



T  
672.83  
VASE

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

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

**“Criterios Técnicos Involucrados en el Diseño, Supervisión de la  
Construcción de Tanque de 400m<sup>3</sup> de Acero Inoxidable”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la Obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Juan Antonio Váscónes Villamar

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2005**



## AGRADECIMIENTO



A mi Madre y mi Padre que  
hicieron posible mi educación  
y a Dios por darme la salud  
necesaria para culminarla.



## DEDICATORIA

A mi tía Gladis Vascones  
Guerini por su constante  
insistencia en mi preparación  
intelectual y personal.



## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP  
PRESIDENTE



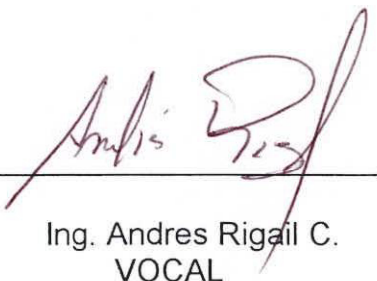
---

Ing. Ignacio Wiesner F.  
DIRECTOR DE TESIS



---

Ing. Julián Peña E.  
VOCAL



---

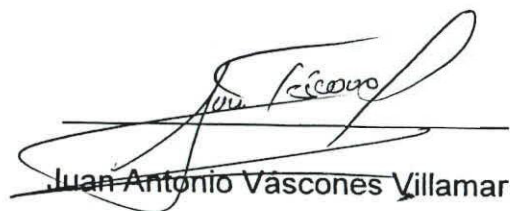
Ing. Andres Rigail C.  
VOCAL



## DECLARACIÓN EXPRESA

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

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

  
Juan Antonio Váscones Villamar

## RESUMEN

En la Compañía de Cervezas Nacionales se construyó un tanque vertical en acero inoxidable SAE 304 en el año 1984 y comenzó a funcionar el mismo año, el diseño que se escogió era un tanque con diámetro de 4 m y una altura de 20.4 m con aislamiento para mantener una temperatura de máximo 80 ° C, con compuerta de acceso para limpieza, revisión interna e ingreso del agua por la parte inferior del tanque, rebose y tubería para drenaje.

En el año 1994 la empresa Compañía de Cervezas Nacionales decide reparar este tanque por los problemas que presentaba en su estructura metálica y aislamiento a partir de su cuarto año de funcionamiento, la decisión debía contemplar el eventual desperdicio de agua proveniente del proceso de enfriamiento del mosto, la energía que se iba a consumir para calentar 12.000 m<sup>3</sup> a una temperatura de 70°C para efectuar los cocimientos mensuales, y el costo adicional de esos 12.000 m<sup>3</sup> en el consumo de agua.

Analizamos algunas alternativas de solución que las mostraremos en el capítulo 1 de esta tesis, y encontramos que la mejor alternativa era la importación del material para un nuevo diseño de tanque y la contratación de

una empresa con experiencia que lo desarrolle sin provocar la paralización del proceso y que nos permita una rápida ejecución cuando se culmine.

El nuevo tanque se calculo en base a un análisis de esfuerzo provocado por el almacenamiento de agua en su interior que nos provoca un esfuerzo como el realizado por un dique en una compuerta donde cada anillo se comporta como una compuerta para efectos del calculo de su fuerza radial, una vez encontrada la fuerza a la cual va a estar sometido cada anillo simulamos estos como si fueran cilindros de pared delgada que por sus dimensiones corresponden perfectamente a las condiciones para utilizarla.

Una vez obtenido las dimensiones, cantidad y espesor de la plancha finalmente entraremos en detalle de la supervisión de la construcción y los detalles que se deben contemplar para que el diseño se ajuste a la operación adecuada del proceso y a su posterior mantenimiento, para lo cual proporcionaremos los planos de construcción de este proyecto.

Finalmente proporcionaremos el análisis económico que nos permitió decidirnos por la mejor opción que era la que decidimos desarrollar en este proyecto.



A la fecha el sistema tiene funcionando 10 años y no ha necesitado mantenimiento en su estructura hasta el día de hoy, pero se mantiene un programa de pasivación del acero inoxidable cada año para limpieza y reactivación de su estructura.



## ÍNDICE GENERAL

|                        | Pág. |
|------------------------|------|
| RESUMEN.....           | II   |
| ÍNDICE GENERAL.....    | III  |
| SIMBOLOGÍA.....        | IV   |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | V    |
| ÍNDICE DE TABLAS.....  | VI   |
| ÍNDICE DE PLANOS.....  | VII  |
| INTRODUCCIÓN.....      | 1    |

### CAPITULO 1

#### 1.DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Descripción de la Planta.....                                                                      | 3  |
| 1.2. Flujograma del Proceso.....                                                                        | 4  |
| 1.3. Requerimientos de agua caliente.....                                                               | 6  |
| 1.4. Evaluación de tanque instalado y nuevas opciones.....                                              | 8  |
| 1.5. Diseño estructural y especificaciones de aislamiento, protección,<br>seguridad y electricidad..... | 18 |

### CAPÍTULO 2

#### 2. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL TANQUE

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 2.1. Obras Civiles..... | 54 |
|-------------------------|----|



|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2. Supervisión de la construcción Metálica Soldada.....                                                   | 63 |
| 2.3. Supervisión de la instalación de: Sistema hidráulico, instalación eléctrica y aislamiento térmico..... | 72 |
| 2.4. Calificación del proceso de soldadura por Ensayos No Destructivos.....                                 | 77 |
| 2.5. Prueba Hidrostática y puesta en funcionamiento.....                                                    | 78 |

## **CAPÍTULO 3**

### **3. ANÁLISIS ECONÓMICO**

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 3.1. Costo de las alternativas de Solución..... | 80 |
| 3.2. Costo del proyecto seleccionado.....       | 81 |

## **CAPÍTULO 4**

### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 4.1. Conclusiones.....    | 85 |
| 4.2. Recomendaciones..... | 86 |

## **APÉNDICES**

## **BIBLIOGRAFÍA**







## SIMBOLOGÍA

|                     |                                                                          |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| \$:                 | Dólares Americanos                                                       |
| %:                  | Porcentaje                                                               |
| ":                  | Pulgadas                                                                 |
| AWS:                | American Welding Society                                                 |
| B:                  | Diámetro del tanque                                                      |
| BTU:                | British Thermal Unit                                                     |
| Cal:                | Calorías                                                                 |
| cm <sup>2</sup> :   | Centímetros cuadrados                                                    |
| Cp:                 | Coeficiente de transferencia de calor a presión constante                |
| d:                  | Diámetro                                                                 |
| D:                  | La densidad del agua a 70 grados Centígrados (980 Kg./m <sup>3</sup> )   |
| dA:                 | Diferencial de área                                                      |
| e:                  | Espesor de la pared del cilindro                                         |
| Esf:                | El esfuerzo resultante                                                   |
| f:                  | Factor de fricción                                                       |
| Fr:                 | La fuerza radial ejercida por el líquido contra las paredes del cilindro |
| g:                  | La aceleración de la gravedad (9.81 m/s <sup>2</sup> )                   |
| h:                  | Altura                                                                   |
| HP:                 | Horsepower                                                               |
| Kg/m <sup>3</sup> : | Kilogramos por metro cúbico                                              |
| Kg/min:             | Kilogramos por minuto                                                    |
| Kg:                 | Kilogramos                                                               |
| L:                  | Longitud del anillo del cilindro analizado                               |
| L:                  | Longitud del anillo del cilindro analizado                               |
| Le/d:               | Longitud equivalente                                                     |
| m:                  | Flujo de masa                                                            |
| m:                  | Metros                                                                   |
| m <sup>2</sup> :    | Metros cuadrados                                                         |
| m <sup>3</sup> :    | Metros Cúbicos                                                           |
| manhold:            | Compuerta de ingreso                                                     |
| MIG:                | Metal Inert gas                                                          |

|                     |                                                                                 |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| mils:               | Milésimas de pulgada                                                            |
| min:                | Minuto                                                                          |
| mm:                 | Milímetros                                                                      |
| Mpa:                | Mega Pascal                                                                     |
| $n_1$ :             | factor de seguridad que aparece en la tabla como N ENR                          |
| Nenr:               | Coeficiente de seguridad calculado en base a la teoría de energía de distorsión |
| NH <sub>3</sub> :   | Amoniaco                                                                        |
| Nt:                 | Newton                                                                          |
| °:                  | Grados                                                                          |
| °C:                 | Grados Centígrados                                                              |
| °F:                 | Grados Fahrenheit                                                               |
| °K:                 | Grados Kelvin                                                                   |
| p:                  | Densidad                                                                        |
| PHI:                | 3.14159                                                                         |
| Q:                  | Cantidad de calor                                                               |
| S/:                 | Sucres                                                                          |
| SQR:                | Raíz Cuadrada                                                                   |
| T:                  | Temperatura                                                                     |
| T:                  | Toneladas                                                                       |
| U:                  | Conductividad Térmica del aislamiento                                           |
| Vol:                | Volumen                                                                         |
| V <sub>prom</sub> : | Velocidad promedio                                                              |
| W:                  | Watts                                                                           |
| y <sub>1</sub> :    | La altura inicial medida desde el nivel superior del agua                       |
| y <sub>2</sub> :    | La altura final medida desde el nivel superior del agua                         |



## ÍNDICE DE FIGURAS

|            | Pág.                                                          |
|------------|---------------------------------------------------------------|
| Figura 1.1 | Diagrama Esquemático del Ciclo de Enfriamiento del agua.....5 |
| Figura 1.2 | Diagrama Esquemático Ciclo Enfriamiento del Mosto.....5       |
| Figura 1.3 | Fuerza Ejercida sobre las Paredes del Tanque.....31           |
| Figura 1.4 | Diagrama Hidráulico Esquemático.....37                        |





## ÍNDICE DE TABLAS

|          | Pág.                                                                 |
|----------|----------------------------------------------------------------------|
| Tabla 1  | Costos Involucrados en la Reparación.....13                          |
| Tabla 2  | Reparación Tanque Existente.....14                                   |
| Tabla 3  | Especificaciones del Material y Unidades.....24                      |
| Tabla 4  | Volumen en Tanques Cilíndricos.....26                                |
| Tabla 5  | Posibles soluciones.....27                                           |
| Tabla 6  | Cálculo de la Fuerza Radial Soportado por Anillo.....34              |
| Tabla 7  | Cálculo de Coeficientes de Seguridad para Varios<br>Espesores.....34 |
| Tabla 8  | Especificaciones del Sistema Hidráulico.....36                       |
| Tabla 9  | Cálculo Comparativo de las Pérdidas del Cabezal.....37               |
| Tabla 10 | Longitudes Equivalentes Utilizadas.....39                            |
| Tabla 11 | Especificaciones del Sistema Hidráulico.....40                       |
| Tabla 12 | Cálculo de Potencia Bomba para Alimentar las Pailas.....40           |
| Tabla 13 | Espesores de Planchas.....64                                         |
| Tabla 14 | Especificaciones del Material.....65                                 |
| Tabla 15 | Construcciones por Anillo.....67                                     |
| Tabla 16 | Costos Involucrados en la Reparación.....83                          |

## ÍNDICE DE PLANOS

|                |                                              |
|----------------|----------------------------------------------|
| <b>Plano 1</b> | <b>Dimensiones Generales Tanque Vertical</b> |
| <b>Plano 2</b> | <b>Escalera y Protecciones para Tanque</b>   |
| <b>Plano 3</b> | <b>Bases y Pernos de Anclaje para Tanque</b> |
| <b>Plano 4</b> | <b>Compuerta Lateral de Ingreso</b>          |
| <b>Plano 5</b> | <b>Tubería de Entrada de Agua Caliente</b>   |
| <b>Plano 6</b> | <b>Tubería de Salida Agua Caliente</b>       |

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto contempla la selección de la mejor alternativa que se adapte a las condiciones de la construcción de un tanque de almacenamiento de 400 m<sup>3</sup> para contener agua caliente de una compañía de cervezas y que debe reemplazar a uno existente que está en mal estado por fallas estructurales.

Recibimos el encargo de encontrar la mejor alternativa en relación a las dimensiones de diámetro y altura que permitan el mayor ahorro de material en la construcción teniendo además otra restricción que era la disponibilidad de área de terreno para asentamiento de tanque.

Para resolver el problema se estudiaron 4 alternativas: la primera se consideró la reparación del tanque existente; la segunda, la compra de un tanque construido en el exterior; la tercera, la compra de un tanque construido por un proveedor local y la última que es el diseño del tanque, la compra e importación de los materiales y la contratación de mano de obra local para su construcción.

Haciendo un análisis económico de los costos involucrados en el proyecto se encontró que la alternativa más viable económicamente es la última, y una



vez seleccionada se procedió a realizar el diseño y posteriormente a seleccionar una compañía constructora calificada que se encargue de la ejecución de la obra en sus partes civil y mecánica.

Para seleccionar el dimensionamiento del tanque tendremos en cuenta primero el espacio físico disponible para la base que es de 9.60 metros de diámetro, y se siguió un método iterativo con el menor consumo de material basado en las medidas modulares de las planchas de acero inoxidable SAE 304L de 1.22 x 2.44 m y el resultado fue el de un tanque con 8.54 m de diámetro y 7.32 m de altura.

Con las dimensiones seleccionadas procederemos a calcular la estructura del tanque con 416 m<sup>3</sup> y se procedió a realizar los análisis de esfuerzos para encontrar los espesores de material para las diferentes posiciones en relación a la altura y así se encontró para el primer anillo el espesor hasta el último.





# CAPÍTULO 1

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la planta.

La empresa donde se realizara el proyecto es la Compañía de Cervezas Nacionales ubicada en el Km. 14 vía a Daule. La producción de cerveza posee 3 grandes fases identificables que son: el cocimiento, el embotellado y el pasteurizado.

El cocimiento es donde se procesa la materia prima para convertirla en el producto que se utilizara en el proceso de envasado que se lo realiza en el área de embotellado donde posteriormente pasara a la sección de pasteurizado para lograr la remoción de bacterias en el interior del producto una vez culminado su proceso.

El proceso se realiza en forma continua por lo cual es necesario poseer el suficiente almacenamiento de modo que no entorpezca el sistema de envasado y posterior distribución del producto.

Para efectuar el cocimiento es necesario utilizar grandes cantidades de agua, si logramos precalentar el agua antes de entrar en el proceso de cocimiento ahorraremos combustible en el proceso.

## **1.2 Flujo grama del proceso**

En un intercambiador de calor de placas o de cascada que utiliza como refrigerante amoniaco líquido, el agua blanda que ingresa a temperatura ambiente alrededor de  $24^{\circ}\text{C}$  y reduce su temperatura a  $3^{\circ}\text{C}$ , luego es almacenada en un tanque vertical aislado donde se conserva para luego ser utilizada en el proceso de enfriamiento del mosto, el tanque tiene una capacidad de almacenaje de  $300\text{ m}^3$ , el proceso de enfriamiento del agua se lo realiza en forma continua durante las 24 horas del día.

En el proceso de enfriamiento de mosto se utiliza un intercambiador de calor con un sistema de placas o cortina en el cual ingresa agua helada aproximadamente a  $3^{\circ}\text{C}$  y sale a una temperatura de  $75^{\circ}\text{C}$ , el agua caliente proporcionada por el intercambiador de calor es

bombeada para ser almacenada en un tanque vertical aislado de 326 m<sup>3</sup>, el mosto entra a una temperatura aproximada de 85°C, y sale a una temperatura de 12.5°C.

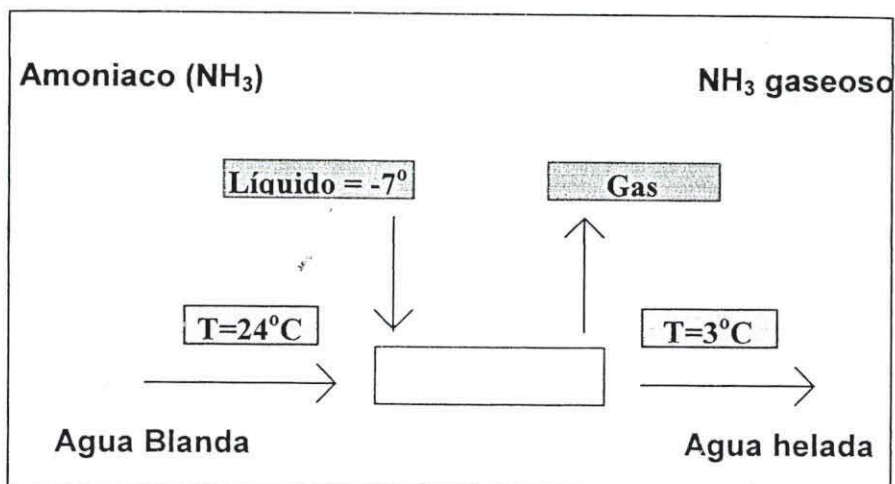


FIGURA 1.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL CICLO DE ENFRIAMIENTO DEL AGUA

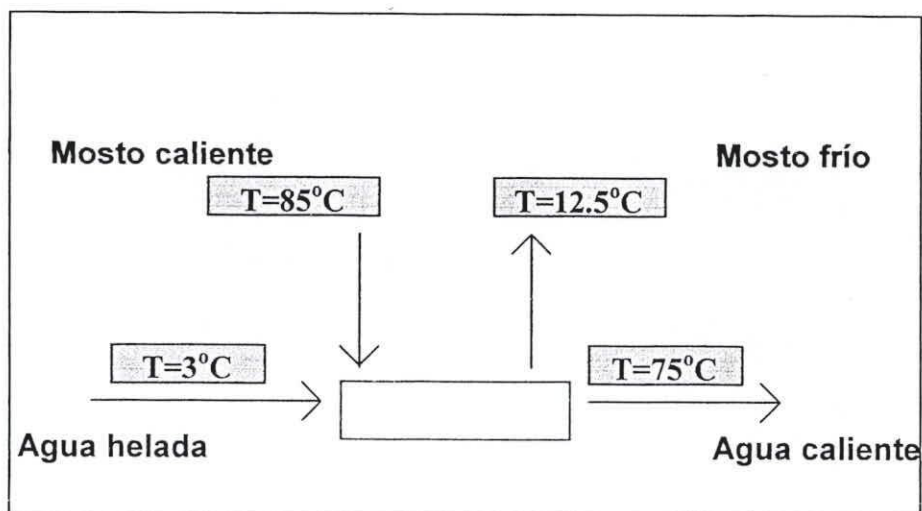


FIGURA 1.2 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO CICLO ENFRIAMIENTO DEL MOSTO

### 1.3 Requerimientos de agua caliente

El agua caliente servirá para ser utilizada en el cocimiento de la malta, el consumo de agua por cocimiento es de  $120 \text{ m}^3$  y se produce en promedio 100 cocimientos mensuales, esto quiere decir un consumo de agua de  $12.000 \text{ m}^3$  si consideramos que el metro cúbico de agua cuesta \$ 0.91 (S/. 3.450 sucres en 1994), el costo mensual en consumo de agua solamente para el cocimiento es de \$ 10.894.74 (\$ S/.41'400.000 de sucres en 1994) adicionalmente precalentar estos  $12.000 \text{ m}^3$  de 24 grados a 70 grados costaría \$ 17.105.26 (S/.65'000.000 de sucres en 1994). Para provocar este ahorro de energía se posee un tanque aislado que conserva el agua a la temperatura de  $75^\circ\text{C}$ , la misma que proviene del intercambiador de calor para enfriamiento del mosto.

La cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura del agua de 75 grados a 100 grados en un proceso que trabaja a presión constante la encontramos a continuación:

$$Q = m * C_p * (T_{\text{cal}} - T_{\text{fría}})$$

$$\text{Donde } C_p = 1.102 - (24.6/T^{1/2}) + (231/T) \quad [\text{Cal/Kg. o K}]$$

$$m = 8 \text{ m}^3 / \text{min} * 980 \text{ Kg/m}^3 = 117.600 \text{ Kg/min}$$

La densidad del agua a 90 grados es  $980 \text{ Kg./m}^3$

$$T_{\text{cal}} = 373 \text{ o K} \quad T_{\text{fría}} = 297 \text{ o K}$$

$$Q = 290.384 \text{ Cal/min.} = 1.152 \text{ BTU/min.}$$

Si el agua no proviniera del intercambiador de mosto la temperatura de entrada del agua sería  $24^{\circ}\text{C}$  , por tanto a esta cantidad de calor debemos añadirle el calor necesario para elevar la temperatura de  $24$  a  $75^{\circ}\text{C}$ ., utilizando la misma fórmula con estas dos temperaturas encontramos la cantidad de calor adicional a este proceso.

$$Q = 616.590 \text{ Cal/min.} = 2.447 \text{ BTU/min.}$$

El costo de producir esta cantidad de calor es el ahorro económico que se posee al mantener el agua almacenada en un tanque aislado y usar el agua caliente proveniente de otro proceso.

La capacidad que se determinó debido a las frecuencias de funcionamiento de las pailas y de la producción de agua caliente del enfriador de mosto, adicionalmente con el aumento de capacidad que poseerá la planta desde el año 1995 por la puesta en funcionamiento de una nueva línea es de  $400 \text{ m}^3$ , con lo que se cubriría la demanda de cocimiento así como el desalojo de agua de el intercambiador de calor.

Actualmente se posee un sistema de calentamiento en caso de que la





temperatura del agua sea inferior a la necesaria en el proceso, y además para garantizar la homogeneidad de la temperatura y que esta no se eleve más de lo necesario en el proceso existe una línea paralela (bypass) con agua a temperatura ambiente que se puede mezclar antes de ingresar a las pailas en caso de necesitar bajar la temperatura del agua.

Con todas estas seguridades el sistema garantiza una temperatura homogénea en el proceso, lo que garantiza un buen control del proceso de cocimiento.

#### **1.4 Evaluación de tanque instalado y nuevas opciones**

El tanque vertical existente fue construido en acero inoxidable en el año 1984 y comenzó a funcionar el mismo año, el estilo de diseño que se escogió era un tanque con diámetro de 4 m y una altura de 20.4 m con aislamiento para mantener una temperatura de máximo 80 grados centígrados, con compuerta de acceso para limpieza y revisión interna (manhold), ingreso del agua por la parte inferior del tanque, rebose y tubería para drenaje.

En el año 1994 se decide reparar este tanque por los problemas que presentaba en su estructura metálica y aislamiento, la decisión debía



contemplar el eventual desperdicio de agua proveniente del proceso de enfriamiento del mosto, la energía que se iba a consumir para calentar  $12.000 \text{ m}^3$  a una temperatura de  $70^\circ\text{C}$  para efectuar los cocimientos mensuales, y el costo adicional de esos  $12.000 \text{ m}^3$  en el consumo de agua.

Se comenzó a planificar su reparación, además se comenzó a estudiar la posibilidad de la construcción de un tanque nuevo cuyo diseño podrá ser horizontal o vertical, la capacidad de este tanque deberá ser de  $400 \text{ m}^3$ , en cualquiera de los dos casos debe preverse la obra civil para la cimentación del tanque, los equipos hidráulicos, el sistema de aislamiento, y la interconexión con el sistema actual. Este estudio proporcionará los costos de construcción y el cronograma de trabajo para su ejecución.

### **Reparación del tanque existente**

La primera alternativa que se considera dentro del proyecto es la reparación del tanque vertical actual que se utiliza para almacenar el agua caliente proveniente del sistema de enfriamiento del mosto.

Fórmulas:

$$\text{Costo} = (\text{consumo/cocimiento}) \times (\# \text{ cocim.}) \times (\text{tiempo rep.}) \times (\text{valor } \text{m}^3)$$

Tiempo de reparación = 1 mes

Numero de cocimiento = 100

Consumo de agua/cocimiento = 120

Valor de  $m^3$  = \$ 0.91 (S/. 3450 sucres en 1994)

Independientemente del material y la mano de obra necesaria para la reparación de un tanque este costo encarecerá cualquier intento de reparación del mismo. Antes de iniciar las reparaciones es necesario considerar los problemas que ha atravesado este tanque durante su tiempo de vida útil:

### **Superficie del tanque**

El aislamiento del tanque comenzó a presentar problemas desde el año 1992 producto de la humedad que presentaba en las paredes exteriores.

Las paredes exteriores muestran grietas y provocaban fugas de agua del tanque, estas grietas eran reparadas con un proceso de soldadura utilizando electrodos de acero inoxidable ER308L.

El análisis de estas grietas mostró que el problema básico era producto de un mal cálculo estructural de las paredes lo que provoco

la fatiga del material y el apareamiento de las grietas.

Esto nos indica que antes de pensar en la reparación del tanque debemos recalcular su estructura metálica lo cual utilizaremos los datos que se encuentran en el anexo I y que nos servirán para diseñar un tanque nuevo.

El primer problema con que nos encontramos es que la compañía que diseño originalmente el tanque cerró sus dependencias y no existe memoria de los cálculos, sin embargo a fines del año 1993 en que se realizó una reparación de emergencia para poder continuar trabajando con el sistema se encontró que el espesor de plancha utilizada en los 4 primeros anillos era de 6 mm (  $\frac{1}{4}$  ").

Con este espesor de las paredes del tanque se procederá al calcular los esfuerzos en las paredes y determinar si la estructura estuvo correctamente diseñada. Los resultados se encuentran en el anexo 1.

### **Aislamiento**

Debemos considerar que el sistema estaba concebido para que eventualmente se almacene agua fría y luego se precaliente en un intercambiador de calor antes de ser alimentado a las pailas de

cocimiento, esto prevé que si eventualmente se produjera un daño en el intercambiador de calor del mosto, el tanque puede ser alimentado con agua blanda a temperatura ambiente.

La calidad del aislamiento se vio afectada por el mal diseño de las paredes del tanque y debido a esto se debe realizar un cambio completo del mismo.

Luego de revisar los cálculos proporcionados en el apéndice 1 y procediendo a cotizar los materiales necesarios para la reparación del tanque encontramos que el valor del material necesario para su reparación es de \$ 26.315.79 (S/.100'000.000,00 de sucres en 1994), se estima que la reparación durará unos 45 días y la mano de obra necesaria para esta reparación aproximadamente es de \$ 25.789.47 (S/.98'000.000,00 de sucres en 1994) dentro de este costo se considera la utilización de equipos y contratistas necesarios para efectuar la reparación.

### **Comprar tanque construido en el exterior**

Para realizar esta compra se pensó en utilizar los servicios de una compañía colombiana dedicada a la construcción de tanque de almacenamiento para las compañías del mismo grupo de CCN.

**TABLA 1**  
**COSTOS INVOLUCRADOS EN LA REPARACIÓN**

| <b>Descripción</b>                      | <b>VALOR<br/>[ SUCRES]</b> | <b>VALOR<br/>[DOLARES]</b> |
|-----------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Consumo agua                            | 41'400.000                 | \$ 10,894.74               |
| Consumo energía<br>(promedio histórico) | 65'000'000                 | \$ 17,105.26               |
| Materiales                              | 100'000.000                | \$ 26,315.79               |
| Mano de obra                            | 98'000.000                 | \$ 25,789.47               |
| <b>TOTAL</b>                            | <b>357'600.000</b>         | <b>\$ 94,105.26</b>        |

Los parámetros básicos para efectuar su compra son:

- Capacidad del tanque: 400 m<sup>3</sup>
- Relación entre la altura y el diámetro (h/d) máximo: 2.5
- Temperatura máxima de almacenamiento del agua : 90° C
- Sistema hidráulico: 2 bombas en paralelo
- Sistema para control de nivel
- Sistema para sensar temperaturas
- Sistema de limpieza interior del tanque
- El tanque debe ser puesto en planta en las instalaciones de CCN





**TABLA 2**  
**REPARACIÓN TANQUE EXISTENTE**

| VENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | DESVENTAJAS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>– El tiempo de construcción no altera el proceso actual de las pailas de cocimiento.</li> <li>– Excelente tiempo de entrega debido a la facilidad de encontrar materiales a disponibilidad.</li> <li>– Empresa con amplia experiencia en construcción de tanques.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– En caso de existir algún problema técnico el tiempo de respuesta será mucho mayor.</li> <li>– Elevado costo de flete.<br/>( Marítimo)</li> <li>– Tramites aduaneros complicados.</li> <li>– Transporte del puerto a la planta muy complejo y caro.</li> <li>– Costo de instalación elevada.</li> </ul> |



El costo de instalación del tanque importado asciende a \$ 105.263.16 (S/. 400'000.000,00 de sucres en 1994) este costo es uno de los principales inconvenientes en la realización del proyecto sin embargo, nos servirá para la comparación respectiva de las demás propuestas.

