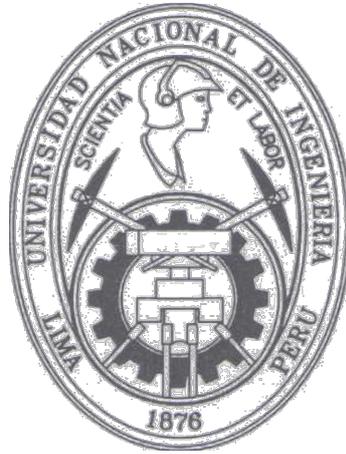


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**PROYECTO DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO  
MEDIANTE UN PROCESO DE PULVERIZACION DE  
AGUA EN UNA MAQUINA DE COLADA CONTINUA CON  
CAPACIDAD DE 180,000 TON/ANUALES DE ACERO EN  
SIDERPERU**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO

ELABORADO POR:

**PAREDES VEGA, LUIS ENRIQUE**

LIMA-PERÚ

1992

| PROLOGO   | Fág. |
|---|------|
| 1. INTRODUCCION   | 1    |
| 2. INSTALACIONES DE COLADA CONTINUA EN PLANTA.  | 6    |
| 2.1 Antecedentes del proceso de colada continua.                                      | 6    |
| 2.2 Fundamentos del proceso de colada continua.                                       | 7    |
| 2.3 Aceros obtenidos en SIDERPERU mediante el<br>proceso de colada continua.          | 11   |
| 2.4 Colada continua N° 1.   | 12   |
| 2.5 Colada continua N° 2.   | 24   |
| 3. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO SECUNDARIO.  | 36   |
| 3.1 Características de funcionamiento.  | 37   |
| 3.2 Número y ubicación de los atomizadores.   | 40   |
| 3.3 Dimensiones de los orificios de agua y aire.                                      | 42   |
| 3.4 Relación agua/aire.   | 44   |
| 4. PROYECTO DEL SISTEMA DE PULVERIZACION DE AGUA.                                     | 46   |
| 4.1. Para palanquillas de 100 x 100 mm.   |      |
| 4.1.1 Distribución de temperaturas en la<br>superficie de la palanquilla.             | 47   |
| 4.1.2 Espesor solidificado a lo largo de la<br>palanquilla.                           | 60   |
| 4.1.3 Coeficiente de transmisión de calor en<br>la zona de contacto agua/palanquilla. | 63   |
| 4.1.4 Caudal de agua necesario para el<br>enfriamiento secundario.                    | 64   |
| 4.1.5 Selección de los sprays necesarios para<br>el enfriamiento secundario.          | 67   |

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| 4.1.6     | Cálculo del flujo de calor en el molde y en el enfriamiento secundario.    | 69 |
| 4.1.7     | Diseño de los conductos rociadores en el proceso de pulverización de agua. | 75 |
| 4.1.7.1   | Para palanquillas de 100x100 mm  |    |
| 4.1.7.1.1 | Selección del diámetro y material de los conductos rociadores.             | 75 |
| 4.1.7.1.2 | Distancia de los sprays a la palanquilla.                                  | 75 |
| 4.1.7.1.3 | Ubicación de los sprays en los conductos rociadores.                       | 77 |
| 4.2       | Para tochos de 200 x 250 mm.   | 79 |
| 4.2.1     | Distribución de temperaturas en la superficie del tocho.                   | 79 |
| 4.2.2     | Espesor solidificado lo largo del tocho.                                   | 87 |
| 4.2.3     | Coefficiente de transmisión de calor en la zona de contacto agua-tocho.    | 88 |
| 4.2.4     | Caudal de agua necesario para el enfriamiento secundario.                  | 89 |
| 4.2.5     | Selección de los sprays necesarios para el enfriamiento secundario.        | 97 |
| 4.2.6     | Cálculo del flujo de calor en el molde y en el enfriamiento secundario.    | 98 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 4.3     | Diseño de los conductos rociadores..                           |     |
| 4.3.1   | Para tochos de 200 x 250 mm.                                   | 101 |
| 4.3.1.1 | Selección del diámetro y material de los conductos rociadores. | 101 |
| 4.3.1.2 | Distancia de los sprays al tocho.                              | 101 |
| 4.3.1.3 | Ubicación de los sprays en los conductos rociadores.           | 101 |
| 4.3.1.4 | Selección del extractor de vapor.                              | 106 |
| 5.      | DISEÑO DEL CIRCUITO DE AGUA DEL ENFRIAMIENTO SECUNDARIO.       | 114 |
| 5.1     | Descripción del circuito de agua.                              | 115 |
| 5.2     | Características del hidrociclón.                               | 119 |
| 5.3     | Selección del diámetro de tuberías y accesorios.               | 120 |
| 5.4     | Selección de las bombas de la instalación.                     | 128 |
| 5.5     | Selección de los filtros de arena.                             | 133 |
| 5.6     | Selección de la torre de enfriamiento.                         | 137 |
| 5.7     | Instrumentación del sistema de agua.                           | 139 |
| 5.8     | Características químicas del agua de enfriamiento.             | 141 |
| 6.      | ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO.                               | 144 |
| 6.1     | Producción de la máquina de colada continua.                   | 144 |
| 6.2     | Ahorro con el nuevo sistema en operación.                      | 146 |
| 6.3     | Costo de la inversión.   | 151 |

