceso y distribución del equipo de inyección (figuras A-1 y A-2, páginas 92 y 93). Dichas figuras son proporcionadas por las casas matrices de la maquinaria en el momento de la compra, y tienen como función únicamente guiar el proceso de instalación, no indican la posición final del equipo.

II. Antecedentes

A. Descripción de la máquina de inyección

La máquina de moldeo por inyección consta de tres secciones principales:

- Unidad de inyección de Tereftalato de Polietileno (PET) de dos etapas,
- Unidad hidromecánica de cierre,
- Unidad de robot.

La máquina de inyección funciona usando sistemas tanto eléctricos como hidráulicos y es controlada por un panel de control de mandos ubicado junto a la máquina.

1. Unidad de Inyección (referirse a figura 2.1)

a. Descripción

En la unidad de inyección, los granos de resina sólida se transforman en resina líquida a través de calor, para luego inyectarla al molde por medio de alta presión.

El proceso que se lleva a cabo en el extrusor se divide en 2 etapas.

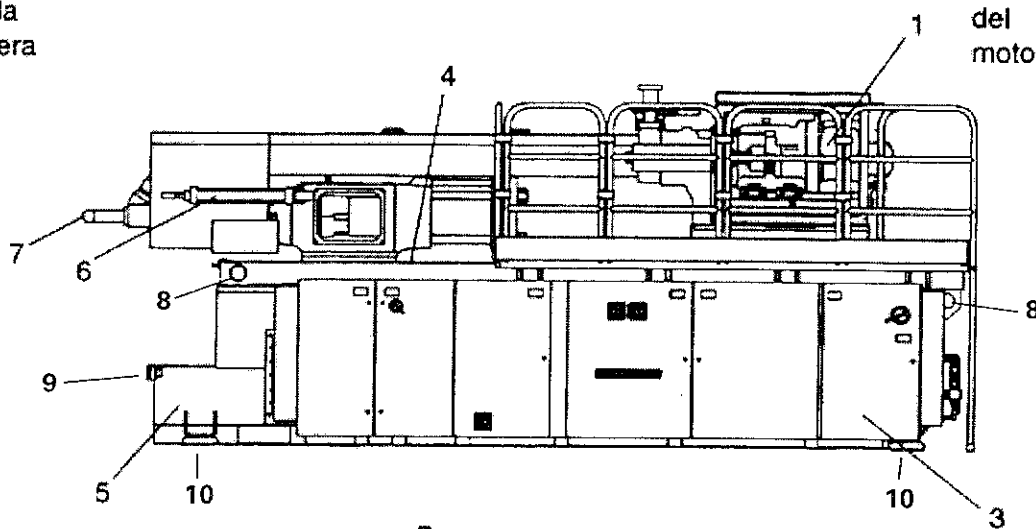
La primera etapa consiste en tres fases:

- Recuperación;
- Plastificación y
- Transferencia.

La segunda etapa tiene una sola fase, y consiste en inyectar la resina líquida a alta presión desde la tolva, a través de la tobera, en el molde de la unidad de cierre (4).

Extremo
de la
tobera

Extremo
del
motor



Lado del operador

Lado opuesto al operador

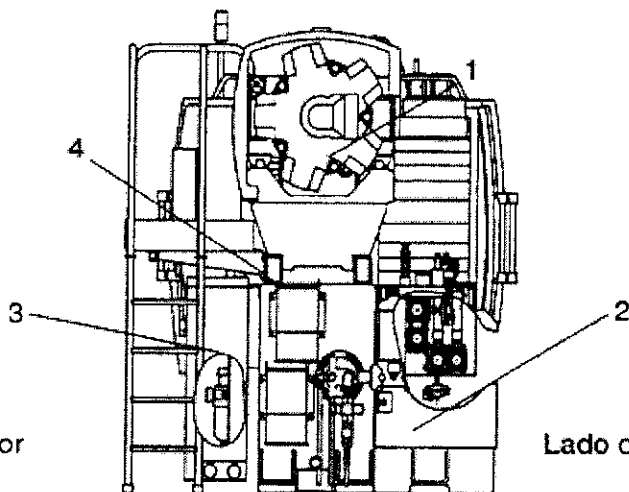


FIGURA NUMERO 2.1

Unidad de Inyección

Escala N/A

Leyenda

- | | |
|--|--|
| 1. Motor del extrusor | 5. Base de inyección |
| 2. Fuente de alimentación hidráulica | 6. Cilindro de carrera del carro |
| 3. Armario eléctrico | 7. Tobera |
| 4. Riel guía de la unidad de inyección | 8. Orejas para colocación de eslingas |
| | 9. Oreja para perno de fijación a U. de Cierre |
| | 10. Pies de nivelación |

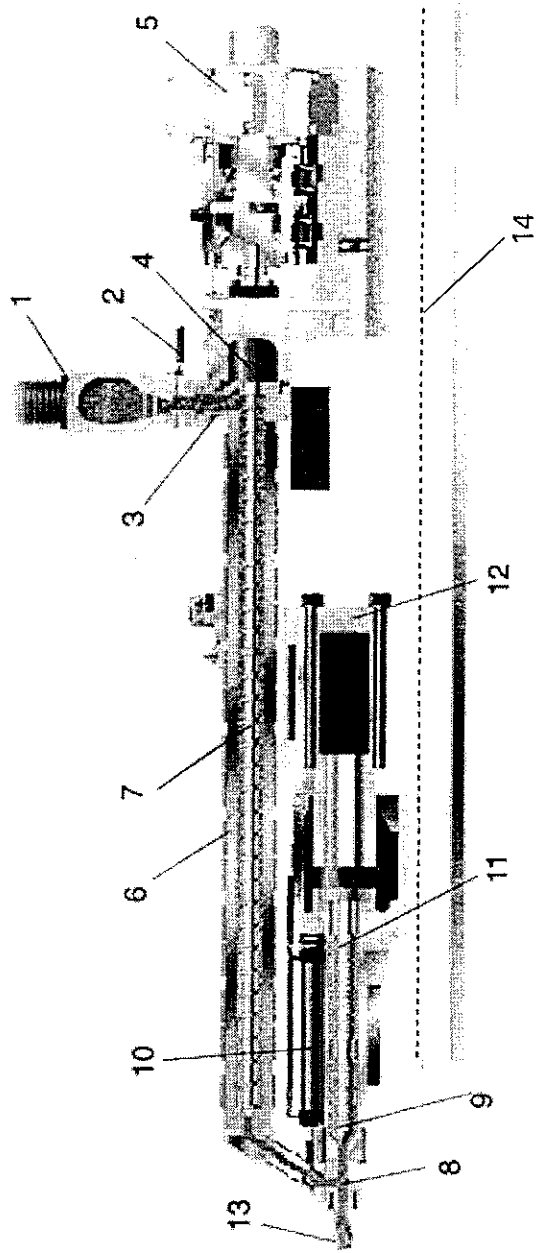
b. Descripción de las fases de la primera etapa del proceso de extrusión (figura 2.2).

La primera fase consiste en la recuperación de resina. La resina sólida entra al extrusor por medio de la abertura de alimentación, para luego viajar por medio de un tornillo sin fin giratorio que se encuentra dentro de un cilindro calentado a altas temperaturas por medio de resistencias eléctricas. Durante la fase de recuperación, el tornillo rota para llenar las ranuras de su sección de alimentación con resina. A medida que la resina se acumula en el cilindro, el tornillo se desplaza hacia atrás. Cuando se tiene suficiente resina acumulada, el extrusor está listo para la fase de plastificación (4).

La segunda fase consiste en la plastificación de la resina. Durante la fase de plastificación, se transforma la resina en material plástico derretido por medio de procesos de corte, calentamiento y compresión. A medida que el tornillo gira, este ejerce una fuerza de corte en la resina, con lo que se inicia el proceso de calentamiento. El calentamiento está a cargo de resistencias eléctricas colocadas en el cilindro hasta alcanzar la temperatura especificada. Al mismo tiempo, se ejerce una presión de retorno en la resina a través de los pistones de transferencia que están conectados al tornillo por medio de un eje ranurado. La presión aplicada por los pistones calienta, comprime y mezcla la resina para prepararla y transferirla a la tolva. Es importante mencionar que el movimiento del tornillo extrusor y de los pistones de transferencia es potenciado por el sistema hidráulico de la unidad de inyección (4).

Cuando el tornillo alcanza la posición de transferencia, el plástico fundido se transfiere del cilindro de plastificación a la cámara de inyección, donde se almacena hasta que tenga una cantidad suficiente de resina líquida para inyectarse al molde. A esta acción se le conoce como fase de transferencia. Para transferir el plástico fundido a través del cilindro de plastificación, los pistones de transferencia se extienden, forzando así el desplazamiento del tornillo hacia delante. El plástico fundido que se ha recolectado en el extremo del cilindro de plastificación debe recorrer la extensión angular del cabezal del cilindro a través de un distribuidor, llegando a la tolva. El plástico continúa fluyendo a la cámara de inyección hasta que se dispone de plástico suficiente para realizar la inyección. Esta cantidad se conoce como dosis de inyección. Una vez se alcanza la dosis requerida concluye la transferencia y el plástico se inyecta al molde, por medio de una extensión del cilindro de inyección que empuja el material.

La inyección se realiza a alta presión para expulsar el aire acumulado en el molde y llenar la cavidad del mismo con material plástico fundido comprimido. Durante la inyección, dos cilindros mueven hacia adelante el carro a lo largo de la unidad de inyección en dirección a la unidad de cierre. Esto permite que la tobera se extienda y penetre en la muesca del plato fijo de la unidad de cierre. La acción de empuje hacia adelante del cilindro de inyección cierra una válvula de retención para impedir que la resina fluya de regreso hacia la tolva. Después que la resina se endurece, una válvula en la tobera se cierra para impedir cualquier flujo adicional (derrame) dentro de la cavidad del molde. Terminada la inyección, los cilindros de cierre y de inyección se retraen y el ciclo empieza nuevamente (4).



Leyenda

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| 1. Tubo de alimentación directa | 7. Husillo giratorio |
| 2. Cilindro obturable de alimentación | 8. Distribuidor |
| 3. Abertura de alimentación | 9. Tolva |
| 4. Cilindro de transferencia | 10. Cilindro del carro |
| 5. Motor extrusor | 11. Embolo macizo |
| 6. Cilindro | 12. Cilindro de inyección |
| | 13. Tobera |
| | 14. Riel de Inyección |

FIGURA NUMERO 2.2

Extrusor

Escala N/A

2. Unidad Hidromecánica de Cierre (referirse a figuras 2.4 y 2.5)

a. Descripción

La unidad de cierre opera un ciclo que consta de dos etapas. La primera etapa sirve para forzar las dos mitades del molde a que se unan entre sí durante el llenado por inyección. La segunda sirve para separarlas y expulsar el producto. Estas dos etapas son llamadas etapa de cierre y etapa de separación del molde, respectivamente. Ambas están sincronizadas con el funcionamiento de la unidad de inyección y unidad robot, coordinadas a través de un sistema de control distribuido.

Las mitades del molde se aseguran al plato fijo y al plato móvil de la unidad de cierre. El plato fijo es estático y está maquinado con una perforación central, diseñado para albergar la tobera de la unidad de inyección, mientras que el plato móvil se desplaza a lo largo de la base de la unidad para abrir y cerrar el molde (4).

b. Descripción del ciclo de cierre (referirse a figura 2.3)

El ciclo de funcionamiento normal empieza cuando el molde se abre y, con la ayuda de aire comprimido a 6 bares de presión, se expulsan las piezas ya enfriadas. Luego, el molde se cierra, se ajusta el bloqueador y el pistón de cierre se extiende para completar la fase de aumento de la presión de cierre. Seguidamente se inyecta plástico fundido, proveniente de la unidad de inyección, a alta presión en el molde y se espera que se endurezca. Una vez endurecido el plástico, el pistón se retrae y el bloqueador rota y sale de su posición, repitiendo nuevamente el ciclo. Esta etapa del ciclo es llamada ciclo húmedo.

El ciclo seco ocurre cuando la unidad de cierre ejecuta un ciclo de cierre completo sin que ocurra inyección de plástico. Los ciclos secos se usan para el ajuste fino del ciclo, localizar averías de la máquina y realizar otras actividades de mantenimiento que requieren que la máquina funcione, sin desperdiciar material plástico.

En el siguiente esquema se resume el ciclo de cierre (4).

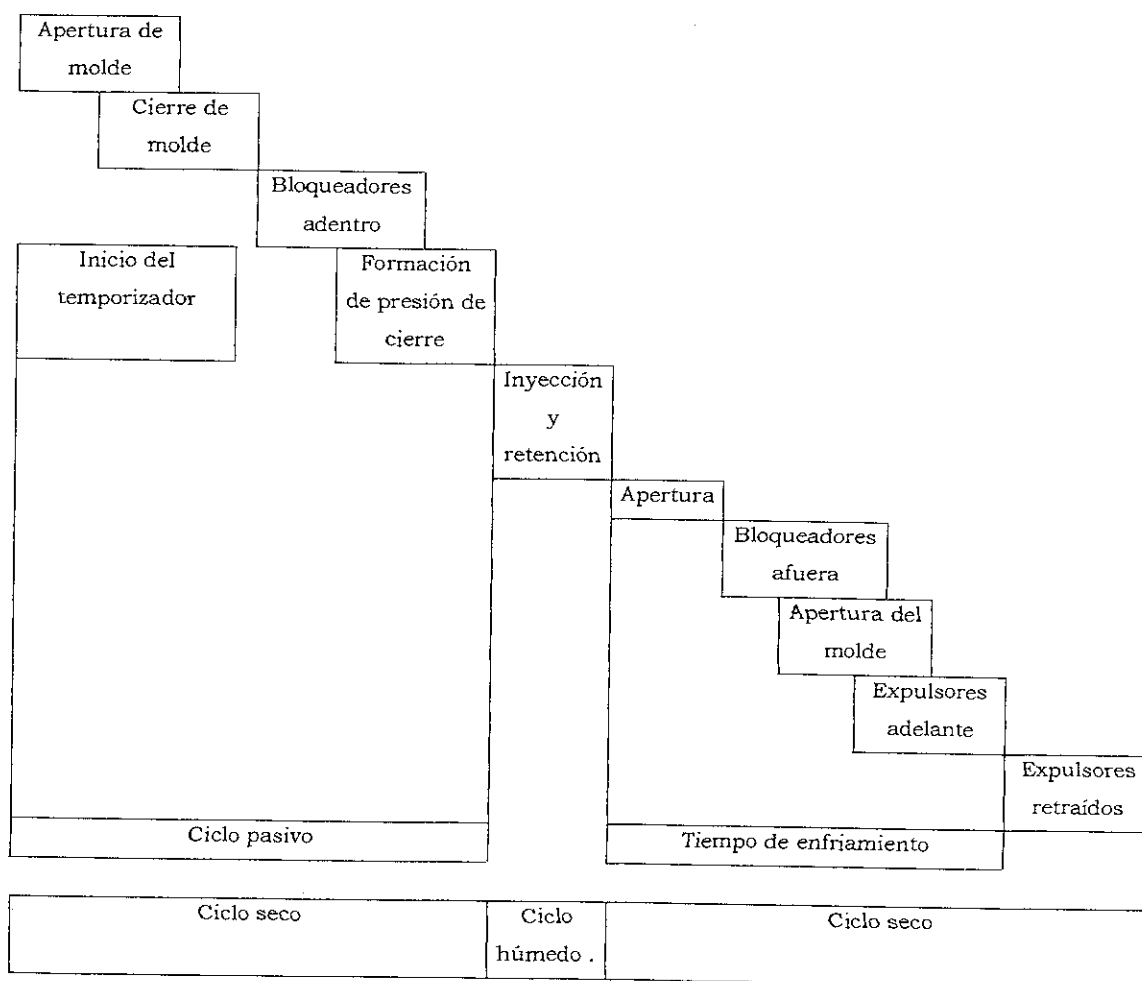


Figura 2.3: Esquema del proceso de la unidad de cierre.

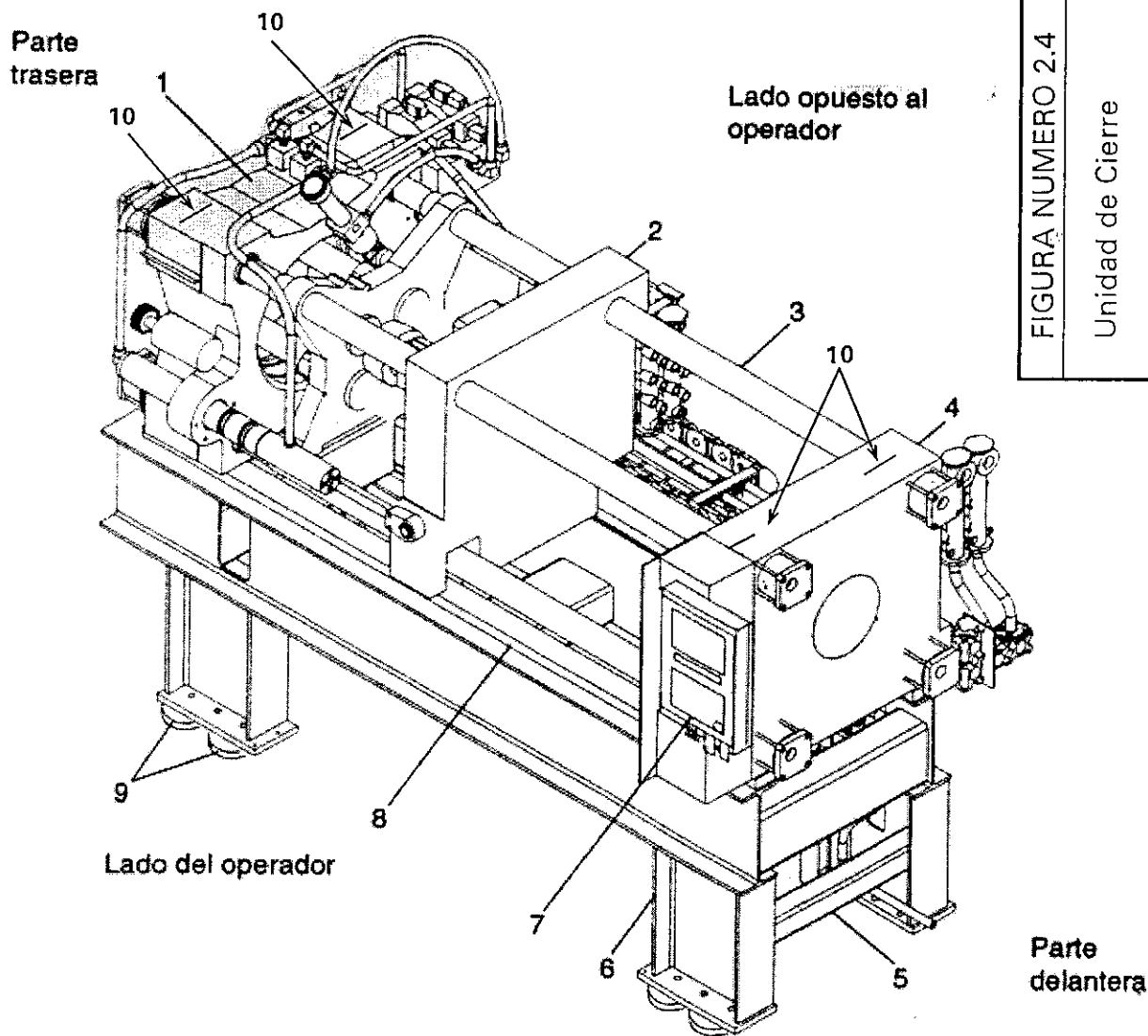


FIGURA NUMERO 2.4

Unidad de Cierre

Escala N/A

Leyenda

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Caja del cilindro de cierre | 5. Base de la unidad de cierre |
| 2. Plato móvil | 6. Pedestal de la base |
| 3. Barra de sujeción | 7. Interfaz hombre-máquina (IHM) |
| 4. Plato fijo | 8. Riel guía de la unidad de cierre |
| | 9. Pies de nivelación |
| | 10. Ranuras para eslingas |
| | 11. Apertura de penetración de tobera |

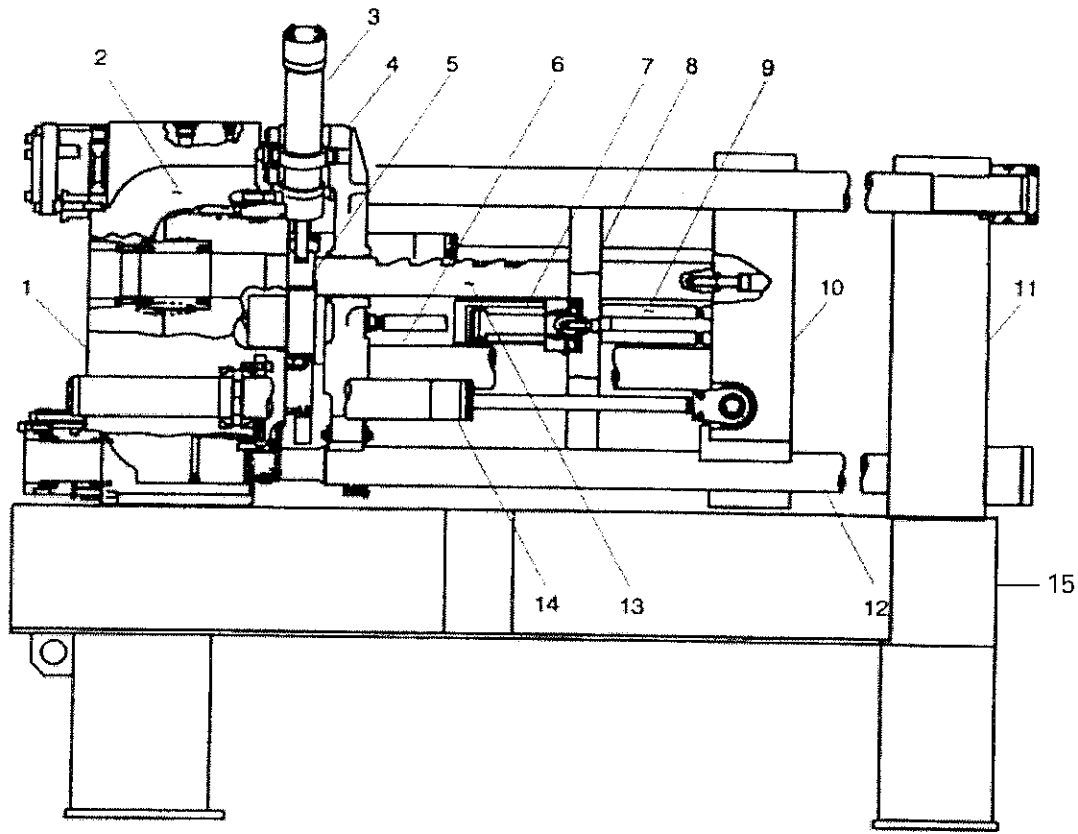


FIGURA NUMERO 2.5

Unidad de Cierre

Escala N/A

Leyenda

- | | |
|---|---|
| 1. Pieza fundida del cilindro de cierre | 8. Placa expulsora |
| 2. Pistón de la unidad de cierre | 9. Pilar expulsor |
| 3. Cilindro del bloqueador | 10. Plato móvil |
| 4. Caja del bloqueador | 11. Plato fijo |
| 5. Bloqueador | 12. Barra de unión |
| 6. Columna de cierre | 13. Columna de cierre de la barra de seguridad (opcional) |
| 7. Pistón expulsor | 14. Cilindro de carrera del molde |
| | 15. Agujero para perno de fijación a unidad de inyección |

3. Unidad de Robot

a. Descripción (referirse a figura 2.6)

El robot extrae las preformas moldeadas de los núcleos del molde y las enfría antes de dejarlas caer sobre un transportador. El robot está dotado de tres ejes básicos: (1) el **eje Z**, a través del cual el carro se mueve dentro y fuera del molde para recoger las preformas; (2) el **eje X**, a través del cual se mueve el carro de enfriamiento hacia delante y atrás; (3) el **eje C**, sobre el cual la herramienta de extremo del brazo gira en sentido vertical y horizontal.

b. Descripción del ciclo de enfriamiento del robot (referirse a figuras 2.7 y 2.8)

El ciclo inicia cuando la herramienta de extremo del brazo del robot recibe las preformas inyectadas luego de ser expulsadas de la unidad de cierre. Las preformas son sostenidas por medio de un sistema de vacío en la herramienta de extremo, al mismo tiempo que son enfriadas por un sistema de agua refrigerada a aproximadamente 10° C. Luego el brazo del robot se mueve hacia la unidad robot a través del eje Z. Sobre el eje X se mueve el carro de la herramienta de enfriamiento que sopla aire comprimido a las preformas, ubicadas en la herramienta de extremo del brazo del robot, para terminarlas de enfriar. El extremo del brazo entonces gira en el eje C para, finalmente, soltar las preformas sobre una banda transportadora.