### **Comprar tanque localmente**

Esta alternativa muestra similares inconvenientes que comprar el tanque en el exterior debido al volumen de construcción que tiene el mismo.

Generalmente la compañía que se dedica a la construcción de tanques realiza este trabajo en el mismo sitio de instalación, por tanto la diferencia en comprarlo y contratar la mano de obra es el costo de los materiales y la selección aleatoria de los espesores en las paredes del tanque.

Para evitar esta selección aleatoria de forma que cada contratista piense en el espesor del tanque debemos proporcionar nuestra propia forma de diseñar el tanque y entregar este proyecto para que sea revisado por cada uno de ellos.

Esto adiciona el costo del diseño del tanque al valor del proyecto.

– Las desventajas de la compra del tanque es el poco control que se tiene en los materiales utilizados en la construcción y el costo de cada uno de ellos.

### **Importar materiales y contratar mano de obra local**

Esta alternativa tiene la ventaja de poder desarrollar un proyecto sin ocasionar interrupciones en el proceso y contempla los siguientes aspectos:

1. Diseño de obra civil y cimentación del tanque
2. Diseño de la estructura metálica del tanque
3. Diseño del circuito hidráulico
4. Diseño del sistema eléctrico
5. Selección del aislamiento
6. Desarrollo del layout del sistema

La realización de este proyecto contempla 3 etapas que son: Diseño, Adquisición de materiales y Selección de mano de obra.

El proyecto costará bajo esta alternativa aproximadamente \$ 78.947.37 (S/. 300'000.000,00 de sucres en 1994), y adicionalmente presenta ventajas como el control de los materiales a usar en el

desarrollo del proyecto, la selección de los procesos de construcción adecuados a este tipo de obra.

El desarrollo del proyecto debe satisfacer todos los requerimientos expresados en el primer capítulo y adicionalmente aprovechar la construcción en paralelo con el trabajo del tanque actual.

### **Ventajas**

1. Continuidad del proceso de producción de la malta.
2. Flexibilidad en la programación de la construcción.
3. Bajo costo del proyecto.
4. Interconexión del sistema en 2 horas lo que evita interrupciones del proceso.
5. Diseño flexible.
6. Fiscalización continua de proceso.
7. Selección y control de materiales adecuados a la construcción.
8. Menor tiempo de entrega de la obra.

### **Desventajas**

1. Dependencia de otra compañía para el diseño del tanque.
2. Tiempo de adquisición de materiales (60 días).



## **1.5 Diseño estructural y especificaciones de aislamiento, protección seguridad y electricidad.**

### **Características de construcción**

El tanque por el trabajo que va a brindar en forma continua los 365 días al año no es susceptible de mantenimiento por lo cual su construcción deberá contemplar esto como primer objetivo, en la selección de materiales, la localización la encontraremos más adelante cuando se realice el análisis de suelos y los análisis respectivos para la cimentación.

El tanque estará sometido a continuos cambios térmicos y se deberá considerar su dilatación para su eventual expansión y contracción volumétrica.

El tanque debe poseer un diseño estable para estar sometido a las corrientes de viento que circulan libremente en el área seleccionada, y la evacuación de las lluvias en su techo de modo que no contamine el aislamiento que poseerá en su exterior.

La temperatura máxima de trabajo será de 90 °C. La interconexión con el sistema actual se debe hacer de tal forma que no se produzca

una paralización del proceso y además que funcionen en forma totalmente independiente ambos sistemas, proporcionando flexibilidad al proceso de modo que el momento que entre a trabajar cualquiera de los dos sistemas, no se vea afectada la operación de la planta.

El tanque diseñado debe contemplar un sistema hidráulico para efectuar la limpieza, y que nos ayude al eventual mantenimiento de las paredes metálicas.

El tanque no trabaja a presión por lo cual se debe construir con una tubería de rebose para evitar que exista presión en el interior del tanque, y adicionalmente debe canalizarse esta tubería para evitar que se produzca un derrame en el área.

El tanque debe tener un control de temperatura con termocuplas en tres sitios diferentes a lo largo de toda su altura, y sensores de nivel mínimo para evitar que la bomba trabaje en vacío.

El sistema contempla una compuerta de ingreso (manhold) para labores de limpieza del tanque cuando sea necesario, esta compuerta deberá estar a una altura adecuada para facilitar el ingreso al tanque. Debe poseer una escalera con sus respectivas protecciones para



subir al techo del tanque y realizar mantenimiento en el aislamiento cuando sea necesario.

El sistema tendrá una tubería de drenaje en la parte inferior del tanque que facilite la limpieza y desalojo de sedimentos en el interior.

El sistema debe poseer dos motobombas con arranque independiente para poder efectuar el mantenimiento de una de ellas en cualquier instante sin provocar interrupciones en el proceso.

Todos los procedimientos de soldadura empleados como el material deben cumplir las normas recomendadas más adelante para conseguir un buen acabado de la superficie.

### **Tiempo de ejecución del diseño**

Debido al tiempo que empleó la compañía que efectuó el primer análisis del diseño del tanque (60 días), el contrato debe contemplar un tiempo de desarrollo no mayor a 30 días, y además su presentación debe ser ante todos los ingenieros y directores de planta involucrados en el proceso.



Es decir el proyecto tendrá dos etapas una de desarrollo de 30 días y otra de presentación de 24 días.

### **Tiempo para cotización y compra de materiales**

El proyecto tiene como parte fundamental la adquisición de materiales metálicos, eléctricos, y de aislamiento que en su gran mayoría son importados debido a que no se encuentran en el mercado local.

Las políticas de CCN contemplan dos etapas una la de solicitud de cotizaciones a los diferentes proveedores (mínimo 3), y la selección de la mejor oferta, este proceso debido al volumen y características de los materiales se tomará aproximadamente un mes de trabajo.

Una vez ya seleccionado el proveedor se considera que haciendo todos los trámites respectivos el material se entregará puesto en planta en un lapso no mayor a 90 días es decir 3 meses.

El total por tanto para el proceso de compra de materiales produce un tiempo de inactividad en la construcción de 4 meses.



### **Tiempo para cotización y selección de contratistas**

Debido al volumen del proyecto y a las características de la construcción se debe seleccionar a una compañía con la suficiente infraestructura que sea responsable de todo el proyecto es decir de la obra civil, construcción mecánica, hidráulica y eléctrica.

Se ha considerado que el proceso de invitación a los contratistas así como la presentación del proyecto y la selección de la mejor oferta tomarían un tiempo aproximadamente de 2 meses.

Esta invitación y selección de los contratistas se realizará simultáneamente con la adquisición de materiales de forma que la construcción del tanque se comience a realizar a fines del mes de Diciembre o a más tardar la primera semana de Enero.

### **Tiempo de ejecución de la obra**

No debe ser mayor de tres meses (90 días calendario ) de manera que se consiga que el sistema arranque y se pruebe en el mes de Abril, y se interconecte con el nuevo sistema en Mayo.

### **Dimensionamiento del tanque**

Para efectuar el dimensionamiento del tanque se debe considerar la capacidad que CCN necesita en almacenamiento de agua caliente, y

esta es tal como se ha dicho en los capítulos anteriores de 400 m<sup>3</sup>.

En el lugar seleccionado, el espacio disponible nos crea limitaciones porque poseemos en terreno alrededor de 15.60 m. de ancho y 50 m. de largo.

La construcción debe considerar que eventualmente ingresan plataformas o grúas para retirar materiales y efectuar reparaciones en las demás instalaciones de la planta, el espacio libre para poder maniobrar perfectamente es de 5m., la construcción debe estar separada de la vereda 1m., el espacio disponible entonces es de 9.60m. como máximo.

Esto quiere decir que las dimensiones deben ser de 9.60 m incluida la cimentación del tanque.

El terreno no esta a nivel por lo cual habrá que considerar la preparación del terreno antes de iniciar cualquier construcción.

El tercer punto que consideramos en la selección de las dimensiones del tanque es el de mantener una relación entre la altura y el diámetro inferior a 1.5 ( $h/d < 1.5$ ).



Adicionalmente intentaremos escoger el diámetro de manera que se optimice la utilización de las planchas que formarán el cilindro del tanque, por lo cual la capacidad se ajustará al diseño utilizando una cantidad entera de planchas, para lograrlo realizaremos una tabla de los volúmenes en función de la cantidad de planchas utilizadas.

**TABLA 3**

**Especificaciones de material y unidades**

|                                  |          |                                                                                |                        |
|----------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Dimensiones de la plancha</b> | <b>=</b> | <b>2.44 x 1.22</b>                                                             | <b>[m]</b>             |
| <b>Diámetro</b>                  | <b>=</b> | <b>Perímetro/(PHI)</b>                                                         | <b>[m]</b>             |
| <b>Perímetro</b>                 | <b>=</b> | <b>2.44 x # de planchas</b>                                                    | <b>[m]</b>             |
| <b>Altura</b>                    | <b>=</b> | <b>1.22 x # de planchas</b>                                                    | <b>[m<sup>2</sup>]</b> |
| <b>Volumen</b>                   | <b>=</b> | <b><math>\frac{1}{4} \times (PHI) \times (Diámetro)^2 \times Altura</math></b> | <b>[m<sup>3</sup>]</b> |

En la tabla 3 se muestran los resultados, la primera fila es la cantidad de planchas utilizadas para la formación de cada anillo y la primera columna nos dice la cantidad de anillos necesarios, de esta forma podemos saber el volumen contenido por este tipo de construcción.

Como se muestra en la tabla 3 existen diversas soluciones las mismas que las agrupamos en la tabla IV, y seleccionamos aquella que cumpla con los requisitos de relación máxima  $h/d < 1.5$ , que utilice

menor cantidad de material y que no sobrepase las dimensiones máximas disponibles de 9.60 m, consideraremos para todos que la cimentación ocupará 0.40 m adicionales al diámetro del tanque.





**TABLA 4**  
**VOLUMEN EN TANQUES CILÍNDRICOS**

|            | #         | 6                         | 7                         | 8                         | 9                         | 10                        | 11                        | 12                        |
|------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|            | Planchas  |                           |                           |                           |                           |                           |                           |                           |
|            | DIAM. (m) | 4.66                      | 5.43                      | 6.21                      | 6.99                      | 7.77                      | 8.54                      | 9.32                      |
| # Planchas | Altura    | Vol.<br>(m <sup>3</sup> ) | Vol.<br>(m <sup>3</sup> ) | Vol.<br>(m <sup>3</sup> ) | Vol.<br>(m <sup>3</sup> ) | Vol.<br>(m <sup>3</sup> ) | Vol.<br>(m <sup>3</sup> ) | Vol.<br>(m <sup>3</sup> ) |
| 1          | 1.22      | 20.81                     | 28.32                     | 36.99                     | 46.82                     | 57.80                     | 69.94                     | 83.23                     |
| 2          | 2.44      | 41.62                     | 56.64                     | 73.98                     | 93.64                     | 115.60                    | 139.88                    | 166.46                    |
| 3          | 3.66      | 62.42                     | 84.97                     | 110.98                    | 140.45                    | 173.40                    | 209.82                    | 249.70                    |
| 4          | 4.88      | 83.23                     | 113.29                    | 147.97                    | 187.27                    | 231.20                    | 279.75                    | 332.93                    |
| 5          | 6.10      | 104.04                    | 141.61                    | 184.96                    | 234.09                    | 289.00                    | 349.69                    | 416.16                    |
| 6          | 7.32      | 124.85                    | 169.93                    | 221.95                    | 280.91                    | 346.80                    | 419.63                    | 499.39                    |
| 7          | 8.54      | 145.66                    | 198.25                    | 258.95                    | 327.73                    | 404.60                    | 489.57                    | 582.63                    |
| 8          | 9.76      | 166.46                    | 226.58                    | 295.94                    | 374.55                    | 462.40                    | 559.51                    | 665.86                    |
| 9          | 10.98     | 187.27                    | 254.90                    | 332.93                    | 421.36                    | 520.20                    | 629.45                    | 749.09                    |
| 10         | 12.2      | 208.08                    | 283.22                    | 369.92                    | 468.18                    | 578.00                    | 699.38                    | 832.32                    |
| 11         | 13.42     | 228.89                    | 311.54                    | 406.91                    | 515.00                    | 635.80                    | 769.32                    | 915.56                    |
| 12         | 14.64     | 249.70                    | 339.87                    | 443.91                    | 561.82                    | 693.60                    | 839.26                    | 998.79                    |
| 13         | 15.86     | 270.51                    | 368.19                    | 480.90                    | 608.64                    | 751.40                    | 909.20                    | 1082.02                   |
| 14         | 17.08     | 291.31                    | 396.51                    | 517.89                    | 655.46                    | 809.20                    | 979.14                    | 1165.25                   |
| 15         | 18.3      | 312.12                    | 424.83                    | 554.88                    | 702.27                    | 867.00                    | 1049.08                   | 1248.49                   |
| 16         | 19.52     | 332.93                    | 453.15                    | 591.87                    | 749.09                    | 924.80                    | 1119.01                   | 1331.72                   |
| 17         | 20.74     | 353.74                    | 481.48                    | 628.87                    | 795.91                    | 982.60                    | 1188.95                   | 1414.95                   |
| 18         | 21.96     | 374.55                    | 509.80                    | 665.86                    | 842.73                    | 1040.41                   | 1258.89                   | 1498.18                   |
| 19         | 23.18     | 395.35                    | 538.12                    | 702.85                    | 889.55                    | 1098.21                   | 1328.83                   | 1581.42                   |
| 20         | 24.4      | 416.16                    | 566.44                    | 739.84                    | 936.36                    | 1156.01                   | 1398.77                   | 1664.65                   |

**TABLA 5**  
**POSIBLES SOLUCIONES**

| Ítem     | Posición      | Volumen       | h/d         | Panchas utilizadas | Selección | Dimensiones |
|----------|---------------|---------------|-------------|--------------------|-----------|-------------|
| 1        | (6,20)        | 416.16        | 5.24        | 120                | no        | si          |
| 2        | (7,15)        | 424.83        | 3.37        | 105                | no        | si          |
| 3        | (8,11)        | 406.91        | 2.16        | 88                 | no        | si          |
| 4        | (9,9)         | 421.36        | 1.57        | 81                 | no        | si          |
| <b>5</b> | <b>(10,7)</b> | <b>404.66</b> | <b>1.10</b> | <b>70</b>          | <b>si</b> | <b>si</b>   |
| <b>6</b> | <b>(11,6)</b> | <b>419.63</b> | <b>0.86</b> | <b>66</b>          | <b>si</b> | <b>si</b>   |
| 7        | (12,5)        | 416.60        | 0.65        | 60                 | si        | no          |

El primer análisis muestra 2 posibles selecciones que son la # 5 y 6 debido a que a menor cantidad de planchas, menor es el costo del tanque, la selección se limita entonces al ítem # 6.

El tanque posee entonces las siguientes características:

Díámetro: 8.54 m.

Altura: 7.32 m.

Capacidad a rebose: 419.63 m<sup>3</sup>

El techo se lo realizará de manera que sea auto soportado y el ángulo que utilizaremos será de 20°.

### **Análisis estructural de la cimentación**

El terreno escogido para la cimentación del tanque, es un suelo de muy buena característica portante, por ello se ha decidido utilizar este mismo material en el relleno, con la única particularidad de mejorar

sus propiedades, compactándolo, para evitar algún tipo de asentamiento.

El esfuerzo al que va a estar sometido el suelo en la condición de carga es de  $8 \text{ T/m}^2$ . que es menor a las  $50 \text{ T/m}^2$ . que indica el estudio de suelos elaborado por Suelos y Concreto Cía. Ltda.

La viga de hormigón armado ha sido diseñada considerando la carga repartida que va a recibir de  $8 \text{ T/m}^2$ . diseñada a esfuerzos de torsión y corte, además se ha analizado en función de las normas de AISC y se ha considerado las resistencias del acero de  $f_y = 4200 \text{ Kg./cm}^2$ . para varillas con diámetro mayores a 10 mm., y  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ . para varillas de 8 mm. de diámetro; la resistencia de diseño para el hormigón es de  $320 \text{ Kg./cm}^2$ .

El lecho de arena ubicado en la zona central de la cimentación, tiene como objeto lograr una mejor disipación de la carga del tanque al suelo, ya que el proceso constructivo le da la característica de confinamiento de la arena, cosa que se logra para un mejor comportamiento del suelo.



**Pruebas de laboratorio.-** Se realizarán las pruebas de Proctor Modificado, para comprobar que la compactación sea la requerida en las especificaciones.

Además se tomarán muestras del hormigón empleado para comprobar su resistencia a los 7, 14, 21 y 28 días de hormigonado.

Este diseño de la cimentación del tanque fue realizado por el Ing. Civil Gabriel Pino con registro profesional 01-09-2390.

### **Análisis estructural del tanque**

Para el análisis estructural del tanque nos ayudaremos con las siguientes fórmulas deducidas a partir del análisis realizado para compuertas sumergidas y la desarrollaremos para nuestro caso particular considerando la fuerza distribuida que ejerce la columna de agua del tanque en cada anillo. (Referencia # 1).

La fórmula se detalla a continuación:

$$\vec{F_R} = \int_A \vec{p} dA \quad (3.4.1)$$

Utilizándolo para nuestro caso particular considerando el tanque lleno y cada anillo como si se tratara de una compuerta el resultado es el siguiente:

$$1. \quad Fr = ((D \times g \times \Phi \times B)/2) \times (y_2^2 - y_1^2) \quad (3.4.2)$$

Donde :

Fr = La fuerza radial ejercida por el líquido contra las paredes del cilindro

D = La densidad del agua a 70 grados Centígrados (980 Kg./m<sup>3</sup>)

g = La aceleración de la gravedad ( 9.81 m/s<sup>2</sup>)

Phi = la constante 3.14159

B= Diámetro del tanque

y<sub>2</sub> = La altura final medida desde el nivel superior del agua

y<sub>1</sub> = La altura inicial medida desde el nivel superior del agua

Los valores de y<sub>2</sub> y y<sub>1</sub> nos da la posición correspondiente de cada uno de los anillos medidos en función del nivel superior del agua.

Los esfuerzos tangenciales son medidos con la fórmula de esfuerzo en cilindros de pared delgada que se ajusta perfectamente dada la relación entre el diámetro y el espesor de las paredes del cilindro.

$$\text{Esfuerzo} = Fr / (2 \times e \times L)$$

Donde : e = espesor de la pared del cilindro

L= Longitud del anillo del cilindro analizado

medida desde el nivel superior del agua.



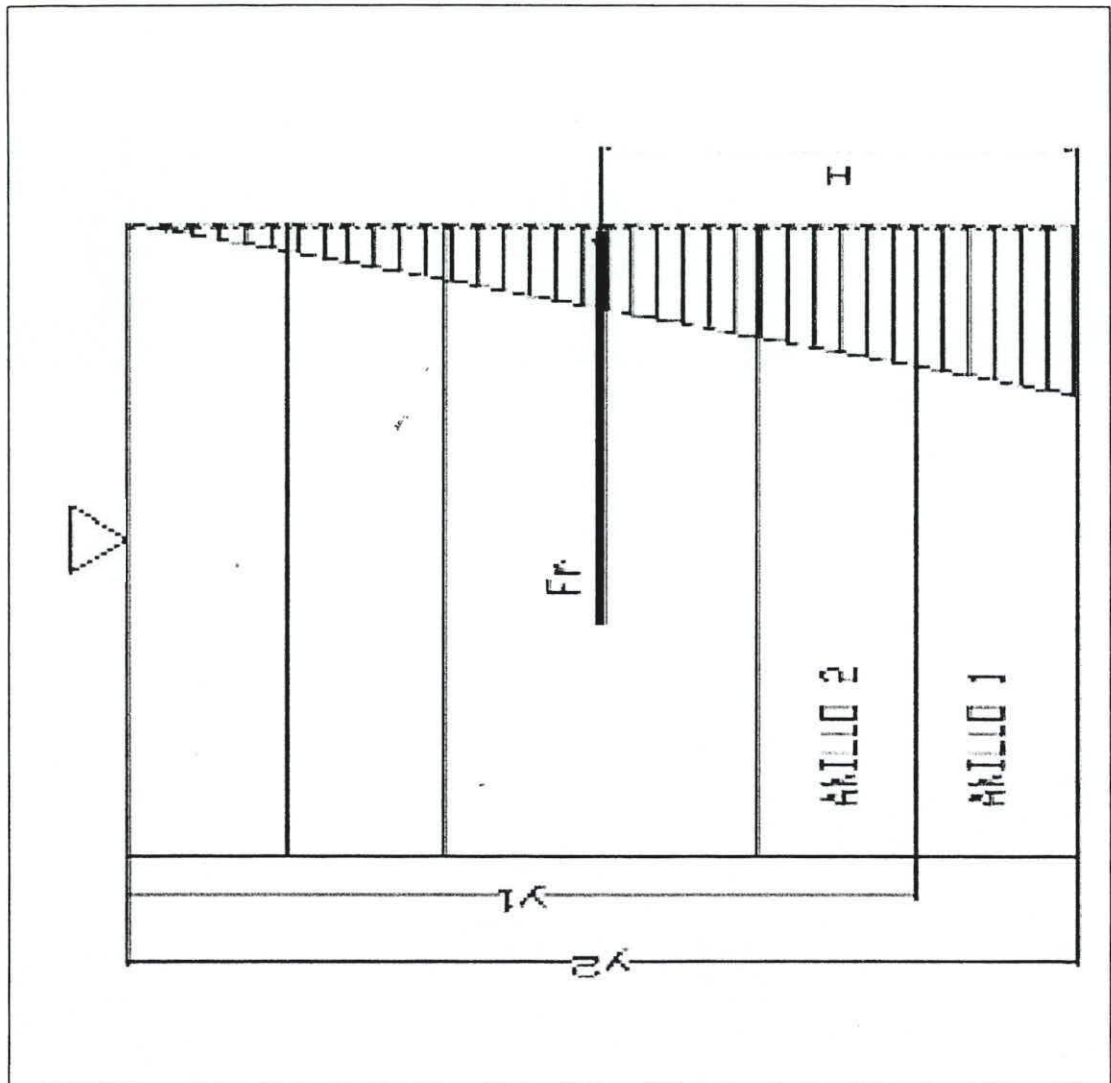


FIGURA 1.3 FUERZA EJERCIDA SOBRE LAS PAREDES DEL TANQUE

$$y = \left[ \frac{1}{F_R} \int_{y_1}^{y_2} y \, p \, dA \right] \quad y = (1/3) \cdot \rho \cdot g \cdot D \cdot (\text{PHI}) \cdot H^3 \quad (3.4.3.)$$

En una hoja de cálculo en la cual se introduce todos los datos de las fórmulas expresadas anteriormente, y utilizar la teoría de la energía de la distorsión y con un coeficiente de seguridad ( $N_{enr} > 2$ ), seleccionaremos el espesor adecuado de las planchas que compondrán los anillos del cilindro de la estructura, ( ver Tabla V ).

Teoría de la energía de la Distorsión

$$Esf = \text{SQR}((\text{Esfuerzo normal})^2 + (3) \cdot (\text{Esfuerzo tangencial})^2) \quad (3.4.4.)$$

Donde : Esf = El esfuerzo resultante

SQR = Raíz Cuadrada

El factor de seguridad se calcula en función de la resistencia a la fluencia considerando que el material que vamos a utilizar será Acero AISI 304L, el cual posee una resistencia a la fluencia de 228 Mpa (Ref. Manual del Ingeniero Mecánico de Marks pág 6-40).

$$n_1 = S_y / Esf \quad (3.4.5.)$$

Donde  $n_1$  = factor de seguridad que aparece en la tabla como N ENR

Luego de estos resultados procedemos a realizar los planos de la estructura metálica del tanque.

El punto que ocurre el máximo esfuerzo lo constituye la unión entre la segunda y la tercera plancha, esta unión llevará un refuerzo de platina de 2"x1/4 ", todos los planos de construcción del tanque se muestran a continuación en las próximas páginas.

### **Sistema hidráulico**

Para la instalación hidráulica debemos tomar dos aspectos importantes; el primero el diámetro de la tubería de ingreso, y la distancia existente entre la bomba de agua caliente del intercambiador de calor del mosto y el tanque nuevo.

La bomba de salida del intercambiador de mosto actualmente está diseñada para abastecer de agua al tanque actual, como nuestra instalación hidráulica ahora va a ser diferente compararemos las pérdidas totales que existen debido a la longitud de la tubería, accesorios y el cabezal que debe vencer en el tanque.



TABLA 6

## CÁLCULO DE LA FUERZA RADIAL SOPORTADO POR ANILLO

|         | Altura |      | Fuerza radial Pared | Altura de aplicación | Fuerza radial |
|---------|--------|------|---------------------|----------------------|---------------|
| coefic. | Y2     | Y1   | FR                  | ALT                  | FONDO         |
|         | m      | m    | Nt                  | m                    | Nt            |
| 128965  | 7,32   | 0    | 6910,27             | 4,88                 | 12714,20      |
| 128965  | 7,32   | 6,1  | 2111,47             | 6,73                 |               |
| 128965  | 6,10   | 4,88 | 1727,57             | 5,51                 |               |
| 128965  | 4,88   | 3,66 | 1343,66             | 4,30                 |               |
| 128965  | 3,66   | 2,44 | 959,76              | 3,09                 |               |
| 128965  | 2,44   | 1,22 | 575,86              | 1,90                 |               |
| 128965  | 1,22   | 0    | 191,95              | 0,81                 |               |

TABLA 7

## CALCULO DE COEFICIENTES DE SEGURIDAD PARA VARIOS ESPESORES

| Item    | Selección | Esfuerzos radiales y tangenciales |           |            | Resist. Fluencia       | Coeficientes de seguridad |         |
|---------|-----------|-----------------------------------|-----------|------------|------------------------|---------------------------|---------|
|         | Espesores | Esf. tang.                        | Esf. long | Esf. comb. | Sy(Nt/m <sup>2</sup> ) | N ENR.                    | N. NORM |
| Fondo   | 0,008     | 59001,6                           | 59292,4   | 83646,7    | 228000                 | 2,73                      | 3,85    |
|         | 0,006     | 78668,8                           | 79038,0   | 111515,8   | 228000                 | 2,04                      | 2,88    |
|         | 0,005     | 94402,6                           | 94834,4   | 133811,1   |                        | 1,70                      | 2,40    |
| Primero | 0,010     | 86535,7                           | 47445,0   | 98688,7    |                        | 2,31                      | 2,63    |
|         | 0,009     | 96150,8                           | 52710,5   | 109651,1   |                        | 2,08                      | 2,37    |
|         | 0,008     | 108169,6                          | 59292,4   | 123354,2   |                        | 1,85                      | 2,11    |
|         | 0,006     | 144226,2                          | 79038,0   | 164463,3   |                        | 1,39                      | 1,58    |
| Segundo | 0,008     | 88502,4                           | 59292,4   | 106528,2   |                        | 2,14                      | 2,58    |
|         | 0,006     | 118003,2                          | 79038,0   | 142027,3   |                        | 1,61                      | 1,93    |
|         | 0,005     | 141603,9                          | 94834,4   | 170426,6   |                        | 1,34                      | 1,61    |
| Tercero | 0,008     | 68835,2                           | 59292,4   | 90850,8    |                        | 2,51                      | 3,31    |
|         | 0,006     | 91780,3                           | 79037,95  | 121122,34  |                        | 1,88                      | 2,48    |
|         | 0,005     | 110136,4                          | 94834,4   | 145339,6   |                        | 1,57                      | 2,07    |
| Cuarto  | 0,006     | 65557,4                           | 79038,0   | 102687,7   |                        | 2,22                      | 3,48    |
|         | 0,005     | 78668,8                           | 94834,4   | 123216,6   |                        | 1,85                      | 2,89    |
|         | 0,003     | 131114,7                          | 158020,4  | 205332,7   |                        | 1,11                      | 1,74    |
| Quinto  | 0,005     | 47201,3                           | 94834,4   | 105931,7   |                        | 2,15                      | 4,83    |
|         | 0,003     | 78668,8                           | 158020,4  | 176510,7   |                        | 1,20                      | 2,90    |
| Sexto   | 0,005     | 15733,8                           | 94834,4   | 76323,9    |                        | 2,99                      | 14,49   |
|         | 0,003     | 26222,9                           | 158020,4  | 79154,5    |                        | 2,88                      | 8,69    |

No tomamos las pérdidas de presión debido a que para ambos sistemas necesitamos que sea la misma, de modo que la comparación se la detalla a continuación con la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$\text{Pérdidas mayores: } f \times (L/D) \times V_{\text{prom}}^2 / (2 \times g) \text{ [m]} \quad (3.5.1)$$

Donde:

$f$  = Factor de fricción

$L$  = Longitud

$D$  = Diámetro

$V_{\text{prom}}$  = Velocidad promedio

$g$  = Aceleración de la gravedad [ 9.81 m<sup>2</sup>/seg. ]

Las pérdidas debido a los accesorios las determinaremos de acuerdo a la siguiente formula que detallamos a continuación.

$$\text{Pérdidas menores} = f \times (Le/D) \times V_{\text{prom}}^2 / (2 \times g) \quad \text{[m]} \quad (3.5.2)$$

$Le/d$  = Longitud equivalente

Los datos correspondientes a la instalación se detallan en la tabla VI, y los resultados de los cálculos se encuentran en la tabla 7.