|   |     |
|---|-----|
| 6.4 Comparación entre el ahorro y la inversión. | 156 |
| Conclusiones.                                   | 158 |
| Bibliografía.                                   | 160 |
| Apéndice.                                       |     |
| Planos.   |     |

## PROLOGO

La Industria Siderúrgica en el Perú atraviesa hoy en día por una etapa de crisis, debido a los altos costos de sus productos terminados por su elevada mano de obra y costos de producción.

SIDERPERU, inauguró su primera máquina de colada continua en julio de 1966, fabricada por CONCAST A. G., posteriormente en julio de 1974, se puso en marcha la etapa de prueba de la segunda máquina fabricada por FIVES CAIL BABCOCK, ambas instaladas en la Planta de Acero.

La segunda máquina de colada continua, por ser de un diseño muy compacto, presenta problemas operativos que dificulta su normal producción; siendo uno de los problemas frecuentes las continuas perforaciones en los tochos cuando éstos atraviesan el corcet, encontrándose en ésta zona ubicado el sistema de enfriamiento secundario por atomización (agua/aire).

Las perforaciones originan ametalamientos entre los rodillos guía, tuberías de agua/aire y estructura del corcet, que obligan a parar la línea de producción.

El presente trabajo tiene por finalidad diseñar un nuevo sistema de enfriamiento por pulverización de agua que reduciría las continuas perforaciones que se presentan actualmente, incrementando de esta manera la eficiencia del enfriamiento.

Con este nuevo sistema se consigue que la línea de colada no pare y aumente la producción de acero en la Planta.

Así se logra disminuir el tiempo de reparación de una línea cuando ocurra una perforación o cuando se realice su mantenimiento; no siendo necesario desmontar el corcet para realizar dichos trabajos.

Para la realización de éste trabajo he observado y estudiado el proceso de pulverización de agua de la máquina CONCAST A.G..

## 1. INTRODUCCION

El presente proyecto se encuentra dividido en seis capítulos, abarca desde la descripción hasta el análisis económico.

En el 2do. capítulo se hace una breve reseña histórica del proceso de colada continua, se señalan los fundamentos del proceso destacándose las características que debe cumplir dicho proceso; haciéndose una diferencia entre el proceso convencional de colada y el proceso de colada continua del acero.

Posteriormente, se hace una descripción de la máquina de colada continua No 1, señalándose sus especificaciones técnicas y los equipos componentes de la instalación.

También se describe la máquina de colada continua No 2, siendo ésta la máquina en donde se desarrollará el presente proyecto, ésta máquina ha sido diseñada especialmente para la producción de tochos (barras de sección 200x250 mm), pero también se puede fabricar palanquillas (sección 100x100 mm), se señalan las especificaciones técnicas de la máquina y la descripción de los equipos componentes de la instalación, destacándose los equipos de alimentación de acero líquido, dispositivos de enfriamiento y los equipos de evacuación.

En el 3er. capítulo, se describe el proceso de enfriamiento por atomización de agua el que está operando actualmente, se señalan las características de funcionamiento como velocidades de extracción, caudal de agua y aire máximo en el circuito secundario, repartición de los caudales en la zona de rociado, ubicación y dimensiones de los atomizadores.

En el 4to. capítulo se desarrolla el proyecto, siendo éste capítulo el más importante, se diseña dos sistemas de enfriamiento por pulverización de agua uno para palanquillas y otro: para tochos.