Las preformas son eyectadas de la herramienta del extremo del brazo del robot por medio de un sistema de aire seco comprimido que sopla las preformas hacia a fuera. Es importante hacer notar que un juego de preformas experimenta tres ciclos completos de enfriamiento en la unidad robot antes de ser expulsadas a la banda transportadora. Para ello, la herramienta de extremo del brazo del robot es capaz de recoger hasta tres juegos de preformas moldeadas y sujetarlas durante cada proceso de enfriamiento (5).

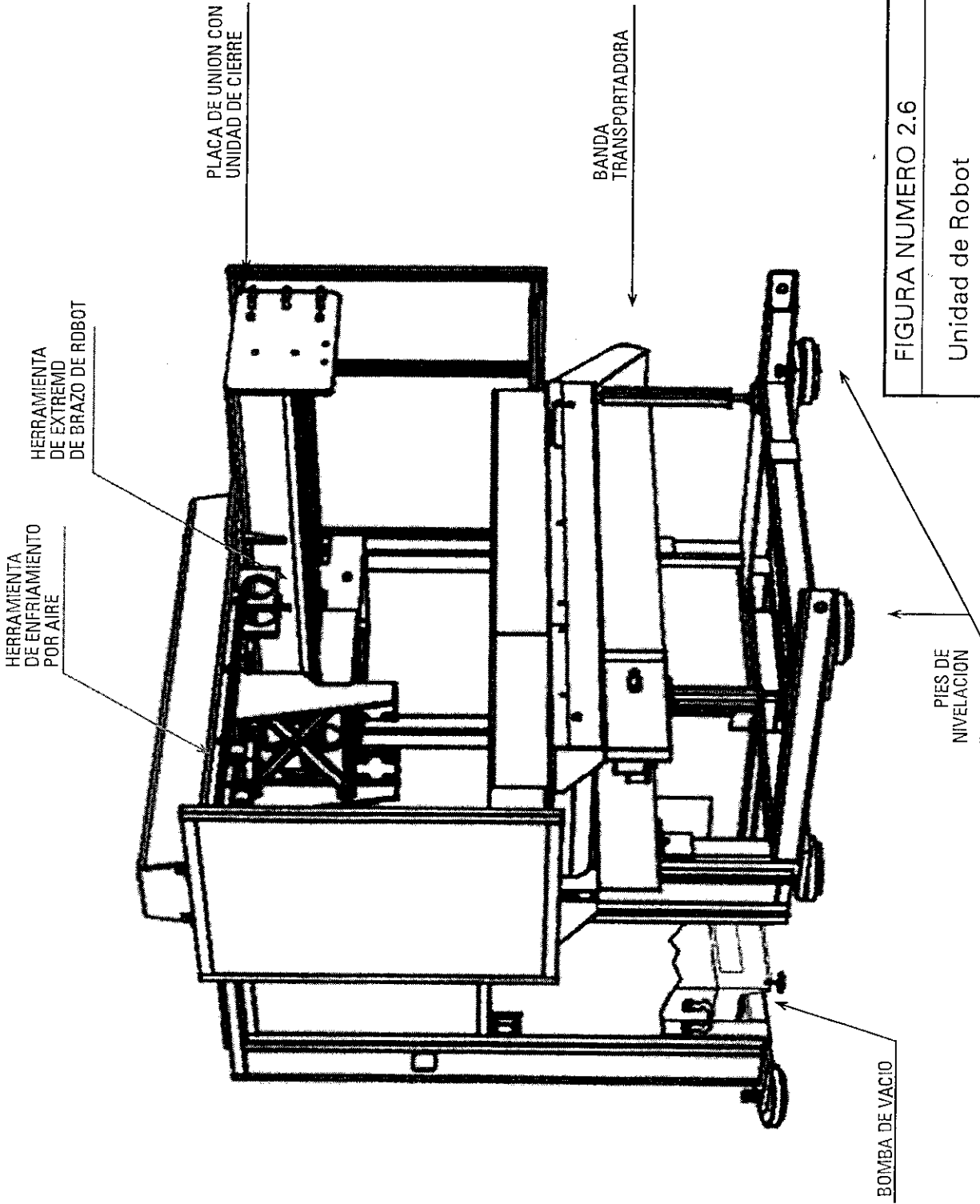
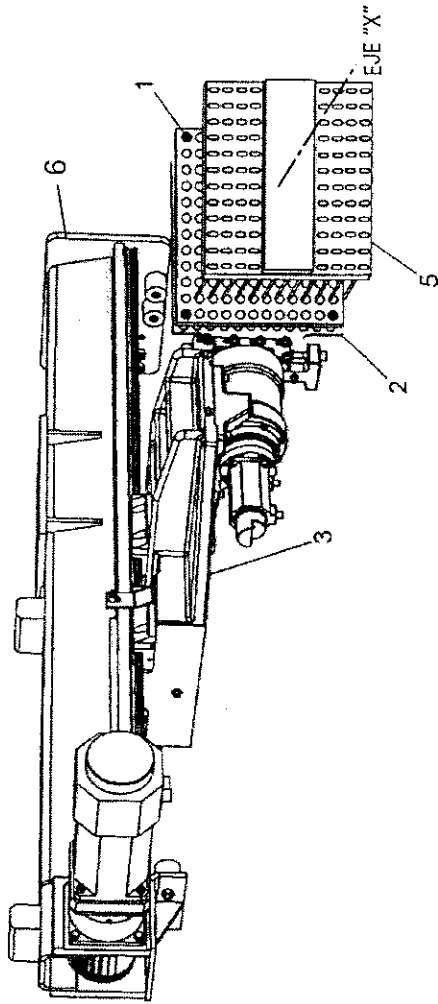


FIGURA NUMERO 2.6

Unidad de Robot

Escala N/A



LEYENDA:

- 1- PREFORMAS MOLDEADAS
- 2- HERRAMIENTA DE EXTREMO DE BRAZO DE ROBOT
- 3- CARRO / BRAZO DE ROBOT
- 4- BOQUILLAS
- 5- HERRAMIENTA DE ENFRIAMIENTO POR AIRE
- 6- PLACA DE UNION CON UNIDAD DE CERRE

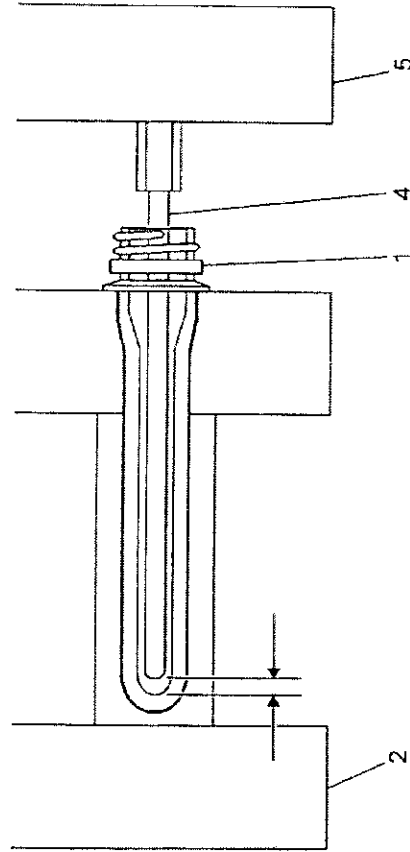
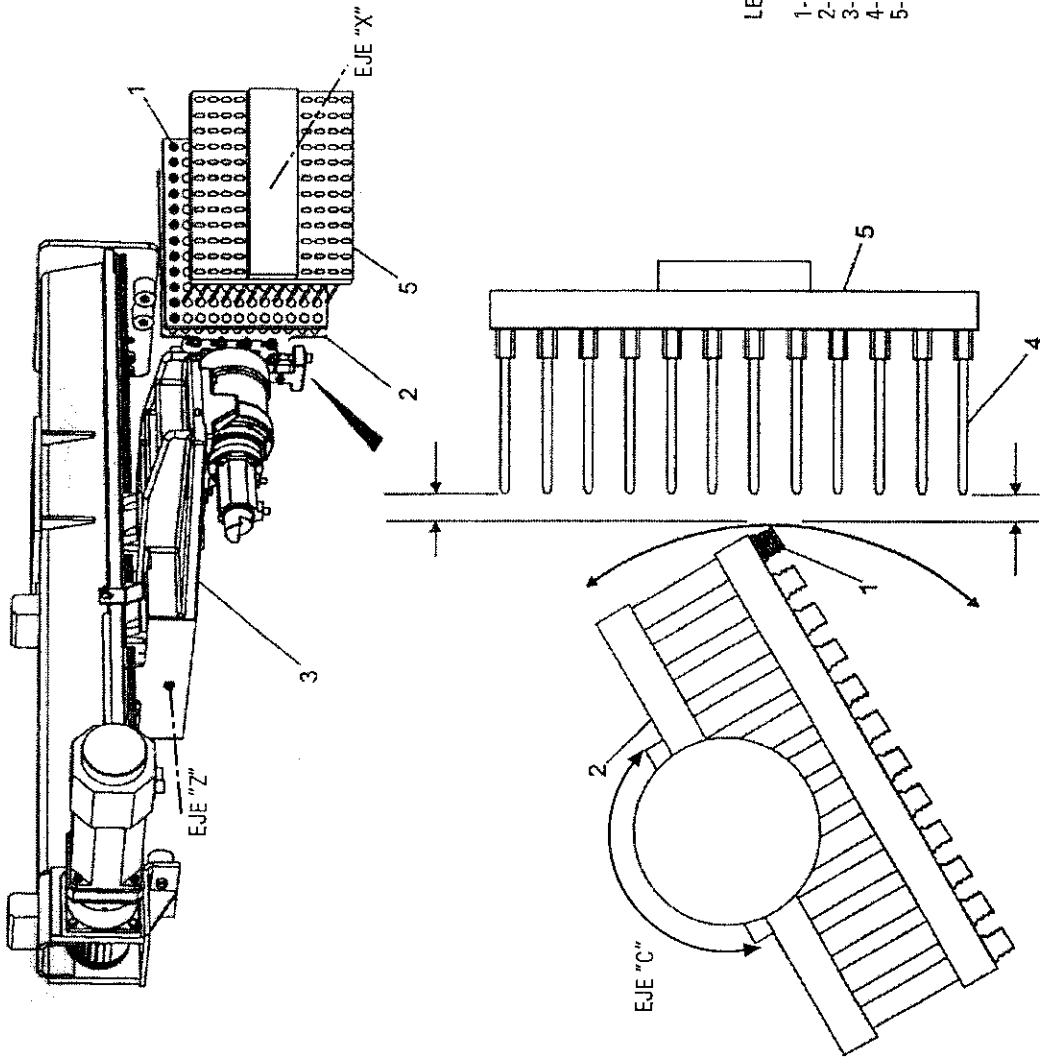


FIGURA NUMERO 2.7

Herramientas de
Unidad de Robot

Escala N/A



LEYENDA:

- 1- PREFORMAS MOLDEADAS
- 2- HERRAMIENTA DE EXTREMO DE BRAZO DE ROBOT
- 3- CARRO / BRAZO DE ROBOT
- 4- BOQUILLAS
- 5- HERRAMIENTA DE ENFRIAMIENTO POR AIRE

FIGURA NUMERO 2.8

Herramientas de
Unidad de Robot

Escala N/A

B. Descripción del equipo auxiliar de inyección

1. Secador

a. Descripción (referirse a la figura 2.10)

El secador es un generador de aire seco que sirve para deshumidificar el gránulo plástico, almacenado en una tolva, antes que éste ingrese a la extrusora.

b. Descripción del proceso de generación de aire seco (referirse a figura 2.9)

En la máquina se encuentran dos torres que contienen en su interior cedazos moleculares, los cuales absorben humedad. Ambas torres ejecutan alternativamente un ciclo de proceso (deshumidificación) y un ciclo de regeneración (mientras una torre efectúa el ciclo de proceso, la otra realiza el ciclo de regeneración).

Durante el ciclo de proceso los sopladores del deshumidificador envían aire húmedo procedente de la tolva a la torre deshumidificadora que se encuentra en proceso. En esta etapa los cedazos moleculares extraen humedad del aire y luego éste, ya seco, se envía de regreso a la tolva, donde remueve la humedad del gránulo plástico, repitiendo el ciclo hasta la saturación de los cedazos moleculares de la torre en proceso (3).

El ciclo de regeneración es necesario para eliminar la humedad acumulada por los cedazos saturados en la torre que ha finalizado un ciclo de proceso. El ciclo de regeneración se divide en dos etapas:

- a. Etapa de calentamiento: En esta etapa un flujo de aire del ambiente que es calentado por resistencias eléctricas, atraviesa la torre para remover de los cedazos moleculares la humedad absorbida en el ciclo de proceso. Esta humedad es luego liberada al ambiente (3).
- b. Etapa de refrigeración: El aire utilizado en la etapa anterior, que no fue liberado al ambiente, es enfriado a través de un intercambiador de calor de aletas y por medio de un soplador se hace recircular el aire frío y seco a través de los cedazos moleculares hasta enfriarlos a la temperatura adecuada para el proceso(3).

Una vez ha finalizado el ciclo de regeneración de una torre, se lleva a cabo un cambio automático de torres: la torre que estaba ejecutando el ciclo de proceso pasa a hacer el ciclo regenerativo y viceversa.

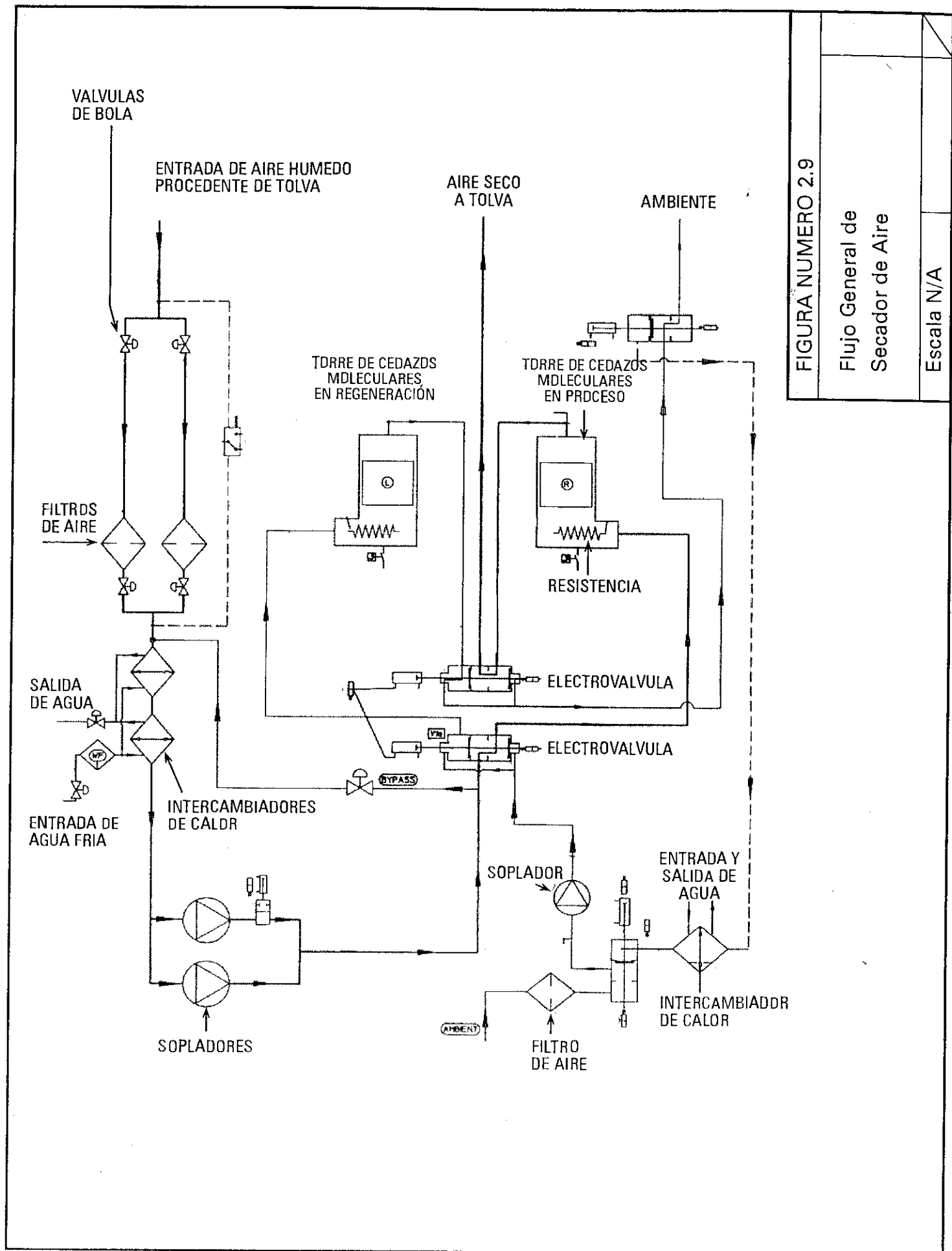
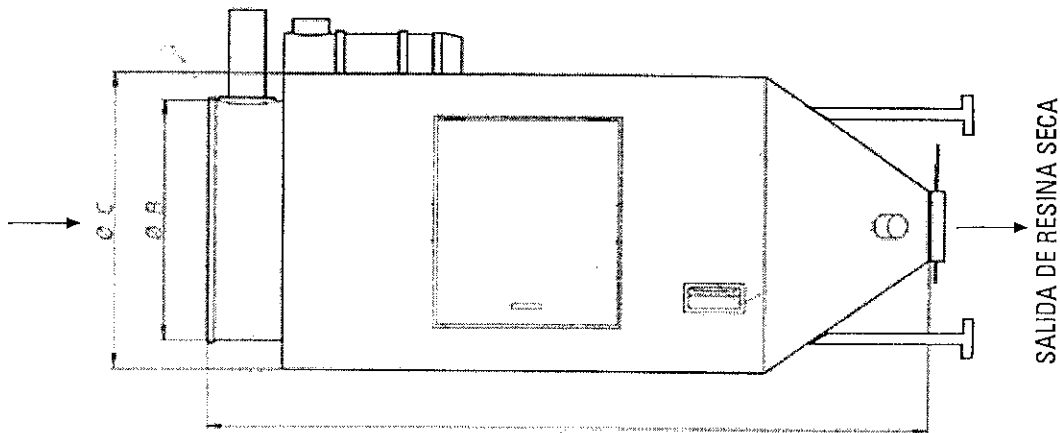


FIGURA NUMERO 2.9

Flujo General de Secador de Aire

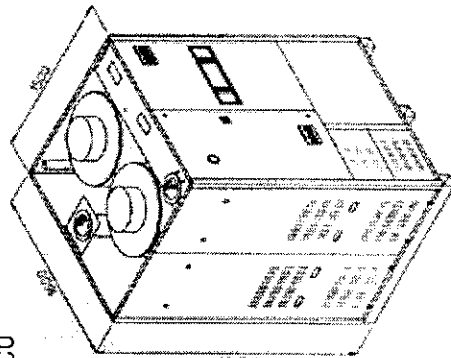
Escala N/A

ENTRADA DE RESINA HUMEDA



SALIDA DE AIRE HUMEDO

ENTRADA DE AIRE SECO



SECADOR

FIGURA NUMERO 2.10

Tolva y Secador de Resina

Escala N/A

TOLVA DE RESINA

2. Deshumidificador de molde

a. Justificación del secador

El aumento de la productividad por lo general precisa una reducción de temperatura y humedad del ambiente que rodea al molde. Debido a que el molde se encuentra enfriado por agua a temperaturas cercanas a los 10° C para lograr la rápida solidificación de la resina inyectada, aire caliente y húmedo rodeando el molde provoca formación de condensado en el mismo. El condensado causa daños al molde e imperfecciones en las piezas moldeadas. El deshumidificador para moldes, mantiene el molde en un ambiente de humedad controlada, evitando la formación de condensado, es por ello que se necesita instalar el equipo deshumidificador.

b. Proceso de deshumidificación de aire (referirse a figura 2.11)

El aire húmedo, aspirado del ambiente por ventiladores, atraviesa un filtro de malla y un filtro de tejido para limpiarlo. El aire limpio pasa a través de una batería de refrigeración para enfriarlo a aproximadamente 15°C y luego atraviesa un evaporador para enfriarlo a aproximadamente 5°C. Posteriormente, el aire pasa por un condensador para calentarlo y condensar el agua. El aire caliente y seco debe tener una temperatura adecuada para el proceso, por lo que se hace pasar por un intercambiador de calor de aletas, para llevarlo a la temperatura de operación. Finalmente es enviado a la cabina de la unidad de cierre de la inyectora para enfriar el molde (2).

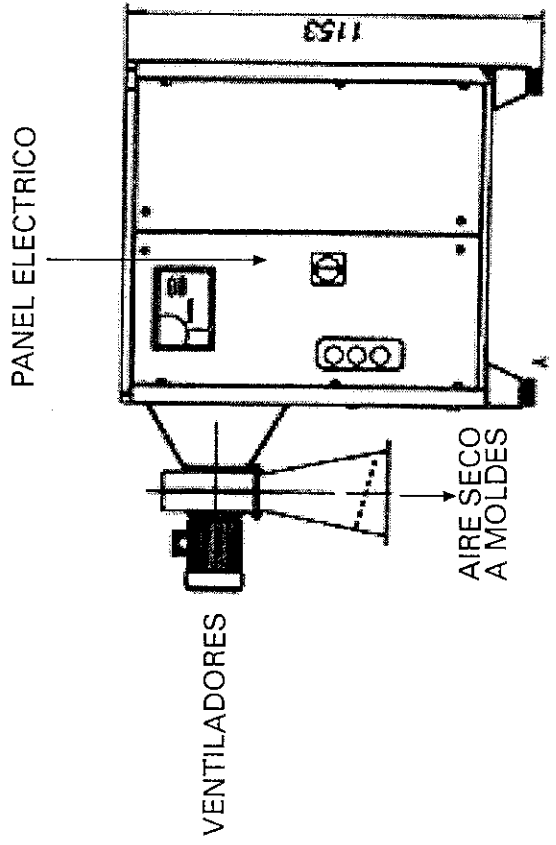
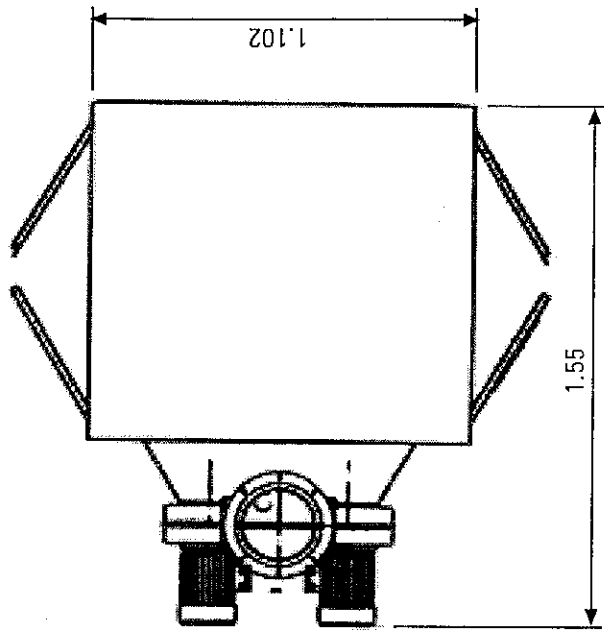


FIGURA NUMERO 2.11

Deshumidificador de aire		
Escala	N/A	Medidas en Metros

C. Enfriadores de agua (referirse a figuras 2.12 y 2.13)

Los enfriadores de agua (chillers) tienen la función de enfriar agua caliente, proveniente del sistema de inyectoras, a temperaturas menores de 10° C. Por lo general se requiere que estos enfriadores sean capaces de mantener una diferencia de temperatura entre agua de entrada y salida a su intercambiador de calor de 2 a 3 °C.