Debemos prever una instalación rápida para evitar pérdidas en el



proceso y que nos permita trabajar independientemente del sistema actual.

Las tuberías actuales no poseen aislamiento y la razón es que la temperatura a la cual llegue al agua es superior a la que ellos necesitan ( $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), por tanto necesita disipar calor a lo largo de la tubería.

Esta instalación hidráulica tendrá dos características la primera es el ingreso de agua a 1m de la base y la segunda que vamos a prevenir la limpieza del tanque.

**TABLA 8**

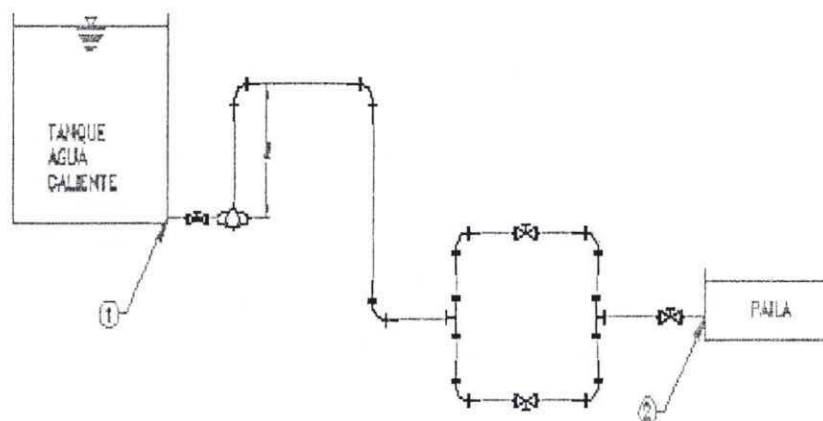
**ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA HIDRÁULICO**

| Descripción          | Actual | Nueva | Longitud equivalente |         |
|----------------------|--------|-------|----------------------|---------|
|                      |        |       | Actual               | Nueva   |
|                      |        |       | [m]                  | [m]     |
| Longitud [m]         | 34     | 43    | 272.000              | 344.000 |
| Diámetro[m]          | 0.125  | 0.125 |                      |         |
| Codos a $90^{\circ}$ | 4      | 4     | 120.000              | 120.000 |
| Vál. compuerta       | 1      | 1     | 13.000               | 13.000  |
| Vál. check           | 1      | 1     | 50.000               | 50.000  |
| [Le/D] Total         |        |       | 455.000              | 527.000 |
| Altura [m]           | 19     | 7.32  | 19.000               | 7.320   |



**TABLA 9**  
**CÁLCULO COMPARATIVO DE LAS PÉRDIDAS DEL CABEZAL**

| Descripción          | Actual   | Nueva    |
|----------------------|----------|----------|
| Caudal               | 0.013    | 0.013    |
| Área                 | 0.012    | 0.012    |
| Velocidad            | 1.028    | 1.028    |
| Viscosidad           | 3.00E-04 | 3.00E-04 |
| Reynolds             | 4.28E+05 | 4.28E+05 |
| e/d                  | 3.50E-04 | 3.50E-04 |
| Factor de fricción   | 0.030    | 0.030    |
| Pérdidas Totales [m] | 0.741    | 0.858    |
| Altura[m]            | 20.340   | 7.320    |
| Cabezal[m]           | 21.081   | 8.178    |



**FIGURA 1.4 DIAGRAMA HIDRÁULICO ESQUEMÁTICO**

El diagrama hidráulico del sistema se muestra en los planos adjuntos, el sistema de bombeo lo posee la compañía debido a que se tenía un equipo de repuesto para el sistema anterior.

Para el cálculo del sistema de bombeo utilizaremos la ecuación de la primera ley de la termodinámica para un volumen de control involucrado en un sistema de fluidos.

$$\dot{Q} + \dot{W}_{\text{ej}} = \int_{\text{cs}} \left( u + \frac{V^2}{2} + gz + \frac{P}{\rho} \right) \rho V^* dA$$

Consideraciones:

1. El único trabajo que existe es el realizado por la bomba
2. Flujo estable
3. Flujo uniforme en c/sección,  $x = 1.0$
4. Flujo incomprensible
5.  $\dot{Q} = 0$



De donde:

$$\dot{W} = g \{ m [ P_2/\rho g + V_2/2g + z_2 ] - [ P_1/\rho g + V_1/2g + z_1 ] + m \cdot h_l \} \quad [\text{HP}]$$

El caudal de la bomba consideramos que debe ser el necesario para llenar los 120 m<sup>3</sup> en 15 minutos como máximo esto quiere decir que el caudal es de 0.07 m<sup>3</sup>/seg.

$$h_{l_T} = K_{en} + V_1^2/2 + f^* L_{e \text{ válvula}}/D V_1^2/2 + f^* L_1/d V_1^2/2 + 4 f^* L_{\text{codo}}/D V_2^2/2 \\ + 2 f^* L_T/D V_2^2/2 + 4 f^* L_{e \text{ válvula}}/D V_2^2/2 + K_{salida} V_2^2/2 + f^* L_2/d + f^* V_2^2/2 \quad [ \\ m^2/s^2]$$

Si dividimos  $h_{l_T} / g$  las unidades son compatibles en [m]

**TABLA 9**  
**LONGITUDES EQUIVALENTES UTILIZADAS**

| Accesorios           | Le/D |
|----------------------|------|
| T                    | 60   |
| Codo                 | 30   |
| Válvula de compuerta | 13   |
| Accesorios           | K    |
| Entrada              | 0.5  |
| Salida               | 1.0  |
|                      |      |

Factores de conversión:

$$1\text{HP} = 745.6999 \text{ W.}$$

$$1\text{W} = 1 \text{ Nt}\cdot\text{m/s}$$



### Especificaciones de soldadura

Debemos considerar tres tipos diferentes de uniones soldadas, las de la pared, las del piso y las del techo.

TABLA 10

## ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA HIDRÁULICO

| Descripción  | Línea de 8" | Línea de 6" | Longitud equivalente |        |
|--------------|-------------|-------------|----------------------|--------|
|              | Tramo 1     | Tramo 2     | Actual               | Nueva  |
|              |             |             | [m]                  | [m]    |
| Longitud [m] | 1           | 30          | 5.00                 | 200.00 |
| Diámetro[m]  | 0.200       | 0.150       |                      |        |
| Codos a 90°  | 1           | 6           | 30.00                | 180.00 |
| Vál.         | 1           | 5           | 13.00                | 65.00  |
| compuerta    |             |             |                      |        |
| T            | 0           | 2           | 0.00                 | 120.00 |
| K1           | 1           | 0           | 0.50                 | 0.00   |
| K2           | 0           | 1           | 0.00                 | 1.00   |
| [Le/D] Total |             |             | 48.00                | 445.00 |

TABLA 11

## CÁLCULO DE POTENCIA BOMBA PARA ALIMENTAR LAS PAILAS

| Descripción           | Línea de 8" | Línea de 6" |
|-----------------------|-------------|-------------|
| Caudal                | 0.07        | 0.07        |
| Área                  | 0.03        | 0.02        |
| Velocidad             | 2.12        | 3.77        |
| Viscosidad            | 3.00E-04    | 3.00E-04    |
| Reynolds              | 1.41E+06    | 1.89E+06    |
| e/d                   | 7.50E-05    | 1.00E-03    |
| Factor de fricción    | 2.15E-02    | 2.10E-02    |
| Pérdidas Totales [m]  | 0.24        | 6.78        |
| Altura[m]             | 0.00        | 2.10        |
| Caída de presión [m]  |             | 2.20        |
| Velocidades [m]       |             | 0.50        |
| Flujo de masa [Kg./s] |             | 65.33       |
| Potencia bomba [HP]   |             | 14.51       |





En todos los casos consideraremos uniones a tope para conservar la estética interior y exterior del tanque.

Como se expresó en el análisis estructural del tanque el material a utilizar es acero inoxidable AISI 304L, para efectos de controlar la precipitación de carburos cuando se suelda acero inoxidable AISI 304L el proceso de soldadura a utilizar es el MIG (Metal inner gas) que posee temperaturas inferiores en el proceso y evita la precipitación de carburos dentro del rango de temperatura (538 - 649°C ).

Para efectuar la soldadura a tope se prepara la superficie de unión de las planchas, el bisel en V forma un ángulo de 60 grados y la separación que se considera para la penetración es de  $\frac{1}{16}$ " entre planchas.

Para los demás ángulos y platinas que se utilizarán como soporte es necesario realizar cordones de  $\frac{1}{4}$ ".

Las planchas del techo similarmente se soldarán a tope con biseles en V a 60 grados y una separación de  $\frac{1}{32}$ " para la penetración. El tipo de electrodo para soldar acero inoxidable AISI 304L con proceso MIG



es el ER 308L (AWS 308L) que puede ser encontrado en alambres de diámetro = 0.8 mm hasta diámetro = 0.9 mm.

El tanque posee planchas de 10, 8, 6, 4, y 3 mm de espesor, el alambre que posee mayor diámetro será el que nos proporcione mayor velocidad al proceso.

Los biseles para su preparación no pueden realizarse con discos de esmeril de acero convencional pues producen contaminación en el acero inoxidable y por tanto corrosión en las uniones luego de su preparación.

Al igual que las planchas que conforman los anillos, fondo, y techo las uniones soldadas están sometidas a los mismos esfuerzos, y si recordamos la fórmula para el cálculo de esfuerzos en uniones soldadas a tope encontramos:

$$\text{Esfuerzo} = F_{\text{tangencial}} / (\text{espesor} * \text{longitud})$$

Siendo el espesor determinado por las planchas y la longitud equivale a la circunferencia del cilindro, las fórmulas utilizadas en el ítem 3.4 son las mismas, sin embargo es necesario comparar la resistencia a

la fluencia que posee la soldadura para lo cual nos ayudaremos con el manual de AGA que proporciona la resistencia a la fluencia de la soldadura que ellos comercializan y es de 317 Mpa para electrodos ER 308L, si recordamos que el factor de seguridad lo obtuvimos a partir de una resistencia a la fluencia de 228 Mpa entonces la selección de la soldadura como su unión cumplen las especificaciones que calculamos en el inciso 3.4.

El proceso de soldadura a utilizar es MIG, la soldadura es ER 308L y el diámetro de el alambre es de 0.9 mm.

### **Especificaciones de Aislamiento**

Es necesario tomar en cuenta las condiciones básicas que necesita poseer el sistema para cumplir el tipo de trabajo que va a realizar, las mismas que detallamos a continuación, al igual que las condiciones que debe poseer el aislamiento:

- a) Temperatura del agua en el interior del tanque: 70 ° C
- b) Temperatura en el exterior del tanque: 27 ° C
- c) Bajo peso para facilitar el manejo e instalación.
- d) Exentos de cloruros para evitar corrosión de las partes metálicas.
- e) Posea integridad estructural (dimensionalmente estable)

- f) No posea características combustibles.
- g) De origen inorgánico para evitar la proliferación de hongos y bacterias.

El aislamiento seleccionado en base a estas características lo detallamos a continuación:

Conductividad térmica promedio: 0.0346 Watt/m ° C a 24 ° C.

0.24 BTU/hr\*pie<sup>2</sup>\*°F/pulg a 75 ° F

Temperatura máxima de utilización: 510 ° C. (950 ° F).

Dimensiones: L= 3.05 m (120") W= 1.22 m (48")

Peso: 1.22 Kg./m<sup>2</sup>.pulg. (2.7 lb./ m<sup>2</sup>.pulg.)

Espesor = 1.5" a 4" en incrementos de ½"

Todas las especificaciones necesarias están adjuntas en el ANEXO 2.

El fabricante Fiberglass Colombia s.a. que distribuye este tipo de aislamiento posee un programa que proporciona rápidamente el espesor de aislamiento adecuado para la utilización en superficies planas, tuberías y tanques cilíndricos.

El programa se basa en la transferencia de calor a través de un

cilindro y en continuas iteraciones hasta obtener las menores pérdidas de calor a través de las paredes.

Donde la fórmula es:  $Q = U \cdot A_0 \cdot (T_{\text{caliente}} - T_{\text{fría}})$

Donde U está dado por la conductividad térmica de el aislamiento, la emisividad de la superficie a aislar.

La utilización del programa la detallamos a continuación así como los diferentes menús que se presentan.

El nombre del programa es ECO 94, y para ejecutarlo se digita ECO y enseguida aparece el siguiente menú:

|   | MENÚ No 1                                                      |
|---|----------------------------------------------------------------|
|   |                                                                |
| A | TUBERÍAS Y TANQUES CILÍNDRICOS SIN EVALUACIÓN DE ENERGÍA       |
| B | SUPERFICIES PLANAS SIN EVALUACIÓN DE ENERGÍA                   |
| C | ENTRAR AL MENÚ 2                                               |
| D | ENTRAR AL MENÚ 3                                               |
| E | SALIR AL DOS                                                   |
|   |                                                                |
|   | ***** OPRIMA LA TECLA CORRESPONDIENTE AL PROGRAMA DESEADO***** |

|                                                                 |                                                                |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| DISPONIBLE EN EL MENÚ DOS<br>Cálculos con evaluación de Energía | DISPONIBLE EN EL MENÚ TRES<br>Tablas de Espesor y sensibilidad |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|

Si ejecutamos el programa para tuberías y tanques cilíndricos sin evaluación de energía encontraremos el espesor de aislamiento a



utilizar, la temperatura superficial con aislamiento y las pérdidas de calor con y sin aislamiento.

Sin embargo si utilizamos el MENÚ No 2 encontraremos además de estos resultados también el costo de la energía disipada en miles de sucres por año de el tanque sin aislamiento y con aislamiento, además el ahorro de energía provocado por la utilización del aislamiento utilizando el precio actual del combustible que para efectos de análisis será gasolina.

Los datos necesarios para ejecutar el programa son los siguientes:

Temperatura Ambiente: 27 °C (86.6 °F)

Temperatura de operación : 70 °C ( 168 °F)

Emisividad del acero inoxidable: 0.672 (Marks pág 4-73)

Poder calorífico de la gasolina : 3496 BTU/galón (Marks pág 7-14)

Eficiencia de conversión: 90%

Altura del tanque : 7.32 m

Tiempo de operación al año : 5000 horas

Utilizando el menú 2 encontramos los siguientes resultados:

## PROGRAMA ECO: CAÑUELAS AMPLIO RANGO

\*\*\*\*\*

DISTRIBUIDOR: JUAN VÁSCONES V.

EMPRESA : MICAERINICORP S.A.

SECCIÓN : DISEÑO

## VARIABLES DE ENTRADA PARA CALCULO DE ESPESOR

|      |                                                    |   |        |
|------|----------------------------------------------------|---|--------|
| 1 -  | TEMPERATURA AMBIENTE ( GRADOS F )                  | : | 86.6   |
| 2 -  | TEMPERATURA OPERACIÓN ( GRADOS F )                 | : | 168    |
| 3 -  | EMISIVIDAD DE LA SUPERFICIE AISLADA                | : | .672   |
| 4 -  | DIÁMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA ( PULG. )           | : | 336.22 |
| 5 -  | RADIO REAL TUBERÍA DESNUDA ( PULG. )               | : | 168.11 |
| 6 -  | VELOCIDAD DEL VIENTO ( PIES/MIN )                  | : | 3554   |
| 7 -  | PODER CALORÍFICO DEL COMBUSTIBLE ( BTU/GALÓN )     | : | 3496   |
| 8 -  | EFICIENCIA DE CONVERSION ( % )                     | : | 90     |
| 9 -  | PRECIO ACTUAL DEL COMBUSTIBLE EN PLANTA ( \$/GAL ) | : | 2450   |
| 10 - | TIEMPO DE OPERACIÓN, ( HORAS/AÑO )                 | : | 5000   |
| 11 - | LONGITUD TUBERÍA A AISLAR, ( METROS )              | : | 7.32   |

## EL CÁLCULO ARROJA LOS SIGUIENTES RESULTADOS :

|                                                          |   |         |
|----------------------------------------------------------|---|---------|
| >>>>>>>ESPESOR RECOMENDADO DE AISLAMIENTO ( PULG. )      | : | 2.5 <<< |
| EFICIENCIA DE AISLAMIENTO ( % )                          | : | 98.8    |
| TEMPERATURA SUPERFICIAL CON AISLAMIENTO ( GRADOS F )     | : | 88.8    |
| PERDIDAS DE CALOR CON AISLAMIENTO, ( BTU/Hr-M2 )         | : | 78.7    |
| PERDIDAS DE CALOR CON AISLAMIENTO, ( BTU/Hr-M2 )         | : | 6763.7  |
| COSTO ENERGÍA DISIPADA TUBERÍA DESNUDA, ( miles \$/AÑO ) | : | 5688771 |
| COSTO ENERGÍA DISIPADA TUBERÍA AISLADA, ( miles \$/AÑO ) | : | 67176.9 |
| AHORRO POR CONCEPTO DE AISLAMIENTO, ( miles \$/AÑO )     | : | 5621594 |

\*\*\*\*\*



También utilizaremos el MENÚ No 3 para observar el comportamiento con varios espesores de aislamiento las pérdidas de calor de la superficie aislada y la eficiencia del aislamiento.

En el menú número 3 utilizaremos la selección A que indica la Tabla para una tubería con diferentes temperaturas, y lo describimos a continuación:

| MENÚ No 3                                                      |                                                    |
|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
|                                                                |                                                    |
| A                                                              | TABLA PARA UNA TUBERÍA CON DIFERENTES TEMPERATURAS |
| B                                                              | TABLA PARA UNA TEMPERATURA EN VARIOS TUBERÍAS      |
| C                                                              | SUPERFICIE PLANA CON VARIAS TEMPERATURAS           |
| D                                                              | SENSIBILIDAD DE ESPESORES                          |
| E                                                              | ENTRAR AL MENÚ 1                                   |
| F                                                              | ENTRAR AL MENÚ 2                                   |
| G                                                              | SALIR AL DOS                                       |
|                                                                |                                                    |
| ***** Oprima la tecla correspondiente al programa deseado***** |                                                    |

|                                                                  |                                                                  |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| DISPONIBLE EN EL MENÚ 1<br>Cálculos sin evaluación de<br>Energía | DISPONIBLE EN EL MENÚ 2<br>Cálculos con evaluación de<br>Energía |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|

Los resultados se los muestra a continuación:



## PROGRAMA ECO: CAÑUELAS AMPLIO RANGO

\*\*\*\*\*

DISTRIBUIDOR: JUAN VÁSCONES

EMPRESA : MICAERINICORP S.A.  
SECCIÓN : DISEÑO

## VARIABLES DE ENTRADA PARA CALCULO DE ESPESOR

|     |                                          |   |        |
|-----|------------------------------------------|---|--------|
| 1 - | TEMPERATURA AMBIENTE ( GRADOS F )        | : | 86.6   |
| 2 - | TEMPERATURA OPERACIÓN ( GRADOS F )       | : | 168    |
| 3 - | EMISIVIDAD DE LA SUPERFICIE AISLADA      | : | .672   |
| 4 - | DIÁMETRO NOMINAL DE LA TUBERÍA ( PULG. ) | : | 336.22 |
| 5 - | RADIO REAL TUBERÍA DESNUDA ( PULG. )     | : | 168.11 |
| 6 - | VELOCIDAD DEL VIENTO ( PIES/MIN )        | : | 3554   |

EL CÁLCULO ARROJA LOS SIGUIENTES RESULTADOS :

## TABLA DE SENSIBILIDAD CON VARIOS ESPESORES

=====

DIÁMETRO DE TUBERÍA 336.22 PULGADAS

| T1<br>°F | E<br>pulg. | Ts<br>°F               | Qa<br>BTU/HrM <sup>2</sup> | Qd<br>BTU/Hr M <sup>2</sup> | Ea<br>% |                                    |  |
|----------|------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------|------------------------------------|--|
| 168      | 0.0        | 168.0                  | 6763.7                     | 6763.7                      | 0.0     |                                    |  |
| 168      | 1.5        | 89.9                   | 129.3                      | 6763.7                      | 98.1    |                                    |  |
| 168      | 2.0        | 89.2                   | 99.9                       | 6763.7                      | 98.5    |                                    |  |
| 168      | 2.5        | 88.8                   | 81.4                       | 6763.7                      | 98.8    |                                    |  |
| 168      | 3.0        | 88.5                   | 68.7                       | 6763.7                      | 99.0    |                                    |  |
| 168      | 3.5        | 88.3                   | 59.4                       | 6763.7                      | 99.1    |                                    |  |
|          |            |                        |                            |                             |         |                                    |  |
| T1       | =          | Temp. de operación     |                            | Ts                          | =       | Temp. superficial aislada          |  |
| Qa       | =          | Pérdidas calor aislado |                            | Qd                          | =       | Pérdidas calor desnudo             |  |
| Ea       | =          | Eficiencia aislamiento |                            | E                           | =       | Eficiencia recomendado aislamiento |  |

\*\*\*\*\*

Es deseo de la compañía que adicionalmente se pinte el tanque con pintura epóxica en el exterior.

La pintura que puede ser utilizada es la TYLE CLAD 2 primer para el recubrimiento de las paredes de tanque, el espesor de pintura es de 3 mils.

Diferenciamos el fondo (primer) y el de acabado con colores, el primer será rojo y el de acabado verde.

Adicionalmente el tanque posee un sistema de limpieza gque será utilizado para realizar un mantenimiento interno de las paredes del tanque y efectuar la pasivación del acero inoxidable interiormente.

Esto ayudará a extender el tiempo de vida útil del tanque.

### **Acceso y seguridades**

El tanque para realizar mantenimiento en su interior necesita de una compuerta de ingreso en la que pueda caber una persona, esta compuerta debe estar ubicada en el primer anillo del tanque.

Un diámetro adecuado para una persona promedio es 0.50 m (ver plano # 4).

Para el mantenimiento del aislamiento en el techo es necesario tener una escalera exterior que nos permita llegar a la parte superior del tanque.





La construcción de la escalera debe cumplir los requisitos de seguridad industrial, para lo cual se construye un anillo alrededor de la escalera que impida la caída de la persona que esta haciendo uso de ella.

Igualmente si se va a caminar en el techo necesitamos pasamanos que nos permita caminar alrededor del mismo. (Ver plano # 2)

Existe en la parte superior del tanque 3 desfogaderos que permitirán poseer siempre presión positiva en el interior del tanque y el desfogue del vapor que se genera.

Su construcción no debe permitir el ingreso de agua desde el exterior para evitar la contaminación del tanque.

El agua que podría ser desalojada por la tubería de rebose debe ser conducida a través de una canal que la desaloje y evite suciedad en el área del tanque.

El aislamiento para su protección poseerá en el exterior planchas de aluminio traslapado que eviten el ingreso de agua y provoquen el deterioro del mismo.

El sistema debe ser lo suficientemente seguro para evitar quedarnos sin abastecimiento de agua caliente en las pailas, para lo cual usaremos 2 bombas en paralelo c/u totalmente independiente de la otra, y de esta manera poder dar mantenimiento al sistema de bombeo en cualquier momento.

### **Circuito eléctrico**

El circuito eléctrico debe contemplar los puntos analizados en el ítem anterior, además de los controladores de temperatura y nivel para evitar daños en el sistema de bombeo.

El tanque poseerá 3 termocuplas para sensor la temperatura, y un sensor de nivel mínimo para evitar que la bomba trabaje en vacío.

El panel eléctrico estará lo más cerca a la bombas y poseerá pulsadores remotos de control en el panel principal o consola de mando, paradas de emergencia con enclavamiento mecánico en el panel de las bombas para seguridad de la persona que este dando mantenimiento al sistema de bombeo.

Para el circuito de fuerza utilizaremos en lugar de breaker guarda motores que nos ofrecen protección contra cortocircuito y además

protección térmica, adicionalmente instalaremos una protección de bajo voltaje en el guarda motor.

El guarda motor nos da la flexibilidad para independiente de que este trabajando una bomba poder desconectar el circuito de fuerza de la otra bomba, y de esta manera dar mantenimiento a los contactores de los motores.



## **CAPITULO 2**

### **2. CONSTRUCCION Y MONTAJE DEL TANQUE**

#### **2.1 Obras Civiles**

El primer paso para el diseño del tanque es el de seleccionar la ubicación donde va a ser construido, para lo cual se utiliza los servicios de la compañía Suelos y Concretos Cía. Ltda. encargada de realizar los estudios del terreno.

El segundo lugar escogido es detrás del edificio del cuarto de cocimiento junto a la carretera.

Existen dos sitios tentativos donde es factible la construcción de un tanque de  $400\text{m}^3$  para almacenamiento de agua caliente. El primer sitio elegido es detrás de los tanques para almacenamiento de bunker frente al área de materia.

En los dos lugares se toman muestras a 0.10, 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00 m. adicionalmente en el segundo sitio elegido por su gran extensión se toman tres muestras adicionales a 0.10, 0.50 y 1.00 m. separada de la anterior 15m., los resultados que se obtuvieron se presentan en los informes que la compañía Suelos y Concretos realizó y que describimos a continuación.

#### **Tanque de almacenamiento - Ubicación No. 1**

Las calicatas realizadas en el área de construcción, determina la presencia de un subsuelo conformado por arcilla de alta plasticidad media "GL", con una incrustación arcillosa "CH" de alta plasticidad, entre 1.00 m. y 1.50 m., todas mezcladas con arena en porcentajes que varían entre 11.5 % y 32.4% y algo de grava, del orden del 1% al 12%.



Como dato remarcable puntualizamos el resultado de la prueba de fuerza que reproducimos a continuación:

| Profundidad | F.E.               |
|-------------|--------------------|
| m.          | T/m <sup>2</sup> . |
| =====       |                    |
| 0.5 a 1.0   | 4.16               |
| 1.0 a 1.5   | 4.24               |
| =====       |                    |

Los pesos del suelo que gravita sobre los puntos considerados son del orden de 0.750 T/m<sup>2</sup>. y 1.515 T.m<sup>2</sup>., bastante inferiores a las respectivas fuerzas expansivas, por lo tanto, habría levantamiento para los estados de carga de tanque vacío o con poco líquido.