Primeramente se calcula la distribución de temperaturas superficial tanto para palanquillas como para tochos, resolviéndose la ecuación general de transferencia de calor en estado no estacionario de conducción de calor, llegándose a obtener dos tablas de dichos resultados.

Posteriormente se calcula el espesor solidificado a lo largo de la barra, esto se calcula tanto para palanquillas como para tochos, haciendo uso de una ecuación práctica para este tipo de sistemas de enfriamiento, esta ecuación también nos permite calcular en que sección la barra está totalmente sólida verificándose esto con el largo metalúrgico.

Con las tablas de distribución de temperaturas y el espesor solidificado se deduce hasta donde debe llegar el

enfriamiento secundario por pulverización de agua.

Luego se hallará el coeficiente de transmisión de calor en la zona de contacto agua-palanquilla, haciendo uso de una ecuación que depende de la temperatura superficial y el espesor solidificado para realizar dicho cálculo, que en forma similar se hace para tochos cuyos resultados se mostrarán en tablas. Estos resultados nos servirán para calcular el caudal de agua necesaria para el enfriamiento secundario haciendo uso de una ecuación práctica que depende del coeficiente promedio de transmisión de calor por convección y la presión del agua, mojando una determinada superficie de la barra en estudio (palanquilla o tocho), se calculará la cantidad de agua necesaria en cada superficie de la barra, con información obtenida sobre sprays, se seleccionará el spray requerido según sea el caso.

A continuación se hallará el flujo de calor en el molde (lingotera) y en el enfriamiento secundario, éste cálculo se hace tanto para palanquillas como para tochos.

Por último se diseñará los conductos rociadores, seleccionándose el diámetro y material de dichos conductos, así como las distancias de los sprays a la barra y la ubicación de los mismos en los conductos rociadores, que luego serán mostrados en planos, esto se hace tanto para palanquillas como para tochos.

En el 5to. capítulo se desarrolla el diseño del

circuito de agua del enfriamiento secundario.

Inicialmente se hace una descripción del circuito de agua que está operando actualmente, como sus equipos que la conforman, destacándose el hidrociclón que es un captador de escorias, separa las escorias del agua de pulverización, también separa las partículas que flotan, el aceite y grasa diluidos son recolectados en un tanque el cual se encuentra cerca al hidrociclón.

Posteriormente se hace un cálculo para determinar el diámetro de la tubería a utilizar, llegándose a la conclusión que se puede usar la tubería instalada.

Luego se seleccionará la bombas de agua, porque las capacidades de las bombas que operan actualmente resultan insuficientes para las nuevas condiciones de operación.

En seguida se seleccionarán los filtros de arena, llegándose a concluir que será necesario disponer de un filtro adicional a los tres existentes para cumplir con las nuevas condiciones operativas del nuevo sistema.

Una torre de enfriamiento adicional será necesario para cubrir las nueva condiciones operativas, de ésta manera se logra enfriar el caudal de agua que pasa por la torre.

Como todo el sistema se está modificando y las características operativas están cambiando será necesario cambiar la instrumentación del sistema de agua; también se dan las características químicas que debe cumplir el agua que se usará en el proceso de pulverización.

Finalmente en el 6o capítulo se hace un análisis económico del proyecto, indicándose que el ahorro anual en la producción de acero es superior a la inversión del proyecto, de ésta manera se contribuye a disminuir el costo de producción. El proyecto económicamente es rentable y debe realizarse.

## 2. INSTALACIONES DE COLADA CONTINUA EN PLANTA

### 2.1 Antecedentes del proceso de colada continua

Los pasos más importantes que se dieron en la Industria Siderúrgica, aunque los conceptos existían mucho antes, fueron después de la recuperación de los grandes daños ocasionados por la Segunda Guerra Mundial, alrededor del año 1954, siguiendo principalmente los siguientes pasos:

El proceso de colado continuo.

- Utilización del oxígeno puro en la elaboración del acero, que bajo el nombre de Convertidores LD ha llegado a todo el mundo y ha ejercido un efecto retroactivo sobre la técnica del Alto Horno.

La eliminación de elementos dañinos del acero al vacío o con gases neutros, de lo cual nació la Metalurgia de la Cuchara.

Reducción Directa, como alternativa del Alto Horno para obtención de la chatarra.

- Operación de Hornos Eléctricos de gran capacidad con hierro esponja, siendo su disponibilidad medida por la relación existente con el proceso de colada continua, determinada por los siguientes factores:

Necesidad de comprar grandes cantidades de chatarra importada de costo elevado, siendo su producción en menor cantidad debido al mayor rendimiento eléctrico.