Estos equipos utilizan refrigerante 22 (clorodifluorometano) para enfriar agua en un intercambiador de calor de concha y tubos, refrigerante que luego es enfriado por aire en intercambiadores con aletas. El refrigerante es bombeado a través del sistema por medio de compresores, los cuales son activados electrónicamente según las necesidades de enfriamiento que necesite el agua proveniente del proceso. El enfriador consiste de las siguientes partes:

- a. Intercambiador de calor de concha y tubos (Evaporador).
- b. Intercambiador de calor de aletas (Condensador).
- c. Compresor de refrigerante 22.
- d. Tanque almacenamiento de refrigerante 22.

Durante un ciclo de refrigeración, el refrigerante líquido es bombeado del tanque de almacenamiento a alta presión hacia un intercambiador de concha y tubos, que actúa como evaporador. En la parte interior de los tubos fluye el refrigerante líquido, el cual se evapora al retirar energía del agua que fluye, en contra corriente, en la coraza o concha. El agua fría sale al proceso. El refrigerante gaseoso pasa a un intercambiador de aletas que actúa como condensador. En dicho intercambiador, aire es forzado a circular por medio de ventiladores para retirar la energía del refrigerante gaseoso caliente, condensándolo. El refrigerante condensado pasa a un compresor, donde es comprimido, elevándole la presión y licuándolo para transferirlo al tanque receptor y repetir el ciclo de refrigeración.

El agua fría que sale de los enfriadores debe ser bombeada al proceso, para lo cual es necesario considerar la instalación de un sistema de bombas en cada enfriador a colocar.

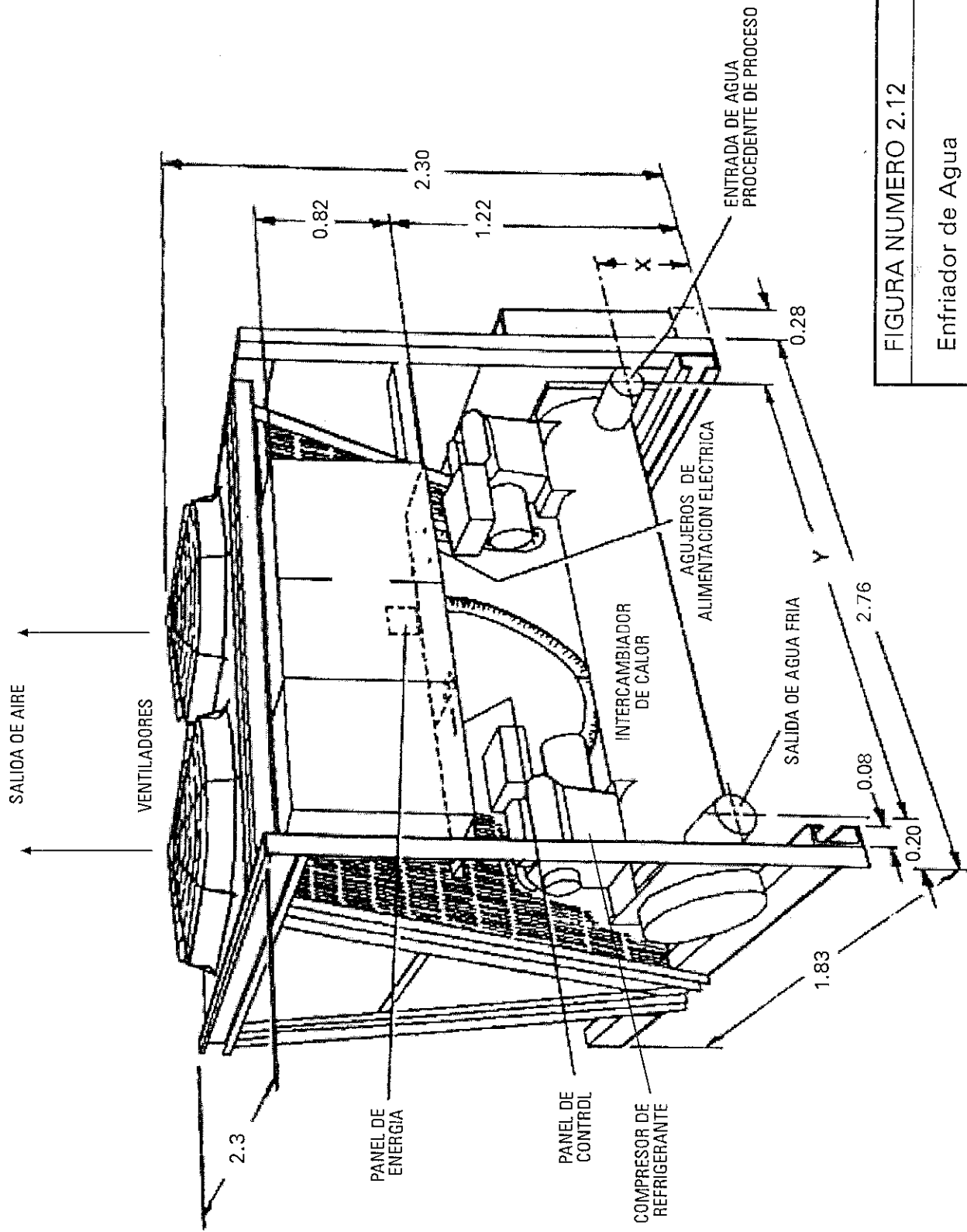


FIGURA NUMERO 2.12

Enfriador de Agua

Escala N/A

Distancias en Metros

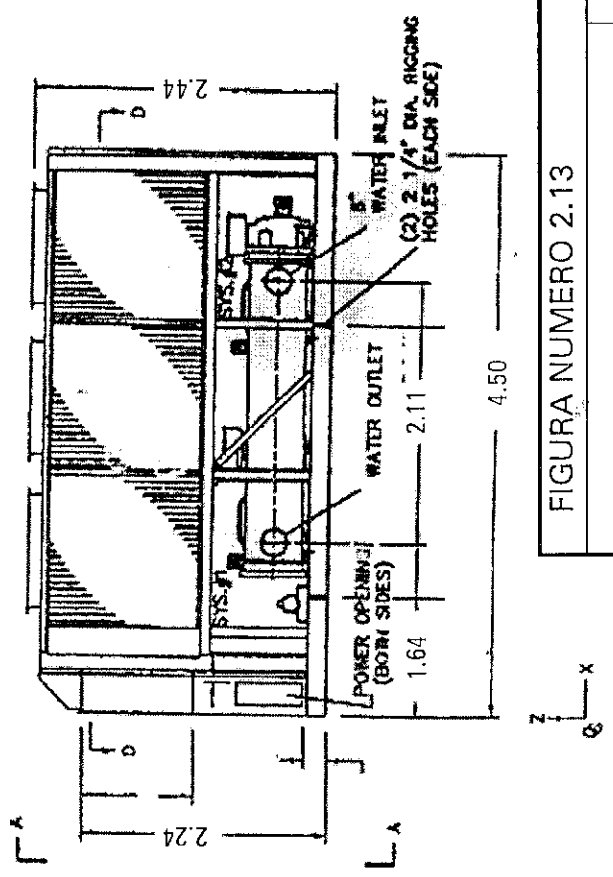
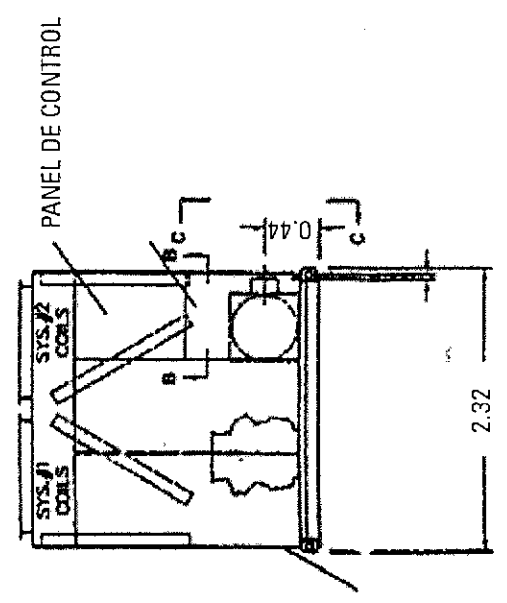
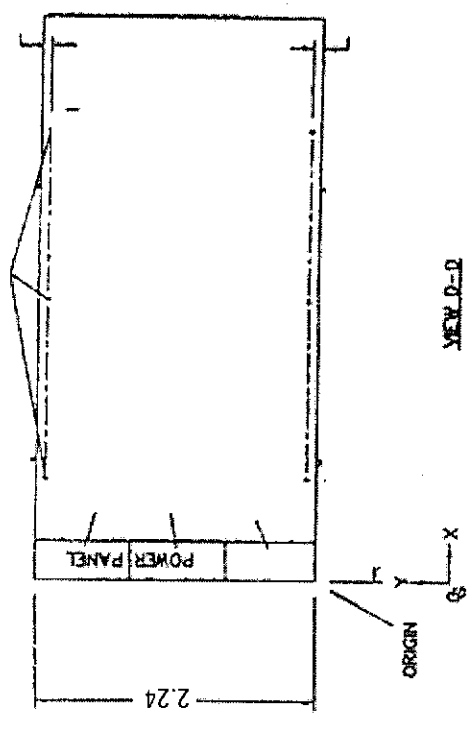


FIGURA NUMERO 2.13

Enfriador de agua 2

Escala N/A	Medidas en Metros
------------	-------------------

III. Justificación

Una empresa que se dedica a la producción de botellas de tereftalato de polietileno (PET), se encontraba en un proceso de ampliación y traslado. Las nuevas instalaciones cuentan con dos áreas principales de maquinaria: la primera donde se encuentran las máquinas sopladoras de botellas y, la segunda, que es el área de interés de este trabajo, donde se instalaron dos inyectoras de preforma con sus respectivos equipos auxiliares. Debido a la magnitud de las nuevas instalaciones y la cantidad de maquinaria y equipo auxiliar que debía montarse (torres de enfriamiento, compresores, refrigeradores, etc) fue necesaria la participación de un equipo de personas calificadas que pudiera dar las especificaciones para la compra de equipo y diseño de tuberías, así como aportar conocimientos técnicos durante el montaje, facilitándose así el trabajo. Es así como nace este trabajo, ocupándose del montaje en el área de inyectoras de preformas y el sistema auxiliar de secado de resina y deshumidificación de aire.

IV. Objetivos

A. General.

Realizar el montaje en una planta industrial de dos inyectoras de preformas para soplado de botella de tereftalato de polietileno (PET) conjuntamente con sus equipos auxiliares de secado y enfriamiento de moldes.

B. Específicos.

1. Realizar el diagrama de distribución (layout) de las inyectoras a instalarse, así como de sus respectivos equipos auxiliares.
2. Revisar que las instalaciones físicas de la planta (pisos, techos, paredes, mezanine, iluminación) se encuentren en condiciones adecuadas para realizar el montaje.
3. Revisar que las instalaciones eléctricas existentes en la planta sean las adecuadas, verificando la potencia instalada, los voltajes, las frecuencias de alimentación, las potencias máximas de arranque de máquinas y tierras.
4. Comprobar que el agua utilizada en los sistemas de enfriamiento cumplan con las especificaciones físicas y químicas dadas por el fabricante del equipo.
5. Supervisar la construcción de un mezanine para la colocación del equipo auxiliar de secado.
6. Dirigir la recepción y desembalaje del equipo nuevo recibido, así como su colocación en el lugar de funcionamiento.

7. Realizar las conexiones de los servicios externos de agua fría, agua de torre, energía eléctrica y aire comprimido a las inyectoras y equipo auxiliar.
8. Nivelar las unidades de cierre, inyección y robot de las inyectoras, así como verificar la concentricidad de la tobera de dichas inyectoras.
9. Realizar el diagrama de distribución (layout) de los enfriadores y dirigir su colocación en el lugar de trabajo.
10. Diseñar el sistema de tuberías que conectará a los enfriadores con la tubería principal de la planta.
11. Diseñar el sistema de bombas de los refrigeradores de agua, comprobando que proporcionen la presión y caudal requeridos por la maquinaria y equipo.
12. Estar presente durante las pruebas de operación y puesta en marcha realizadas por los técnicos representantes de las casas fabricantes de cada una de las máquinas y equipos instalados, aprobando los protocolos de recibo.

V. Problema a resolver

Una empresa que se dedica a la producción de botellas de tereftalato de polietileno (PET), ha importado hasta la fecha las preformas utilizadas para la fabricación de dichas botellas. Con el afán de posicionarse mejor en el mercado, ofreciendo botellas de menor precio, la empresa decidió ampliar su planta, agregando a ésta un área de inyectoras para la producción de preformas. Asimismo, evaluó la posibilidad de expandirse a otro tipo de negocio, proporcionando preformas a otras empresas productoras de botellas. Debido a las altas demandas de producción de botellas, el área de inyectoras, incluyendo equipo auxiliar de secado y equipo de refrigeración de agua, debió ser instalada y puesta en marcha a la mayor brevedad posible.

VII. Resultados

A. Estudio de condiciones de operación

Según las especificaciones del equipo a instalar mostradas en las tablas A-1 y A-2 (páginas 83 y 85), así como de la distribución sugerida por los fabricantes mostrada en la figura A-2 (página 93), se procedió a realizar un análisis del área donde se instalaron las inyectoras, así como un balance general de cada sistema. Los resultados se muestran en las tablas siguientes.

Tabla 7.1: Balance de sistema de aire comprimido.

Demanda de aire actual	1150 m ³ /h
Demanda de aire equipo inyección 1	200 m ³ /h
Demanda de aire equipo de secado 1	25 m ³ /h
Demanda de aire equipo inyección 2	200 m ³ /h
Demanda de aire equipo de secado 2	25 m ³ /h
Demanda total de aire	1600 m ³ /h
Generación de aire por compresores existentes	2050 m ³ /h

Tabla 7.2: Balance de sistema de agua de torre de enfriamiento.

		Caudal min (LPM)	Caudal max (LPM)	Presión min (bar)	Presión max (bar)	Calor a evacuar (kJ/s)
INYECTORA 1	U inyección	252	-	4.5	-	70.29
	Secador	100	-	2	8	24.41
INYECTORA 2	U inyección	252	-	4.5	-	70.29
	Secador	100	-	2	8	24.41
Proceso actual		416	-	2	5	435.14
Total del sistema		1120	-	4.5	5	624.53
Torre de enfriamiento actual			1400	-	-	707.36
Bomba de proceso actual		860	1250	3	6	-

Tabla 7.3: Balance de sistema de agua procedente enfriador 2 (Water Chiller 2)

		Caudal min (LPM)	Caudal max (LPM)	Presión min (bar)	Presión max (bar)	Calor (kJ/s)
INYECTORA 1	U. Robot	-	76	6.2	10	102.66
	U. De cierre	-	798	6.2	10	
	Deshumificador	-	100	1.5	8	36.03
INYECTORA 2	U. Robot	-	76	6.2	10	102.66
	U. De cierre	-	798	6.2	10	
	Deshumificador	-	100	1.5	8	33.03
Total del sistema		-	1948	6.2	8	277.38
Chiller		474	2268	-	-	374.8
Bomba de proceso		930	1500	4.0	7.0	-
Bomba de recirculación		300	4500	1.5	3	-

Tabla 7.4: Balance de sistema de agua procedente de enfriador 1 (Water Chiller 1).

	Caudal min (LPM)	Caudal max (LPM)	Presión min (bar)	Presión max (bar)	Calor (kJ/s)
Total del sistema	1100	-	6.8	8	195.44
Chiller	340	1200	6	8	217.3
Bomba de proceso	830	1250	4.0	7.0	-

Tabla 7.5: Balance de energía eléctrica.

Demanda de energía actual	900 kW
Demanda de energía de equipo inyección	406.18 kW
Demanda de energía de equipo de secado	88.9 kW
Demanda de energía de enfriador de agua 1	38.75 kW
Demanda de energía de enfriador de agua 2	199 kW
Demanda total de energía eléctrica de equipos nuevos	732.83 kW
Demanda total de energía esperada	1340 kW
Capacidad de transformador actual	3000 kW
Frecuencia	60 Hz
Voltaje promedio	460 V
Voltaje promedio	220 V

Tabla 7.6: Especificaciones del piso donde se instalaron las inyectoras.

Calidad de hormigón B30	30MPa
Calidad de armaduras Fe E300	500 MPa
Módulo de Westergaard	70 MPa/m
Esfuerzo en el piso	100 kPa
Espesor de enlosado	20 cm

Tabla 7.7: Especificaciones de terraza donde se instalaron enfriadores de agua.

Carga viva distribuida máxima (L_o)	2441 kg/m ² [500 lb/ft ²]
---	--

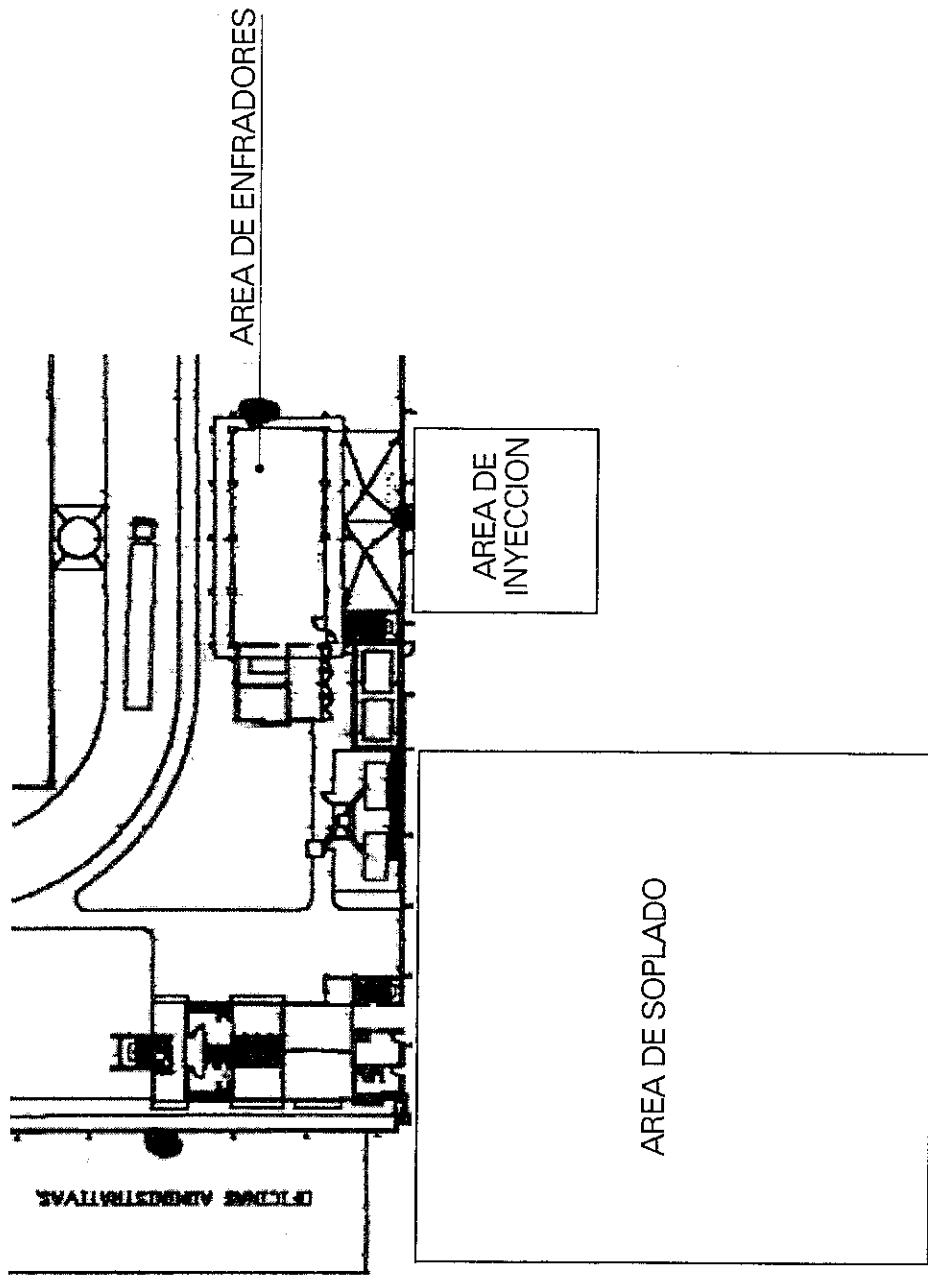
Tabla 7.8: Condiciones ambientales generales en ciudad de Guatemala.

Temperatura promedio	25° C
Presión ambiental promedio	85.33 kPa [640 mmHg; 0.84 atm]
Humedad relativa promedio	75%

Tabla 7.9: Presupuesto original del proyecto.

Descripción de cuenta	Monto asignado (Q)
Tubos, válvulas y accesorios	177,600.00
Equipo eléctrico	90,000.00
Aislamiento y andamiaje	57,700.00
Obras civiles varias	130,000.00
Ingeniería	85,000.00
Transportes y Movimientos	35,000.00
Imprevistos	90,000.00
Total	665,300.00

Plano 7.1: Ubicación de equipo de inyección y equipo auxiliar de secado (ver página 34).