El tipo de fundación recomendable sería el de plintos aislados cargados con esfuerzos unitarios superiores a las fuerzas de expansión de las arcillas, en los casos más desfavorables y liberación del tanque con relación al suelo natural.

Cabe destacar que el sistema estructural requerido es costoso con relación al de cimentación directa.

Relativo a capacidad portante se recomienda la siguiente cota de cimentación, para los plintos aislados:

| Cota de fundación | Carga admisible    |
|-------------------|--------------------|
| m.                | T/m <sup>2</sup> . |
| =====             | =====              |
| 0,50 a 1,00       | 13                 |
| =====             | =====              |

**Tanque de almacenamiento - Ubicación No. 2**

Las dos calicatas realizadas en el área de construcción, indican la presencia de un subsuelo con mezclas predominantes de gravas arenosas con porcentajes variables de arcilla “GC”, capas de arenas gravo arcillosas “SC”, hasta las profundidades investigadas.

Los resultados de los ensayos de fuerza expansiva demuestran que estas son de poca intensidad y contrarrestables con los pesos propios que se encuentran sobre los puntos en consideración. El máximo valor encontrado corresponde a la muestra #3 del sondaje # 2 a 1.00 m. de profundidad, con un valor de 0.365 T/m<sup>2</sup> , la presión del suelo sobre el punto es el orden de 1,915 T/m<sup>2</sup>, es decir, existe estabilidad. Con relación a la capacidad portante se recomienda la siguiente cota

de cimentación:

| Cota de fundación | Carga admisible    |
|-------------------|--------------------|
| m.                | T/m <sup>2</sup> . |
| =====             | =====              |
| 0,00 a 0,50       | 50                 |
| =====             | =====              |

Dadas las condiciones optimas del subsuelo, es recomendable cimentar el tanque en esta ubicación.

Debido a estas razones expuestas por la compañía Suelos y Concretos el tanque se lo construirá en la ubicación No. 2 es decir detrás del cuarto de cocimiento.

### Análisis estructural de la cimentación

El terreno ubicado en el sector No. 2 que es escogido para la cimentación del tanque, es un suelo de muy buena característica portante, por ello se ha decidido utilizar este mismo material en el relleno, con la única particularidad de mejorar sus propiedades, compactándolo, para evitar algún tipo de asentamiento.



El esfuerzo al que va a estar sometido el suelo en la condición de carga es de  $8 \text{ T/m}^2$ . que es menor a las  $50 \text{ T/m}^2$ . que indica el estudio de suelos elaborado por Suelos y Concreto Cía. Ltda.

La viga de hormigón armado ha sido diseñada considerando la carga repartida que va a recibir de  $8 \text{ T/m}^2$ . diseñada a esfuerzos de torsión y corte, además se ha analizado en función de las normas de AISC y se ha considerado las resistencias del acero de  $f_y = 4200 \text{ Kg./cm}^2$ . para varillas con diámetro mayores a 10 mm., y  $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$ . para varillas de 8 mm. de diámetro; la resistencia de diseño para el hormigón es de  $320 \text{ Kg./cm}^2$ .

El lecho de arena ubicado en la zona central de la cimentación, tiene como objeto lograr una mejor disipación de la carga del tanque al suelo, ya que el proceso constructivo le da la característica de confinamiento de la arena, cosa que se logra para un mejor comportamiento del suelo.

### **Pruebas de laboratorio**

Se realizarán las pruebas de Proctor Modificado, para comprobar que la compactación sea la requerida en las especificaciones.

Además se tomarán muestras del hormigón empleado para comprobar su resistencia a los 7, 14, 21 y 28 días de hormigonado.

Este diseño de la cimentación del tanque fue realizado por el Ing. Civil Gabriel Pino con registro profesional 01-09-2390.

### **Excavación y compactado**

Se excavará en el sitio de cimentación (Ubicación No. 2) hasta una profundidad de -2.60 m. tomado de un nivel medio BM a 0.00 (arbitrario, según la conveniencia de la ubicación), en un diámetro de nueve metros, para tener acceso cuando se trabaje la construcción del anillo de hormigón. La excavación debe realizarse manualmente sin provocar la perturbación del material en el anillo interior y el material depositado en algún lugar cercano, debido a que será utilizado posteriormente en la obra.

### **Compactación del terreno base**

Una vez excavado hasta el nivel -2.60 m., se nivelará el terreno manualmente y se procederá a compactar. Este procedimiento se lo puede realizar con rodillo manual o compactador de sapito tipo semipesado.





### **Relleno compactado en capas de 25 cm**

Una vez compactado el terreno base, se procederá a colocar una capa de 25 cm. y luego que está nivelado, se compactará. Esto se debe repetir hasta llegar a la cota de -0.60 m. que es el nivel donde se va a asentar la viga de hormigón armado circular en forma de anillo. El relleno deberá quedar compactado al 95% del proctor modificado y será comprobado en sitio.

### **Construcción de anillo de hormigón**

Una vez que se haya llegado a la cota de -060 m., se procederá a construir la viga circular cerrada de hormigón armado, con hormigón premezclado de resistencia  $f_c = 320 \text{ Kg./cm}^2$ . y un revenimiento de 8 cm., esta viga tiene como objeto servir de soporte de la parte exterior del tanque y servirá para tener mejor interacción entre el suelo y la estructura, otra función es la de lograr un confinamiento de suelo que va a soportar la estructura, además de ser elemento de sujeción de los anclajes del tanque. Los criterios de diseño de esta cimentación se explican en el capítulo anterior.

### **Curado de hormigón**

Una vez terminada de hormigonear la viga, se curará el concreto humedeciéndolo todos los días y durante quince días, período en el

cual puede aprovecharse para realizar los trabajos de enlucido exterior y superior de la viga.

### **Relleno compactado interior**

Este relleno se lo va a efectuar con el mismo material excavado, debido a su gran capacidad portante atributo que lo destaca el estudio de suelo. La forma como se lo debe llevar a cabo es formando un ángulo de 45 grados desde la cota de -0.60 m. y a una distancia de dos metros treintacentímetros al 95% del proctor modificado, con compactador de rodillo manual o sapito semipesado.

**Losa interior.-** Una vez que ya esté elaborado el relleno compactado con declive en ángulo de 45 grados; se rellenará dicha cavidad con arena húmeda hasta llegar a la cota de + 0.70 m. que servirá como soporte y amortiguamiento para las descargas del tanque.

**Relleno y compactado exterior de la viga.-** El relleno y compactado de la parte del relleno que quede en la zona exterior de la viga de hormigón se la puede realizar en una sola capa y con compactador semipesado tipo sapito. Es de anotar que esta actividad puede realizarse a partir de los siete días posteriores a la fundición.

**Colocación de pernos de sujeción.-** La base del tanque tendrá 16 soportes cuadrados de acero inoxidable de  $1\frac{1}{2}$  " de espesor distribuidos simétricamente a 22.5 grados en toda la superficie exterior del tanque ( ver plano # 3 ). Los pernos de anclaje serán de acero inoxidable de  $1\frac{1}{2}$  " de diámetro y 0.40 m. de largo, los cuales se fijarán a la estructura de la viga circular, a una distancia de 12.10 cm. de la cara exterior, previo al hormigonado de ésta. ( ver detalle de perno).

### **Obras complementarias**

Consisten en realizar el sellado en el terreno exterior de la viga con una capa de asfalto, con el fin de evitar filtraciones de agua hacia la cimentación. Se construirá también un contrapiso de hormigón simple para bombas, limpieza y desalojo.

## **2.2 Supervisión de la Construcción Metálica soldada**

La construcción mecánica comprenderá el acople de los elementos necesarios para la conformación de la estructura metálica del tanque, además el orden lógico y las consideraciones pertinentes para un buen desarrollo y culminación del proyecto, para lo cual detallaremos el resumen de las dimensiones de los espesores de los anillos, la cantidad de material necesario en el proyecto, y los detalles a

considerar durante la construcción. Lo primero es recordar los espesores de los materiales con que va a ser construido el tanque para lo cual presentamos un resumen en la tabla 11.

Luego de conocido el espesor de cada una de las planchas que conforman el tanque, si recordamos las dimensiones de construcción así como la selección de la cantidad de planchas por anillo que va a tener nuestra construcción podemos fácilmente encontrar la cantidad de material necesario para su construcción el mismo que lo presentamos a continuación en la tabla 12.

**TABLA 12**  
**ESPESTORES DE PLANCHAS**

| <b>Descripción</b> | <b>Espesor [mm]</b> |
|--------------------|---------------------|
| <b>Fondo</b>       | <b>8</b>            |
| <b>Anillo #1</b>   | <b>10</b>           |
| <b>Anillo #2</b>   | <b>8</b>            |
| <b>Anillo #3</b>   | <b>8</b>            |
| <b>Anillo #4</b>   | <b>6</b>            |
| <b>Anillo #5</b>   | <b>4</b>            |
| <b>Anillo #6</b>   | <b>3</b>            |
| <b>Techo</b>       | <b>3</b>            |





**TABLA 13**  
**ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL**

| <b>Cantidad</b> | <b>Descripción</b>                              |
|-----------------|-------------------------------------------------|
| <b>1</b>        | <b>Plancha AISI 304L de 8" x 4" x 12 mm</b>     |
| <b>11</b>       | <b>Plancha AISI 304L de 8" x 4" x 10 mm</b>     |
| <b>44</b>       | <b>Plancha AISI 304L de 8" x 4" x 8 mm</b>      |
| <b>11</b>       | <b>Plancha AISI 304L de 8" x 4" x 6 mm</b>      |
| <b>11</b>       | <b>Plancha AISI 304L de 8" x 4" x 5 mm</b>      |
| <b>34</b>       | <b>Plancha AISI 304L de 8" x 4" x 3 mm</b>      |
| <b>5</b>        | <b>Ángulo laminado en caliente de 2" x 1/4"</b> |
| <b>19</b>       | <b>Platina de 2" x 1/4" x 6 m</b>               |
| <b>52</b>       | <b>Platina de 2" x 1/8" x 6 m</b>               |
| <b>26</b>       | <b>Tubo de hierro negro de 1 1/2" ced. 40</b>   |

Antes de comenzar a dar los detalles de construcción es conveniente tener presente los diversos accesorios que se muestran en los planos para lo cual es conveniente situarlos en cada una de nuestros pasos a seguir, en la tabla 13 se muestran los accesorios que vamos a instalar por anillo y nos permitirán un orden lógico para su ejecución.

Es conveniente observar el cronograma para el desarrollo del proyecto de manera, que logremos asociar cada uno de los pasos a seguir.



Comenzaremos con la construcción del fondo que constituirá la base para el alineamiento y asentamiento del tanque, por tanto el centrado del mismo nos proporcionará el centrado del tanque.

La primera parte constituye la preparación de los biseles en las planchas, los cuales no podrán ser realizados con discos de esmeril comunes sino con discos de esmeril para acero inoxidable, para de esa forma evitar la contaminación del material y provocar la corrosión en los cordones de soldadura.

Las planchas serán acomodadas como lo muestra su plano de construcción y se aprovechará en lo posible el material al momento de cortarlo en las planchas de la periferia.

Para asegurar una buena penetración colocaremos debajo de las planchas entre las uniones de manera transversal platinas de acero inoxidable de  $\frac{1}{16}$ " y nos servirán para la alineación de las uniones.

El fondo se lo dejará punteado cada 6" y se lo rematará una vez que hayamos culminado con la alineación y conformación de los 6 anillos y antes de colocar el techo de la estructura, el cual se lo trabajará en paralelo con la construcción del fondo del tanque.

**TABLA 14**  
**CONSTRUCCIONES POR ANILLO**

| Descripción       | Accesorios                             | Figura |
|-------------------|----------------------------------------|--------|
| <b>Anillo #1</b>  | Soportes pernos de anclaje             | # 1    |
|                   | Compuerta de acceso                    |        |
|                   | Sensor de nivel bajo 2"                | # 3    |
|                   | Termocupla # 1½"                       |        |
|                   | Tubería de Drenaje 2 ½"                |        |
|                   | Tubería de ingreso de agua caliente 5" | # 2    |
|                   | Tubería de succión de la bomba 8"      | # 4    |
| <b>Anillo #2</b>  | Platina de refuerzo de 2"x ¼"          | # 5    |
| <b>Anillo #3</b>  | Termocupla # 2½"                       |        |
| <b>Anillo #4</b>  | -----                                  |        |
| <b>Anillo # 5</b> | -----                                  |        |
| <b>Anillo # 6</b> | Termocupla # 2½"                       | # 6    |
|                   | Ángulo de refuerzo de 2" x ¼"          |        |
|                   | Tubería de rebose 5"                   |        |
|                   | Tubería de limpieza 2 ½"               |        |
| <b>Techo</b>      | Tuberías de desfogue 6"                |        |

Al tiempo que se está efectuando el acople de las planchas del piso se irán acoplando las planchas que conformarán los anillos, para esto la primera fase será ir soldando parejas de planchas para luego proceder a rolarlas y conformar el anillo, con esta práctica obviaremos el acople individual y procederemos únicamente al acople de 6 partes que conformaran cada anillo.

El primer anillo se lo apuntalará contra el piso y esto nos servirá para la alineación vertical de las paredes de la estructura, recordemos

que los anillos tendrán biseles en los cuatro lados de la plancha.

Los anillos luego de conformados y montados debemos proceder a la soldadura de todas las uniones que estén libres (7 cordones verticales/ anillo y 6 cordones horizontales entre anillos) para esto nos ayudaremos de una platina de bronce en el interior que nos servirá al igual que en el fondo para obtener una buena penetración y presentación del cordón, esta platina será removida una vez culminado el relleno del cordón.

Uno de los principales problemas con que nos enfrentaremos es la posibilidad de lluvia durante el proceso de soldadura, lo cual nos provocará retrasos en el desarrollo de la construcción, y el viento que corre por el área donde realizamos el montaje.

Para protegernos del viento construiremos una pequeña carpa y de esa forma evitar que el gas protector emigre y por tanto provoque porosidades en el cordón, además el soldador deberá tener especial cuidado en seguir los procedimientos adecuados de soldadura MIG.

Uno de los requisitos por tanto será la calificación previa de los soldadores que deberán ser debidamente justificados con certificados de una compañía especializada y además deberán presentar una

muestra de los cordones en planchas de acero inoxidable AISI 304L de  $\frac{1}{2}$ " en una longitud de 12 pulgadas.

Todos los anillos conservarán el diámetro interior de 8.54 m por tanto en los lugares donde se unen planchas de diferente espesor, la saliente mayor quedará hacia el lado exterior del tanque y en esos puntos se reforzarán los cordones de unión entre anillo y anillo.

Para nuestra ilustración los anillos han sido numerados de abajo hacia arriba del 1 al 6 como lo muestra el dibujo del capítulo 3.

La base del tanque tendrá 16 soportes distribuidos simétricamente a 22.5 grados en toda la superficie exterior del tanque (ver plano # 3), serán en plancha de acero inoxidable de 12 mm. de espesor. Los pernos de anclaje serán de  $1\frac{1}{2}$ " de diámetro y 0.40 m de profundidad, los cuales estarán fundidos en el anillo de hormigón del tanque.

La base del tanque se construirá formando un diámetro de 8.67 m, se preparará el material de modo que se conserve el paralelismo del fondo en toda su dimensión.





### **Formación del techo**

Para la formación del techo haremos un armazón a 20 grados con las dimensiones que muestran los planos y procederemos a cortar las planchas en trapecios para formar correctamente el contorno y lo asentaremos en el armazón para poder ir acoplando una vez rolada las planchas.

Esta plancha por el espesor que posee debe tener un cuidado especial en su soldadura para evitar problemas de fusión en las uniones. Los ductos de salida de vapores serán construidos del mismo material y soldados en la estructura del techo, la estructura del techo se colocará a tope con el último anillo y se soldará contra este y contra el anillo de refuerzo de 2" en los cuales se colocarán cordones de refuerzo.

La tubería de limpieza irá soportada contra el techo y las paredes de los cilindros, pero se realizará al final de la obra cuando estén terminadas las uniones soldadas del tanque.

Todos los accesorios como bridas, tuberías, y compuertas serán en acero inoxidable y utilizarán empaques en las uniones que eviten en lo posible la contaminación del acero inoxidable con el acero



convencional.

### **Formación de la escalera**

La escalera se hará con tubos negros sin costura, las protecciones alrededor de la escalera se harán con platinas de  $2'' \times \frac{1}{8}''$ , y serán pintadas con pintura epóxica para evitar su corrosión, su color será amarillo y negro.

Los soportes de la escalera que van a estar soldados al tanque deben quedar instalados antes de la colocación del aislante, luego se procederá a la colocación del INSUL QUICK, y las planchas de aluminio en el exterior, una vez finalizado este trabajo se instalará la escalera en la parte exterior derecha frontal del tanque.

Tal como lo muestra el plano # 2 los soportes contra el tanque irán a cada metro desde el borde superior del ángulo en el anillo superior del tanque, hasta el piso y los peldaños tendrán una separación de 0.20 m. y un ancho de 0.30 m. c/u.

La protección de la escalera la constituyen anillos a su alrededor como lo muestra el dibujo, separados cada metro y unidos por platinas distribuidas a 0, 90, y 270 grados.

Asentado contra el ángulo y antes de la colocación del aislante irá la protección alrededor de todo el techo con tubo de 1½", separados como el dibujo # 003008.

### **2.3 Supervisión de la instalación de: Sistema hidráulico, Instalación eléctrica y aislamiento térmico.**

#### **Construcción hidráulica**

La línea de succión irá instalada en el primer anillo del tanque a un metro de la base del tanque y con una brida para acople de una válvula direccional de flujo de 5", la distancia de separación de la brida del tanque es considerando las 2½" del aislamiento y las planchas de aluminio de recubrimiento, además el acceso para montaje y desmontaje de las válvulas o bridas. (ver plano # 5).

Para la unión de la tubería con el tanque se utilizará soldadura R-65 y el tubo ingresará en el tanque 4", será soldado tanto en el interior como en el exterior contra las paredes del primer anillo, el tubo será de acero, la brida que acopla con la tubería será en acero inoxidable y separada con caucho de la brida que irá acoplada a la válvula direccional que será de hierro negro. Inmediatamente después de la brida de acople con el tanque se instalará una válvula direccional,

para evitar la contra presión producto del cabezal que poseerá el tanque en el momento que no esté trabajando el equipo de bombeo de agua caliente que alimenta esta tubería.

Debido a la diferencias de nivel las dimensiones de altura para acoplarse con la línea que llega de el intercambiador de calor del mosto, serán referenciales y dependerán del nivel del terreno una vez culminada la obra civil.

El acople de las tuberías con la línea principal que viene paralelo a la pared del cocimiento se hará de acuerdo a los planos y se determinará las dimensiones restantes en el momento del montaje.

Para el resto de la tubería se instalarán bridas cada 12 m para fácil montaje y desmontaje de la misma, además la válvula estará inmediatamente después de la T que instalaremos en el punto como se muestra en el plano # 5 y 6 en las curvas irán las bridas para montaje y desmontaje de los tramos que se instalarán. El acople de las tuberías con las bombas dependerá también del nivel de cimentación de la loseta donde irán asentadas las bombas, recordando que las uniones serán soldadas todas contra sus bridas.

El sistema se lo ha construido para que sea fácilmente desmontable, la tubería irá soportada con pie de amigos contra la pared y asentadas en un semicírculo que permita su dilatación sin ningún tipo de obstrucción.

### **Construcción Eléctrica**

El circuito eléctrico debe contemplar el electrocanal que irá desde el cuarto de control en el área de cocimiento que lleve los cables de fuerza para los motores, el cable de control de las termocuplas, y del sensor de nivel, así como la iluminación con lámparas en el área donde van a estar instalada las bombas.

Los pulsadores de la bomba estarán ubicados en el mismo gabinete de control que se encuentra actualmente el sistema de bombeo del tanque antiguo, así como los registros de temperatura y nivel.

Se deberá considerar que los motores no pueden quedar a la intemperie por lo cual es necesario la construcción de una cimentación donde irán ancladas las bombas y los motores con una cubierta o techo que garantice el cuidado de los motores.

Para los arrancadores se utilizarán guarda motores y contactores de preferencia marca SIEMENS, se independizará el sistema de control





para las bombas de los otros circuitos de control, con su propio breaker principal de funcionamiento.

Adicionalmente se procederá a la iluminación de el área donde va a estar asentado el tanque de modo de asegurar una buena vista del logotipo que se va a pintar "CHOP" el desarrollo de la iluminación será efectuado con tres reflectores de 500 Watt a 220 V que serán proporcionados por CCN.

### **Instalación de Aislamiento**

El aislamiento como lo calculamos en el capítulo anterior de 2 $\frac{1}{2}$ " de espesor y en el mercado se lo encuentra en planchas cuyas dimensiones estándar son 48" de ancho x 120" de largo.

El aislamiento se lo instalará directamente sobre las planchas de acero inoxidable y serán sujetadas contra estas con platinas de 2" x  $\frac{1}{4}$ " que irán a lo largo de toda la pared del cilindro soldadas contra el ángulo del techo y contra las planchas del fondo y poseerán platinas cada 0.30 cm. para soporte contra las paredes del cilindro como lo muestra el dibujo 1031, y luego se colocarán anillos circunferenciales para ser soldadas contra estas platinas para hacer de soporte horizontal del aislamiento y a la vez servir para la instalación de las planchas de aluminio contra la humedad.





Las planchas de aluminio irán sujetas contra las platinas con tornillos tripa de pato e irán traslapadas para evitar el ingreso de agua entre ellas tal como lo muestra la figura siguiente en que se muestra la forma de instalación del aislamiento.

Una protección adicional consiste en soldar un anillo rolado contra el ángulo de refuerzo del techo para evitar que el agua que rueda por el mismo ruede por las paredes sino que se produzca una cortina de agua que no toque con las paredes de esta manera la forma que se mojen las planchas que protegen los anillos es con el contacto directo con la lluvia.

El aislamiento como se puede observar queda presionado contra las planchas de tal manera que no se pueda conservar humedad en el interior entre las planchas y el aislamiento.

En los sitios donde se encuentran los soportes para los pernos de anclaje hay que cortar el aislamiento como se puede observar en el detalle de la figura.



## **2.4 Calificación del proceso de soldadura por Ensayos no destructivos**

Se realizarán diferentes pruebas durante la ejecución del proyecto para verificar una correcta ejecución de los procesos de construcción, las pruebas que se realizarán serán:

1. Radiografías de los cordones de soldadura.
2. Análisis de corrosión acelerada
3. Pruebas hidrostáticas.

Para las radiografías dividiremos los cordones en horizontales y verticales, nombrándolos con letras en orden alfabético de abajo hacia arriba.

De esta manera la unión entre el primero y segundo anillo será el cordón A, entre el segundo y tercer anillo será el cordón B, etc. Los cordones verticales los nombraremos AL, BL, etc.

Las radiografías serán tomadas en una longitud de 0.30 m y en todos los cordones verticales en el centro, en todas las uniones que formen una T en los cordones horizontales, y en la mitad del espacio comprendido entre las T. Se tomarán un total de 66 Verticales, 72 horizontales, en el cilindro del tanque, además en el techo se tomarán

radiografías en las T de unión en un total de 30 radiografías.

La codificación y los resultados se mostrarán en el Apéndice 3, para poder observar los problemas que se presentaron y que fueron corregidos posterior a este análisis y radiografiados nuevamente.

### **Pruebas de corrosión**

Se tomará como muestra un cordón soldado que fue pedido como prueba para la calificación de los soldadores y se lo mantendrá en condiciones similares al tanque construido para verificar el desgaste que se produce en la obra metálica de las paredes del tanque.

Se preparará una probeta y se construirá un recipiente a escala para observación del comportamiento del sistema.

## **2.5 Pruebas Hidrostáticas y puestas en funcionamiento**

Inmediatamente después de la construcción de la estructura metálica del cilindro, techo, fondo, y soportes del tanque, se procederá a empernar la estructura con la cimentación y llenar el tanque con agua caliente.

La finalidad de esta prueba es encontrar las posibles fugas, que existan en el sistema antes de proceder a la instalación del aislamiento y verificar las conexiones con bridas instalaciones de

presioestátos y termocuplas.

Para la puesta en funcionamiento previamente se verificaran cada una de las conexiones independientes que hemos hecho para luego proceder al arranque de las mismas.



## CAPITULO 3

### 3. ANALISIS ECONOMICO

#### 3.1 Costo de las alternativas de solución

El tanque vertical existente fue construido en acero inoxidable SAE 304 en el año 1984 y comenzó a funcionar el mismo año, el diseño que se escogió era un tanque con diámetro de 4 m y una altura de 20.4 m con aislamiento para mantener una temperatura de máximo 80 grados centígrados, con compuerta de acceso para limpieza, revisión interna e ingreso del agua por la parte inferior del tanque, rebose y tubería para drenaje.



En el año 1994 la empresa Compañía de Cervezas Nacionales decide reparar este tanque por los problemas que presentaba en su estructura metálica y aislamiento, la decisión debía contemplar el eventual desperdicio de agua proveniente del proceso de enfriamiento del mosto, la energía que se iba a consumir para calentar  $12.000 \text{ m}^3$  a una temperatura de  $70^\circ\text{C}$  para efectuar los cocimientos mensuales, y el costo adicional de esos  $12.000 \text{ m}^3$  en el consumo de agua.

Se comenzó a planificar su reparación, además se comenzó a estudiar la posibilidad de la construcción de un tanque nuevo cuyo diseño podrá ser horizontal o vertical, la capacidad de este tanque deberá ser de  $400 \text{ m}^3$ , en cualquiera de los dos casos debe preverse la obra civil para la cimentación del tanque, los equipos hidráulicos, el sistema de aislamiento, y la interconexión con el sistema actual. Este estudio proporcionará los costos de construcción y el cronograma de trabajo para su ejecución.

### **3.2 Reparación del tanque existente**

El cálculo del costo de este proyecto es debido a que debemos parar de distribuir agua caliente al proceso y utilizar agua fría para el mismo.

Fórmulas:

$\text{Costo} = (\text{consumo/cocimiento}) \times (\# \text{ cocim.}) \times (\text{tiempo rep.}) \times (\text{valor m}^3)$

Tiempo de reparación = 1 mes

Numero de cocimiento = 100

Consumo de agua/cocimiento = 120

Valor de  $\text{m}^3$  = \$ 0.91 (S/. 3450 año 1994)

Independientemente del material y la mano de obra necesaria para la reparación de un tanque este costo encarecerá cualquier intento de reparación del mismo.

Luego de revisar los cálculos proporcionados en el anexo I y procediendo a cotizar los materiales necesarios para la reparación del tanque encontramos que el valor del material necesario para su reparación es de \$ 26.315.80 (S/.100'000.000,00 en el año 1994) se estima que la reparación durará unos 45 días y la mano de obra necesaria para esta reparación aproximadamente es de \$ 25.789.47 (S/.98'000.000,00 en el año 1994) dentro de este costo se considera la utilización de equipos y contratistas necesarios para efectuar la reparación.



**TABLA 15**  
**COSTOS INVOLUCRADOS EN LA REPARACIÓN**

| <b>Descripción</b>                                  | <b>Valor (sucres<br/>año 1994)</b> | <b>Valor<br/>(Dólares a t/c<br/>S/.3800/\$)</b> |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Consumo agua</b>                                 | <b>41'400.000</b>                  | <b>10.894.74</b>                                |
| <b>Consumo energía<br/>(promedio<br/>histórico)</b> | <b>65'000.000</b>                  | <b>17.705.26</b>                                |
| <b>Materiales</b>                                   | <b>100'000.000</b>                 | <b>26.315.79</b>                                |
| <b>Mano de obra</b>                                 | <b>98'000.000</b>                  | <b>25.789.47</b>                                |
| <b>TOTAL</b>                                        | <b>357'600.000</b>                 | <b>94.105.26</b>                                |

### **Comprar tanque construido en el exterior**

El costo de instalación del tanque importado asciende a \$ 105.263.16 (S/. 400'000.000,00 en el año 1994) este costo es uno de los principales inconvenientes en la realización del proyecto sin embargo, nos servirá para la comparación respectiva de las demás propuestas.