- Con la mezcla de chatarra de baja calidad y el hierro esponja en la carga de los hornos eléctricos y

convertidores se logra reemplazar parte de la chatarra importada con una consiguiente ventaja económica y se mejora notablemente la colada del acero, debido a que es una materia prima libre de las impurezas, tales como cobre, estaño y demás elementos indeseables que son inherentes a la chatarra.

## **2.2 Fundamentos del proceso de colada continua**

En términos generales se da continuación los principios que rigen a la colada continua en todas las siderúrgicas del mundo:

Hacer pasar por una lingotera el acero líquido sin interrupciones en el vaciado con temperaturas excesivamente altas (menores a  $1610^{\circ}\text{C}$ ). Evitar que el flujo del metal fundido (acero líquido) sea turbulento y prevenir el paso de partículas extrañas a la cavidad principal de la lingotera.

Con una refrigeración adecuada en la lingotera se obtienen gradientes térmicos convenientes, lo cual permite una solidificación direccional de las barras, disminuyendo de esta manera a un mínimo las posibles distorsiones en la estructura metalográfica de los aceros requeridos.

Proveer razonablemente un alto rendimiento de lingotera, es decir que la relación del peso de la barra al peso del metal empleado para llenar el molde debe ser aproximadamente igual a la unidad.

La producción de colada continua se adopta con la

combinación de varias líneas en una sola unidad, dependiendo su número de las dimensiones de la instalación requerida.

El proceso de colada continua en comparación con el sistema convencional tiene las siguientes ventajas:

Disminución de las fases de transformación, inversiones y costos de operación correspondientes.

Supresión de la limitación del peso de los lingotes.

El espacio total de la instalación necesaria es menor.

- Menor contaminación ambiental.

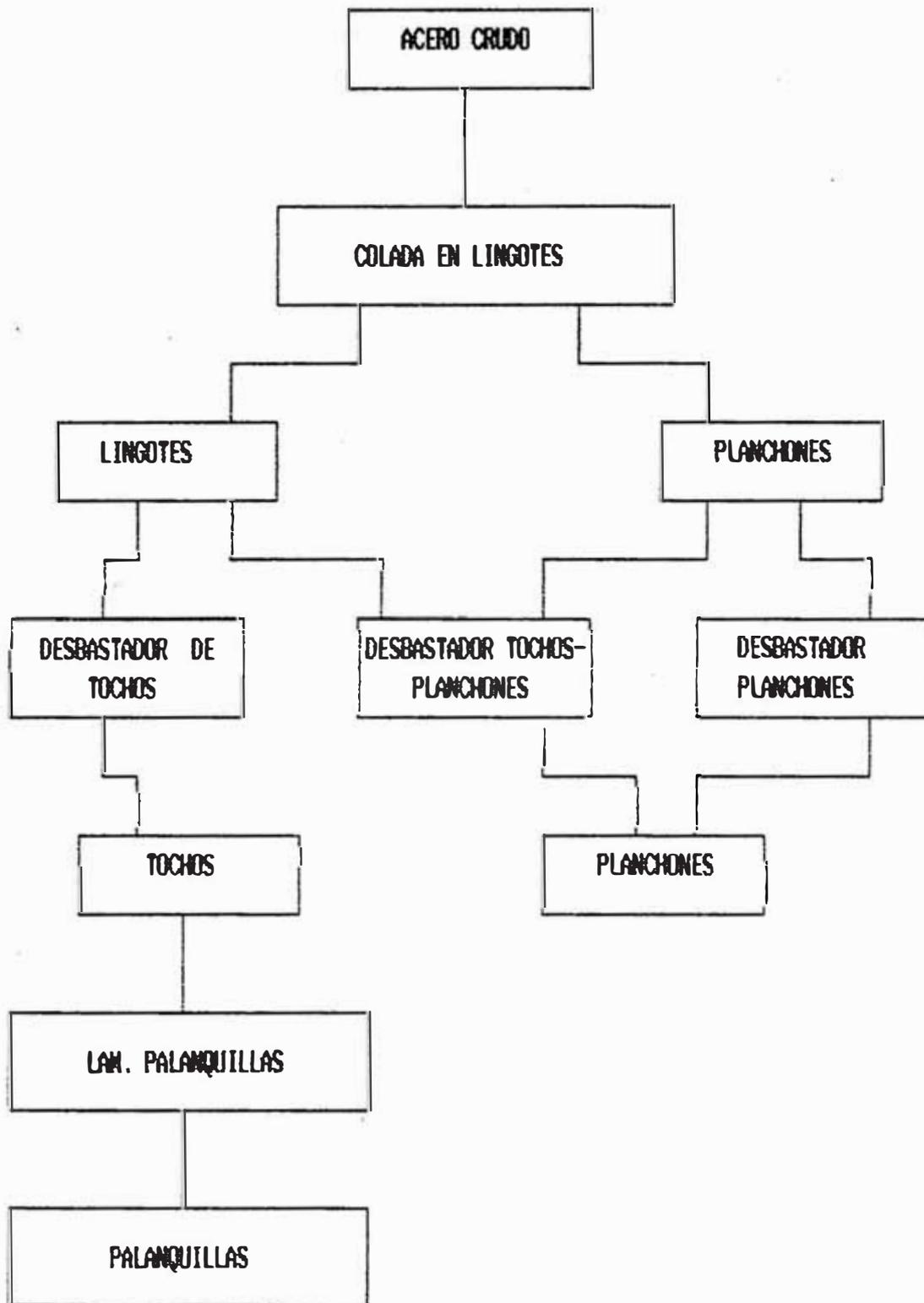
En cambio ofrece las siguientes desventajas:

Solidificación rápida, lo cual hace aparecer defectos originados por la oxidación del chorro de colada y lenta segregación de los productos de desoxidación.

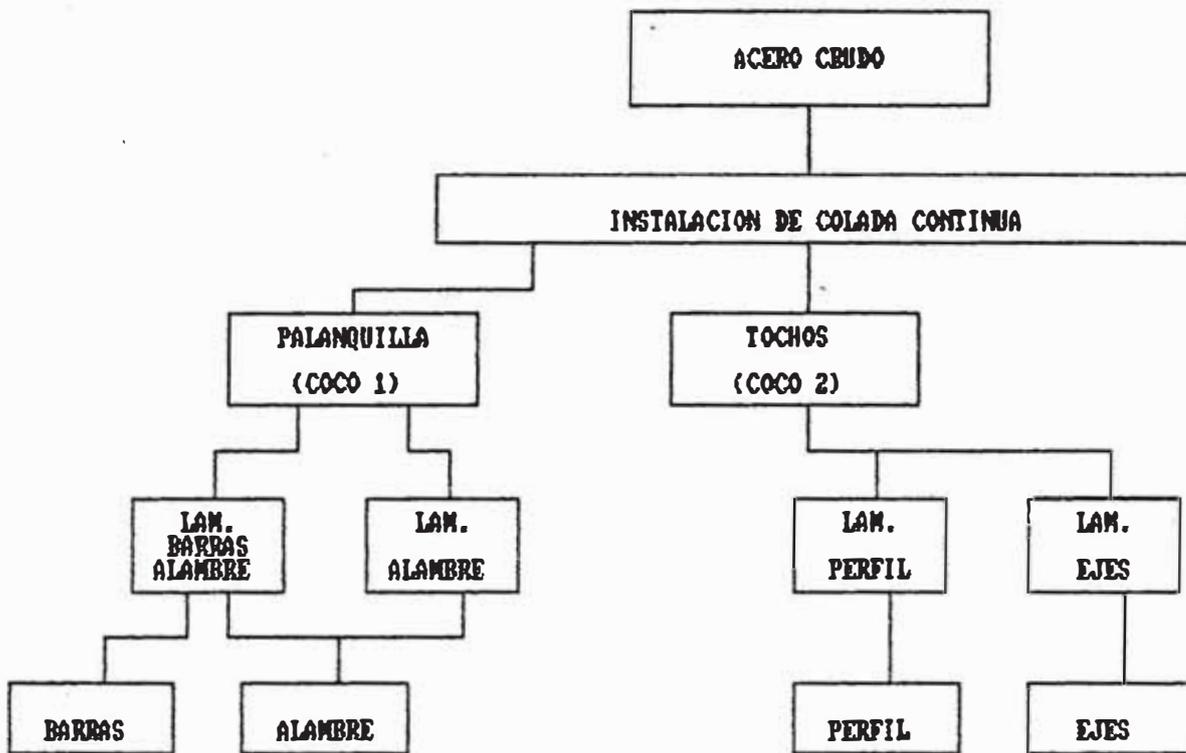
- En algunos tipos de acero en el eje de la barra, se presentan porosidades y segregaciones.