PLANO NUMERO 7.1

Ubicación de Areas
en Fábrica

Escala N/A

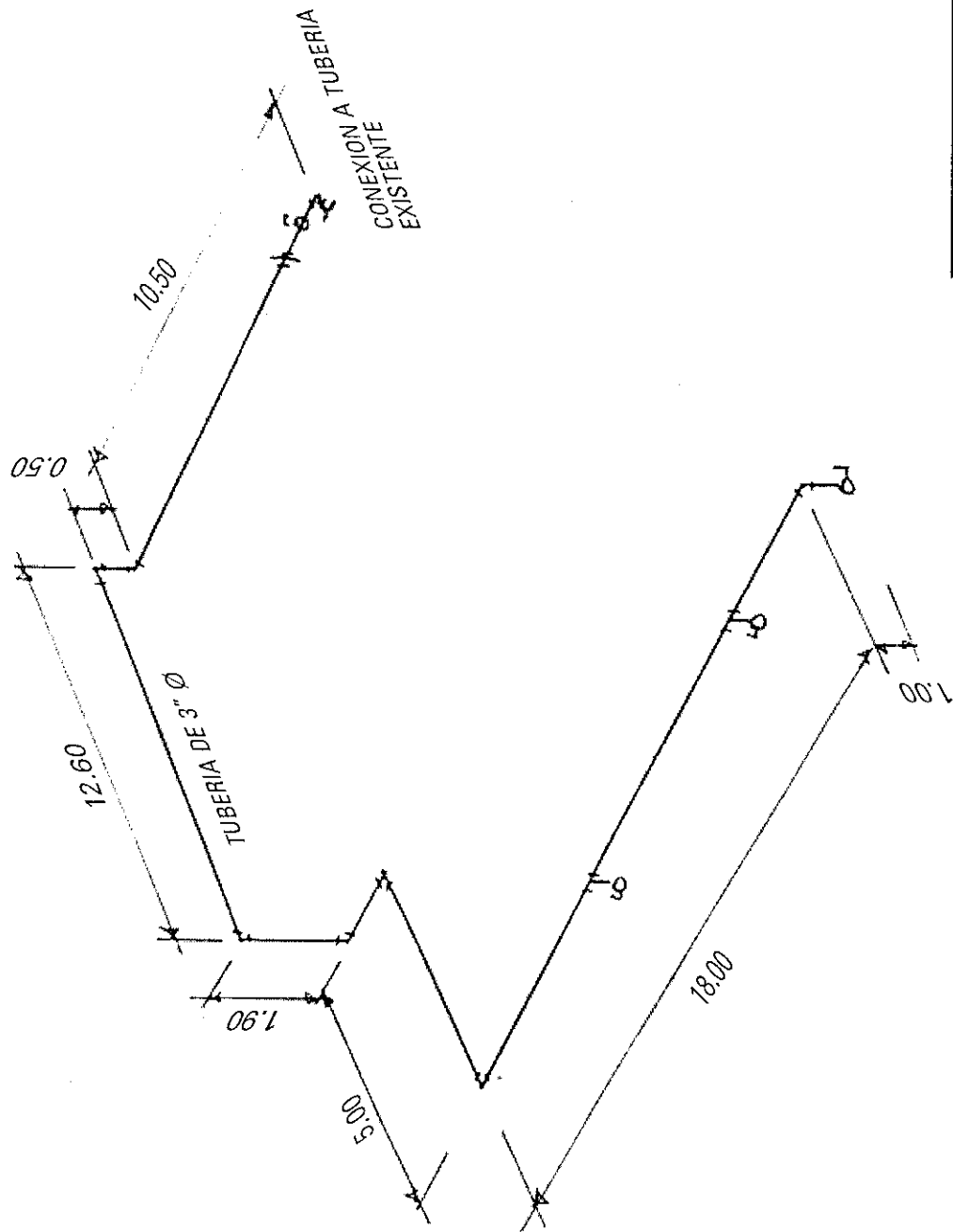
B. Construcciones.

Según lo muestra la figura A-2 (página 93), fue necesaria la construcción de un mezanine para instalar sobre él, el equipo auxiliar de secado de las inyectoras. La construcción de dicho mezanine fue realizada por una empresa constructora contratada para el efecto. A continuación se detallan los trabajos realizados.

Tabla 7.10: Desglose económico de construcción de mezanine. Los precios indicados incluyen IVA, mano de obra, herramienta y equipo, materiales especificados y necesarios para completar la obra en cuestión.

Descripción del trabajo	Precio (Q)
Mezanine con las siguientes características: Ancho exterior de 5.33m; longitud exterior de 18.00m; altura libre de 4.00m. Formado por 5 marcos metálicos de alma llena tipo "H" y sección continua espaciados 4.50m; viguetas de doble costanera de 6" y piso de lámina estriada antideslizante de 3/16". Las columnas van sujetas al piso de concreto con 4 pernos hilty de 5/8". Capacidad para soportar hasta 15 toneladas métricas.	57,535.00
Baranda de 0.90m de altura alrededor del segundo piso, formada con tubo de 1¼" de pasamanos y postes del mismo tubo atornilladas a la estructura del entepiso.	3,952.00
Gradas metálicas con un ancho de 0.80m, con peldaños de lámina estriada antideslizante de 3/16", baranda de tubo de 1¼".	7,825.00
Fabricación y suministro de un puente móvil para polipasto de 4 mTon, según lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> - Ancho entre rodos de 2.70m; - Altura máxima de 2.90m; - Capacidad de 4 mTON; - Tipo de estructura: columnas y vigas de alma llena de sección "I" continua. - Accesorios: 8 ruedas metálicas con giro indefinido (locas) y 3 orejas para carga. - Acero estructural será protegido con pintura anticorrosiva. 	53,380.00
Total	122,692.00

Plano 7.2: Tubería principal de aire comprimido (página 36)



PLANO NUMERO 7.2

Tubería de
Aire Comprimido

Escala N/A

Distancias
en Metros

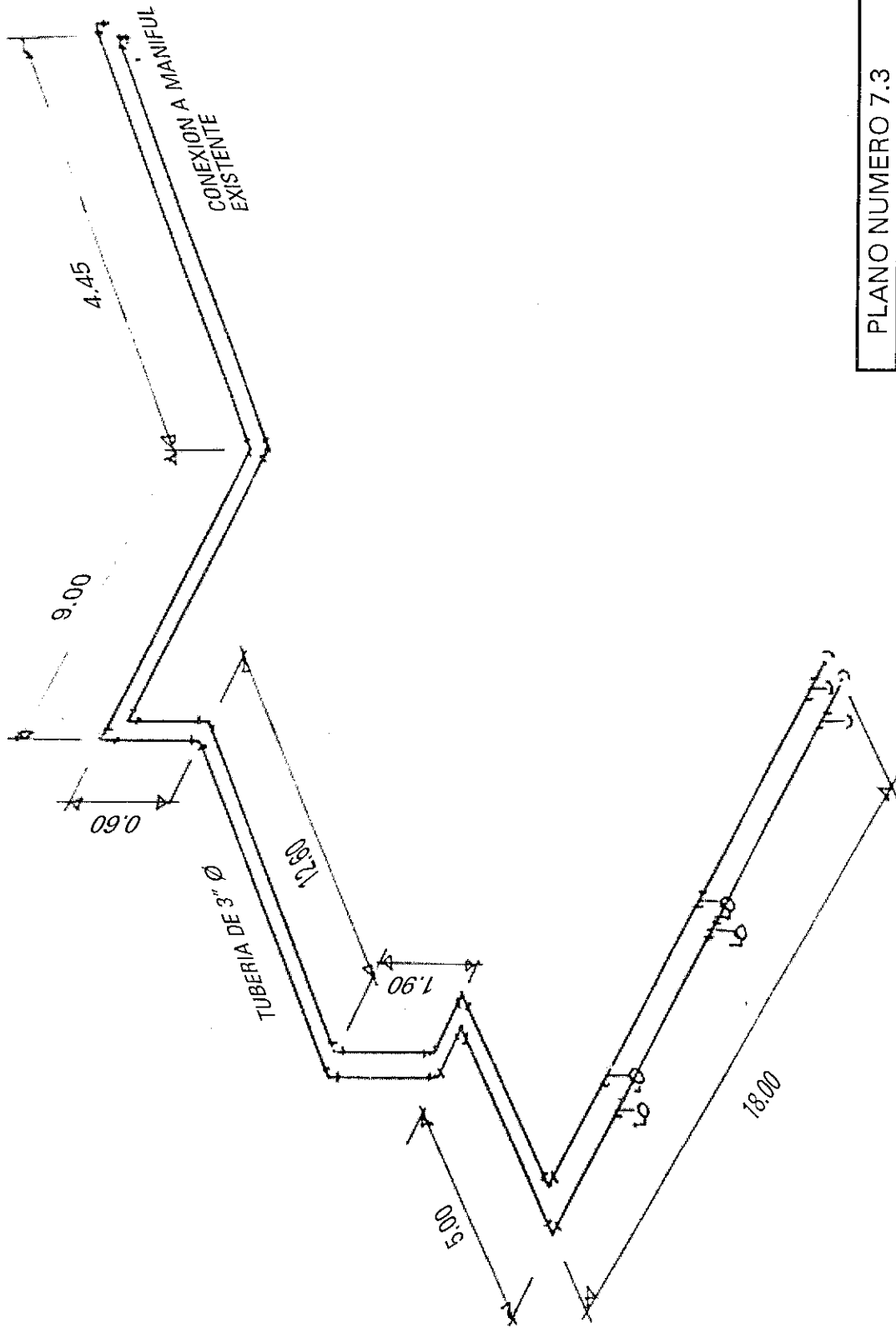
Tabla 7.11: Desglose económico de instalación de tubería de aire comprimido. Los precios indicados incluyen IVA, mano de obra, herramienta y equipo, materiales especificados y necesarios para completar la obra en cuestión (como teflón, permatex, andamios, etc). Todos los accesorios listados son roscados.

Descripción (ver plano 7.2; pg. 36)	Cantidad	Unidad	Precio U Q	Total Q
Tubo galvanizado de 3"d cat. 40	8	6 m	1,113.51	8,908.08
Codo galvanizado de 3"d	8	u	129.96	1,039.68
Tee galvanizada de 3"d	4	u	136.72	546.88
Válvula de bola de 3"d para 250 psi	4	u	1,490.44	5,961.76
Unión universal galvanizada de 3"d	1	u	483.40	483.40
				16,939.80

Tabla 7.12: Filtros de aire utilizados en línea de aire comprimido. Se colocaron los filtros a la entrada de cada inyectora.

Descripción	μm	Capacidad m^3/h	Presión de trabajo (bar)	Cantidad	Precio Unitario (Q)	Total Q
Pre filtro	15	270-360	5.5-10	2	3,480.00	6,960.00
Filtro coalescente	0.01	270-360	5.5-10	2	3,720.00	7,440.00
TOTAL						14,400.00

Plano 7.3: Tubería principal de agua procedente de torre de enfriamiento.
(ver página 38)



PLANO NUMERO 7.3

Tubería de
Agua de Torre

Escala N/A Distancias
en Metros

Tabla 7.13: Desglose económico de instalación de tubería de agua procedente de torre de enfriamiento. Los precios indicados incluyen IVA, mano de obra, herramienta y equipo, materiales especificados y necesarios para completar la obra en cuestión (como teflón, permatex, andamios, pegamento, etc).

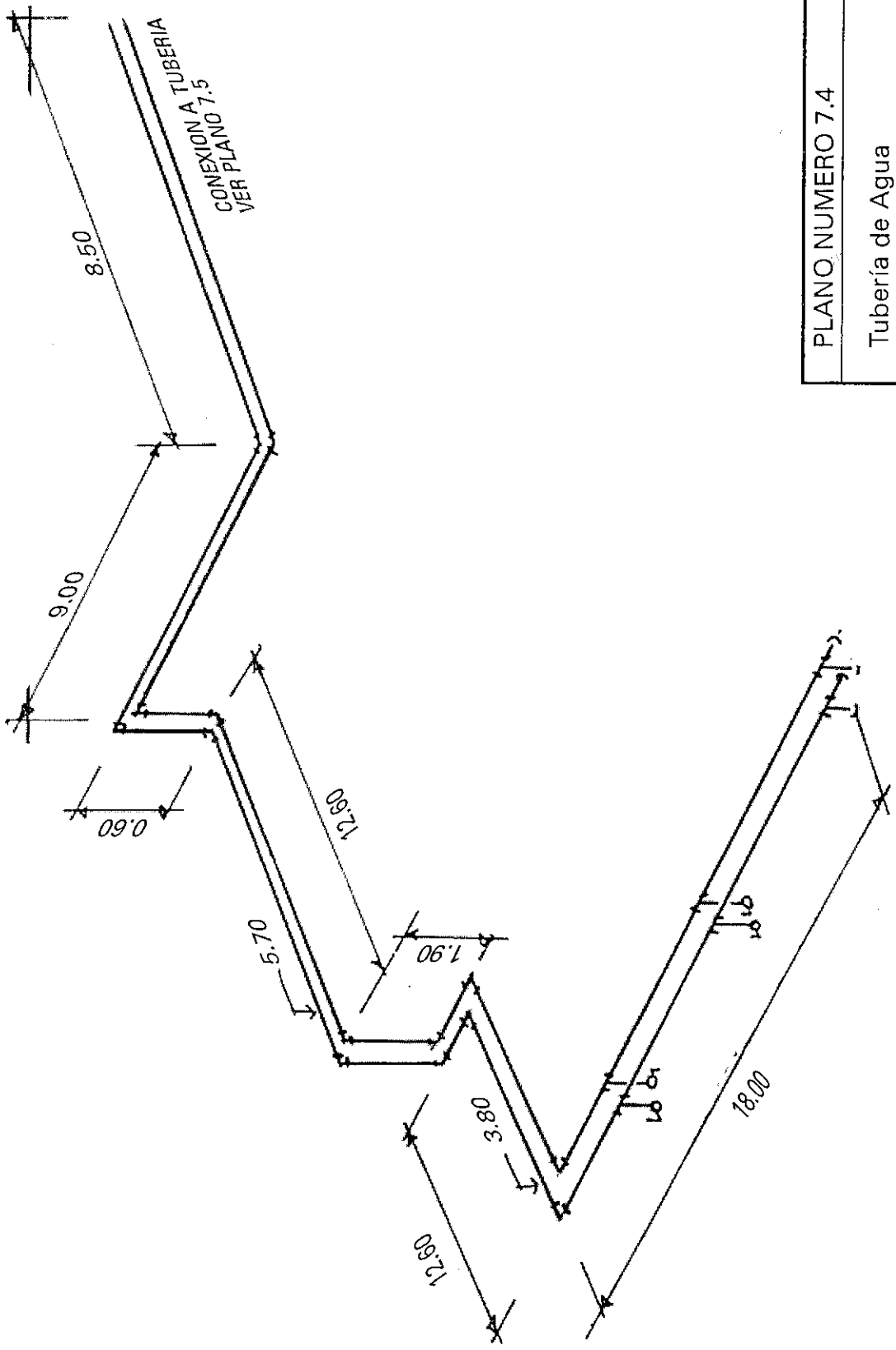
Descripción (ver plano 7.3; pg.38)	Cantidad	Unidad	Precio U Q	Total Q
Tubo PVC de 3"d para 250 psi	17	6 m	553.12	9,403.04
Codo PVC de 3"d para 250 psi	16	u	71.11	1,137.76
Tee PVC de 3"d para 250 psi	6	u	118.07	708.42
Válvula de bola de 3"d para 250 psi	4	u	1,490.44	5,961.76
Adaptador macho PVC de 3"d para 250 psi	4	u	77.20	308.80
Tapón hembra PVC de 3"d para 250 psi	2	u	36.46	72.92
				17,592.70

Plano 7.4: Tubería principal de agua procedente de enfriador 2. (ver página 40)

Tabla 7.14: Desglose económico de instalación de tubería de agua procedente de enfriador 2. Los precios indicados incluyen IVA, mano de obra, herramienta y equipo, materiales especificados y necesarios para completar la obra en cuestión (como teflón, permatex, andamios, pegamento, etc).

Descripción (ver plano 7.4)	Cantidad	Unidad	Precio U Q	Total Q
Tubo PVC de 4"d para 250 psi	21	6 m	781.37	16,408.77
Codo PVC de 4"d para 250 psi	14	u	108.01	1,512.14
Tee PVC de 4"d para 250 psi	6	u	169.89	1,019.34
Válvula de bola de 4"d para 250 psi	4	u	2,585.40	10,341.60
Adaptador macho PVC de 4" para 250 psi	4	u	109.00	436.00
Soportes a piso	2	u	690.00	1,380.00
Tapón hembra PVC de 4"d para 250 psi	2	u	100.67	201.34
Soportes de angular	12	u	245.00	2,940.00
				34,239.19

Plano 7.5: Conexión de tubería principal a sistema de bombeo y enfriador 2. (ver página 41)

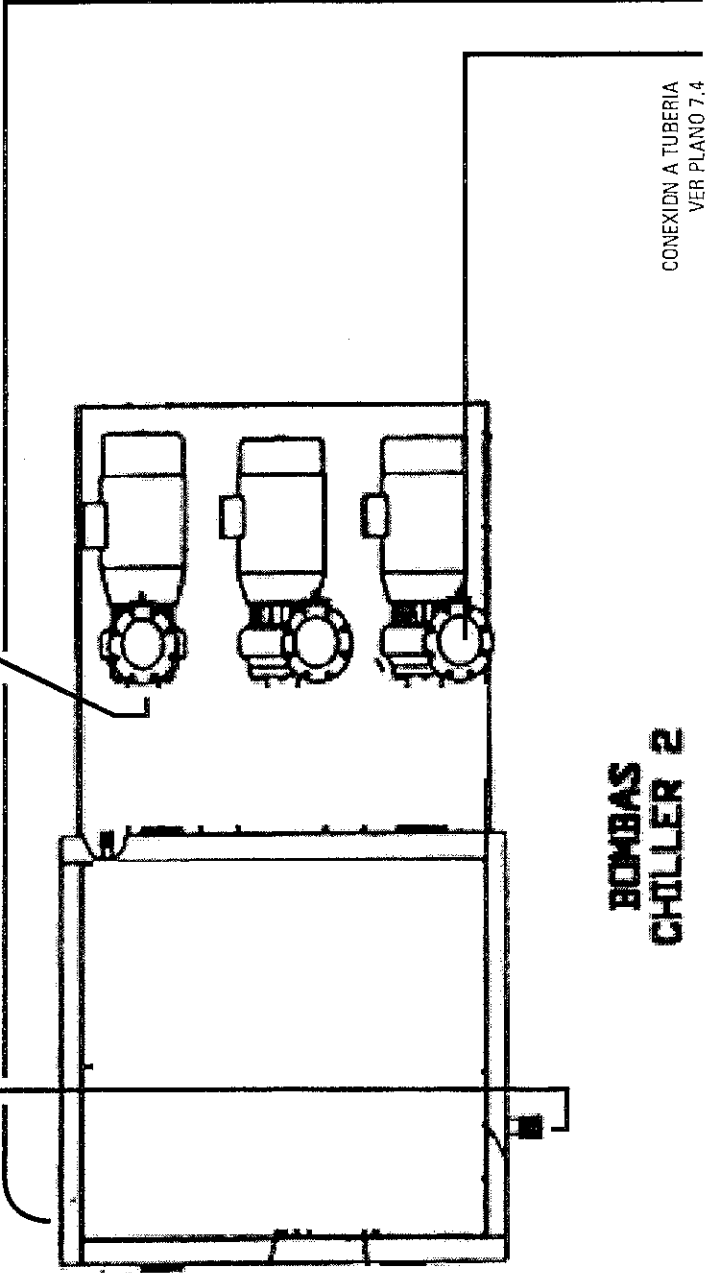


PLANO NUMERO 7.4

Tubería de Agua
de Enfriador 2

Escala N/A	Distancias en Metros
------------	-------------------------

CHILLER 2



**BOMBAS
CHILLER 2**

PLANO NUMERO 7.5

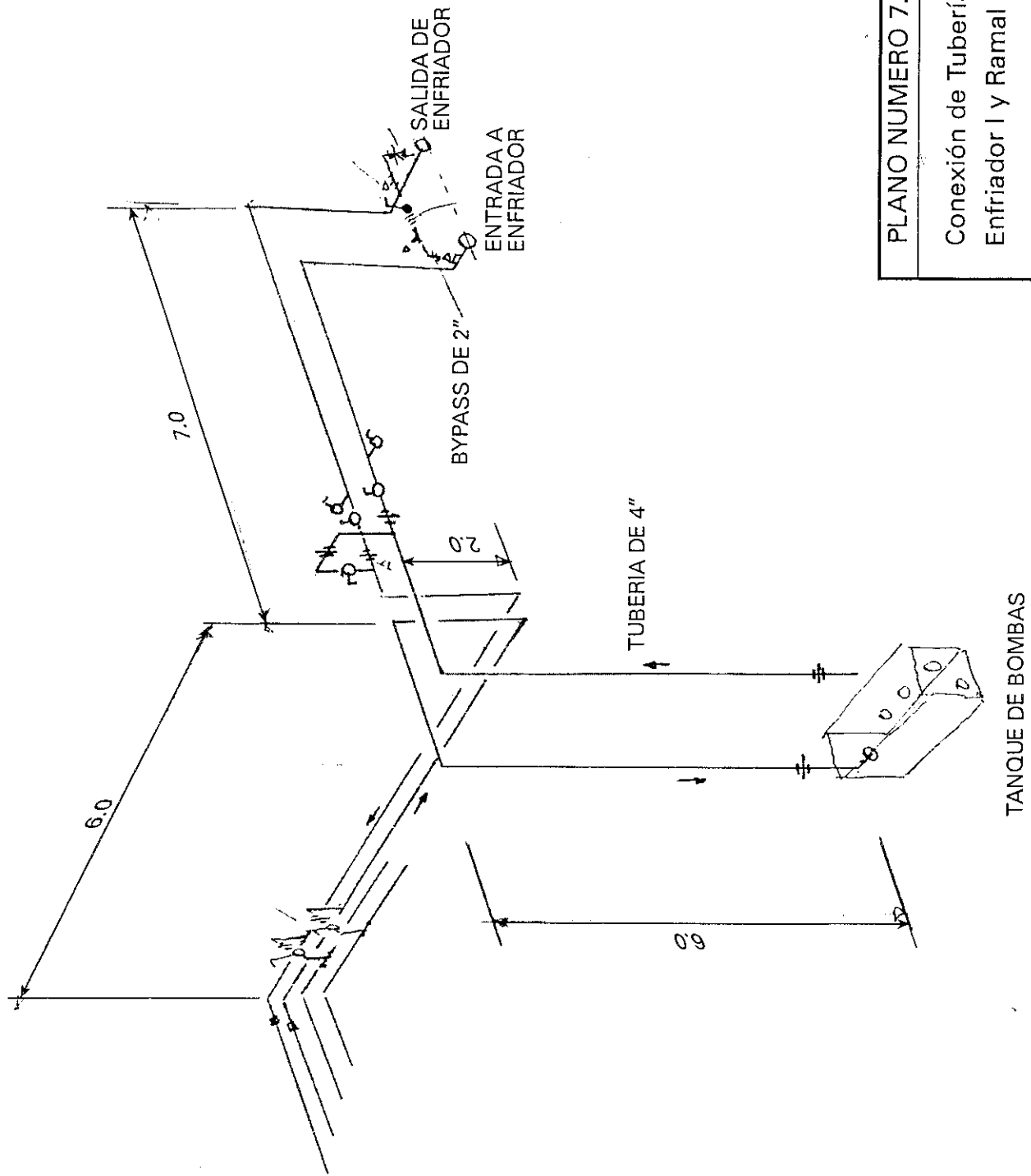
Vista planta de
conexion Bombas-Chiller 2

Escala N/A

Tabla 7.15: Desglose económico de conexión de tubería principal a sistema de bombeo y enfriador 2. Los precios indicados incluyen IVA, mano de obra, herramienta y equipo, materiales especificados y necesarios para completar la obra en cuestión (como teflón, permatex, andamios, etc). Todos los accesorios son roscados, a menos que se indique lo contrario.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio U Q	TOTAL Q
Tubería de interconexión				
(ver plano 7.5; pg. 41)				
Tubo galvanizado de 4"d cat. 40	6	6m	1,635.00	9,810.00
Codo galvanizado de 4"d	14	u	245.50	3,437.00
Reductor de acero al carbón de 6" a 4"d	2	u	420.00	840.00
Reductor galvanizado de 6" a 4"d	4	u	310.20	1,240.80
Válvula mariposa de 4"d para 125psi	2	u	2,585.40	5,170.80
Brida galvanizada de 6"d con rosca interna	4	u	685.00	2,740.00
Brida galvanizada de 4"d con rosca interna	2	u	490.00	980.00
Unión universal galvanizada de 4"d	8	u	730.00	5,840.00
Soportes a piso	3	u	690.69	2,072.07
Bypass con tubería proceso sopladoras				
(ver plano 7.6; pg. 43)				
Tee galvanizada de 4"d	4	u	285.60	1,142.40
Codo galvanizado de 4"d	4	u	245.50	982.00
Tubo galvanizado de 4"d cat. 40	0.33	6m	1,635.00	539.55
Válvulas de bola de 4"d	6	u	2,513.50	15,081.00
TOTAL				49,875.62

Plano 7.6: Conexión de tubería principal a sistema de bombeo y enfriador 1. (ver página 43)



PLANO NUMERO 7.6

Conexión de Tuberías entre
Enfriador I y Ramal Principal

Escala N/A

Tabla 7.16: Desglose económico de conexión de tubería principal a sistema de bombeo y enfriador I. Los precios indicados incluyen IVA, mano de obra, herramienta y equipo, materiales especificados y necesarios para completar la obra en cuestión (como teflón, permatex, andamios, etc).