### **Comprar tanque localmente**

Esto adiciona el costo del diseño del tanque al valor del proyecto.

- Las desventajas de la compra del tanque es el poco control que se tiene en los materiales utilizados en la construcción y el costo de cada uno de ellos.

### **Importar materiales y contratar mano de obra local**

El proyecto costará bajo esta alternativa aproximadamente \$ 78.947.37 (S/. 300'000.000,00 en el año 1994) y adicionalmente presenta ventajas como el control de los materiales a usar en el desarrollo del proyecto, la selección de los procesos de construcción adecuados a este tipo de obra.

El desarrollo del proyecto debe satisfacer todos los requerimientos expresados en el primer capítulo y adicionalmente aprovechar la construcción en paralelo con el trabajo del tanque actual.



## Capítulo 4

### 4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

1. Tienen relación con la altura del tanque y el espesor de la plancha en zona crítica de esfuerzos razón por la que el presente caso se escogió mayor diámetro y menor altura y luego de 10 años de construido no presenta ningún problema en su operación.
2. El proceso de evaluación de las uniones soldadas por medio de END. fue efectivo ya que brindó información de defectos de soldadura no permisibles y se obligó al contratista a su debida reparación.



3. El costo de la obra significó un gran ahorro en material ya que al poseer menor altura que el diseño anterior los espesores de plancha indudablemente fueron menores sin menos cavar la función del tanque.

#### **4.2 Recomendaciones**

1. Existiendo ya en la actualidad programas que facilitan el desarrollo de un diseño y es recomendable utilizarlos ya que ahorra tiempo de ejecución.
2. Es recomendable conocer durante la etapa de formulación del proyecto la disponibilidad de materiales existentes en el mercado y a los proveedores de reconocida solvencia que aseguren materiales al tiempo requerido.

## APÉNDICES



**APÉNDICE A**  
**Construcción Civil**

| Descripción del Trabajo                                                | Unid.          | Cant. | Valor Unit.<br>[dólares] | Valor Total<br>[dólares] |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|--------------------------|--------------------------|
| Trazado y Replanteo                                                    | m <sup>2</sup> | 63.62 | \$ 0.39                  | \$ 25.11                 |
| Excavación                                                             | m <sup>3</sup> | 5.00  | \$ 3.82                  | \$ 19.09                 |
| Relleno compactado en capas de 25 cm. de espesor ( utilizando granula) | m <sup>3</sup> | 17.00 | \$ 1.75                  | \$ 29.71                 |
| Anillo de cimentación (según plano) viga circular                      | m <sup>3</sup> | 15.00 | \$ 110.53                | \$1,657.89               |
| Losa de cimentación de 0.15 m. de espesor.                             | m <sup>3</sup> | 4.00  | \$ 110.53                | \$ 442.11                |
| Relleno compactado en ángulo                                           | m <sup>3</sup> | 2.00  | \$ 1.75                  | \$ 3.49                  |
| Cama de asfalto                                                        | m <sup>2</sup> | 15.00 | \$ 6.84                  | \$ 102.63                |
| Contrapiso de Hormigón e = 10 cm. (Para bombas)                        | m <sup>2</sup> | 4.00  | \$ 6.58                  | \$ 26.32                 |
| Colocación pernos de sujeción                                          | u.             | 16.00 | \$ 13.16                 | \$ 210.53                |
| Enlucido de viga                                                       | m <sup>2</sup> | 10.00 | \$ 2.37                  | \$ 23.68                 |
| Pintura y esmalte (viga circular )                                     | m <sup>2</sup> | 10.00 | \$ 1.71                  | \$ 17.11                 |
| Limpieza y desalojo                                                    | Global         | 1.00  | \$ 78.95                 | \$ 78.95                 |



**APÉNDICE B**  
**Construcción Metálica**

| Descripción del trabajo                                                                          | Unid.               | Cant. | Valor unit.<br>[dólares] | Valor<br>total<br>[dólares] |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------|--------------------------|-----------------------------|
| Rolado de planchas de acero inoxidable (detalle los precios unitarios de c/u)                    | Plancha             | 66    | \$ 39.47                 | \$,605.26                   |
| Rolado de ángulos de 2"x 1/4" x 6m.                                                              | Ángulos             | 5     | \$ 39.47                 | \$ 197.37                   |
| Rolado de platinas de 2"x 1/4" x 6m.                                                             | Platina             | 40    | \$ 19.74                 | \$ 789.47                   |
| Rolado de tubos de 1 1/2" cédula 40 x 6m.                                                        | Tubos               | 9     | \$ 19.74                 | \$ 177.63                   |
| M. de O soldadura MIG, formación de anillos de 11 planchas c/u.                                  | Anillos             | 6     | \$1,031.95               | \$6,191.73                  |
| M. de O soldadura MIG, construcción del fondo del tanque.                                        | Planchas            | 19    | \$ 108.59                | \$2,063.16                  |
| M. de O soldadura MIG, montaje de anillo sobre anillo.                                           | c/Anillo            | 6     | \$1,184.21               | \$7,105.26                  |
| Rolado de planchas del techo                                                                     | Plancha             | 20    | \$ 39.47                 | \$ 789.47                   |
| M de O. soldadura MIG, formación del techo y soportes del mismo.                                 | Plancha             | 20    | \$ 165.00                | \$3,300.00                  |
| M. de O. soldadura MIG, construcción del desfogue de vapor.                                      | Desfogue            | 3     | \$ 26.32                 | \$ 78.95                    |
| Mano de obra soldadura MIG, anillo refuerzo                                                      | c/Anillo            | 1     | \$ 52.63                 | \$ 52.63                    |
| M de O. soldadura MIG, montaje del techo sobre el cilindro.                                      | Global              |       | \$1,184.21               | \$1,184.21                  |
| M de O. soldadura MIG, construcción y montaje de la escalera y protecciones.                     | Global              |       | \$ 526.32                | \$ 526.32                   |
| M de O. soldadura MIG, soportes de aislamiento en el cilindro.                                   | c/soporte           | 189   | \$ 0.79                  | \$ 149.21                   |
| M de O. soldadura MIG, formación de anillos de soporte para planchas de aluminio en el cilindro. | c/anillo de 8.67 m. | 7     | \$ 78.95                 | \$ 552.63                   |

|                                                                                                          |                |     |             |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----|-------------|--------------------|
| M de O. soldadura MIG, formación de los anillos en el techo para planchas de aluminio.                   | c/ anillo      | 3   | \$ 52.63    | \$ 157.89          |
| M de O. soldadura MIG, montaje de soportes de aislamiento en el techo.                                   | c/soporte      | 62  | \$ 0.79     | \$ 48.95           |
| Montaje del aislamiento y planchas de aluminio                                                           | m <sup>2</sup> | 254 | \$ 7.89     | \$ 2,005.26        |
| Aplicación y materiales para pintura epóxica del fondo, cilindro y techo con 3 mils de espesor, 2 manos. | m <sup>2</sup> | 314 | \$ 2.55     | \$ 801.53          |
| Logotipo de Chop, pintura según colores del logo entregado por CCN                                       | Global         |     | \$ 789.47   | \$ 789.47          |
| Instalación eléctrica, bomba, sensores, y circuito de control.                                           | Global         |     | \$ 1,315.79 | \$ 1,315.79        |
| Instalación eléctrica para iluminación del área                                                          | Reflector      | 3   | \$ 92.11    | \$ 276.32          |
| Instalación hidráulica, sistema de bombeo, tuberías, acoples, válvulas, accesorios y rebose.             | Global         |     | \$ 750.00   | \$ 750.00          |
| Cimentación de la bomba y techo para protección de los equipos.                                          | Global         |     | \$ 157.89   | \$ 157.89          |
| Pasivación de soldadura y superficie de las planchas.                                                    | Global         |     | \$ 394.74   | \$ 394.74          |
| Maquinaria pesada a utilizar ,Detalle:                                                                   |                |     | \$ 911.84   | \$ 911.84          |
| <b>SUBTOTAL</b>                                                                                          |                |     |             | <b>\$33,372.99</b> |
| <b>UTILIDAD</b>                                                                                          |                | 20% |             | <b>\$6,674.60</b>  |
| <b>TOTAL</b>                                                                                             |                |     |             | <b>\$40,047.59</b> |