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio U Q	TOTAL Q
Tubería de interconexión				
(ver plano 7.6; Pág. 43)				
Tubo galvanizado de 4"d cat. 40	7.5	6m	1,473.00	11,047.50
Codo galvanizado de 4"d	11	U	245.50	2,700.50
Tee galvanizada de 4"d	4	U	285.60	1,142.40
Tee de acero al carbon de 4"d	2	U	574.35	1,148.70
Reducidor de acero al carbon de 6" a 5"d	2	U	385.00	770.00
Bridas de 5"d	2	U	225.00	450.00
Bridas de 4"d	7	U	188.30	1,318.10
Bridas ciegas de 4"d	1	U	188.30	188.30
Bridas de 6"d	2	U	225.00	450.00
Reducidor galvanizado de 4" a 2"d	2	U	145.00	290.00
Union universal galvanizada de 4"d	6	U	792.00	4,752.00
Soportes a piso	4	U	690.00	2,760.00
Valvulas de mariposa de 4"d	3	U		0.00
Valvulas de mariposa de 5"d	2	U		0.00
Bombas de 50 hp (ver propiedades en tabla 7.16)	2	U		0.00
Bypass de 2"d				
(ver plano 7.6; Pág. 43)				
Tubo galvanizado de 2"d cat. 40	0.5	6m	540.00	270.00
Tee galvanizada de 2"d	2	U	68.00	136.00
Valvula de bola de 2"d para 250 psi	1	U	330.00	330.00
Reducidor de 2" a 1/4"d	2	U	68.00	136.00
Tanque de seccion rectangular				
(ver plano 7.7; Pág. 46)				
Tanque de 0.90*1.58*1.20 m	1	U	7,780.00	7,780.00
Pintura interior con epoxico	9	m2	65.00	585.00
Bridas de 4"d para 150 psi	2	U	260.00	520.00
Tubos de 4"d * 6" largo de acero al carbon	2	U	120.00	240.00
Bridas de 6"d para 150 psi	3	U	385.00	1,155.00
Tubos de 6"d * 6" largo de acero al carbon	3	U	235.00	705.00
Flote para entrada de 1"d	1	U	435.00	435.00
soportes para division posterior	4	U	45.00	180.00
Plataforma de 1.58 * 2.50 m	1	U	1,820.00	1,820.00
Drenaje de 3/4"	1	U	110.00	110.00
TOTAL				42,124.50

Plano 7.7: Dimensiones de tanque de recepción de agua para sistema de enfriamiento de sopladoras. (ver página 46)

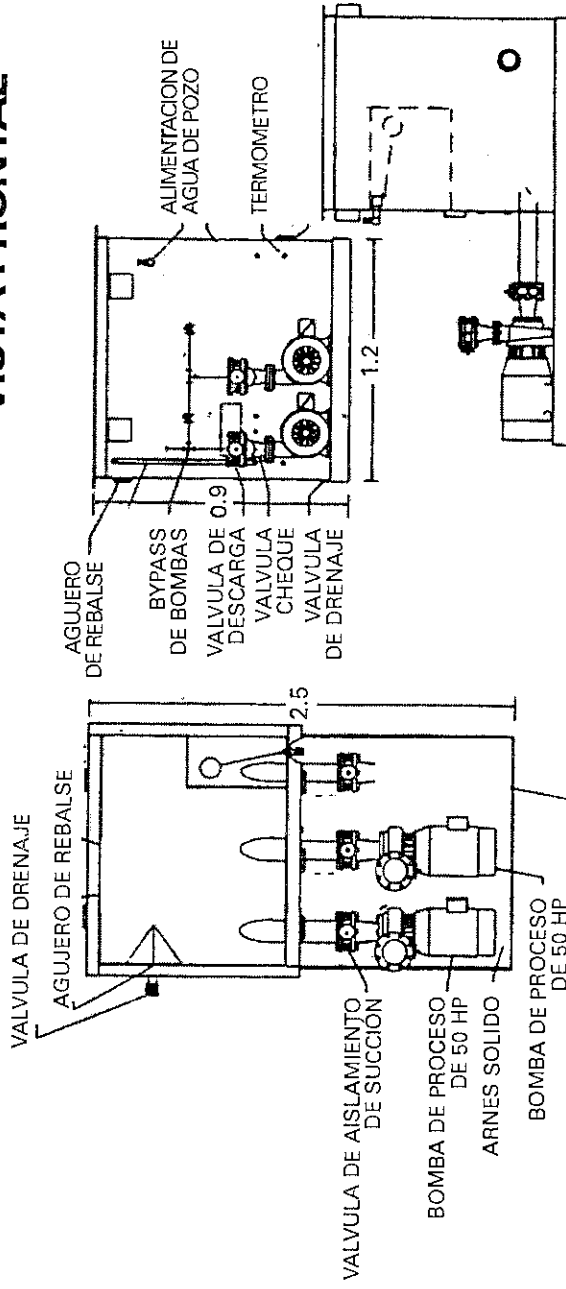
Tabla 7.17: Dimensionamiento y selección de bomba para sistema de agua de enfriador 1 (sopladoras).

Demanda de agua del proceso	1200 LPM [317 GPM]
Presión esperada de salida	8 bar [120 psi]
Eficiencia promedio de motor	0.60
Caballaje aproximado calculado	30 kW [40 hp]

Tabla 7.18: Caídas de presión estimadas y observadas en tuberías instaladas.

Sistema	ΔP máxima estimada	ΔP observada
Aire comprimido	1 bar [14.7 psi]	0.2 bar [3 psi]
Agua de torre	2.0 bar [29.4 psi]	0.5 bar [7.4 psi]
Agua de enfriador 2	2.8 bar [41.3 psi]	0.5 bar [7.4 psi]

VISTA FRONTAL



VISTA PERFIL

VISTA PLANTA

PLANO NUMERO 7.7

Sistema de Bombas para Enfriador I

Escala N/A Medidas en Metros

Tabla 7.19: Aislamiento de tuberías. Los precios indicados incluyen IVA, mano de obra, herramienta y equipo, materiales especificados y necesarios para completar la obra en cuestión (como pegamento, andamios, etc.)

Tipo de aislante	Diámetro nominal de tubería aislada	Cantidad	Unidad	Precio unitario (Q)	Total (Q)
Fibra de vidrio	3"	150	m	128.00	19,200.00
	4"	226	m	138.00	31,188.00
	2"	20	m	118.00	2,360.00
Enchaquetado de aluminio	4"	100	m	49.25	4,925.00
Total					57,673.00

C. Montaje de maquinaria y equipo.

Tabla 7.20: Tiempos y movimientos efectuados con grúa para colocación de equipo de enfriamiento y sistema de bombas en su lugar de trabajo (Ver figura 2.10; Pág. 19, para localización de orejas y ranuras de colocación de eslingas para grúa).

Grúa: Hidráulica con pluma telescópica, capacidad hasta 30 TM y 19 m de extensión				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario Q	Total Q
Movilización	1	---	1,550.00	1,550.00
Alquiler	5	Horas	775.00	3,875.00
Total				5,425.00

Tabla 7.21: Tiempos y movimientos efectuados con grúa para colocación de inyectoras y equipo de secado (ver figuras 2.2, 2.4, 2.5, 2.6) para localización de orejas y ranuras de colocación de eslingas para grúa).

Grúa: Hidráulica con pluma telescópica, capacidad hasta 35 TM y 31 m de extensión más jib de 9 m.				
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario Q	Total Q
Movilización	1	---	1,550.00	1,550.00
Alquiler	36	Horas	775.00	27,900.00
Total				29,450.00

Tabla 7.22: Listado de bultos que arribaron con maquinaria de inyección.

- 2 Unidades de Inyección
- 2 Unidades de Cierre
- 2 Unidades Robot
- 2 cajas de preformas de 23 gramos
- 2 cajas de preformas de 27 gramos
- 2 cajas de preformas de 48 gramos
- 2 Sets de manuales de operación, mantenimiento, instalación y equipo de manejo de producto.
- 4 Cajas de repuestos
- 4 Cajas de artículos varios

Tabla 7.23: Listado de bultos que arribaron con equipo auxiliar de secado.

- 2 Tolvas de alimentación de resina
- 2 Secadores de resina
- 2 Deshumidificadores de molde
- 2 Bombas de vacío
- 4 Cajas de mangueras y accesorios
- 2 Cajas de repuestos

Tabla 7.24: Listado de bultos que arribaron con enfriador 2.

- 1 Enfriador de 375 kW [500hp]
- 1 Sistema de bombas de proceso y recirculación con tanque

Plano 7.8: Distribución (Layout) final de inyectoras. (ver página 49)

Plano 7.9: Distribución (Layout) final de equipo de secado. (ver página 50)

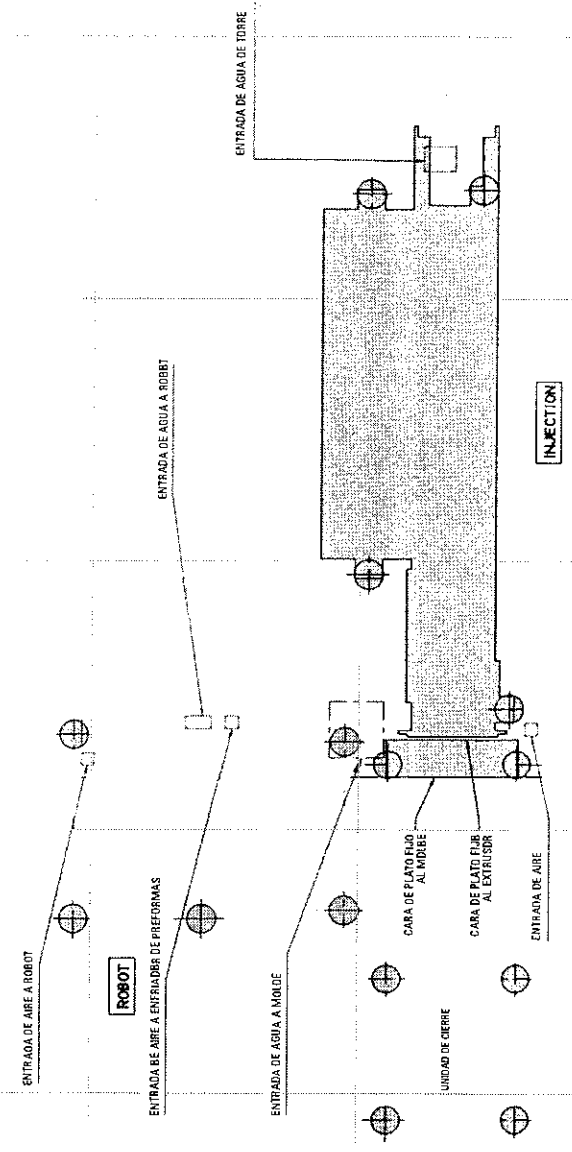
Plano 7.10: Distribución (Layout) final de enfriadores. (ver página 51)

NOTA: PESO APROXIMADO

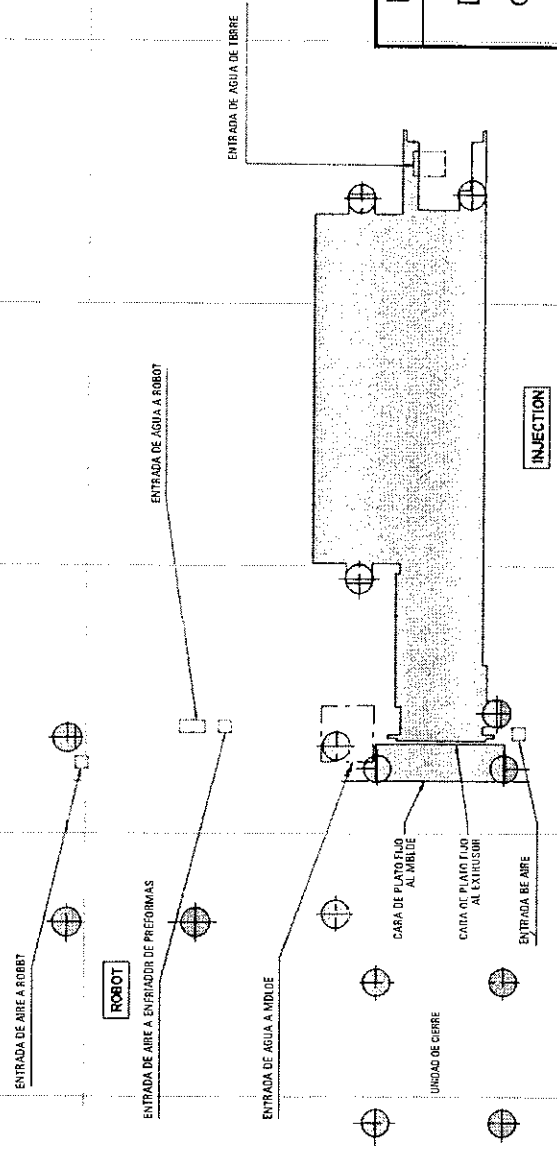
UNIDAD DE INYECCION: 2050 KG (4500 LB)
UNIDAD DE CIERRE: 1970 KG (4300 LB)
ROBOT: 500 KG (1100 LB)

BASE:
CAPACIDAD MAX. DE ACEITE: 1850 L.

INYECTORA 2



INYECTORA 1



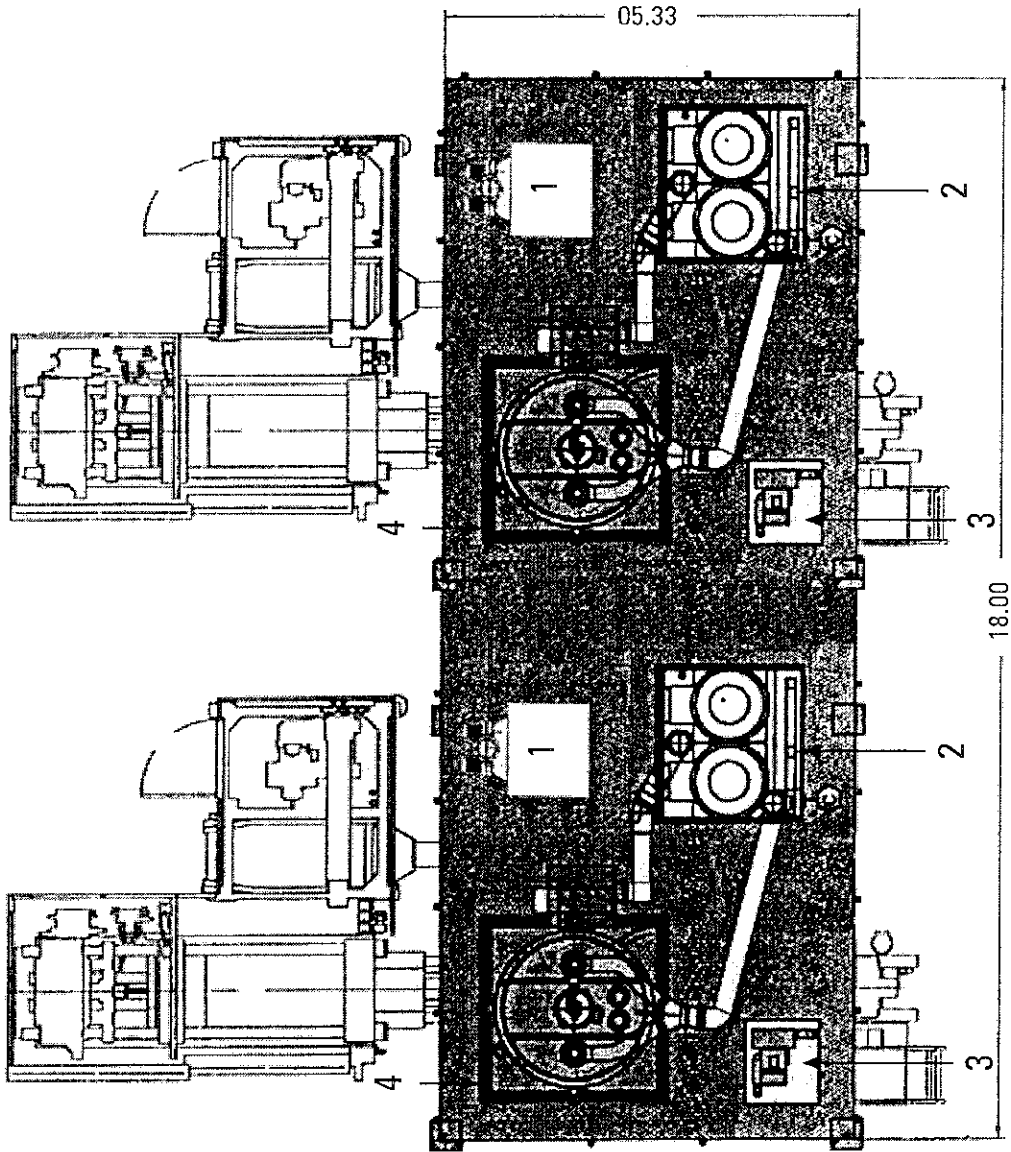
PLANO NUMERO 7.8

Distribución final de Inyectoras

Escala 1:60

INYECTORA 1

INYECTORA 2

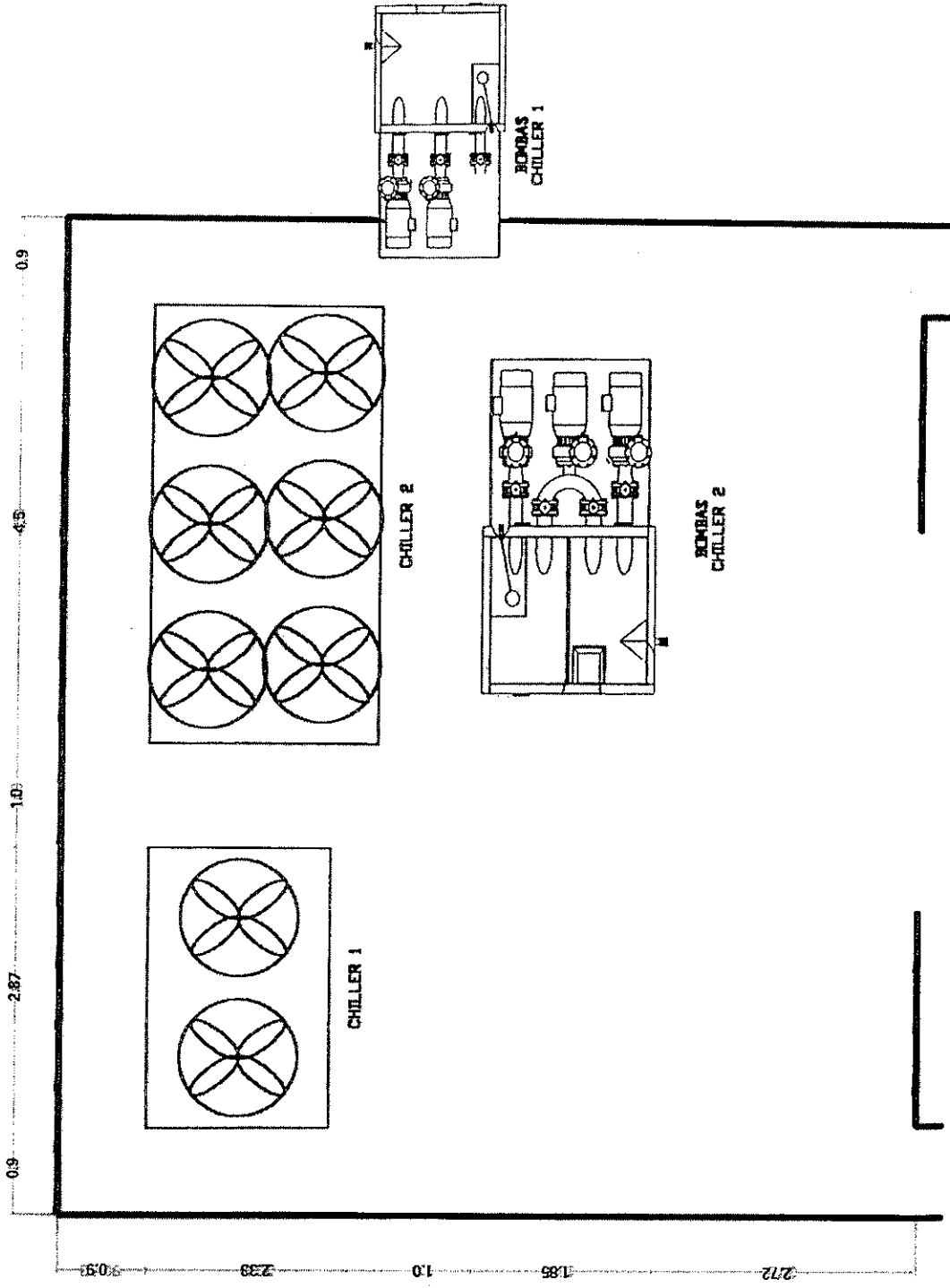


- 1- DESHUMIFICADOR DE AIRE
- 2- SECADOR DE AIRE
- 3- BOMBA DE VACÍO Y FILTRO DE AIRE
- 4- TOLVA DE ALMACENAMIENTO Y SECADO DE RESINA

PLANO NUMERO 7.9

Distribución final
de Equipo de Secado

Escala N/A



PLANO NUMERO 7.10

Distribución final de
Enfriadores de Agua

Escala 1:70 Medidas en Metros

Tabla 7.25: Llenado de tanques hidráulicos de dos inyectoras (ver figura 2.1).

Descripción: Aceite TELLUS 26, SHELL. Incluye filtración de aceite en sistema con filtro de 5 μm y 0% de humedad, puesto en máquina.	
Cantidad usada	20
Unidad de venta	208 L [55 galones]
Precio unitario (Q)	2,067.19
Precio total (Q)	41, 343.80

Tabla 7.26: Nivelación de inyectoras. La nivelación de la unidad de inyección se lleva a cabo a lo largo de los rieles de dicha unidad (ver figura 2.1). La nivelación de la unidad de cierre se lleva a cabo en las barras de unión, cerca del plato fijo (ver figuras 2.4 y 2.5; Pág. 10 y 11).

Inyectora	Unidad	Nivelación	Nivel/ 1000 mm
1	Inyección	Lateral	+ 0.05 mm
		Longitudinal	- 0.05 mm
	Cierre	Lateral	- 0.15 mm
		Longitudinal	- 0.15 mm
	Robot	Lateral	- 0.15 mm
		Longitudinal	- 0.15 mm
2	Inyección	Lateral	+ 0.05 mm
		Longitudinal	+ 0.05 mm
	Cierre	Lateral	- 0.15 mm
		Longitudinal	+ 0.15 mm
	Robot	Lateral	- 0.15 mm
		Longitudinal	- 0.15 mm

Tabla 7.27: Concentricidad de tobera respecto del plato fijo (Ver planos 2.1 y 2.4; Pág. 4 y 10). Valores de A, B, C y D, referirlos a figura 7.1 (Pág. 53).

	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
Inyectora 1	75.71	76.06	75.87	75.95
	A - B = 0.35 mm		C - D = 0.08 mm	
Inyectora 2	75.43	76.40	76.17	75.70
	A - B = 0.97 mm		C - D = 0.47 mm	

Figura 7.1: Parámetros de concentricidad de tobera. (ver página 53)

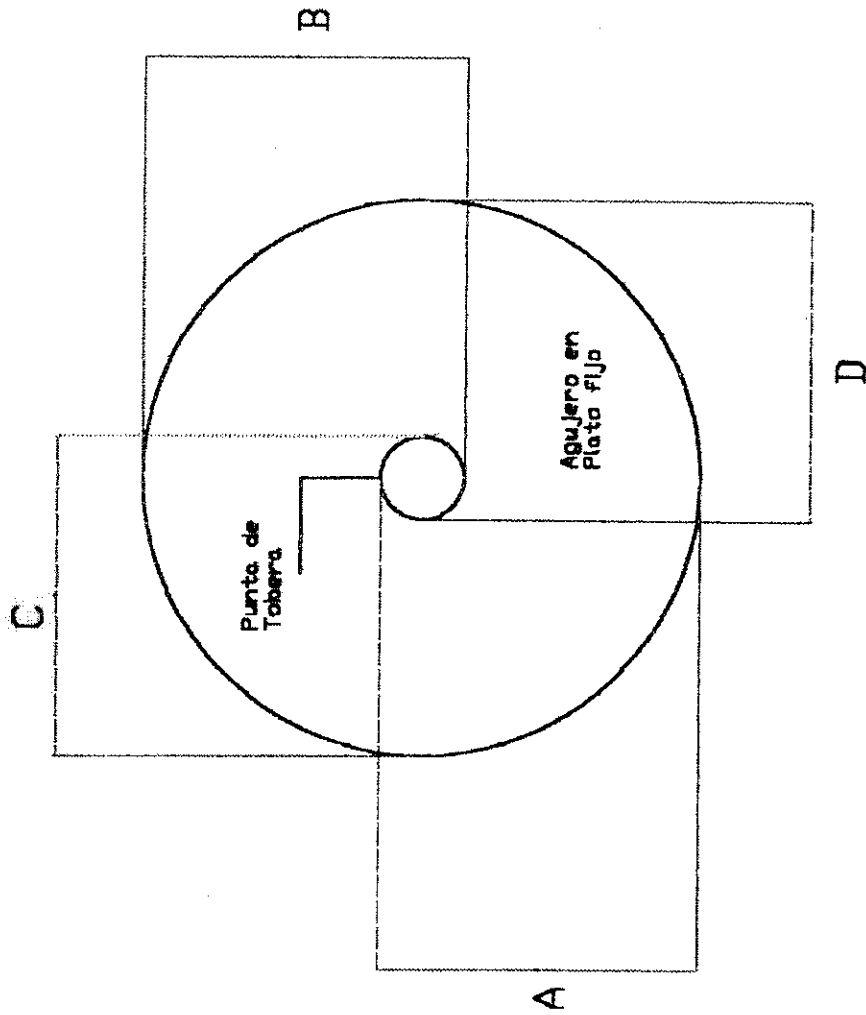


FIGURA 7.1

Parámetros de
concentricidad de tobera

Escala N/A

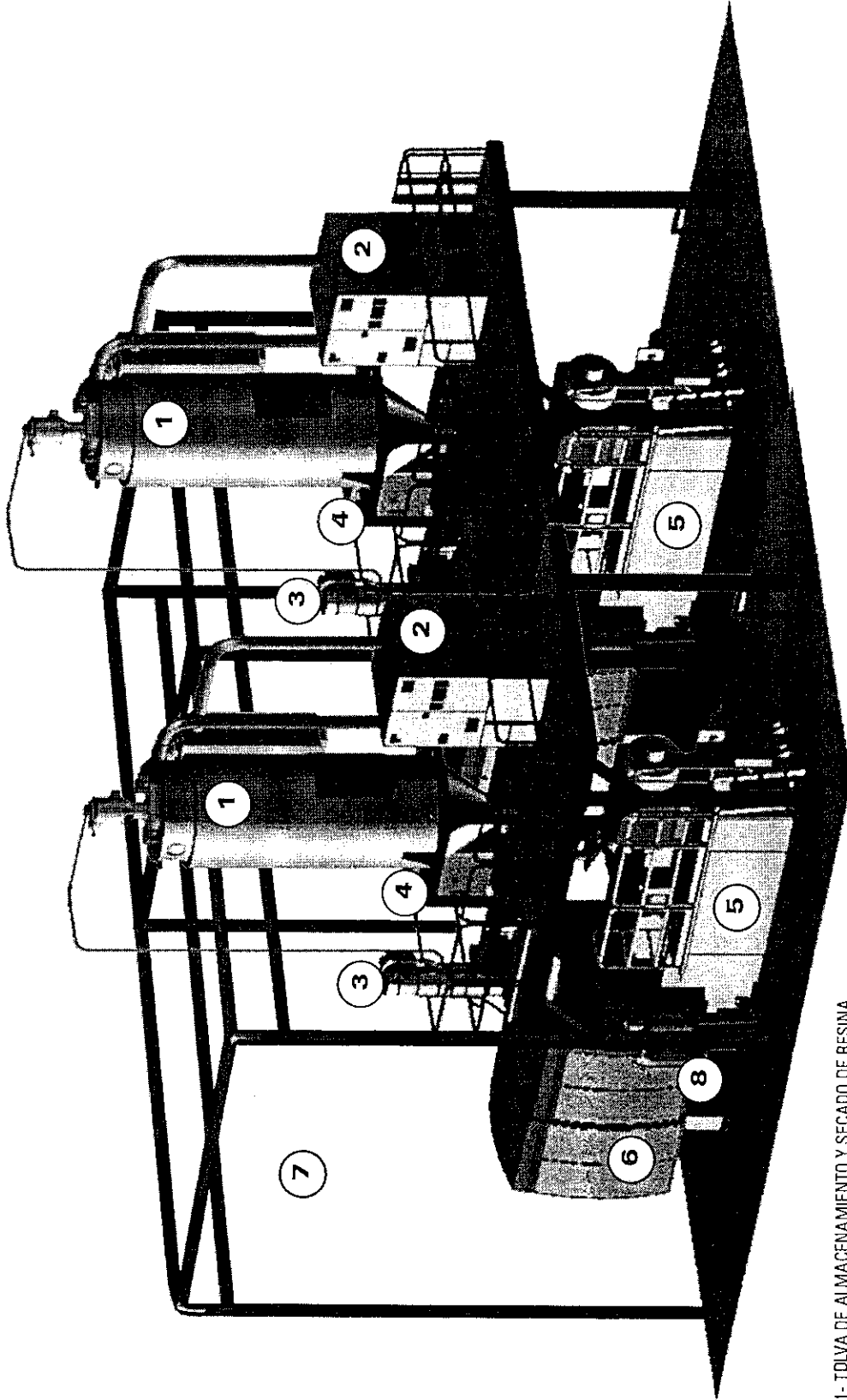
Tabla 7.28: Desglose de costos derivados de estancia de técnicos extranjeros de casas matrices de maquinarias instaladas.

Descripción	Costo por día	Número de días en Guatemala	Costo total
Técnico mecánico de inyectoras			
Transporte aéreo (MEXDF/GUA/MEXDF)			3525.60
Transporte en Guatemala	15.00	15	225.00
Alimentación	100.00	15	1,500.00
Hospedaje	507.00	15	7,605.00
<i>Total técnico mecánico de inyectoras</i>			<i>12,855.60</i>
Técnico programador de inyectoras			
Transporte aéreo (MEXDF/GUA/MEXDF)			3525.60
Transporte en Guatemala	15.00	15	225.00
Alimentación	100.00	15	1,500.00
Hospedaje	507.00	15	7,605.00
<i>Total técnico programador de inyectoras</i>			<i>12,855.60</i>
Técnico de equipo de secado			
Transporte aéreo (OTTAWA/GUA/OTTAWA)			10,140.00
Transporte en Guatemala	15.00	15	225.00
Alimentación	100.00	15	1,500.00
Hospedaje	507.00	15	7,605.00
<i>Total técnico de equipo de secado</i>			<i>19,470.00</i>
TOTAL			45,181.20

Tabla 7.29: Resumen económico del proyecto.

Rubro	Total (Q)
Tuberías y accesorios	177,571.81
Aislamiento de tuberías	57,673.00
Instalaciones eléctricas	110,000.00
Obras civiles	122,692.00
Ingeniería	45,181.20
Transportes y movimientos	34,875.00
Lubricantes	41,343.80
Otros	30,000.00
TOTAL	619,336.81

Figura 7.2: Vista isométrica de área de inyectoras. (ver página 55)



- 1- TOLVA DE ALMACENAMIENTO Y SECADO DE RESINA
- 2- SECADOR DE AIRE
- 3- BOMBA DE VACIO
- 4- DESHUMIDIFICADOR DE AIRE
- 5- UNIDAD DE INYECCION
- 6- UNIDAD DE CIERRE
- 7- PUENTE GRUA PARA MANEJO DE MOLDES
- 8- EXTINTOR

FIGURA 7.2

Vista isométrica de
área de inyectoras

Escala N/A

D. Pruebas de operación.

Tabla 7.30: Análisis químico de aguas de proceso procedentes de torre de enfriamiento.

Parámetro evaluado	Agua de alimentación	Características proceso anterior	1 semana después de arranque	2 semanas después de arranque	Valores deseados
Dureza total (como CaCO ₃) (ppm)	80	90	140	120	360
Sólidos disueltos (ppm)	110	130	150	140	500
PH	7.53	7.6	7.73	7.77	7.5 a 8.0

Tabla 7.31: Análisis químico de aguas de proceso procedentes de enfriador 2.

Parámetro evaluado	Agua de alimentación	1 semana después de arranque	2 semanas después de arranque	Valores deseados
Dureza total (como CaCO ₃) (ppm)	80	100	50	360
Sólidos disueltos (ppm)	110	300	200	500
PH	7.53	7.81	7.81	7.5 a 8.0

Tabla 7.32: Análisis microbiológico de agua procedente de torre de enfriamiento.

Parámetro evaluado	Agua de alimentación (organismos/100mL)	2 semanas después de arranque (organismos/100mL)	Valores deseados (organismos/100mL)
Coliformes fecales	0	0	0
Organismos coliformes	3	1	< 3

Tabla 7.33 Potencia demandada de planta al operar maquinaria instalada.

Demanda promedio observada	1200 kW
Demanda proyectada	1340 kW

VIII. Discusión de resultados

A. Estudio de condiciones de operación.

Se realizó un análisis de las condiciones actuales de la planta en la cual se instalarían las inyectoras, el equipo auxiliar de secado y los enfriadores de agua. Dicho análisis consistió en determinar si los sistemas generales auxiliares (aire comprimido y sistemas de refrigeración), condiciones ambientales y propiedades del piso satisfacían los requerimientos dados por el fabricante a cada equipo (mostrados en las tablas A-1 y A-2; Pág. 83 y 85).

La planta ya contaba con un sistema de aire comprimido, cuyos compresores generan un promedio de 2,050 m³/h a una presión promedio de 10 bar. Por otro lado, el consumo de aire comprimido de la planta, considerando tanto el consumo anterior al montaje en cuestión y el consumo del equipo a montar, es inferior a la capacidad de generación de aire comprimido de los compresores actuales, como se muestra en la tabla 7.1 (Pág. 31). Por tal motivo, el sistema de aire comprimido con que cuenta la planta es suficiente para satisfacer la demanda de aire, lo que evitó tener que construir un sistema de aire comprimido. Lo anterior será discutido en la sección 8.2 (Pág. 59).

Al igual que con el aire comprimido, la planta también contaba con un sistema de enfriamiento de agua, el cual consiste en una torre de enfriamiento tipo no adiabática y un sistema de bombeo para el proceso. Como lo muestra la tabla 7.2 (Pág. 31), la capacidad de refrigeración de la torre de enfriamiento es suficiente para satisfacer la demanda de calor a evacuar tanto del proceso actual, como del equipo a instalar. Además, el sistema de bombeo a proceso también satisface los parámetros de presión y caudal de ambos procesos. Por lo tanto, fue posible utilizar este sistema para el equipo a instalar. Los trabajos a realizar se presentan en la sección 8.2.

Referente a la demanda de los equipos de agua a 10° C, fue necesaria la instalación de un enfriador de agua (water chiller) completamente nuevo. Como lo muestran las tablas 7.3 y 7.4 (Pág. 32), el enfriador existente (chiller 1) es insuficiente para satisfacer las necesidades caloríficas, tanto del proceso actual como de los equipos a montar. Dicho enfriador fue trasladado de lugar para ser colocado junto al nuevo enfriador (chiller 2). El arreglo final de las tuberías y el sistema de bombas de cada enfriador se discuten en la sección 8.2 (Pág. 59).

La tabla 7.5 (Pág. 32) muestra un balance de energía eléctrica realizado en la planta donde se instalaron los equipos. Como puede notarse fácilmente, la demanda de energía proyectada con el equipo de inyección, equipo auxiliar de secado y enfriadores de agua, conjuntamente con la energía demandada por la planta antes de la instalación de dichos equipos, es inferior a la capacidad del transformador eléctrico con que cuenta la planta. Por lo tanto, no hubo necesidad de adquirir un nuevo transformador de energía eléctrica.

Las inyectoras fueron instaladas en un piso cuyas características se muestran en la tabla 7.6 (Pág. 33). Estas características son suficientes para evitar rajaduras en el piso debido al esfuerzo y tensión provocado por el peso y movimiento de las máquinas inyectoras. Por otra parte, los enfriadores fueron instalados en la terraza de un edificio de apoyo ubicado afuera de las instalaciones de la planta (ver planos 7.1 y 7.2; Pág. 34 y 36). Dicha terraza fue construida con la visión de colocar equipos de apoyo (torres de enfriamiento, enfriadores de agua y tanques de agua). Las especificaciones anteriores fueron revisadas por un ingeniero civil, quien determinó que, tanto el piso como la terraza, presentaban las características suficientes para instalar la maquinaria antes mencionada.

B. Construcciones.

Como se ha mencionado anteriormente, se construyó un mezanine con dos propósitos. El primero, para instalar sobre él, el equipo auxiliar de secado. Esta instalación presenta la ventaja de poder alimentar la resina PET sólida al extrusor por medio de la gravedad, ahorrándose costos de energía, mantenimiento e instalación de una bomba de succión de la tolva secadora de resina al extrusor. El segundo propósito del mezanine, fue la instalación de un puente grúa para montar y desmontar los moldes de la unidad de cierre de las inyectoras. Tanto el mezanine como el puente grúa fueron diseñados por un ingeniero civil, experto en la materia, y contruidos por una empresa subcontratada para el efecto. Por lo tanto, solamente se muestra en la tabla 7.10 (Pág. 35) una descripción de los trabajos realizados, sin incluir detalles de cálculos estructurales, los cuales no fueron parte de este trabajo. La tabla 7.10 se muestra principalmente por fines contables del proyecto, que sí concierne a este trabajo.

El trabajo más extenso y costoso fue, como lo muestra la tabla 7.9 (Pág. 33), todo lo concerniente a las tuberías y accesorios utilizados para llevar los servicios auxiliares a los equipos instalados. Como ya se discutió en la sección 8.1 (Pág. 57), debieron analizarse dos sistemas de enfriamiento de agua (torre de enfriamiento y enfriador de agua) y un sistema de aire comprimido. A continuación se dan los detalles del diseño, instalación y pruebas de cada sistema.

Debido a que los compresores que poseía la empresa antes del montaje satisfacen la demanda de aire comprimido tanto del proceso anterior como de las máquinas instaladas, no fue necesaria la instalación de un nuevo sistema de aire comprimido. En cambio, se amplió el sistema de tubería existente, tomando como inicio una "T" colocada en él y cuya función al hacer la instalación original de la planta fue tener previstas formas de expansión del sistema de aire comprimido para llevar este aire

a nuevas líneas de producción. El detalle de esta descripción puede observarse en el plano 7.4 (Pág. 40). Dicho plano muestra el diseño final de la tubería para conducir aire comprimido a las inyectoras y equipo auxiliar de secado. Según el número de accesorios mostrados en el plano 7.4 (Pág. 40) y especificados en la tabla 7.11 (Pág. 37), se realizó un estudio de caída de presión a lo largo de la tubería. El resultado se muestra en la tabla 7.18 (Pág. 45), el cual es satisfactorio. Comparado ahora con la caída de presión observada en la tubería durante las pruebas respectivas, se puede observar una caída de presión mínima de 0.2 bares [3 psi]. La caída de presión observada, por lo tanto, cae dentro del rango previsto. Por otra parte, otra variable a considerar para el diseño de la tubería fue el diámetro de ésta. Según la tabla 7.1 (Pág. 31), cada inyectora, con su equipo auxiliar de secado, consumen un total de 225 m³ de aire comprimido por hora. Comparando este valor con las propiedades presentadas en las tablas A.4, A.7 y A.8 (Pág. 87), se llega a la conclusión que el diámetro nominal de tubería apropiado para las características del proceso es de 3 pulgadas, pues permite un flujo máximo de aire comprimido de 2500 m³/h.

Al igual que el sistema de aire comprimido, la torre de enfriamiento con que contaba la empresa es suficiente para satisfacer las demandas de enfriamiento, tanto del proceso anterior, como de las inyectoras que se instalaron. La conexión de la tubería instalada a la ya existente se realizó en un maníful con que contaba el sistema. El detalle de la tubería que se instaló se muestra en el plano 7.5 (Pág. 41). Dicho plano identifica el diseño final de la tubería para conducir agua procedente de la torre de enfriamiento a las inyectoras y equipo auxiliar de secado. Según el número de accesorios mostrados en el plano 7.5 (Pág. 41) y especificados en la tabla 7.13 (Pág. 39), se realizó un estudio de caída de presión a lo largo de la tubería. El resultado se muestra en la tabla 7.18 (Pág. 45), el cual es satisfactorio. Por otra parte, otra variable a considerar para el diseño de la tubería fue el tamaño del diámetro de ésta. Según la tabla

7.2 (Pág. 31), las inyectoras y el equipo auxiliar de secado consumen un total de 704 LPM. Ahora bien, según las tablas A.6, A.7 y A.8 (Pág. 87), una tubería de diámetro nominal de 3 pulgadas permite un flujo máximo de 700 LPM, antes de empezar a observarse en el sistema pérdidas considerables de presión debido a la fricción entre fluido y paredes de la tubería. El siguiente diámetro comercial de tubería disponible es de 4 pulgadas, pero el flujo máximo que permite dicho diámetro (1,200 LPM) es muy grande para el flujo requerido y los costos de instalación incrementarían innecesariamente. Por lo tanto, se decidió instalar la tubería de 3 pulgadas de diámetro nominal, considerando la pequeña diferencia entre el flujo de agua demandado por los equipos y el flujo máximo permisible por la tubería. Como puede verse en la tabla 7.18 (Pág. 45), la caída de presión observada en la tubería es menor a la máxima estimada, por lo que la decisión de instalar la tubería de ese diámetro fue acertada. Se utilizó tubería de PVC debido a que el sistema anterior utiliza este tipo de tubería.

Para satisfacer la demanda de los equipos instalados de agua a 10° C, fue necesaria la instalación de un enfriador de agua, por lo que, a diferencia de los sistemas anteriores, se instaló un sistema de tuberías exclusivamente para dichos equipos. Dicha tubería se muestra en los planos 7.6 y 7.7 (Pág. 43 y 46). Se diseñó el sistema de tubería con un diámetro nominal de 4 pulgadas. Como se discutió en el párrafo anterior, una tubería con diámetro interno de 4 pulgadas permite un flujo máximo de agua de 1200 LPM, lo que representa 60% del flujo máximo permitido por el equipo (ver tabla 7.3; Pág. 38). La tubería de 4 pulgadas de diámetro interno, por lo tanto, asegura un caudal suficiente de agua, sin arriesgar sobrepasar el flujo máximo permitido por el equipo. Por otra parte, se construyó esta tubería con tubos de material PVC. Esto se debe a una decisión económica tomada durante el proceso de instalación. La tubería maestra es de PVC y todas las derivaciones de acero galvanizado.

En todos los sistemas de tubería instalados se colocaron filtros, según las características del fluido y de las especificaciones de cada equipo. En el caso de las tuberías que transportan agua procedente de torre y de enfriadores se colocaron filtros en "Y" a la entrada de agua de cada máquina. Las características de dicho filtro se muestran en la tabla A.2 (Pág. 85) y satisfacen los requerimientos de cada máquina. Respecto de los filtros utilizados en la tubería de aire comprimido, se colocaron dos filtros, cuyas características están en la tabla 7.12 (Pág. 37). El primer filtro (Pre-filtro) tiene la función de eliminar partículas de polvo y aceite en el aire. El segundo filtro (Filtro coalescente) tiene la función de eliminar partículas de agua en el aire.

Las tuberías que conducen agua procedente de los enfriadores de agua y de la torre de enfriamiento se cubrió con cañuelas preformadas de fibra de vidrio. Lo anterior se realizó para evitar un calentamiento del agua en las tuberías como resultado de una transferencia de calor del ambiente hacia las tuberías. Se escogió fibra de vidrio por ser la opción más económica entre los aislantes existentes, y la diferencia entre resistencias de transferencia de calor entre la fibra de vidrio y los otros aislantes no es significativa (ver tabla A.9; Pág. 88).

Además de instalar los sistemas de tubería arriba mencionados, también se realizó una modificación a un sistema de tuberías existente, para llevar agua a 10° C a otra sección de la fábrica. En este caso, se construyó un tanque (cuyas especificaciones se muestran en el plano 7.9 y la tabla 7.16; Pág. 50 y 44), se instalaron dos bombas de proceso (previamente escogidas según tabla 7.17; Pág. 45) y se conectó el sistema anterior al sistema de tuberías existente.

En lo que respecta a las instalaciones eléctricas, se subcontrató a una empresa para realizar los cálculos de tensión, diseño y conexiones eléctricas. Por tal motivo, no se muestra ningún detalle de los trabajos realizados. Sin embargo, se trabajó cercanamente con ellos, verificando aspectos como direcciones de rotación de motores, recepción de equipos de protección eléctrica para las inyectoras e identificación de interruptores. Durante las pruebas de operación realizadas, el diseño e instalación eléctrica realizados por dicha empresa probaron ser correctos, pues no se detectaron anomalías. El total económico de la instalación se muestra en la tabla 7.29 (Pág. 55).

C. Montaje de maquinaria y equipo.

Se decidió colocar el equipo como lo muestra el plano 7.1 (Pág. 34), y como lo especifican los planos 7.8, 7.9 y 7.10 (Pág. 49, 50 y 51). El contorno de la maquinaria y equipo fue trazado en los respectivos lugares de funcionamiento, según lo especifican los planos anteriores. Especial cuidado se tuvo para trazar el centro de la unidad para facilitar la alineación de las unidades. El centro de la unidad corresponde a la tobera de inyección. La recepción del equipo en los furgones y el desembalaje de los mismos se explica a continuación.