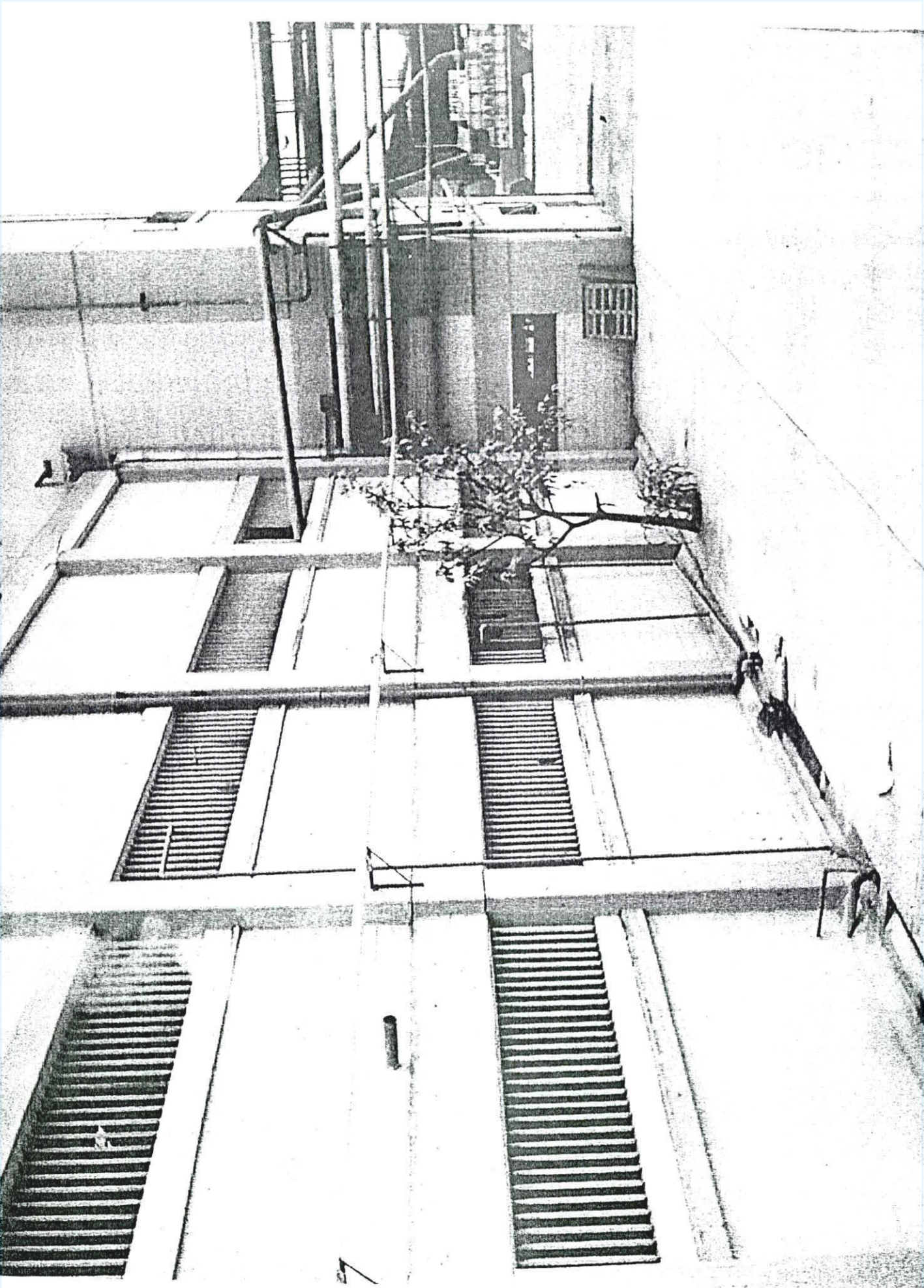


## APÉNDICE C

FOTO 1

ACOPLE TUBERÍA ENTRADA CON EXISTENTE

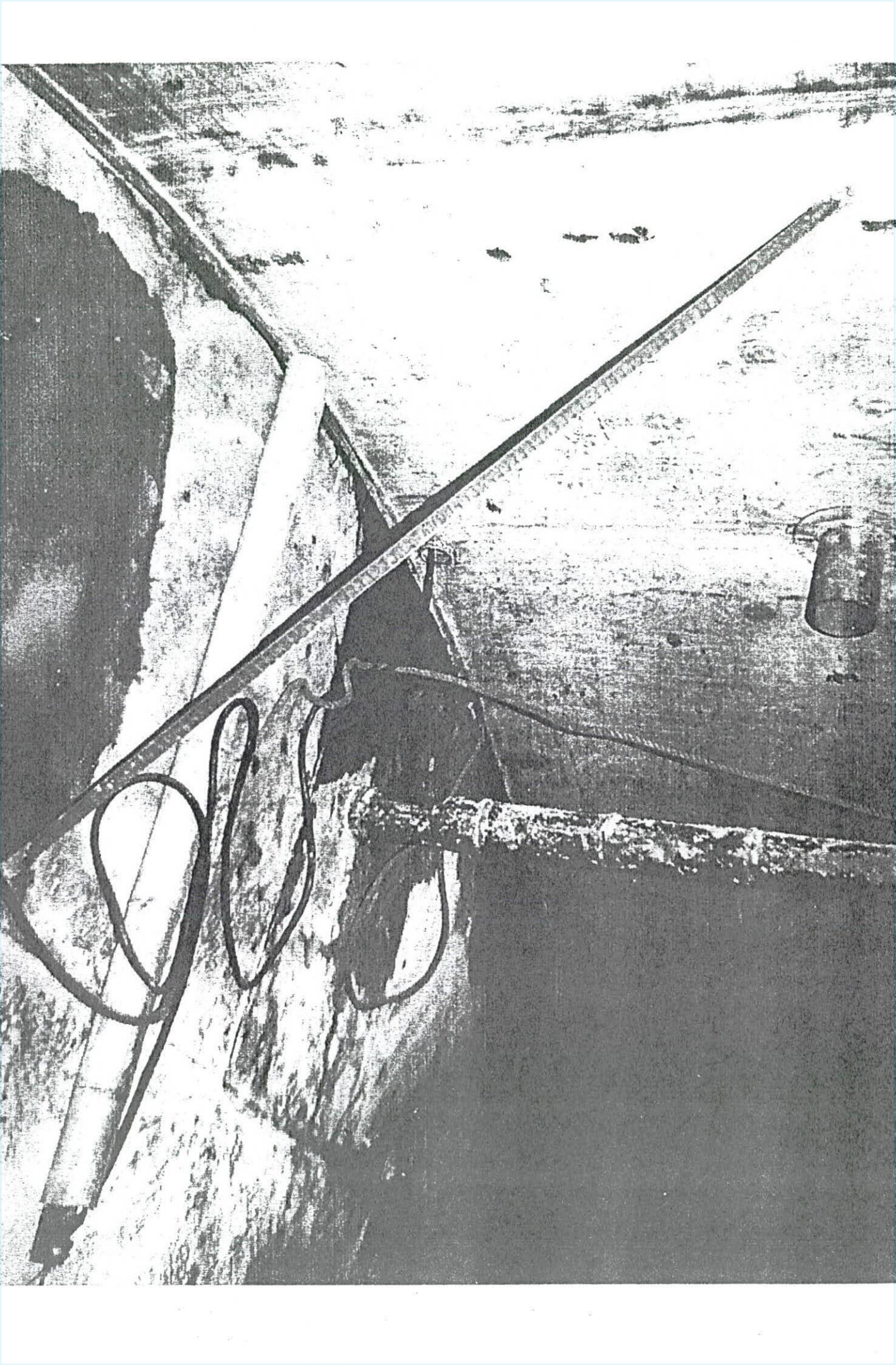




**FOTO 2**

**APUNTALAMIENTO PLANCHAS Y ENTRADA AGUA**

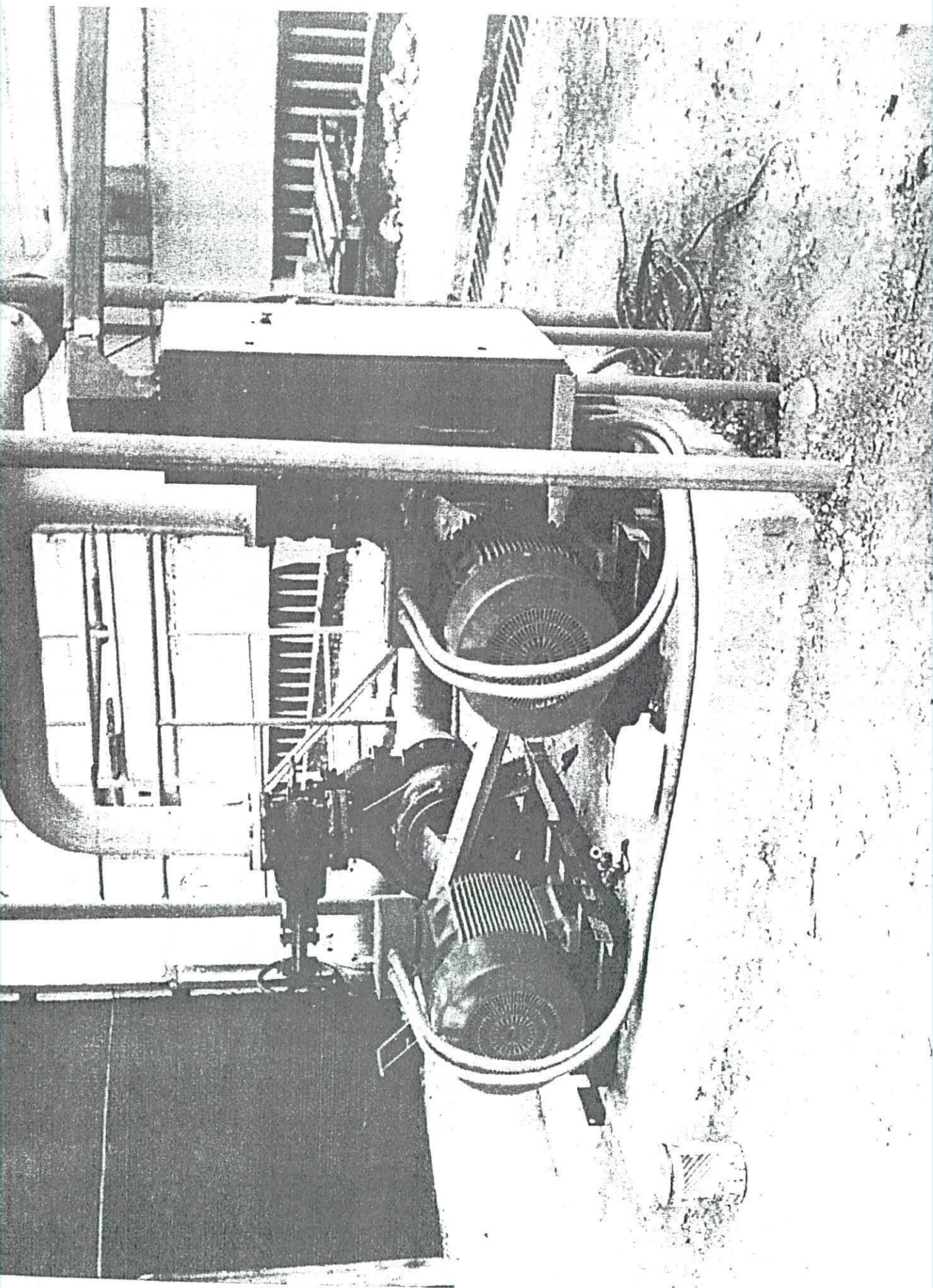






**FOTO 3**  
**BOMBAS**





**FOTO 4**  
**DUCHAS INTERIORES**





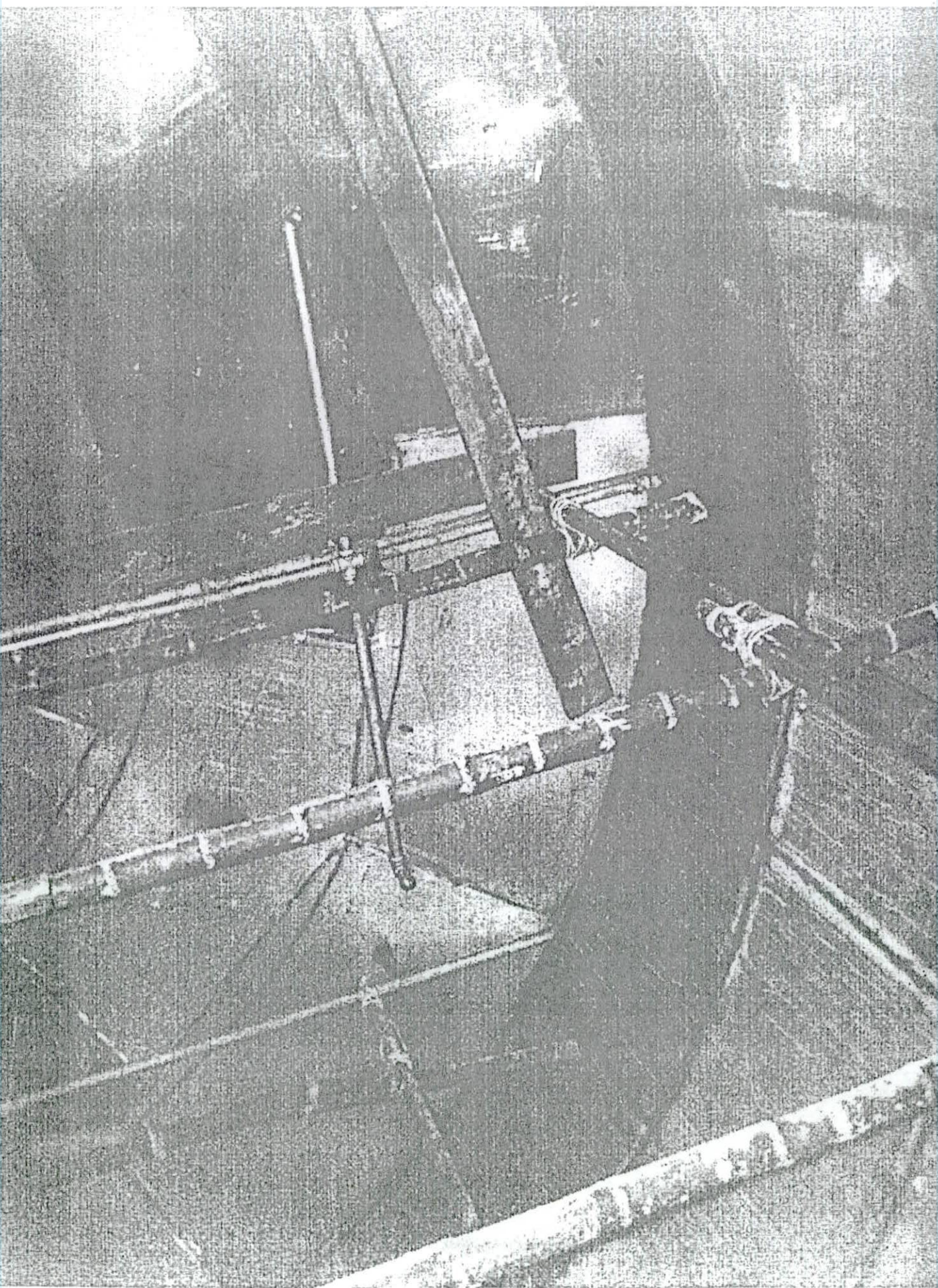




FOTO 5

DUCHAS INTERNAS Y TECHO





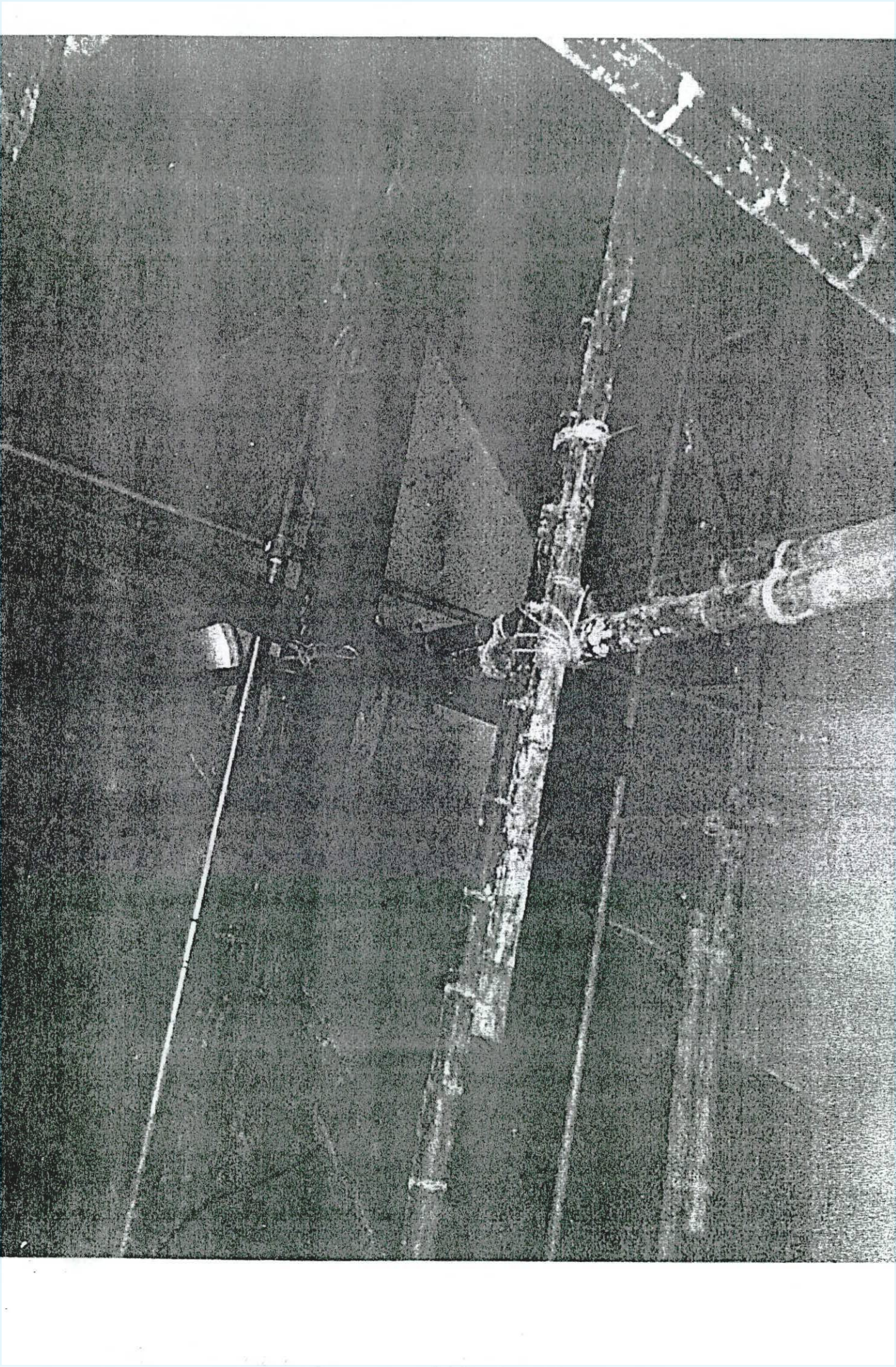


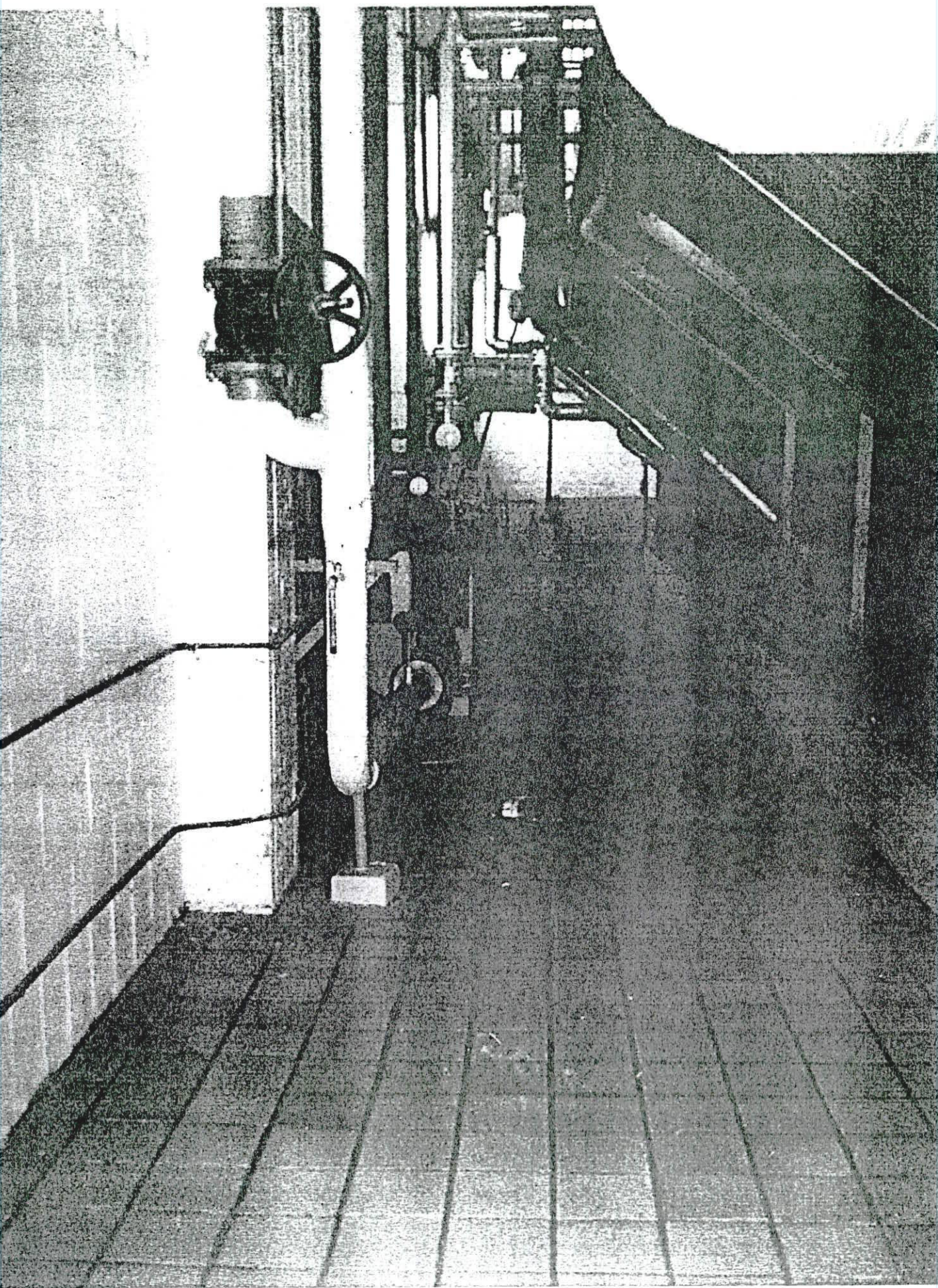


FOTO 6

ENTRADA A SISTEMAS DE PAILAS





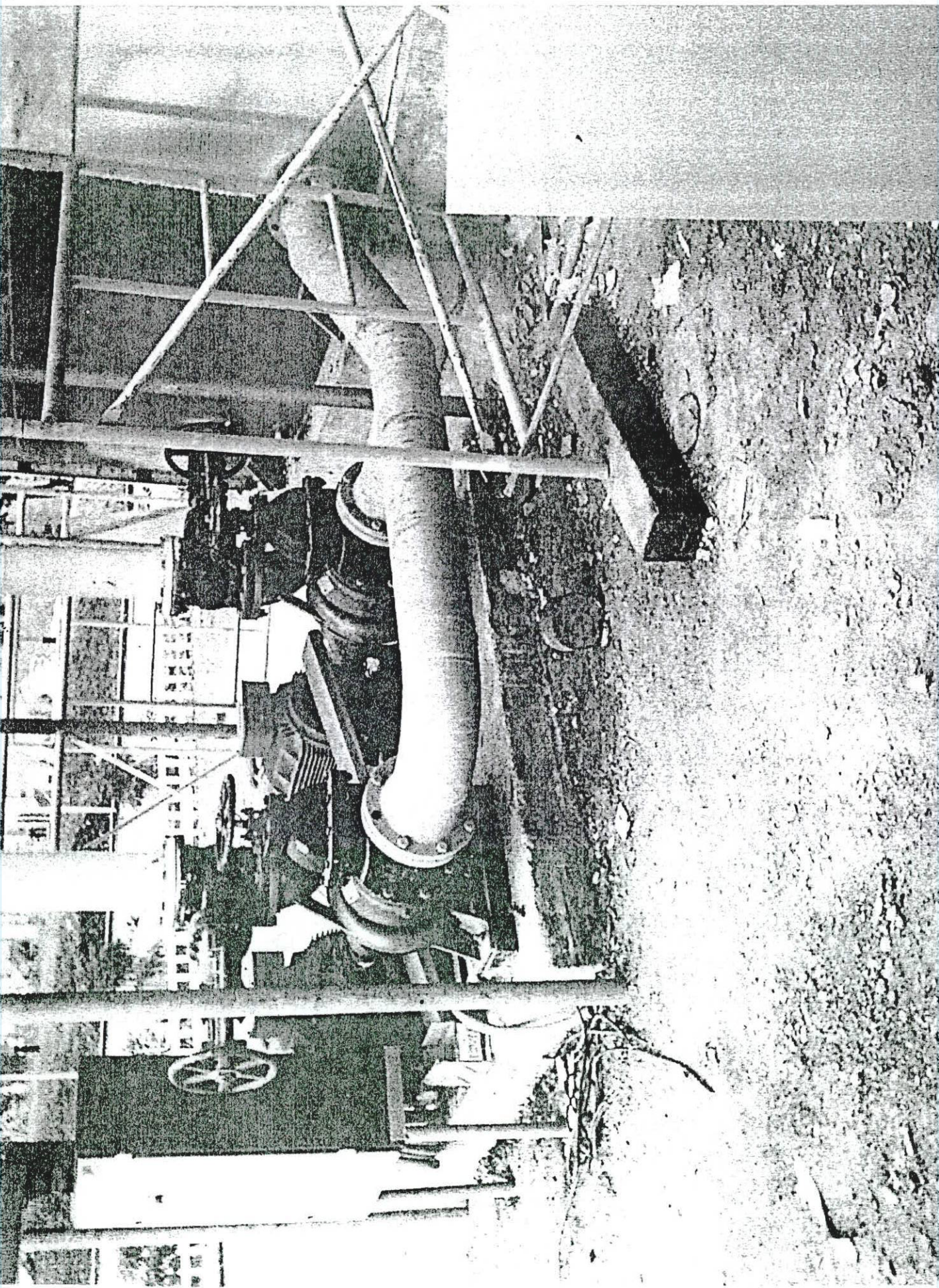




**FOTO 7**  
**ENTRADA AGUA**





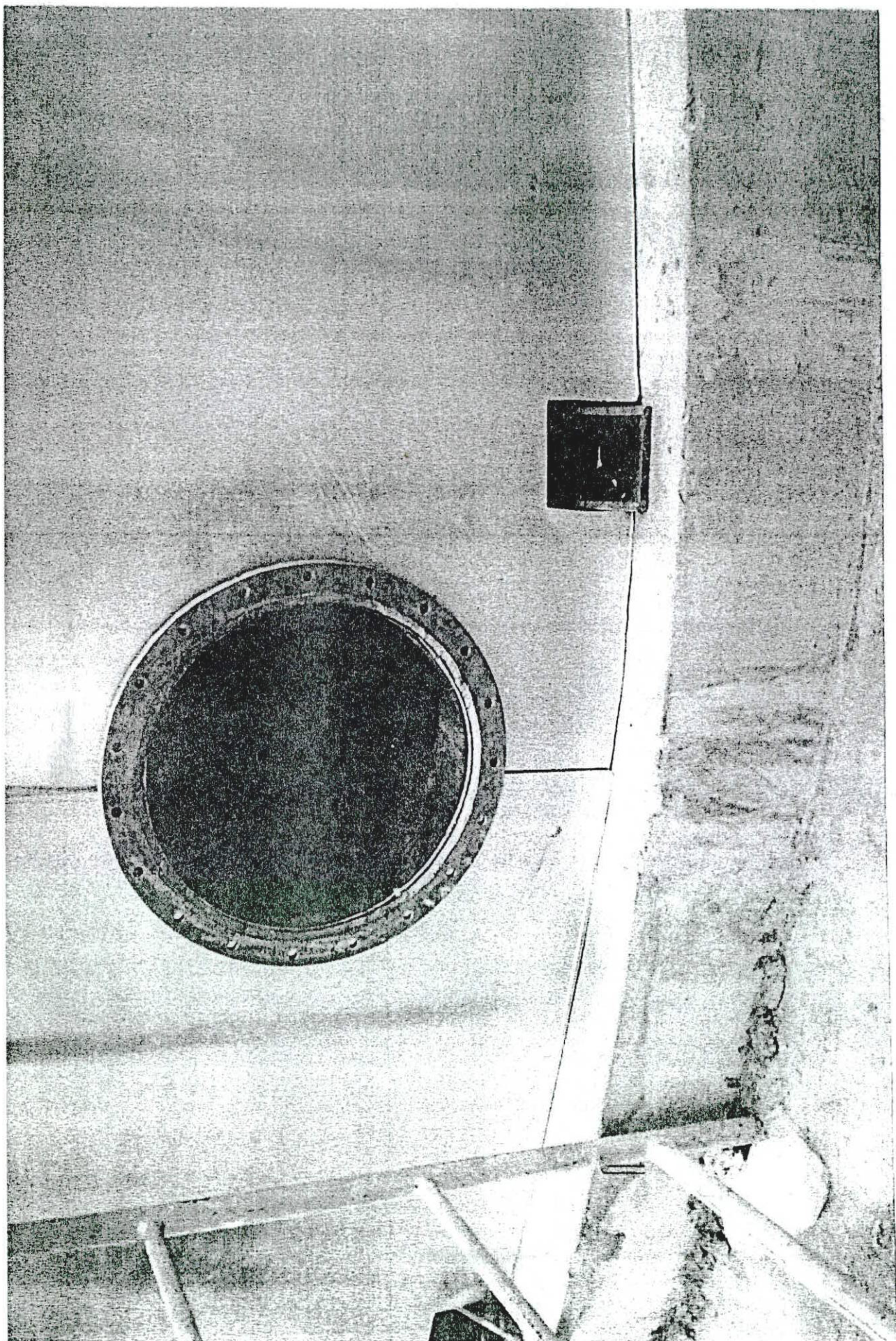




**FOTO 8**

**ENTRADA PARA REPARACIONES**







**FOTO 9**

**ESCALERA Y PASAMANOS**



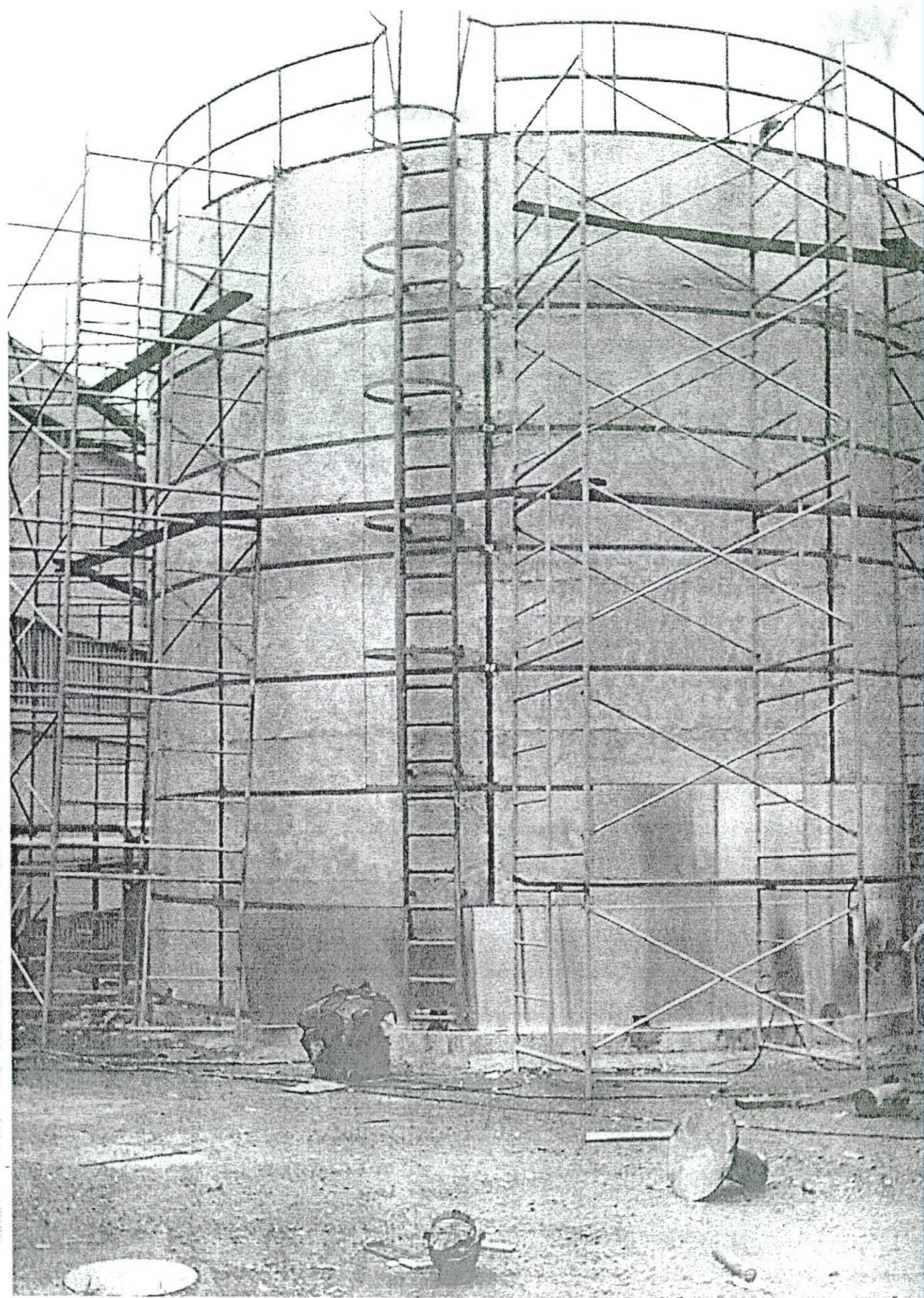
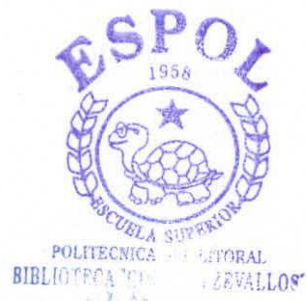




FOTO 10

ESTRUCTURA LATERAL Y TECHO



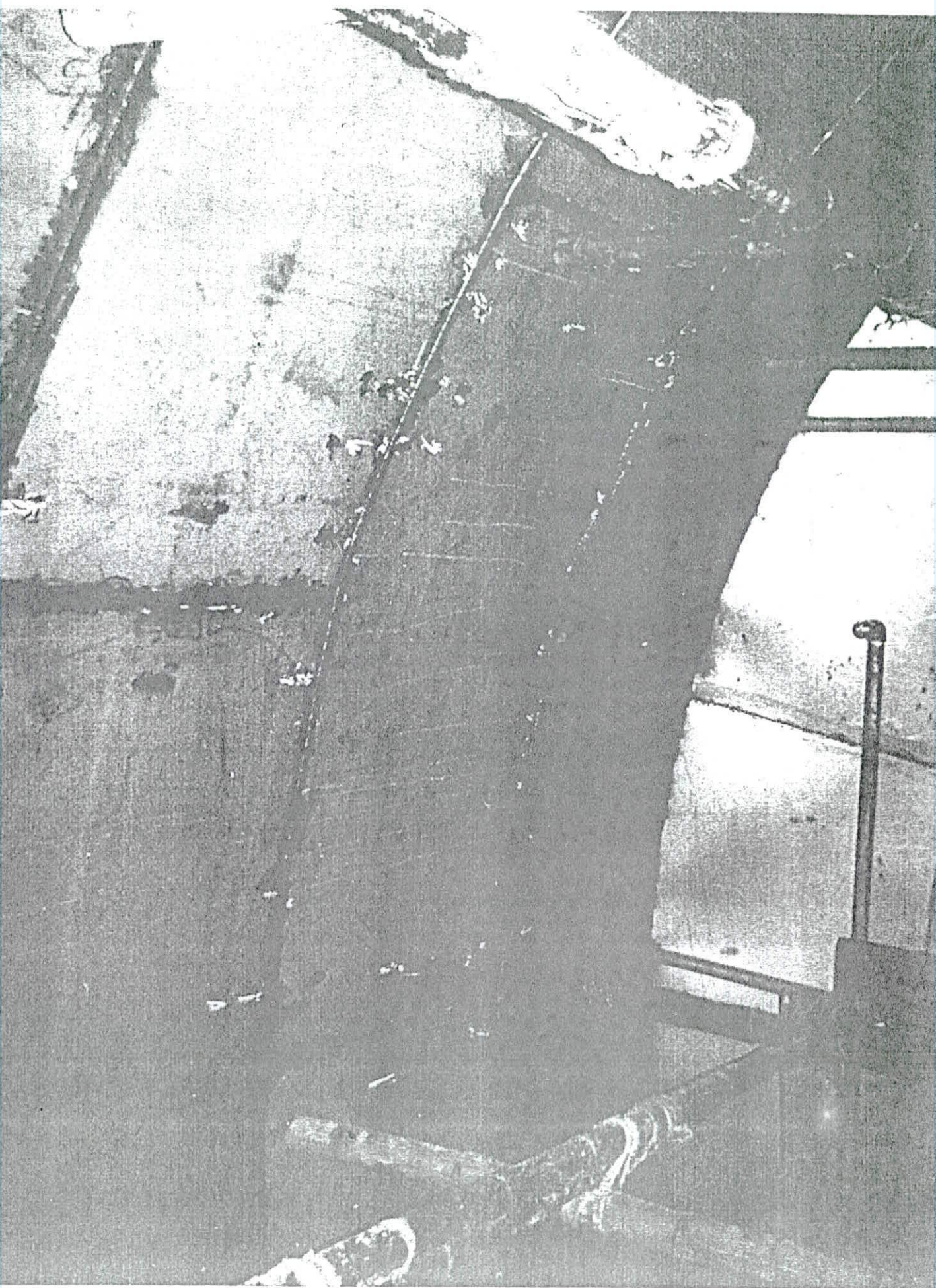




FOTO 11

INSTALACIÓN DE AISLAMIENTO Y SOPORTES





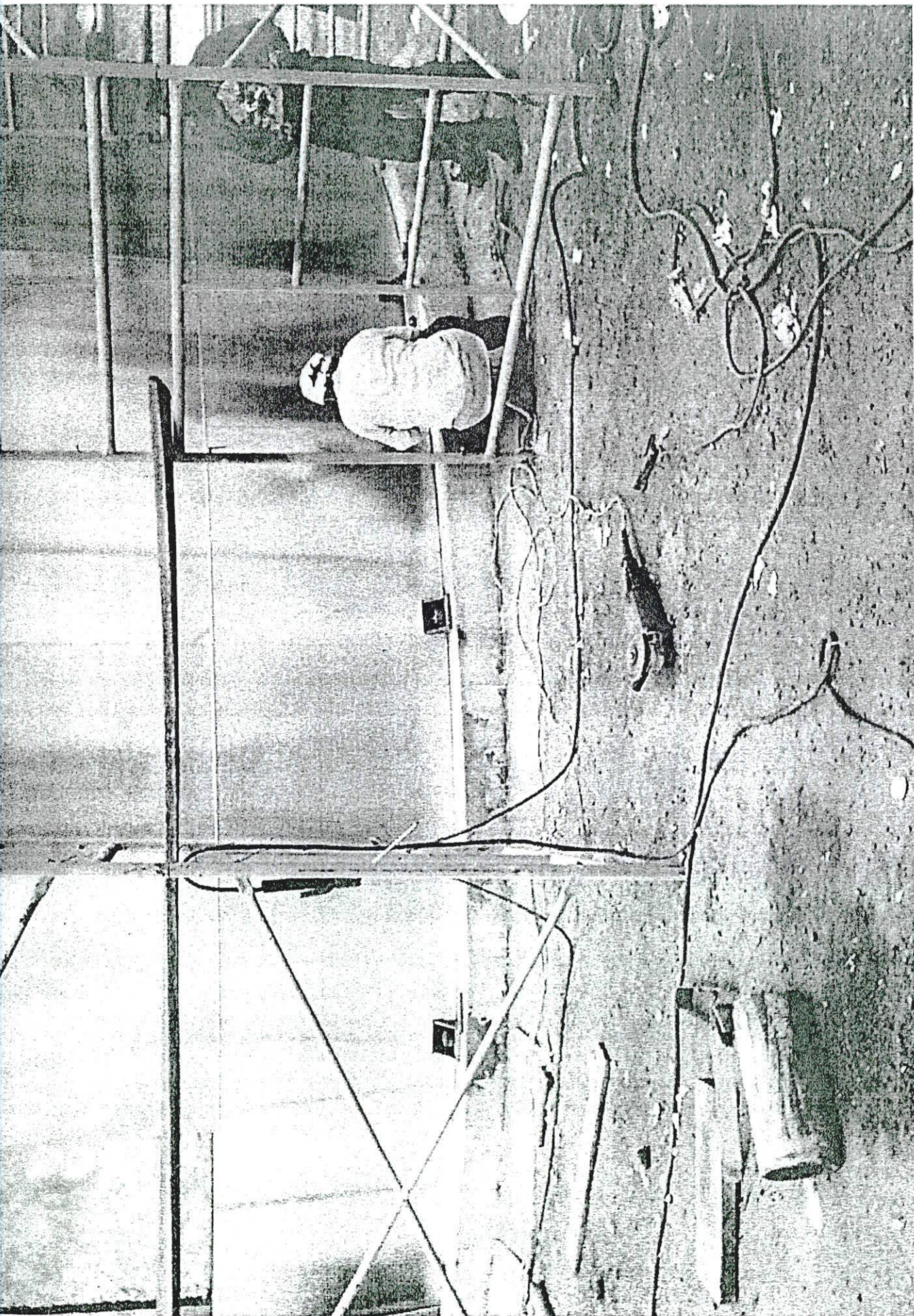




FOTO 12

INSTRUMENTACIÓN Y DRENAJE



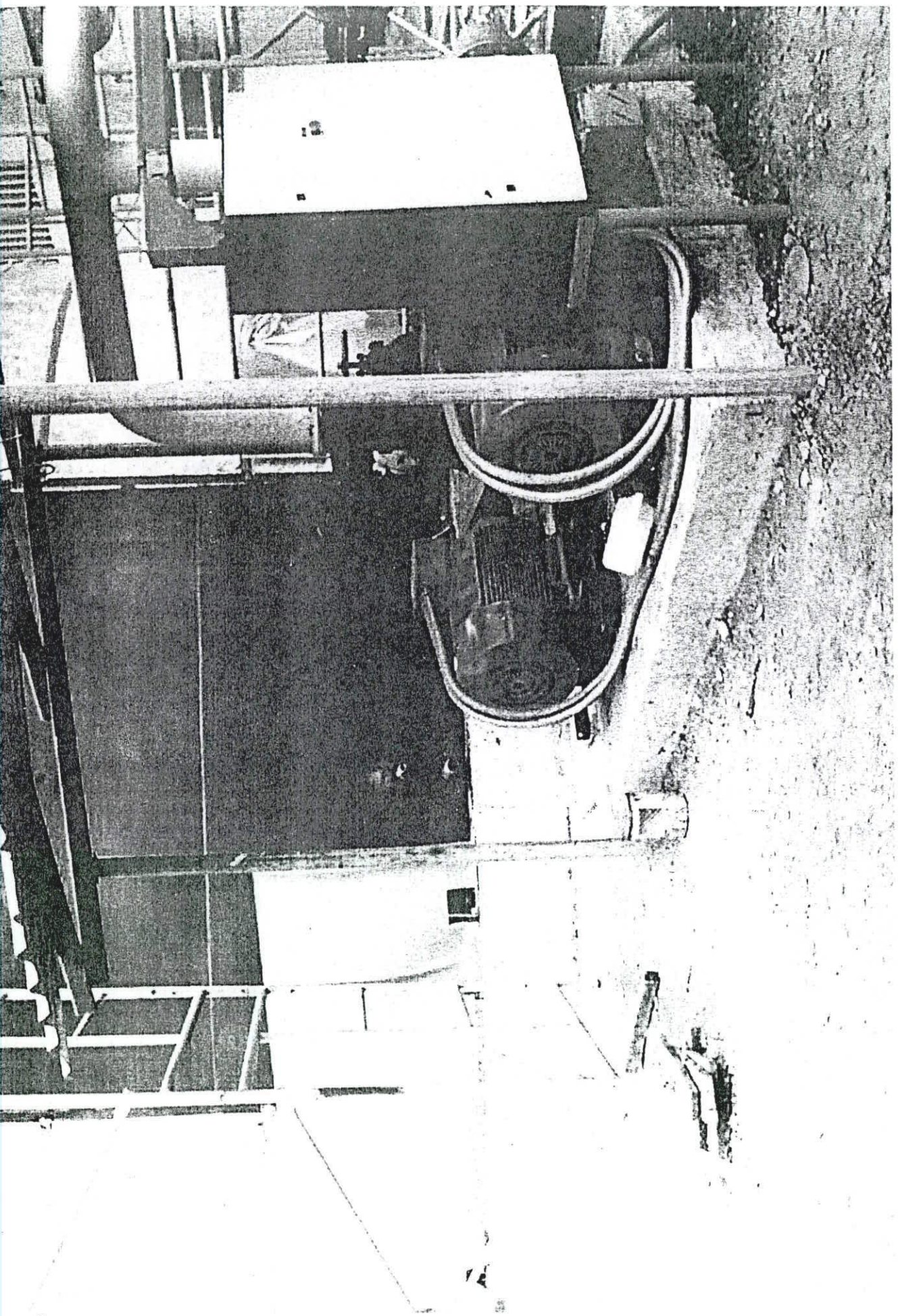
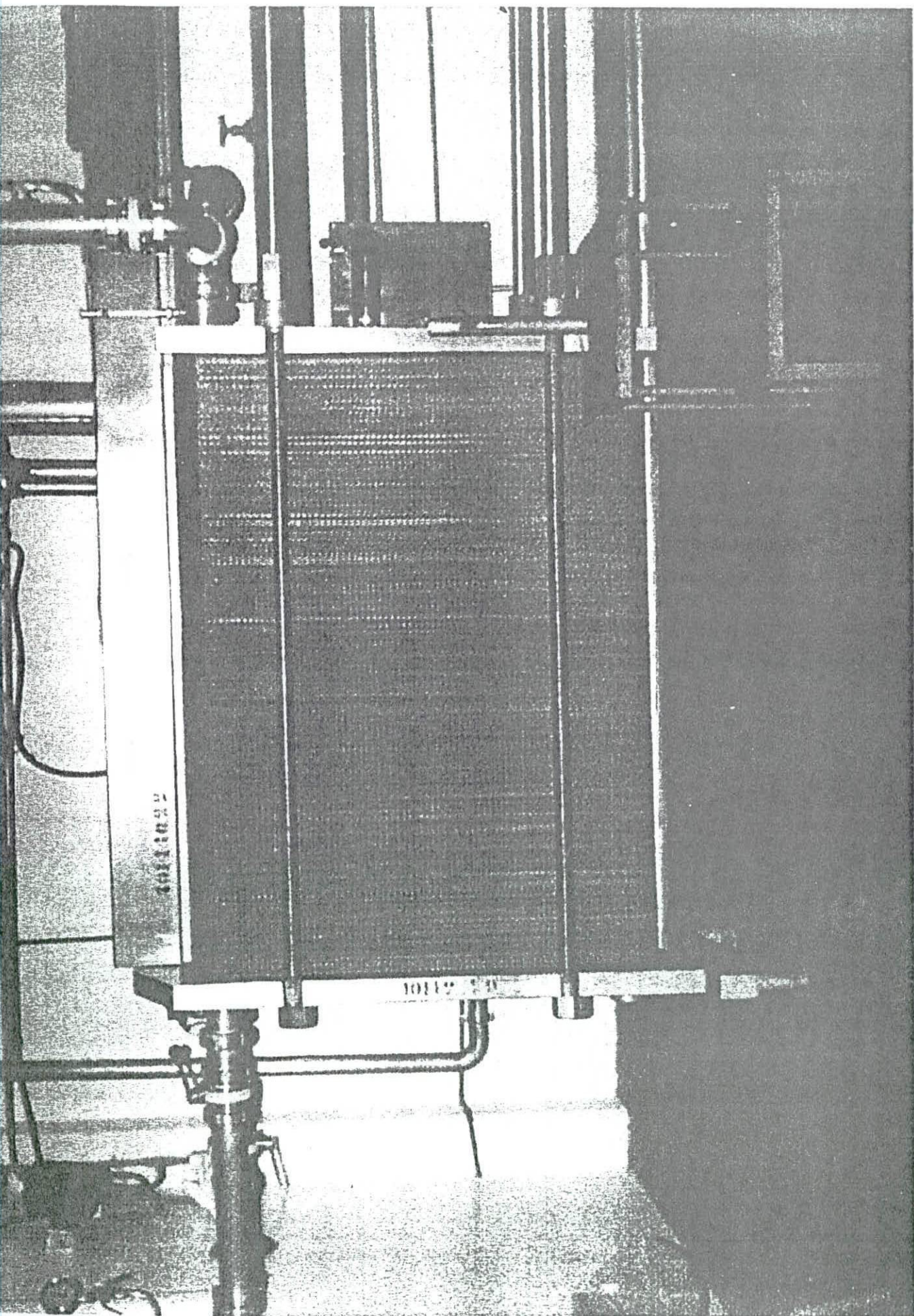