Recepción del equipo

Las dos unidades de cierre de las inyectoras se recibieron con soportes de madera entre los platos, pernos de transporte en la puerta trasera, plástico de burbuja alrededor de piezas frágiles y una cuerda para mantener cerradas las compuertas. Los orificios para las mangueras hidráulicas y neumáticas venían con tapones provisionales y las mangueras amarradas a las unidades respectivas (Ver figuras 2.4 y 2.5; Pág. 10 y 11).

Las dos unidades de inyección se recibieron con una funda de plástico. Ambas estaban amarradas con tiras sujetadoras. El carro del extrusor estaba sujeto con pernos y abrazaderas de transporte, y el orificio de entrada de la resina cubierto con cinta. Todos los conductos hidráulicos estaban drenados (Ver figuras 2.1 y 2.2; Pág. 4 y 7). Los pies de nivelación para ambas máquinas y otros accesorios (como escaleras y rótulos de identificación) venían incluidas en cajas aparte.

Todo el equipo auxiliar de secado se recibió embalado en cajas de madera.

El equipo de enfriamiento de agua (water chiller) no presentaba ningún embalaje especial. Únicamente estaba sujeto al furgón con pernos y tenía

los intercambiadores de calor protegidos con cartón (ver figura 2.12; Pág. 23).

Manipulación de la unidad de inyección

Aunque la literatura de instalación de las inyectoras sugiere instalar primero la unidad de cierre y luego la unidad de inyección, se instalaron primero las unidades de inyección. Lo anterior debido a que las unidades de inyección debían quedar debajo del mezanine (ver plano 7.9; Pág. 50), por lo que era más fácil alinear las unidades desde un área despejada por arriba (área de puente grúa).

Las eslingas se montaron en los cuatro orificios localizados en los extremos de la unidad, para luego fijarlas a la grúa (ver figuras 2.1 y 2.2; Pág. 4 y 7). Fue necesario colocar barras de elevación entre las eslingas para evitar el contacto de éstas con mangueras, tuberías y equipo electrónico, así como provocar torques innecesarios a la máquina. Luego se procedió a levantar la unidad lentamente y descargarla del furgón.

Se utilizó un vehículo de carga para desplazar la unidad debajo del mezanine (como se muestra en el plano 7.9; Pág. 50). Para ello se levantó el extremo del motor y se colocaron rodillos debajo de los pedestales de la base. En el extremo opuesto de la unidad, se colocaron las eslingas en los orificios correspondientes y se fijaron al vehículo de carga. Las eslingas se mantuvieron separadas utilizando una barra de elevación. Se levantó la unidad y se colocó en el lugar de funcionamiento. Antes de asentar las unidades se instalaron los pies de nivelación de las mismas. Primero se instalaron los pies en el extremo elevado con el vehículo, se bajó la unidad y se repitió el procedimiento levantando el otro extremo. Se aplicó grasa para lubricación automática en los filetes de los pies de nivelación y en los pernos de los pies de elevación, evitando que se adhieran pequeñas partículas al filete. Una vez engrasados los pies, se

insertó el perno, con la contratuerca, en el pie a través de la base de la unidad y se enroscó el perno en el filete del pie de nivelación.

Manipulación de las unidades de cierre (ver figuras 2.4 y 2.5; Pág. 10 y 11)

Se instalaron dos anillos de elevación en la parte superior del plato fijo para montar las eslingas. El cilindro de cierre incluye dos ranuras de elevación para montar las eslingas por dichas aberturas.

Una vez montadas y aseguradas a la grúa las eslingas en los anillos de elevación en el plato fijo y las ranuras de elevación en la caja de la unidad de cierre, se levantó la unidad lentamente y se desplazó lo más cercano posible al lugar de funcionamiento, intentando dejar alineadas la punta de tobera de la unidad de inyección (ver figura 2.1, elemento 7; Pág. 4) con la agujero del plato fijo de la unidad de cierre (ver figura 2.3, elemento 11; Pág. 9). La unidad de cierre se acercó después con la ayuda de un montacargas, siguiendo el mismo procedimiento que el descrito para la unidad de inyección. Al estar en el lugar de funcionamiento, se colocaron los pies de nivelación y los pernos de fijación (ver figura 2.5, elemento 15; Pág. 11), teniendo cuidado de no apretarlos. El procedimiento utilizado para alinear las unidades se discute más adelante.

Manipulación de la unidad Robot

La unidad de robot tiene dos canales situados en la parte inferior del marco del robot, diseñados especialmente para introducir en ellos las horquillas del vehículo de carga. Debido al bajo peso de la unidad de robot y a facilidad de manejo para alinearla con las demás unidades, se prefirió utilizar montacargas para manejar e instalar la unidad en cuestión.

Alineamiento de las unidades de inyección y cierre

Se retiró la envoltura del protector de purga y de la tobera de la unidad de cierre y se aplicó grasa para lubricación automática a las superficies maquinadas en las bridas de montaje de las unidades de cierre y de inyección. Con los equipos de elevación antes mencionados, se alineó la interfaz de las unidades de cierre e inyección, asegurándose que la línea central de la base de la unidad de inyección quedara perpendicular al plato fijo de la unidad de cierre. Como guía se utilizaron las bridas de montaje de ambas unidades: se verificó que quedaran alineadas y totalmente en contacto. Finalmente, se colocaron los pernos de montaje cerciorando que quedaran flojos hasta finalizar las tareas de nivelación y concentricidad de la tobera.

Alineamiento del robot a la unidad de cierre

Antes de poder alinear la unidad de robot a la unidad de cierre, se lavaron las placas de montaje ubicadas en el lado interno de la viga de la unidad robot (ver figura 2.6; Pág. 13) y sobre el plato fijo de la unidad de cierre. Lo anterior se realizó con el objeto de remover una película anticorrosiva aplicada a las placas durante el embalaje. No remover dicha película puede ocasionar fricciones innecesarias entre ambas unidades, y, como consecuencia, desgastes. El lavado se realizó con agua y jabón suave. Con la ayuda del vehículo de carga, se colocó el robot en el lado de la unidad de cierre opuesto al lado del operador, de manera que la viga del robot quedara alineada con el plato fijo de la máquina de moldeo. Para facilitar dicha operación se utilizaron dos clavijas de alineamiento en las placas. Una vez alineadas las unidades, se colocaron los tornillos para fijar las placas y, al igual que los pernos de fijación entre unidades de cierre e inyección, no se apretaron.

La colocación final de las unidades de cierre, inyección y robot de cada una de las inyectoras instaladas se muestra en el plano 7.8 (Pág.49). En dicho plano se detallan las cisas del piso y la posición de cada uno de los pies de nivelación.

Limpieza

Al igual que las placas de montaje de las unidades de cierre y robot, los rieles de la unidad de inyección, así como los rieles, barras de sujeción, superficie de los platos y demás superficies maquinadas tienen una capa de compuesto antioxidante. Para removerla se lavó con agua, jabón y un trapo que no dejara pelusa. Además de las razones expuestas anteriormente de por qué debe removerse el compuesto antioxidante, para el caso de los rieles y barras es necesaria para mejorar precisión en las operaciones de nivelación.

Nivelación y concentricidad

La nivelación de la maquinaria se lleva a cabo para asegurar que las partes en movimiento no sufran torsiones innecesarias, lo que puede reducir considerablemente su vida útil. Además de nivelar las unidades de las máquinas inyectoras, es necesario verificar la concentricidad de la tobera en el molde de inyección.

Antes de la nivelación de la máquina es importante llenar los depósitos de aceite de la unidad de inyección. Las cantidades de aceite utilizadas se muestran en la tabla 7.25 (Pág. 52). El llenado de cada tanque corrió a cargo de una empresa subcontratada para el efecto, quien además proporcionó el servicio de filtrado de aceite. El aceite utilizado, TELLUS 26 (SHELL)®, fue recomendado por la casa matriz de las inyectoras.

A continuación se discute el procedimiento realizado para nivelar la unidad de cierre y la unidad de inyección. Se ajustó primero el nivel de la unidad de cierre, seguida por la unidad de inyección, verificando simultáneamente la concentricidad de la tobera, y finalizando con la unidad robot.

Para ajustar un pie de nivelación de la máquina, se procede de la siguiente manera. Se coloca un gato hidráulico al lado del pie de nivelación que requiera ajuste, y se levanta la unidad con éste. Se afloja la contratuerca del pie de nivelación para luego girar el perno de ajuste, ajustando la unidad. Seguidamente se baja la unidad al piso y se verifica el nivel. Este procedimiento se repite según sea necesario. Una vez se llegue al nivel correcto, se aprieta la contratuerca. Para verificar el nivel de las unidades de las máquinas se utilizó un nivel de precisión de burbuja, así como una regla de precisión.

Nivelación de la unidad de cierre

La unidad de cierre debe nivelarse en dos sentidos: lateral y longitudinal. La nivelación lateral tiene como propósito que el plato móvil se mueva a través de los rieles y distribuya su peso uniformemente. La nivelación longitudinal tiene como objetivo aumentar precisión en el cierre de molde.

- a. Nivelación lateral: se colocó una regla de precisión de manera que abarcara ambos rieles base al lado del plato fijo. Seguidamente, se situó el nivel de precisión en el centro de dicha regla y se verificó que la unidad estuviera nivelada a 0.15 mm por 1000 mm. Para lograrlo se ajustaron los pies de nivelación bajo el plato fijo, según lo explicado anteriormente.
- b. Nivelación longitudinal: Se colocó el nivel de precisión a lo largo del riel base al lado del plato fijo y se verificó que la unidad estuviera nivelada a 0.15 mm por 1000 mm.

Nivelación de la unidad de inyección

La unidad de inyección debe nivelarse en dos sentidos: lateral y longitudinal. La nivelación lateral tiene como propósito que el carro de inyección se mueva a través de los rieles y distribuya su peso uniformemente. La nivelación longitudinal tiene como objetivo aumentar precisión en la inyección de resina en el molde.

- a. Nivelación lateral: la regla de precisión abarcó ambos rieles guía y, sobre éste, se colocó el nivel de precisión. La unidad debe estar nivelada dentro de un margen de 0.8 mm por 1000 mm.
- b. Nivelación longitudinal: el nivel de precisión se colocó a lo largo de una sección del riel guía. El margen de nivelación de la unidad es de 0.8 mm por 1000 mm.

Concentricidad de la tobera

Para verificar la concentricidad de la tobera, fue necesario colocar la punta de la tobera de manera que esté al nivel del anillo de referencia del plato fijo. Para ello se movió el carro de extrusión hasta que la tobera estuviera en la posición indicada. Una vez colocado el carro de inyección en dicho lugar, se midió con escala de vernier las distancias verticales (A, B) y horizontales (C, D) entre la punta de la tobera y el anillo de referencia (Ver figura 7.1; Pág. 53). Este paso se realizó al mismo tiempo que se nivelaban las dos unidades mencionadas anteriormente.

Tanto los valores de nivelación de las unidades como los de concentricidad de la tobera se muestran en las tablas 7.26 y 7.27 (Pág. 52).

Nivelación de la unidad robot

La unidad de robot se niveló tanto lateral, como longitudinalmente.

- a. Nivelación lateral: el nivel de precisión se colocó transversalmente debajo de los rieles del cojinete lineal.
- b. Nivelación longitudinal: el nivel de precisión se colocó longitudinalmente debajo de los rieles del cojinete.

Manejo y desembalaje de equipos secadores

Todo el equipo auxiliar de secado se recibió embalado en cajas de madera. Para desembalarlo fue necesario utilizar púas y martillos. Dicho equipo fue luego trasladado, con grúa, encima del mezanine, según trazos presentados en el plano 7.9 (Pág. 50). Tanto durante el trazo, como durante el montaje del equipo, se tuvo especial cuidado en dejar la salida del silo alineado con la tolva de alimentación de la unidad de inyección (ver plano 7.9; Pág. 50). Este equipo no requiere nivelación.

Montaje y desembalaje de equipo de enfriamiento (Water Chiller)

El equipo de enfriamiento de agua se movió directamente del furgón a la terraza designada para su instalación (ver planos 7.1 y 7.10; Pág. 34 y 51). A él se le colocaron pies de resorte, con el objeto de amortiguar vibraciones.

D. Pruebas de operación.

Las tuberías de aire y agua instaladas fueron purgadas antes de echar a andar las máquinas. Para ello, se llenaron primero los sistemas con sus fluidos respectivos y se aumentó la presión de los sistemas gradualmente hasta alcanzar las presiones de operación. Luego se verificaron fugas, y se vació el sistema para repararlas. El procedimiento se repitió hasta no encontrar fuga alguna. Finalmente, se hizo circular fluido dentro de las tuberías por 6 horas, purgando los sistemas cada 30 minutos, para retirar restos de teflón, pegamento, permatex o cualquier otro objeto que pudiera haber caído dentro de la tubería mientras ésta se instalaba. Este procedimiento se llevó a cabo para proteger los intercambiadores de calor y los sistemas neumáticos de las máquinas, para no saturar los filtros colocados a la entrada de las máquinas y para bajar los valores de dureza del agua.

Como ya se ha mencionado, la verificación e instalación de componentes electrónicos en las inyectoras y el equipo auxiliar de secado corrió a cargo de técnicos especializados enviados por la casa matriz de cada máquina. También fue tarea de ellos instalar todo el software que necesitan las máquinas, así como el ingreso de parámetros de producción. Algunas labores mecánicas también se llevaron a cabo, las cuales se discuten a continuación.

En el equipo auxiliar de secado, se instalaron las conexiones de tubería entre los deshumidificadores de aire y las inyectoras, los secadores y los silos, y entre los silos y las inyectoras. Durante el arranque de este equipo se revisaron fugas de aire, las cuales fueron arregladas por el técnico con la aplicación de silicón en las juntas problema. Ambos secadores de resina se dejaron funcionando por 48 horas antes de realizar las pruebas de inyección. Esto se realizó para secar apropiadamente la resina en los silos, así como limpiar la tubería.

En las inyectoras fue necesario montar los moldes de inyección. Dicha operación fue dirigida por el técnico extranjero quien, al final de la misma, entregó un procedimiento escrito para repetir la operación en un futuro. También se instaló el brazo del robot. Por otro lado, se verificaron las bombas hidráulicas, comprobándose que la bomba de la inyectora 1 se hallaba dañada. Por ello las pruebas de operación se llevaron a cabo con la inyectora 2. Las pruebas con la inyectora 1 se realizaron un mes después, aunque corrieron a cargo exclusivamente por parte de la casa matriz, por tratarse de un problema cubierto por garantía. Se procedió a calentar el barril de la inyectora, para luego purgar cualquier cantidad de plástico que hubiera quedado atrapado en el tornillo extrusor durante las pruebas de fabricación realizadas en la casa matriz. Luego se alimentó la inyectora con resina previamente secada, y se continuó purgando toda la resina alimentada. Dicho procedimiento duró aproximadamente 1 hora. Seguidamente se realizaron pruebas de inyección, al acercar la tobera de la unidad de inyección al plato fijo de la unidad de cierre. Durante estas pruebas se realizaron algunos ajustes a parámetros de producción, así como del molde y el brazo del robot (aproximadamente 3 horas). La máquina se dejó trabajando durante 72 horas, tiempo durante el cual no se observó ninguna anomalía de operación y trabajó a la velocidad y especificaciones bajo las cuales fue comprada, por lo que se procedió a recibirla oficialmente.

Tanto el enfriador de agua (water chiller) como el sistema de bombas para las inyectoras no contaron con la instalación por parte de técnicos de casas matriz. Las pruebas de operación de las bombas se llevó a cabo durante la verificación de fugas del sistema, trabajando éstas correctamente. Las pruebas de operación del enfriador de agua se llevó a cabo durante las pruebas de operación del equipo de secado y la inyectora. Durante este tiempo se observó que durante la noche, los compresores de refrigerante paraban automáticamente, pues su temperatura de operación disminuía por debajo de lo normal. Lo anterior

ocurría debido al descenso de temperaturas experimentado durante la noche, aunado con el factor viento. El problema se solucionó al proteger los compresores del viento con láminas de cartón.

Respecto de las propiedades químicas del agua, los resultados se muestran en las tablas 7.30 y 7.31 (Pág. 55). El agua procedente de la torre de enfriamiento experimentó un leve incremento en su pH, pero quedó dentro de los límites establecidos. El mismo efecto se observó en la dureza del agua y los sólidos disueltos. Dicho comportamiento es normal debido a que la tubería es nueva. El comportamiento del agua procedente del enfriador de agua 2, es similar al discutido anteriormente. Debido a que ambos sistemas son cerrados, se esperó que los parámetros medidos no cambiaran considerablemente después de las dos semanas de operación. Lo contrario puede suceder si se crea algún crecimiento bacteriológico, por lo que se le aplicó a ambos sistemas un biocida. Durante las siguientes semanas de operación se observó que las propiedades fisicoquímicas del agua no cambiaron considerablemente. En cuanto al crecimiento microbiano en el sistema, el biocida aplicado cumplió con su objetivo, pues se logró reducir la cantidad de organismos coliformes en el sistema (ver tabla 7.32; Pág. 55).

Respecto del impacto ambiental que cualquiera de los equipos instalados pudiera tener, se evaluaron 3 aspectos: contaminación de ruido, contaminación de fluidos, contaminación de calor. Ninguno de estos parámetros presentaba un riesgo o daño al ambiente. Las especificaciones dadas por el fabricante se muestran en las tablas A. 1 y A.2 (Pág. 83 y 85)

Finalmente, como lo muestra la tabla 7.29 (Pág. 55), la demanda de energía promedio observada fue levemente menor a la demanda proyectada, por lo que no se tuvieron problemas en ese sentido.

IX. Conclusiones

- A. En una planta industrial se montaron dos inyectoras de preformas para soplado de botella de tereftalato de polietileno (PET) conjuntamente con sus equipos auxiliares de secado y enfriamiento de moldes. La metodología planteada para la realización del trabajo fue seguida y cumplida a cabalidad.
- B. Las condiciones físicas de la planta (pisos, techos, paredes, iluminación y electricidad) cumplían los requisitos adecuados para realizar el montaje, según la distribución (layout) del equipo instalado. Fue necesaria la construcción de un mezanine con un puente grúa para la instalación del equipo auxiliar de secado de moldes y resina.
- C. El diseño e instalación de los sistemas de tubería de servicios externos de agua fría, agua de torre y aire comprimido fueron satisfactorios.
- D. La recepción, inspección, desembalaje y colocación del equipo en su lugar de funcionamiento se llevó a cabo sin ningún contratiempo.
- E. Las tres unidades de las máquinas inyectoras (unidad de cierre, unidad de inyección y unidad robot) fueron niveladas según especificaciones. La nivelación final de cada una de ellas se muestra en la tabla 7.26 (Pág. 52).

F. Se verificó el adecuado funcionamiento del equipo de proceso durante la puesta en marcha por parte de los distintos técnicos de las casa matrices. Se resolvieron los problemas encontrados durante esta etapa, incluido un mal funcionamiento de la bomba hidráulica de la unidad de inyección 1, la cual tuvo que ser reemplazada como parte de la garantía de la máquina. Se revisaron los protocolos de recibo de cada máquina y quedaron recibidas oficialmente.

X. Recomendaciones.

- A. En el manejo y colocación de las unidades de cierre e inyección de las inyectoras se recomienda usar grúa para bajarlas de los furgones y desembalarlas y montacargas de carga pesada (10 toneladas métricas) y tortugas para colocarlas en su lugar de funcionamiento. También es recomendable colocar primero la unidad de inyección y luego la unidad de cierre, por facilidad de manejo. La última unidad a colocarse será la unidad de robot, la cual puede ser trasladada con un montacargas de 3 toneladas métricas.

- B. Antes de la puesta en marcha del enfriador de agua, se recomienda verificar las condiciones climáticas alrededor y tener especial cuidado con el factor viento. Se recomienda fabricar un tipo de cubierta para proteger los compresores del enfriador del viento, especialmente cuando haya temperaturas bajas.

- C. Los deshumidificadores de aire para los moldes de las inyectoras poseen un pequeño tanque para almacenar el agua condensada del aire ambiente. Aunque en condiciones normales de operación, dicho tanque es suficiente para almacenar el agua condensada, se recomienda elaborar un sistema de drenaje de agua, el cual puede utilizar la fuerza de gravedad como fuerza impulsora, debido a la altura a la que están instalados los deshumidificadores.

- D. Se recomienda elaborar procedimientos e instructivos de operación y mantenimiento de cada equipo, con el objeto de prolongar la vida útil de éstos y facilitar capacitaciones e inducciones de trabajadores nuevos.

- E. Se recomienda elaborar procedimientos e instructivos de seguridad industrial para prevenir y evitar accidentes durante la operación e intervenciones de mantenimiento de los equipos instalados.

- F. Se recomienda elaborar una lista de revisión de arranque, que debe verificarse cada vez que se arranca ó para una unidad para asegurar que dichas actividades se realicen de la forma adecuada.

XII. Apéndice

A. Glosario.

- Caloría: cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de 1 gramo de agua 1°C, al nivel del mar. (7)
- Clorodifluorometano (R22): refrigerante con un componente HCFC simple con bajo potencial de destrucción de ozono. Es utilizado en gran variedad de aplicaciones de refrigeración y aire acondicionado, incluyendo construcción, procesamiento de comida, supermercados y línea blanca. (7)
- Deshumidificador de aire: generador de aire seco y frío que mantiene el molde en un ambiente de humedad controlada, evitando la formación de condensado. (2)
- Dosis de inyección: cantidad de resina fundida necesaria para que la unidad de inyección lleve a cabo la inyección. (4)
- Enfriador de Agua: equipo que enfría agua proveniente del proceso hasta 10° C.
- Extrusor: parte de la unidad de inyección que consiste en un barril que encierra un tornillo sin fin. Una serie de resistencias eléctricas rodean el barril, las cuales, junto con la acción de corte y fricción provocadas por el tornillo sin fin, funden la resina plástica. (7)
- Grado Celsius (°C): escala de temperatura dividida en 100 grados, siendo 0° el punto de fusión del agua y 100° el punto de ebullición del agua a 1.013 bar de presión. (7)
- Gránulos plásticos (resina plástica): materia prima que ingresa a la inyectora. Es simplemente tereftalato de polietileno (PET) sólido en forma de granos (pellets).
- Interfase Hombre-Máquina: monitor en el que información del proceso se presenta en forma dinámica en función de los cambios que se produzcan y a través del cual parámetros del proceso pueden ser modificados.