FOTO 13

INTERCAMBIADOR DE CALOR AGUA HELADA









**FOTO 14**

**SALIDA A BOMBA DE SUCCIÓN**



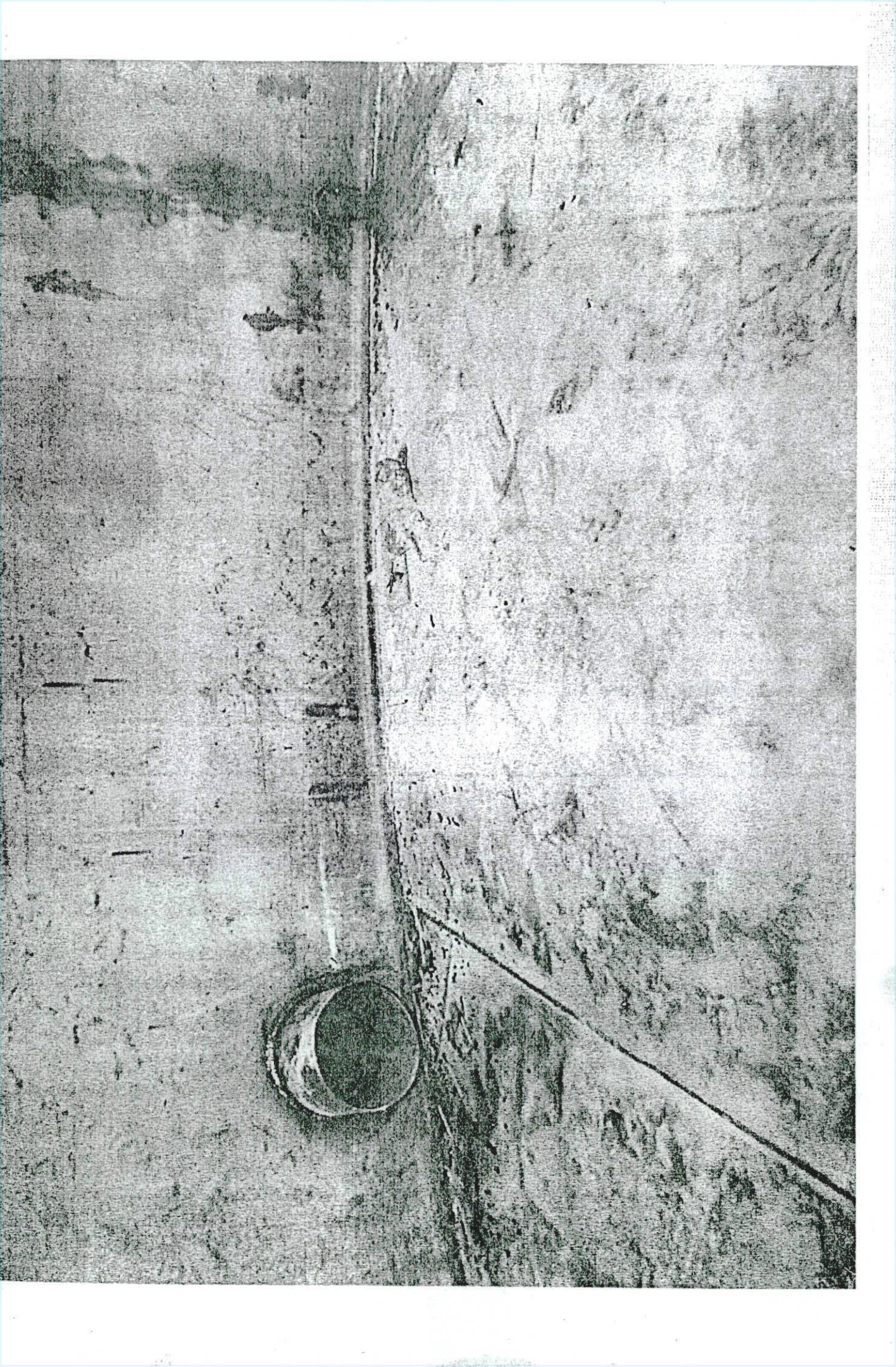




FOTO 15

SISTEMA DE BOMBEO





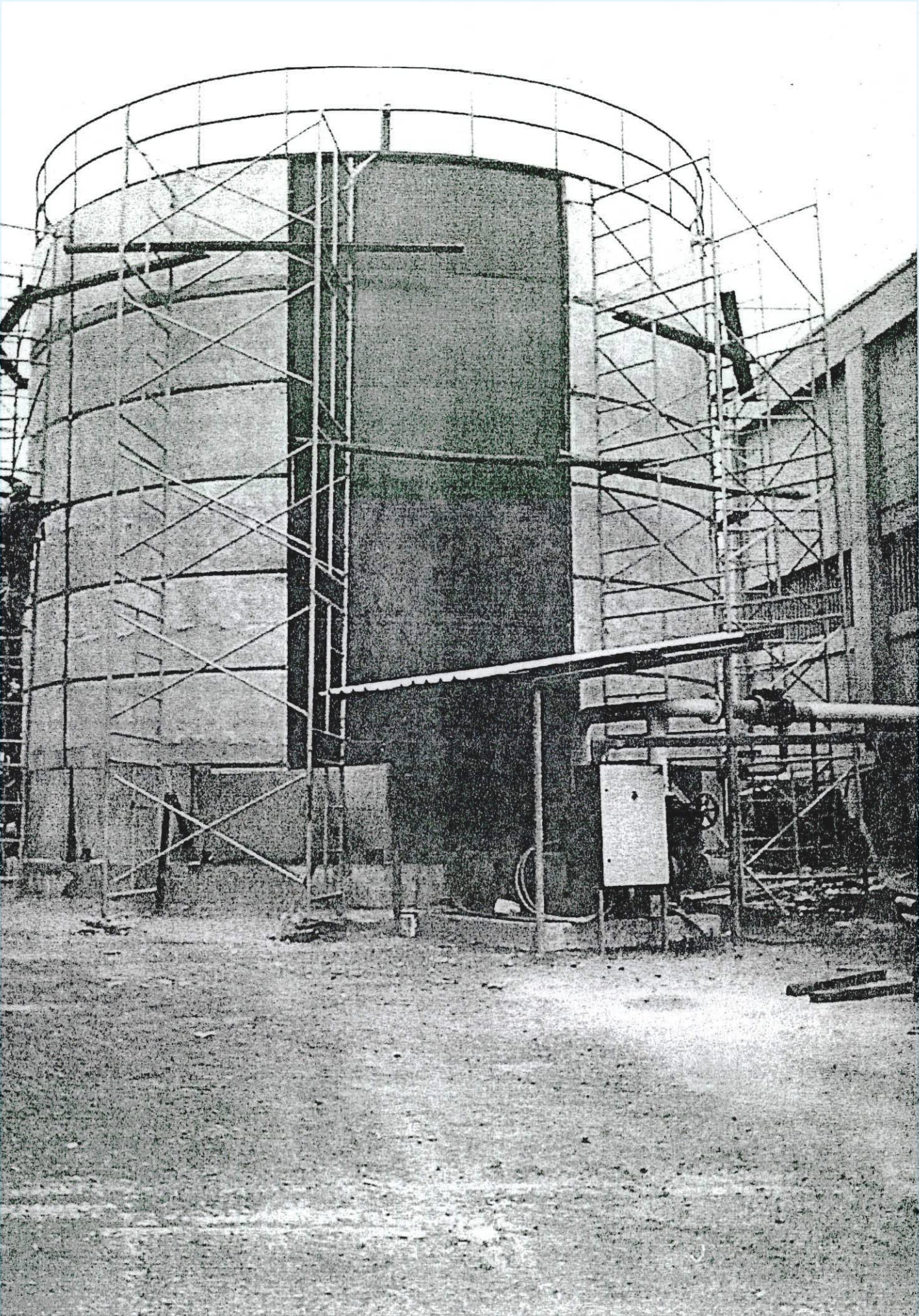


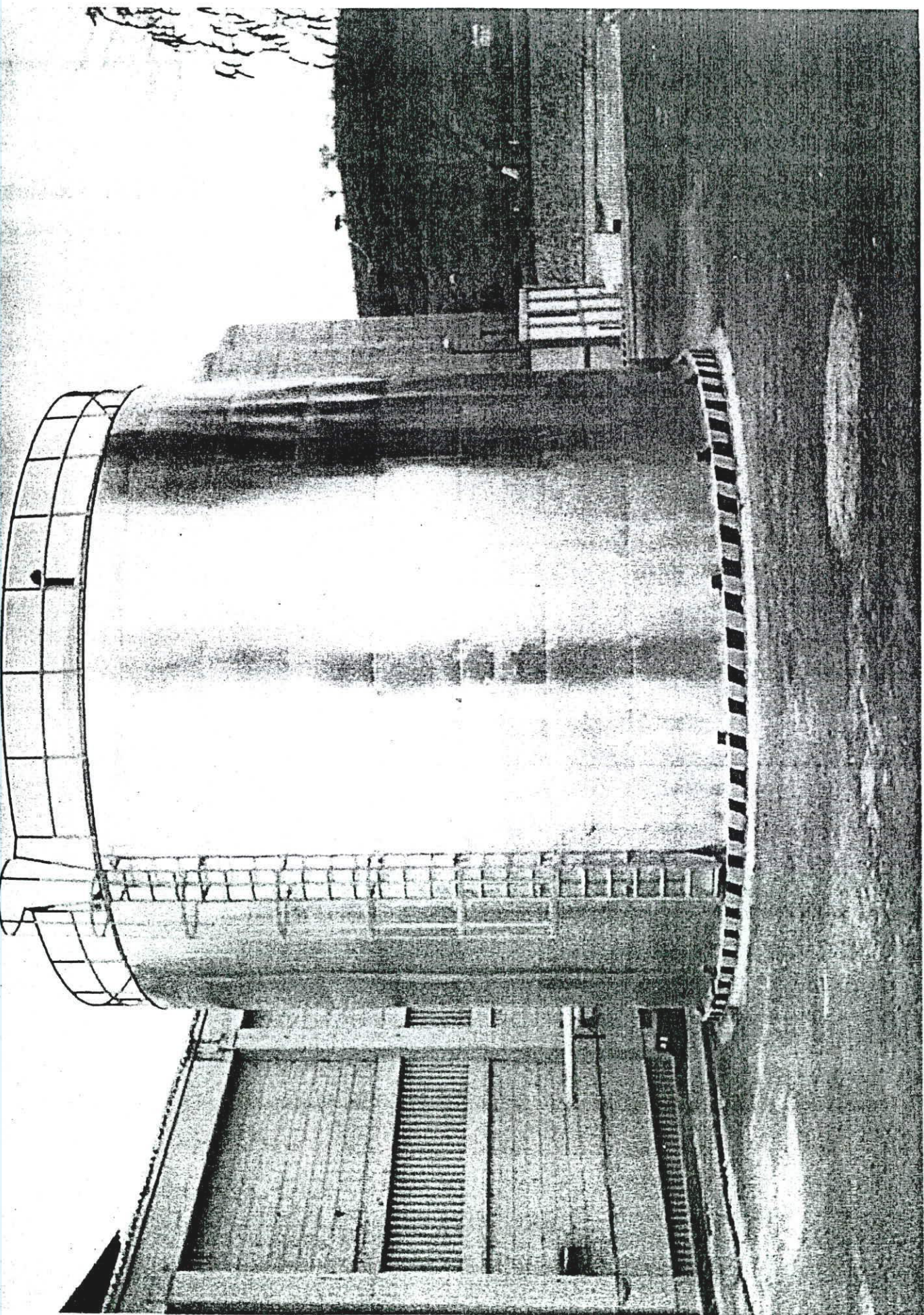


FOTO 16

TANQUE CON ESCALERA VISTA TRASERA



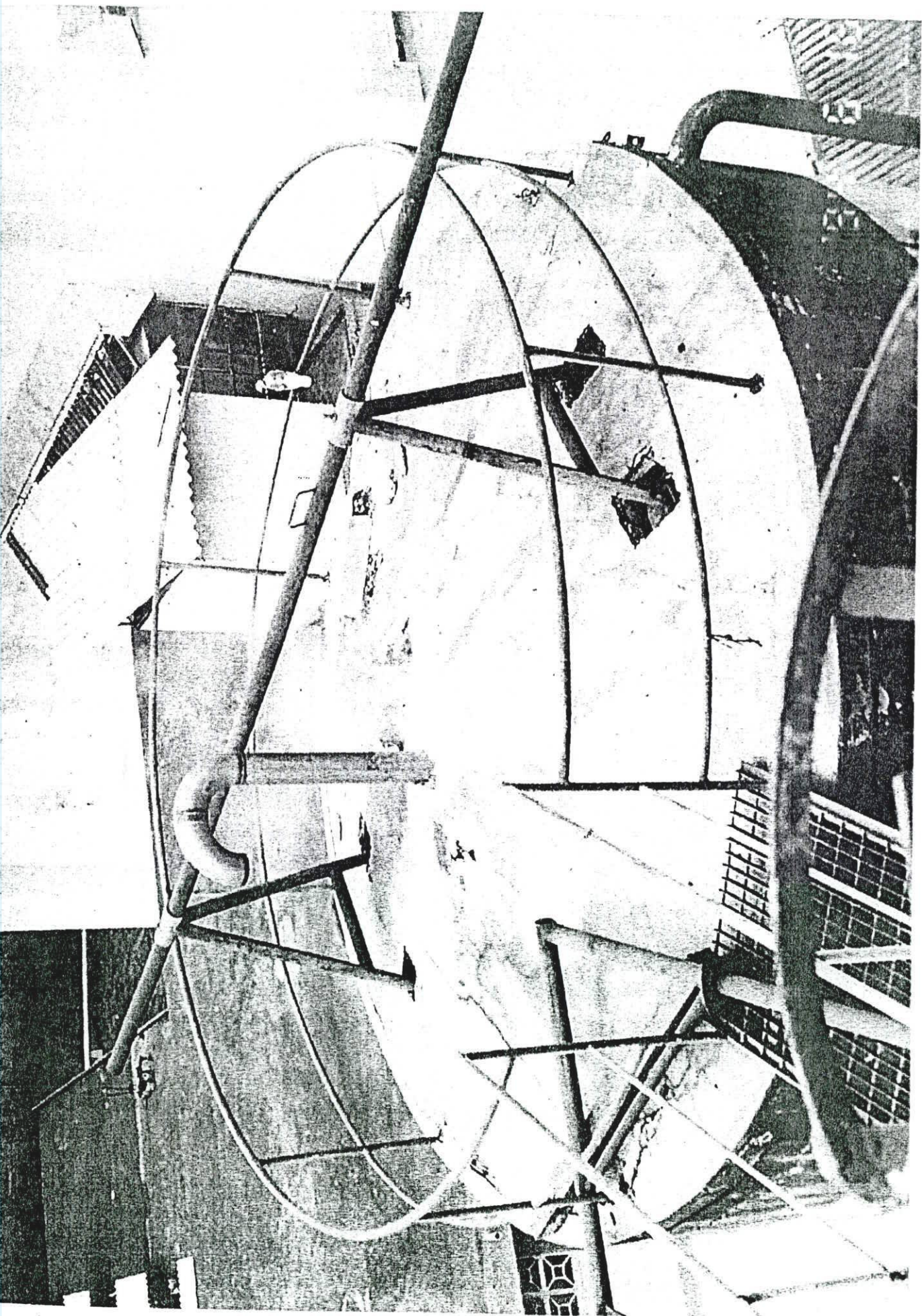






**FOTO 17**

**TANQUE VIEJO REPARACIÓN**



**FOTO 18**  
**TUBERÍA DE ENTRADA 1**





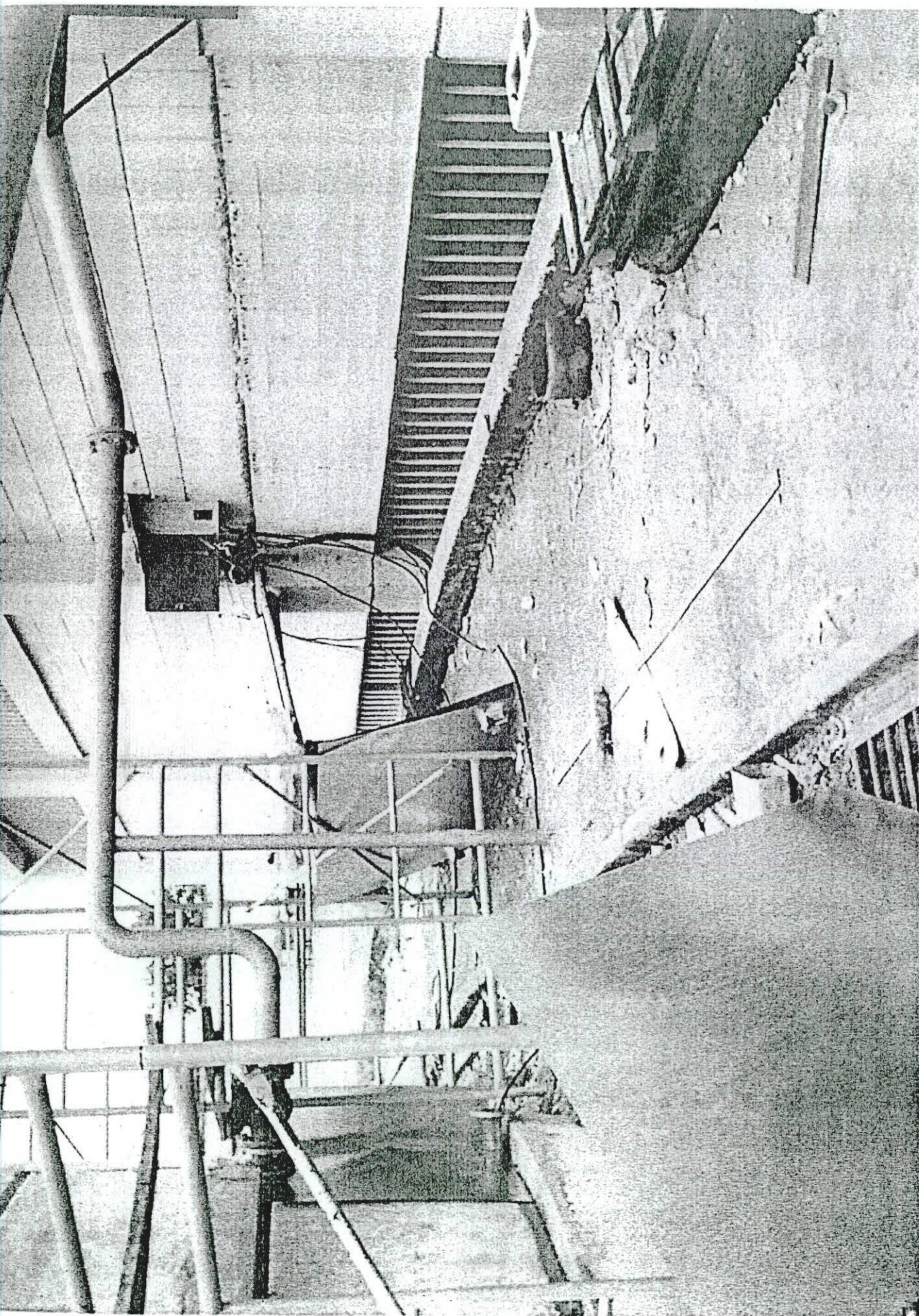
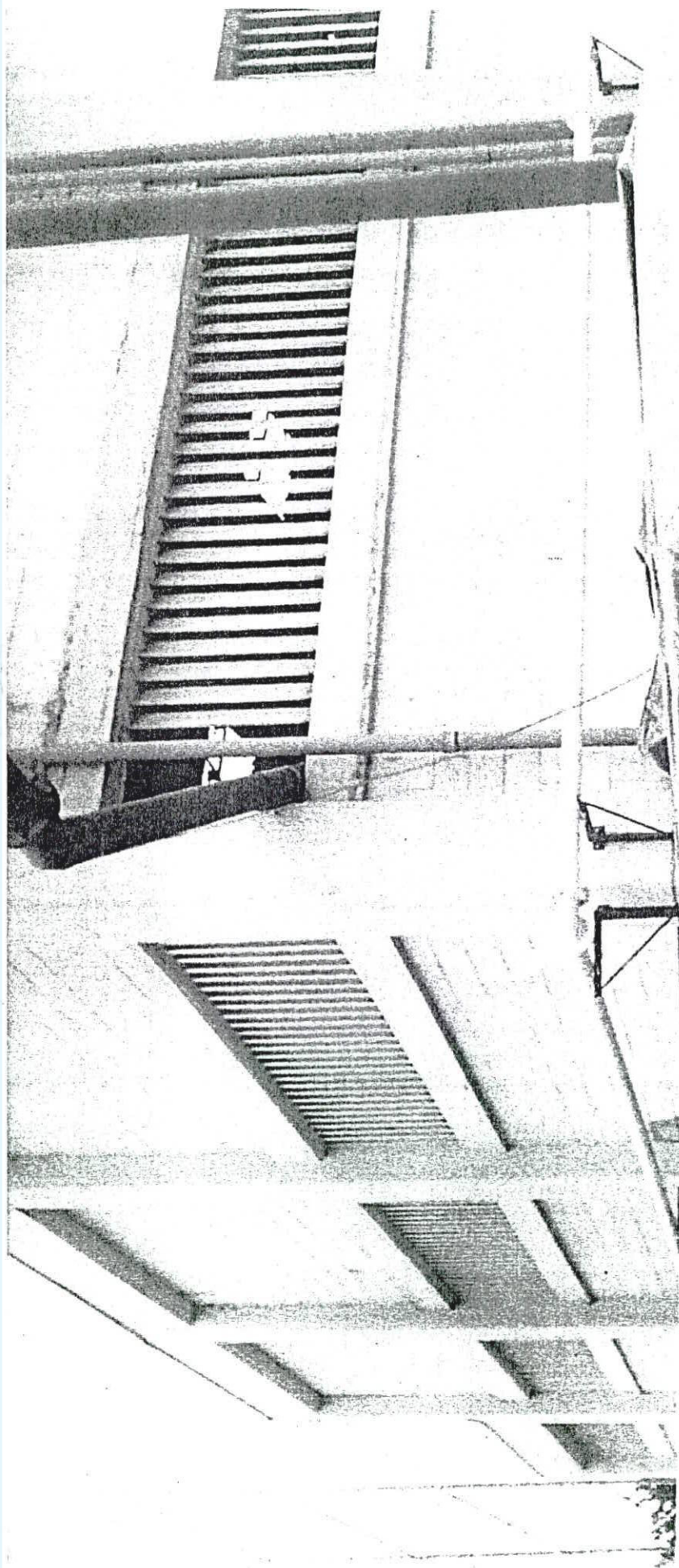




FOTO 19

TUBERÍA DE ENTRADA 2







**FOTO 20**  
**TUBERÍA DE REBOSE**



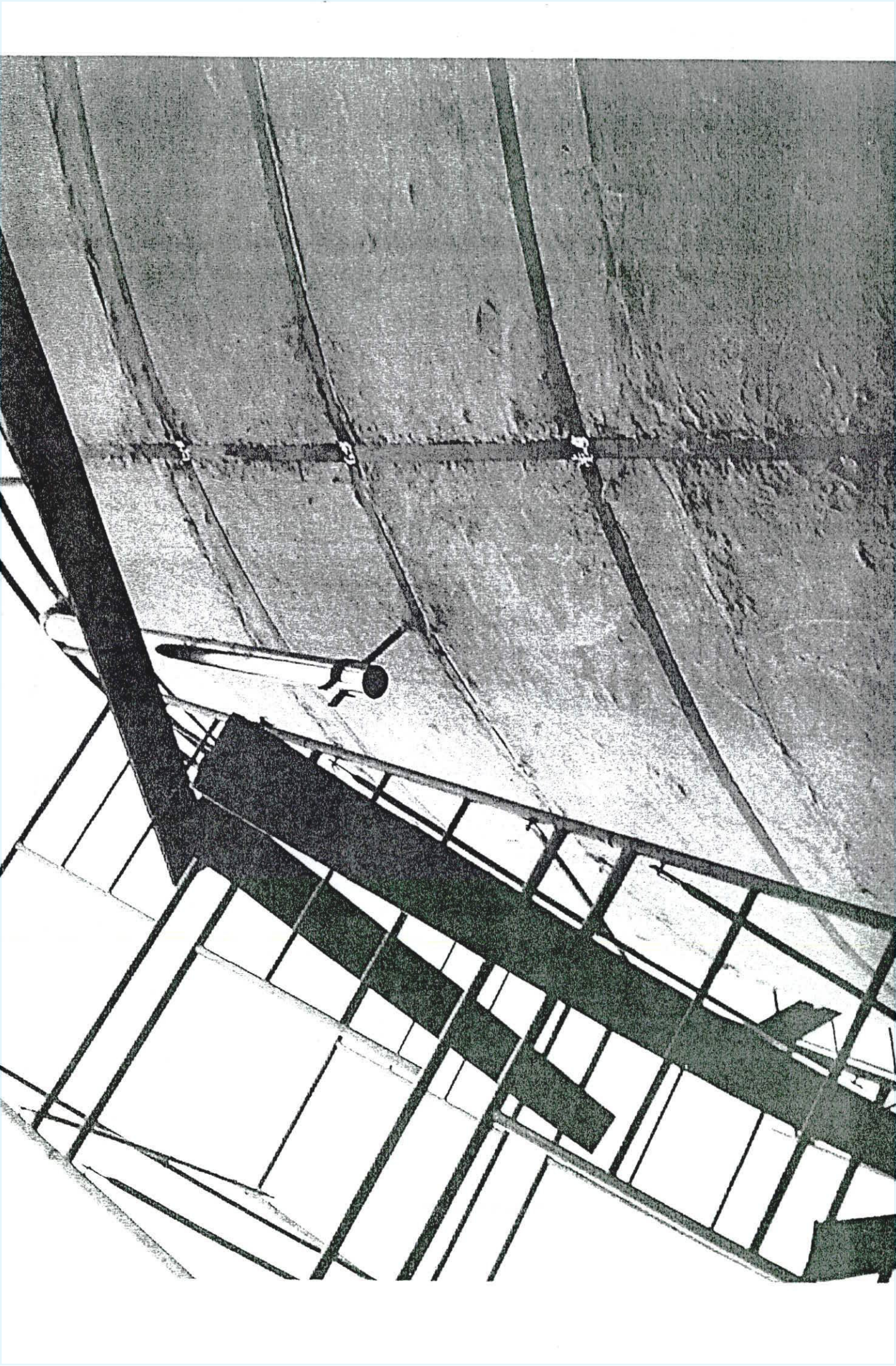




FOTO 21

TUBERÍAS DE ENTRADA



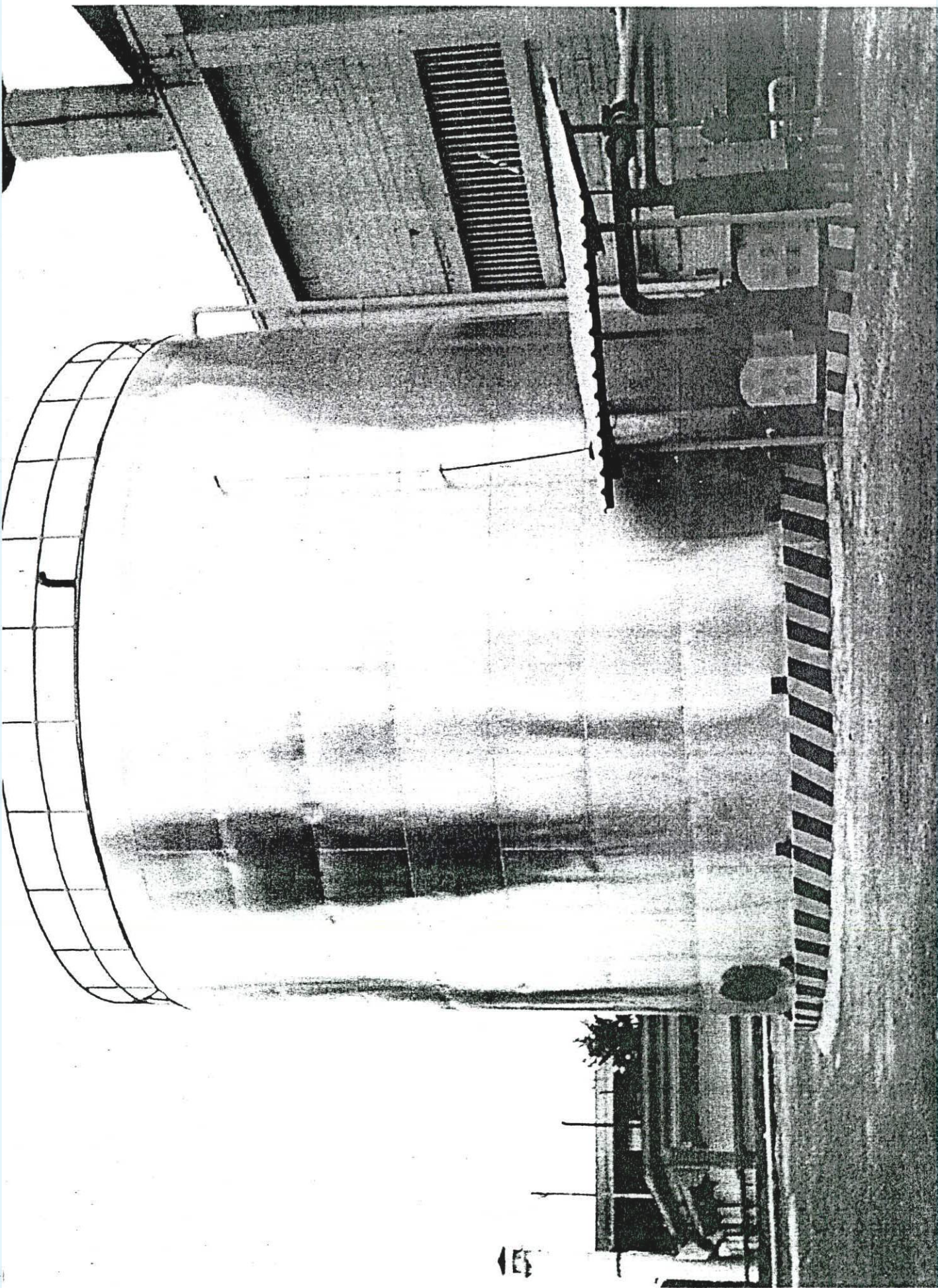






**FOTO 22**  
**VISTA FRONTAL TANQUE**





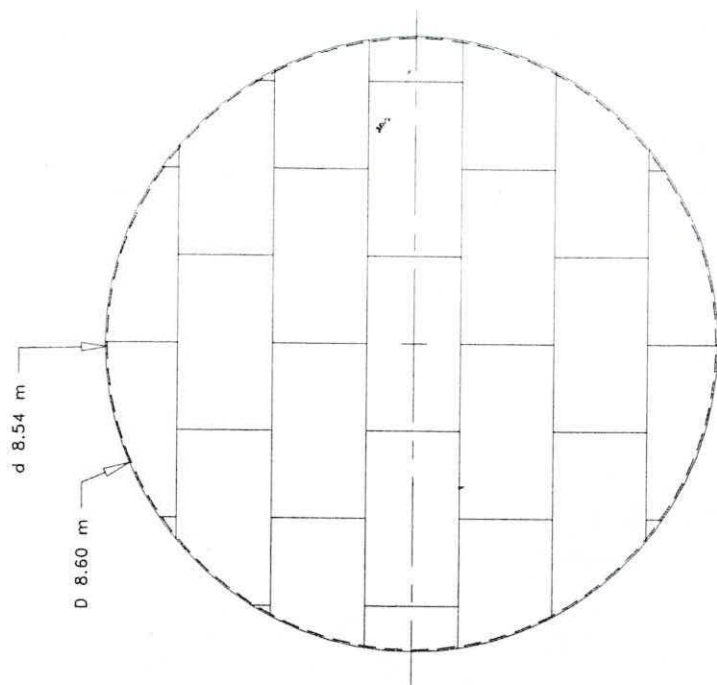
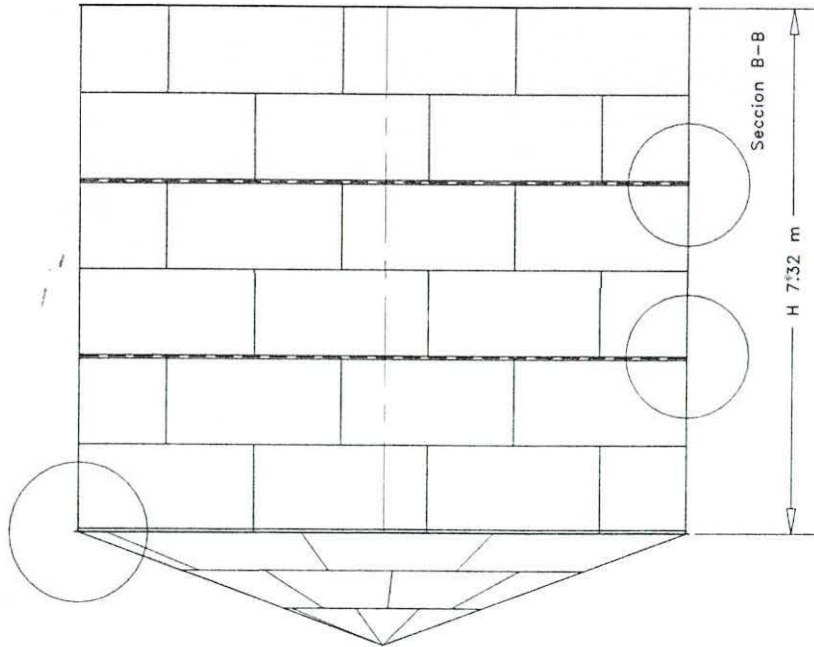


## BIBLIOGRAFÍA

- 1 **Introduction to Fluid Mechanics** (2da. edición), Robert W. Fox Alan T. Mc. Donald 1978.
- 2 **Manual del Ingeniero Mecánico Volumen III** (8va. Edición – 2da. edición en español) Theodore Baumister – Eugene A. Avallone – Theodore Baumister III 1984.

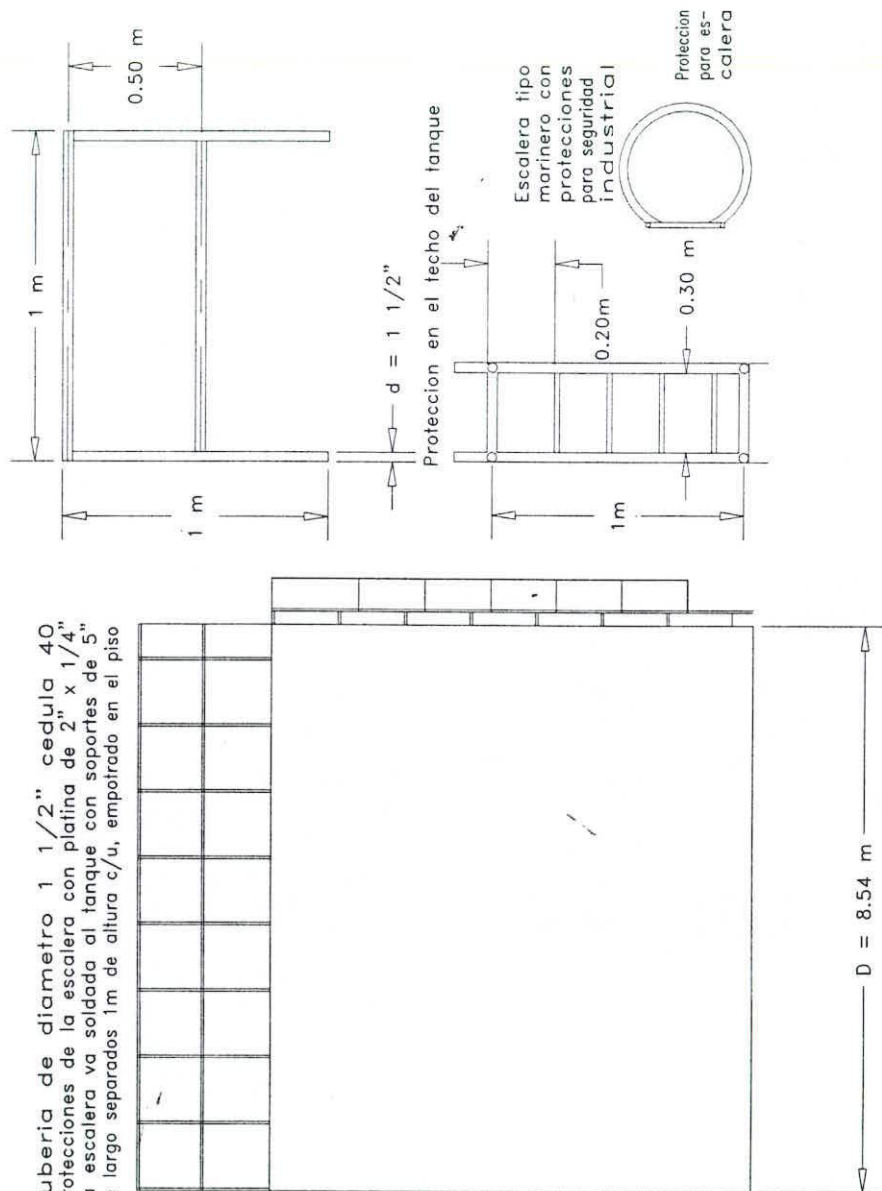


Seccion A-A



|                                                                                                 |          |                        |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------|-------------|
|  Mic Designs |          | COMPANIA DE CERV. NAC. |             |
| JULIO/24/94                                                                                     |          | PLANO #1               | PROY # 0001 |
| DIMENSIONES GENERALES TANQUE VERTICAL                                                           |          |                        |             |
| DISEÑO                                                                                          | REVISADO | APROBADO               | FECHA AP.   |
| J. VASCONES                                                                                     |          |                        |             |

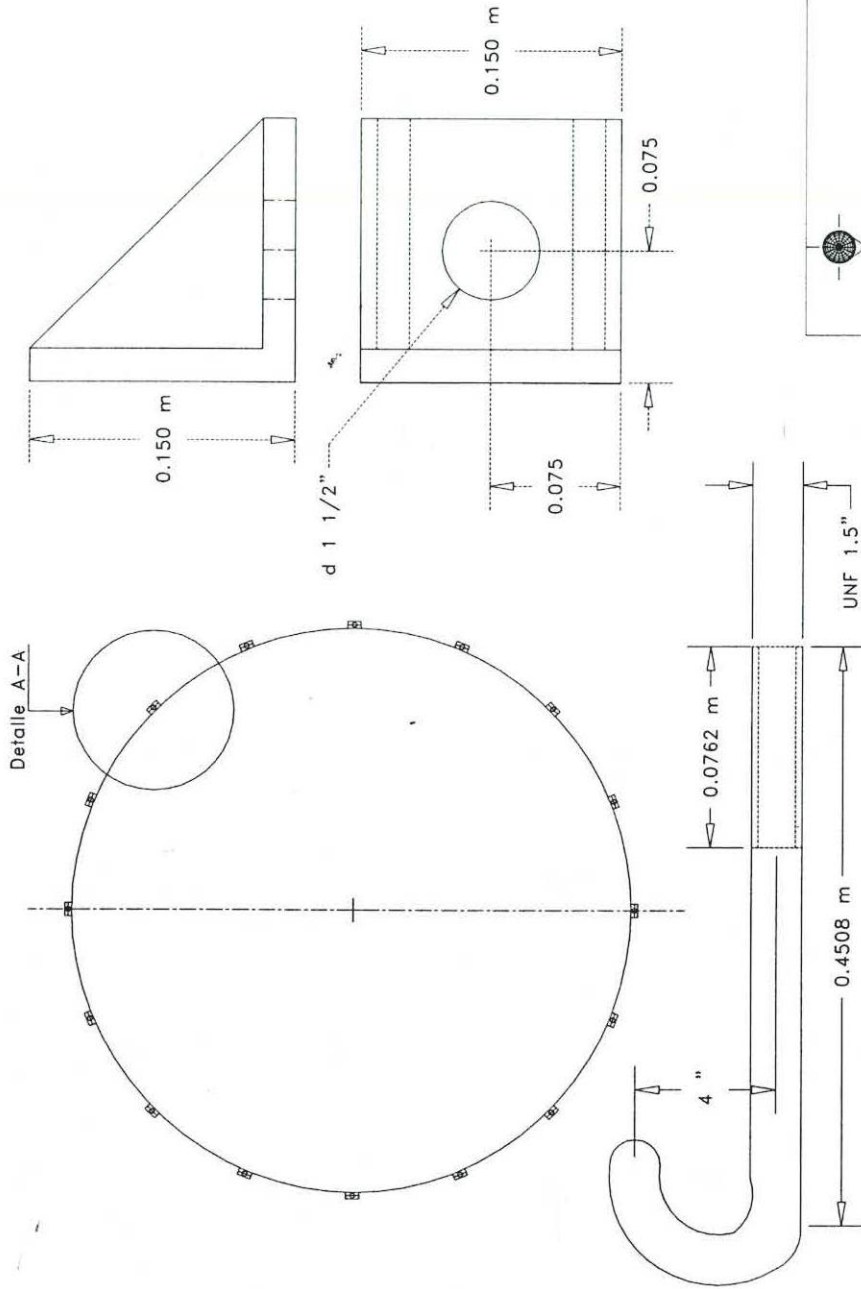
Tubería de diámetro 1 1/2" cedula 40  
 Protecciones de la escalera con platina de 2" x 1/4"  
 La escalera va soldada al tanque con soportes de 5"  
 de largo separados 1m de altura c/u, empotrado en el piso



|                                     |                        |          |             |
|-------------------------------------|------------------------|----------|-------------|
| Mic Designs                         | COMPañIA DE CERV. NAC. |          |             |
|                                     | JULIO/4/94             | PLANO #2 | PROY # 0001 |
| ESCALERA Y PROTECCIONES PARA TANQUE |                        |          |             |
| DISEÑO                              | REVISADO               | APROBADO | FECHA AP.   |
| J. VASCONES                         |                        |          |             |



Detalle A-A



Mic Designs

COMPANIA DE CERV. NAC.

JULIO/4/94

PLANO #3

PROY # 0001

BASES Y PERNOS DE ANCLAJE PARA TANQUE

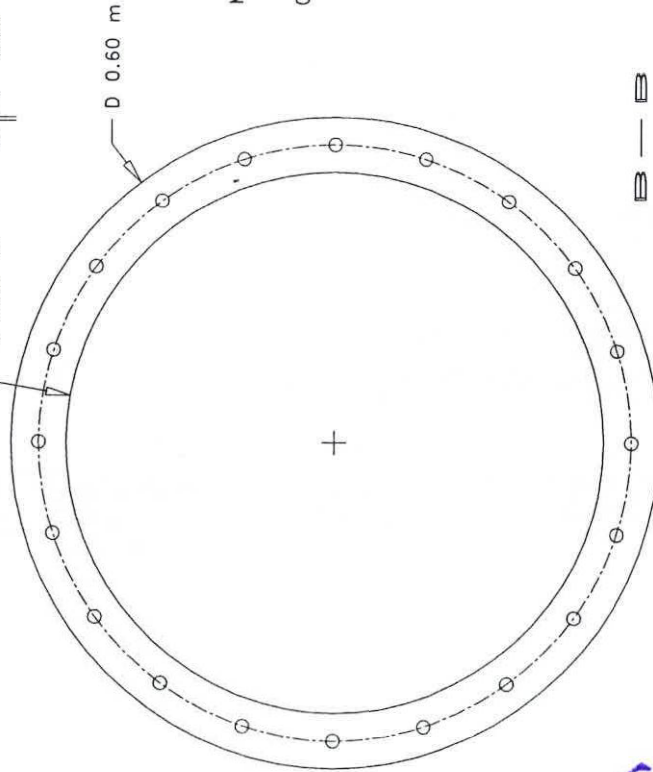
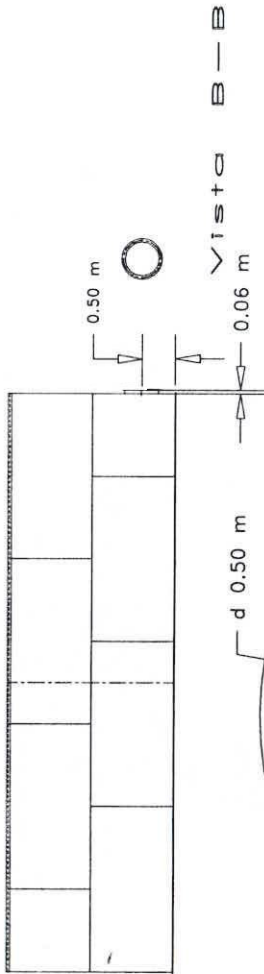
DISEÑO

REVISADO

APROBADO

FECHA AP.

J. VASCONES



Material AISI 304L espesor 9 mm

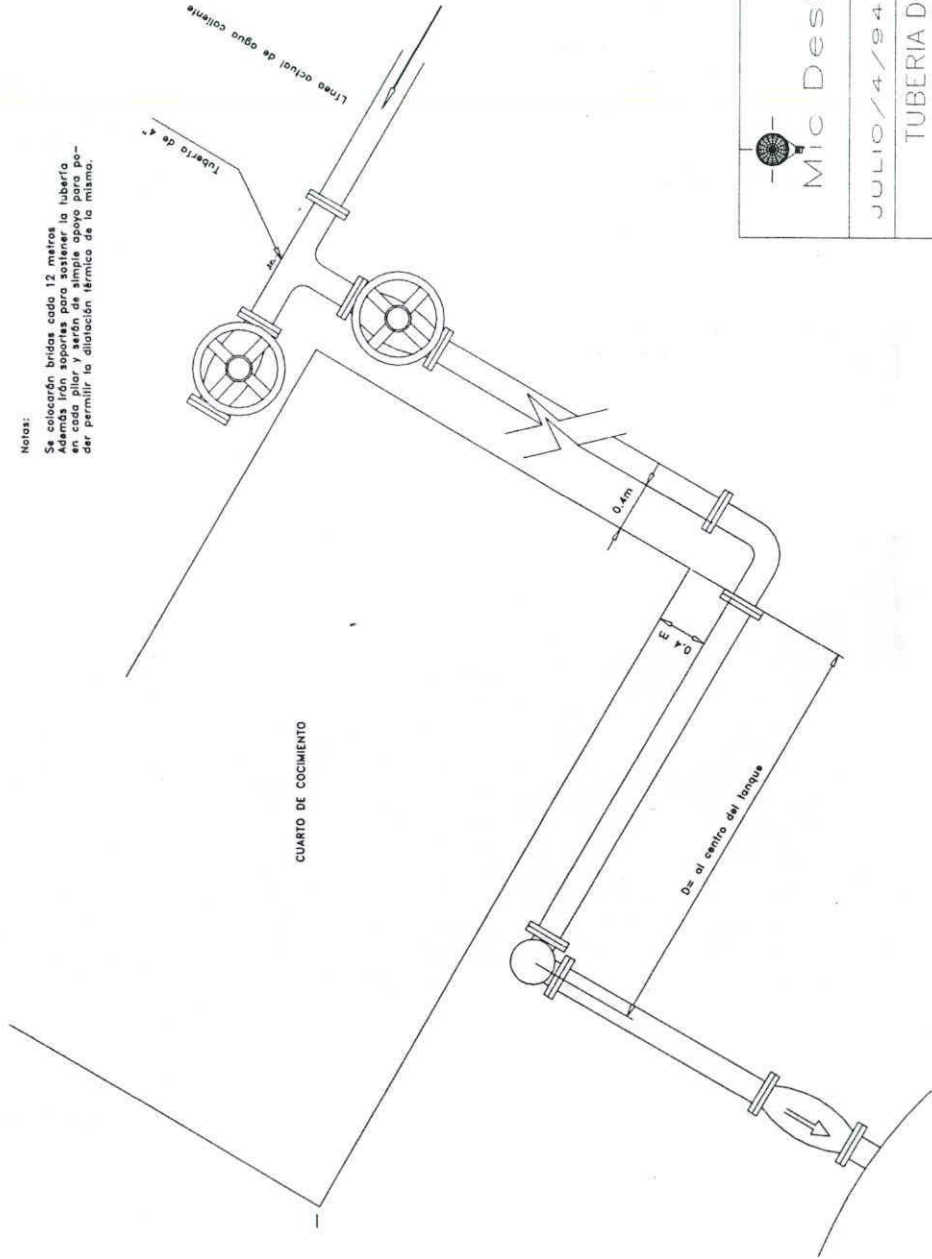
Colocar empaque de caucho entre tapa y tubo



|                                                                                                        |          |                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------------|-----------|
|  <b>Mic Designs</b> |          | COMPANIA DE CERV. NAC. |           |
| JULIO/24/94                                                                                            | PLANO #4 | PROY # 0001            |           |
| COMPUERTA LATERAL DE INGRESO                                                                           |          |                        |           |
| DISEÑO                                                                                                 | REVISADO | APROBADO               | FECHA AP. |
| J. VASCONES                                                                                            |          |                        |           |

Notas:

Se colocarán bridas cada 12 metros.  
Además irán soportes para sostener la tubería  
en cada pilar y serán de simple apoyo para po-  
der permitir la dilatación térmica de la misma.



Mic Designs

COMPANIA DE CERV. NAC.

JULIO/4/94

PLANO #5

PROY # 0001

TUBERIA DE ENTRADA DE AGUA CALIENTE

DISEÑO

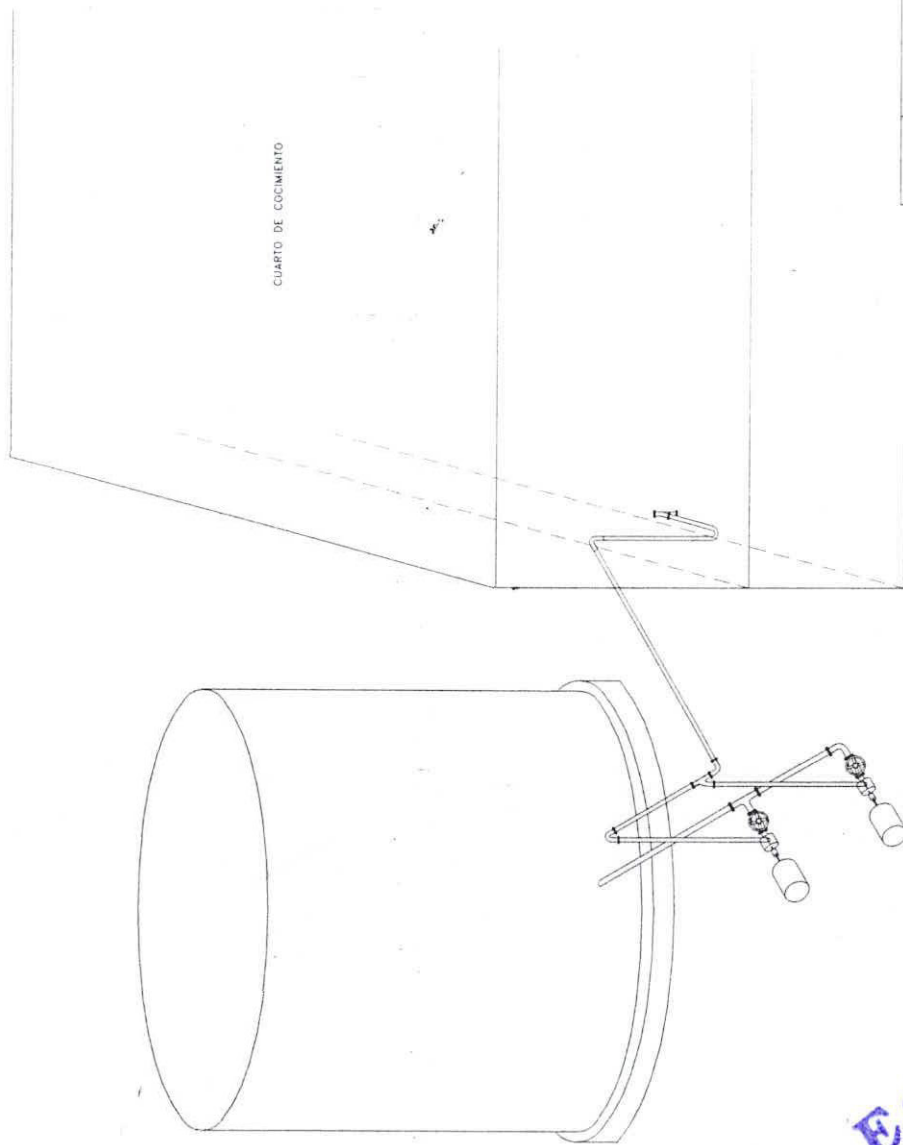
REVISADO

APROBADO

FECHA AP.

J. VASCONES





|                                 |          |                        |           |
|---------------------------------|----------|------------------------|-----------|
| Mic Designs                     |          | COMPANIA DE CERV. NAC. |           |
| JULIO/4/94                      | PLANO #6 | PROY # 0001            |           |
| TUBERIA DE SALIDA AGUA CALIENTE |          |                        |           |
| DISEÑO                          | REVISADO | APROBADO               | FECHA AF. |
| J. VAGGONES                     |          |                        |           |