- Preforma: materia prima utilizada para la fabricación de botellas de tereftalato de polietileno (PET), que asemeja en forma a un tubo de ensayo.
- Secador de resina: es un generador de aire seco que sirve para deshumidificar el gránulo plástico antes que éste ingrese a la extrusora. (3)
- Sistema de control distribuido: sistema analógico/digital que, a través de un microprocesador permite el control y operación de procesos.
- Tereftalato de polietileno (PET): resina plástica saturada y termoplástica obtenida al condensar etilen glicol y ácido tereftálico. Es extremadamente duro, resistente a impactos, dimensionalmente estable, resistente a químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas. Su mayor uso es en la industria de bebidas carbonatadas, aunque otras aplicaciones están aumentando. La resina reciclada tiene alta demanda para la fabricación de tela para alfombras, camisas, zapatos, maletines y chumpas. Su código plástico es el número 1. (7)
- Torre de Enfriamiento Adiabática (Condensador Evaporativo): combina las funciones de una torre de enfriamiento y un condensador. Consta de una carcasa que encierra un ventilador o sección sopladora, eliminadores de agua, serpentín de condensación de refrigerante, batea de agua, válvula de flotador y bomba de rociado, fuera de la carcasa. La bomba de rociado hace circular el agua de la batea colectora que está en el fondo de la unidad, la envía a las toberas sobre el serpentín del refrigerante (en este caso agua). Los ventiladores hacen pasar aire a través del serpentín y a través del agua que se está rociando sobre el serpentín. El calor del refrigerante es transmitido a través del serpentín metálico al agua que pasa sobre el serpentín. El aire remueve el calor del agua evaporando una porción de ésta. Los

eliminadores evitan que las gotitas de agua sean sacadas por el aire. (7)

- Unidad de Cierre: unidad de la máquina inyectora donde se encuentra el molde que da la forma deseada a la resina fundida procedente de la unidad de inyección. (4)
- Unidad de Inyección: unidad de la máquina inyectora en la cual los granos de resina sólida se transforman en resina líquida a través de calor, para luego ser inyectada al molde por medio de alta presión. (4)
- Unidad de Robot: unidad de la máquina inyectora que extrae las preformas moldeadas de los núcleos del molde y las enfría antes de dejarlas caer sobre un transportador. (4)

B. Tablas

Las tablas A.1 y A.2, que se muestran a continuación, son las especificaciones generales de la maquinaria y equipo a instalar. Dichas especificaciones deberán ser consideradas en su respectivo montaje para evitar daños y asegurar el funcionamiento correcto de los mismos.

Tabla A.1: Especificaciones generales de maquinaria de inyección (6)

Unidades de Inyección y Cierre	
Peso	
Unidad de inyección	9,500 kg [21,000 lb]
Unidad de Cierre	11,791 kg [26000 lb]
Capacidad del Depósito	
Tanque hidráulico	1850 L [489 gal]
Caja del motor del extrusor	5.5 L [1.5 gal]
Sistema de lubricación automática	1.38 L [0.36 gal]
Capacidad del Acumulador	
Unidad de cierre	34.1 L [9 gal]
Suministro de agua de torre	
Temperatura máxima de entrada	34° C
Temperatura mínima de entrada	10° C
Valor del pH	6-8
Caudal máximo	252 LPM a 34° C [67 gpm a 93° F]
Presión mínima en la entrada	450 kPa [65 psi]
Caída mínima de presión de Entrada/Salida	200 kPa [30 psi]
Sólidos totales en suspensión	< 100 mg/L, tamaño máximo de 1mm
Calor a evacuar	70.7 kW [60480 kcal/h 20 tonr]
Diámetro conexión tuberías	3.175 cm [1¼ in]
Suministro de aire externo	
Caudal	28 LPM a 6 bar
Presión máxima en la entrada	1030 kPa [150 psi]
Diámetro conexión tubería	2.54 cm [1 in]
Suministro de agua fría	
Presión mínima de entrada	620 kPa [90 psi]
Caída mínima de presión de Entrada/Salida	275 kPa [40 psi]
Caudal máximo	798 LPM [211 gpm]
Temperatura mínima de entrada	7° C
Temperatura máxima de entrada	10° C
Valor del pH	7.0-7.5
Sólidos totales en suspensión	< 100 ppm
Calor a evacuar (incluye calor a evacuar en unidad robot)	102.7 kW [88333 kcal/h 30 tonr]
Diámetro conexión de tuberías	5.08 cm [2 in]

Cont. Tabla A.1.

Unidades de Inyección y Cierre	
Conexiones eléctricas, Alimentación 1	
Voltaje	460 V
Corriente	373 A
Potencia máxima instalada	171.58 kW [230 hp]
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Conexiones eléctricas, Alimentación 2	
Voltaje	230 V
Corriente	137 A
Potencia máxima instalada	31.51 kW [42 hp]
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Unidad de Robot	
Peso	2,682 kg [5,900 lb]
Suministro de aire externo al sistema de aire de robot	
Presión mínima de entrada	544 kPa
Caudal mínimo	300 LPM [80 gpm]
Suministro de aire externo al sistema de enfriamiento	
Presión mínima de entrada	544 kPa
Caudal mínimo	2.8 LPM [10.6 gpm]
Diámetro conexión de tubería	1.905 cm [¾ in]
Suministro de agua fría	
Caudal máximo	76 LPM
Temperatura mínima de entrada	9° C
Temperatura máxima de entrada	10° C
Presión de entrada	620 kPa
Diámetro conexión de tuberías	2.54 cm [1 in]

Tabla A.2: Especificaciones generales del equipo auxiliar de inyección.

Deshumidificador	
Peso	390 kg [858 lb]
Ruido máximo	72 db (A)
Punto de rocío máximo de salida de aire	4° C
Temperatura máxima de entrada de agua fría	10° C
Caudal máximo de agua de refrigeración	100 LPM [26.5 gpm]
Presión máxima de entrada de agua fría	800 kPa
Presión mínima de entrada de agua fría	150 kPa
Calor a evacuar	36 kW [3 1000 kcal/h 10.3 tonr]
Diámetro conexión de tuberías agua	2.54 cm [1 in]
Temperatura mínima de ambiente de trabajo	5° C
Temperatura máxima de ambiente de trabajo	40° C
Humedad relativa mínima de ambiente de trabajo	30% (sin condensado)
Humedad relativa máxima de ambiente de trabajo	90% (sin condensado)
Conexiones eléctricas	
Voltaje	460 V
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Potencia máxima instalada	9.2 kW
Secador de Resina	
Peso	1950 kg
Ruido máximo	< 80 db (A)
Flujo de aire de proceso	1500 m ³ /h
Agua de torre	
Temperatura máxima de entrada	34° C
Dureza máxima del agua	100<ppm<200
Presión máxima	800 kPa
Presión mínima	200 kPa
Calor a evacuar	34.9 kW [30000 kcal/h 10 tonr]
Grado mínimo de filtración	Malla 30
Diámetro de conexión de tuberías	3.81 cm [1½ in]
Aire comprimido	
Presión mínima de entrada	600 kPa
Presión máxima de entrada	800 kPa
Consumo medio	600 LPM [158.5 gpm]
Grado de filtración	20 µm
Ambiente de trabajo	
Temperatura ambiente mínima	5° C
Temperatura ambiente máxima	40° C
Humedad relativa mínima	30% (sin condensación)
Humedad relativa máxima	80% (sin condensación)
Conexiones eléctricas	
Voltaje	460 V
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Potencia máxima instalada	71 kW [95 hp]
Bomba de vacío para succión de resina sólida	
Voltaje	460 V
Frecuencia de alimentación	60 Hz
Potencia máxima instalada	8.6 kW [11.5 hp]

Tabla A.3: Especificaciones generales de Enfriadores de Agua.

Enfriador 1	
Peso neto	2431.8 kg [5350 lb]
Peso de operación	2527.3 kg [5560 lb]
Capacidad de enfriamiento	217.3 kW [186900 kcal/h 62.3 tonr]
Número de circuitos de refrigeración	2
Flujo mínimo de agua	340 LPM [90 gpm]
Flujo máximo de agua	1200 LPM [317 gpm]
Volumen de intercambiador	95 L [25 gal]
Potencia máxima instalada de ventiladores	2.5 kW [3 hp]
Potencia máxima instalada de compresores	33.75 kW [45 hp]
Frecuencia de alimentación eléctrica	60 Hz
Voltaje	460 V
Enfriador 2	
Peso neto	4376 kg [9637 lb]
Peso de operación	4594 kg [10106.8 lb]
Capacidad de enfriamiento	374.8 kW [322486 kcal/h 107.5 tonr]
Número de circuitos de refrigeración	2
Flujo mínimo de agua	474 LPM [125 gpm]
Flujo máximo de agua	2268 LPM [600 gpm]
Volumen de intercambiador	193 L [51 gal]
Potencia máxima instalada de ventiladores	2.5 kW [3 hp]
Potencia máxima instalada de compresores	194 kW [288.7 hp]
Frecuencia de alimentación eléctrica	60 Hz
Voltaje	460 V

Las tablas A.4 a la A.8, muestran propiedades utilizadas en la selección de tubería de los distintos sistemas de fluidos utilizados en el proceso.

Tabla A.4: Propiedades promedio del aire comprimido.

Presión	8 bares [120 psi]
Temperatura	30° C
Densidad	11.78 kg/m ³
Viscosidad	0.0155 cP

Tabla A.5: Propiedades promedio del agua del sistema de enfriadores

Presión	7 bares [105 psi]
Temperatura	10° C
Densidad	1000 kg/m ³
Viscosidad	1.3 cP

Tabla A.6: Propiedades promedio del agua del sistema de torre de enfriamiento.

Presión	5.5 bares [80 psi]
Temperatura	25° C
Densidad	1000 kg/m ³
Viscosidad	1.05 cP

Tabla A.7: Velocidades de flujo estimadas para distintos sistemas de tuberías (1)

Aire comprimido entre 5 y 12 bares [70 y 180 psi]	20.32 m/s
Agua	2.44 m/s

Tabla A.8: Capacidades de tuberías normalizadas. (8)

Diámetro nominal de tubería, cm [in]	Diámetro interno de la tubería, cm	Capacidad para la velocidad de 1 m/s, LPM [GPM]
5.08 [2]	5.250	129.9 [34.32]
7.62 [3]	7.793	286.2 [75.62]
10.16 [4]	10.226	492.8 [130.20]
12.70 [5]	12.819	774.4 [204.60]

Tabla A.9: Longitudes equivalentes (ft) para accesorios de tubería utilizados en este trabajo.

Diámetro interno (in)	Válvula de bola	Válvula de mariposa	Codo de 45°	T	Reducción d/D: $\frac{3}{4}$	Ensanchamiento d/D: $\frac{3}{4}$
2	70	2	2	3	---	---
3	100	2	4	4	---	---
4	130	3	5	5	1	1

Tabla A.10: Conductividad térmica de distintos materiales de aislamiento.

Descripción/Composición	Conductividad térmica, k (W/m.K)
Fibra de vidrio	0.038
Poliestireno	0.027
Madera	0.087
Corcho	0.039
Espuma de poliuretano	0.026

Tabla A.11: Simbología utilizada en este trabajo

Símbolo	Descripción
"	Pulgada
°C	Grado Centígrado
cm	Centímetro
cP	Centipoise (Viscosidad Cinemática)
d	Diámetro
ft	Pies
GPM	Galones por minuto
in	Pulgadas
K	Grados Kelvin
lb	Libra
LPM	Litros por minuto
m	Metro
mm	Milímetros
N/A	No disponible
PET	Tereftalato de polietileno
ppm	Partes por millón
PVC	Polivinyl Cloruro
Q	Quetzales
s	Segundo
U	Unidad
US\$	Dólares americanos
W	Wattios
μm	Micrómetro

Tabla A.12: "Check-List" de instalaciones y montajes.

Realizado

- A. Revisión y estudio de manual de instalación por los miembros del equipo. _____
- B. Manipulación y desembalaje de inyectoras. _____
- Inspección preliminar _____
 - Manipulación de la unidad de cierre. _____
 - Instalación de pies de nivelación. _____
 - Manipulación de unidad de inyección. _____
 - Alineamiento de unidades de inyección y cierre. _____
 - Manipulación de unidad de robot. _____
 - Alineamiento de unidades de robot y cierre. _____
- C. Nivelación de las máquinas inyectoras y concentricidad de sus toberas. _____
- Tareas antes de nivelación. _____
 - Limpieza de rieles y placas _____
 - Lubricación de inyectora (ver punto G) _____
 - Nivelación de unidad de cierre. _____
 - Nivelación de unidad de inyección. _____
 - Concentricidad de tobera. _____
 - Nivelación de unidad de robot. _____
 - Colocación de pernos de fijación. _____
- D. Montaje de las máquinas inyectoras. _____
- Verificación de elementos desmontables. _____
 - Revisión de conductos hidráulicos internos. _____
 - Conexiones de agua fría. _____
 - Conexiones neumáticas. _____
 - Conexiones del agua de torre. _____
 - Acumuladores y amortiguadores de pulsación. _____
 - Conexiones eléctricas. _____

E.Montaje y conexión de equipo auxiliar de secado.

- Manipulación de equipo de secado _____
- Alineamiento de equipo de secado con inyectora. _____
- Conexión de equipo con inyectora _____

F.Montaje y conexión de equipo de refrigeración de agua

- Diseño de tuberías _____
- Diseño de sistema de bombas _____
- Manipulación de equipo _____
- Instalación de bombas _____
- Conexión de tuberías _____

G.Lubricación de inyectora.

- Caja del motor del extrusor. _____
- Tanque hidráulico. _____
- Sistema de lubricación automática. _____

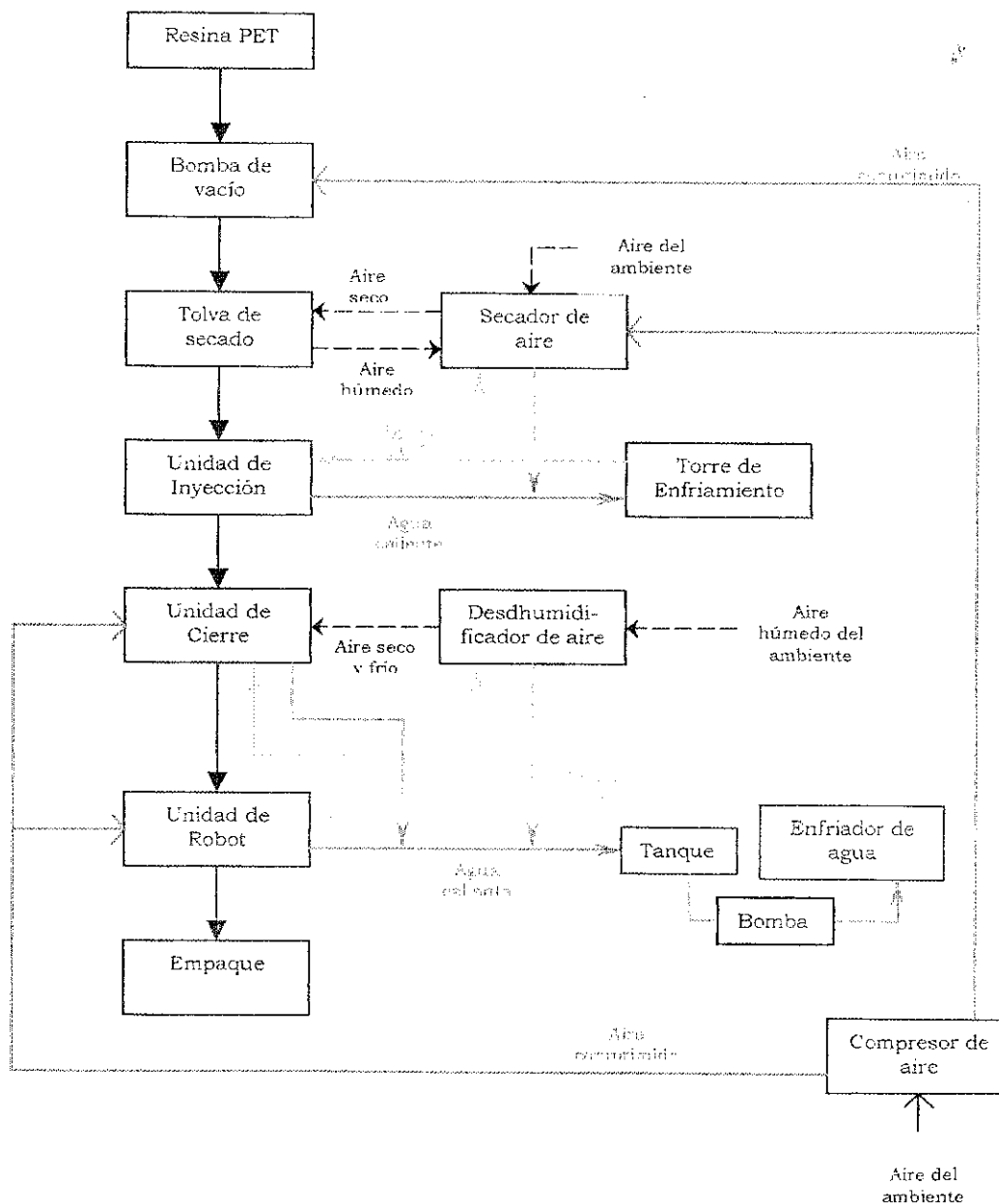
H.Montaje de moldes en unidades de cierre de inyectoras. _____

I.Puesta en marcha de las máquinas inyectoras.

- Revisión de hoja de control. _____
- Verificaciones eléctricas. _____
- Arranque y puesta en marcha por técnico de casa matriz de maquinaria. _____

C. Figuras

Figura A.1: Diagrama de bloques del proceso de inyección y moldeo de preformas de tereftalato de polietileno.



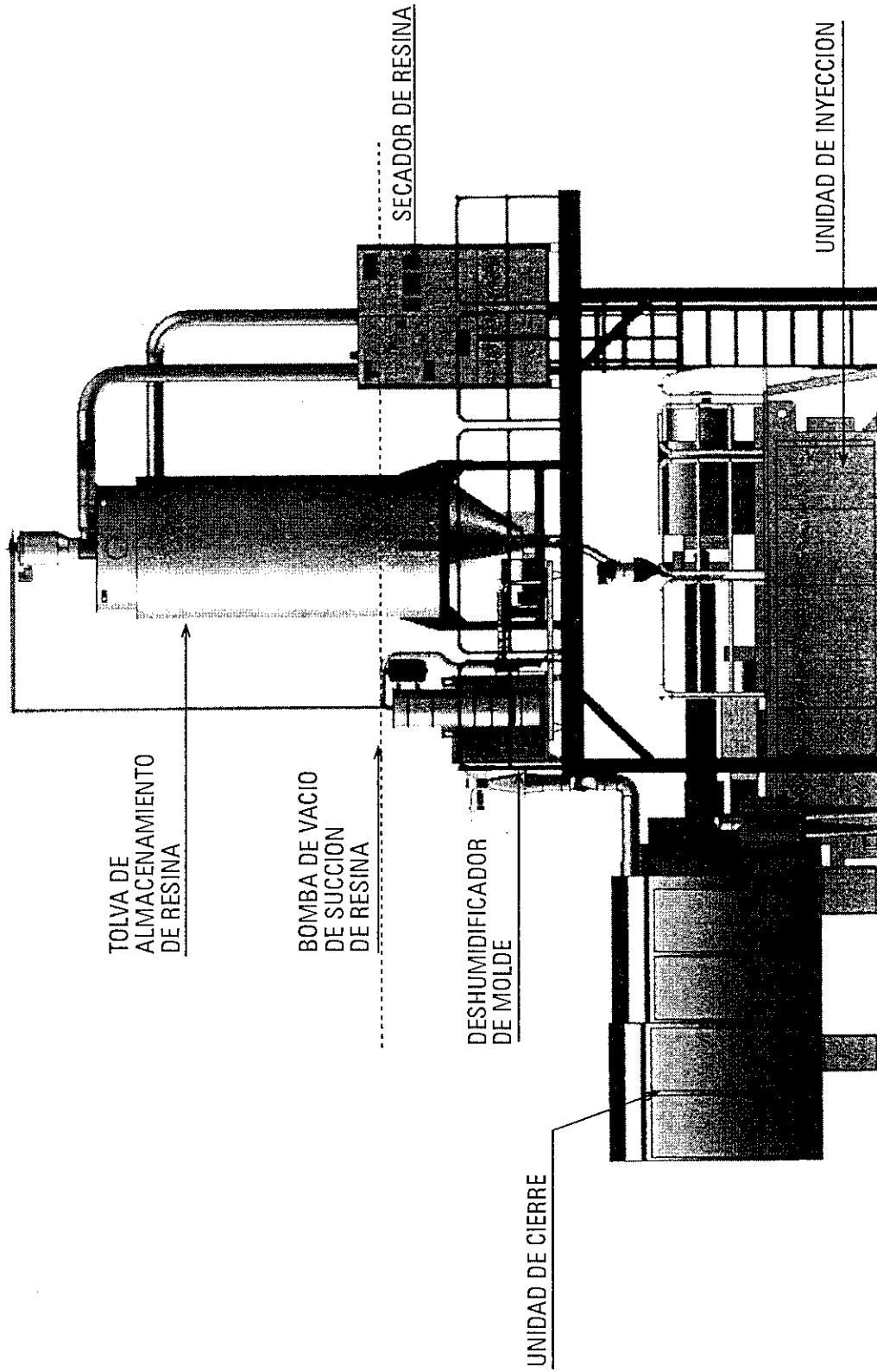


FIGURA A-2

Diseño Preliminar de Instalación de Inyectora

Escala N/A

D. Cálculos.

- Para calcular la caída de presión estimada en una tubería, se utilizó la fórmula:

$$\Delta P = \frac{W^{1.8} \mu^{0.2}}{20000 d^{4.8} \rho} \cdot \frac{\sum LE_i x_i}{100} \quad (1)$$

donde: ΔP es la caída de presión por fricción, psi

W es el flujo másico del fluido, lb/h

μ es la viscosidad del fluido, cP

ρ es la densidad del fluido, lb/ft³

d es el diámetro interno de la tubería, in

LE_i es la longitud equivalente del accesorio i , ft

X_i es el número de accesorios i en el sistema.

Se sustituyeron los datos proporcionados en las tablas A.4, A.5 y A.6 y utilizando las longitudes equivalentes dadas en la tabla A.9.

Tomando como ejemplo la caída de presión para el sistema de tuberías del enfriador de agua 2, se tiene:

$$\begin{aligned} x_{codo\ 4"} &= 28 & LE_{codo\ 4"} &= 5\ ft \\ x_T\ 4" &= 6 & LE_T\ 4" &= 5\ ft \\ x_{Valvula\ 4"} &= 4 & LE_{Valvula\ 4"} &= 130\ ft \\ x_{valvulam} &= 2 & LE_{valvulam} &= 3\ ft \\ x_{reducidor\ 4-6} &= 6 & LE_{reducidor\ 4-6} &= 1\ ft \\ W &= 2000\ LPM\ [264,000\ lb/h] \\ \rho &= 1000\ kg/h\ [62.428\ lb/ft^3] \\ \mu &= 1.3\ cP \\ d &= 4\ in \end{aligned}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación anterior:

$$\Delta P = \frac{(264000)^{1.8} (1.3)^{0.2}}{20000(4)^{4.8} (62.428)} \cdot \frac{[(28)(5) + (6)(5) + (4)(130) + (2)(3) + (1)(6)]}{100}$$

$$\Delta P = 43.82\ psi\ [2.98\ bar]$$

- Para calcular el diámetro interno de la tubería a utilizar en cada sistema se utilizó la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{\frac{4q}{60000\pi v}}$$

donde: d es el diámetro interno de la tubería, m
 q es el flujo volumétrico del fluido, LPM
 v es la velocidad del fluido, m/s

Los valores de "v" se obtienen de la tabla A.7.

Tomando como ejemplo la caída de presión para el sistema de tuberías del enfriador de agua 2, se tiene:

$$Q = 1968 \text{ LPM} \cdot (60\%) = 1180.8$$

$$V = 2.44 \text{ m/s}$$

$$d = \sqrt{\frac{4(1180.8)}{60000\pi(2.44)}}$$

$$d = 0.1014 \text{ m [3.99 in]}$$

Dicho valor puede verificarse utilizando la tabla A.8. Para ello simplemente se multiplica el valor escogido de la tabla A.7 por cualquier valor de la tabla A.8 y el resultado se compara con las especificaciones del sistema.