A continuación se muestra un gráfico con el proceso convencional y otro con el proceso de colada continua.

PROCESO CONVENCIONAL



### PROCESO EN COLADA CONTINUA



**NOTA:**

**PALANQUILLA** : BARRA DE SECCION 100 X 100 MM.

**TOCHO** : BARRA DE SECCION 200 X 250 MM.

### 2.3 Aceros obtenidos en SIDERPERU mediante el proceso de colada continua

La producción de acero en SIDERPERU, en las máquinas de colada, son aceros calmados y aceros semicalmados con calmado definitivo en la lingotera.

A continuación se da una relación de los aceros colados en SIDERPERU por éste proceso:

#### ESPECIFICACION

| SAE No. | AISI No. | SIDERPERU No. |
|---------|----------|---------------|
| 1008    | C1008    | 08B           |
| 1010    | C1010    | 10B           |
| 1015    | C1015    | 14D - 1       |
| 1020    | C1020    | 20A           |
| 1040    | C1040    | 37C-0         |
| 1050    | C1050    | 37C-1         |
| 1090    | C1090    | 92B           |

A continuación se da la composición química de cada uno de éstos aceros:

#### COMPOSICION QUIMICA (limites)

| SAE No | C         | Mn       | Pmax. | Smax. |
|--------|-----------|----------|-------|-------|
| 1008   | 0.1 max.  | 0.25-0.5 | 0.04  | 0.05  |
| 1010   | 0.08-0.13 | 0.3-0.6  | 0.04  | 0.05  |
| 1015   | 0.13-0.18 | 0.3-0.6  | 0.04  | 0.05  |
| 1020   | 0.18-0.23 | 0.3-0.6  | 0.04  | 0.05  |
| 1040   | 0.37-0.44 | 0.6-0.9  | 0.04  | 0.05  |
| 1050   | 0.48-0.50 | 0.6-0.9  | 0.04  | 0.05  |
| 1090   | 0.85-0.98 | 0.6-0.9  | 0.04  | 0.05  |

**Composición del Silicio:**

- En los aceros 1008 y 1010 el porcentaje en silicio es cero.
- En los aceros 1015, 1020, 1040, 1050, y 1090 el porcentaje en Silicio es de 0.15 a 0.3.

**2.4 Colada Continua No 1**

El sistema de trabajo es con 4 líneas y puede tomar coladas secuenciales, obteniéndose un promedio de 3 coladas por vez. Su capacidad anual es de 162,000 Ton. de acero sólido considerando la producción mixta de aceros al carbono y baja aleación. Cada colada de 29 Ton. de acero líquido tiene una duración de 40 minutos. Se puede obtener palanquillas de (100 x 100) y (150 x 150) mm. de sección y longitudes variables de 2.55 a 6 mts.

**2.4.1 Especificaciones Técnicas**

- Marca de fabricación ..... CONCAST A.G.
- Tipo de Línea ..... Curvado
- Radio de curvatura ..... 5,850 mm.
- Número de Líneas ..... 4
- Capacidad horaria ..... 23.25 Ton./h.
- Capacidad anual ..... 162,000 Ton.
- Capacidad de cuchara ..... 30 Ton.
- Frecuencia de oscilación ..... prom.110 golp.  
por minuto.
- Lingotera ..... conicidad:  
0.6 - 0.8 %/m.  
Longitud: 800 mm.

Dimensiones: -Sección 100 x 100  
y 150 x 150 mm.

-Longitud máx. 9 m.

- Largo metalúrgico ..... 6m.

- Velocidad de colada ..... Veloc.prom. 3 m/min  
Veloc.máx. 8 m/min.

#### 2.4.2 Descripción de los equipos componentes de la instalación:

El acero líquido se llena en la cuchara de colada y se le traslada hasta el nivel IV para depositarlo en el carro de cuba, cuyos equipos que intervienen son:

##### - Cuchara de colada:

Es de acero, de 30 mm. de espesor y 30 Ton. de capacidad. Es ensanchada hacia arriba, mientras que el material refractorio aumenta de espesor hacia abajo.

El material refractorio utilizado en el interior consiste en ladrillos de alúmina.

La temperatura se mantiene aproximadamente en:

Primera colada ..... 1600 - 1610o C.

Demás colada... ..... 1580 - 1590o C.

##### - Carro de cuba (porta cuchara):

Son 2 y se desplazan sobre los mismos rieles en el nivel IV. Tienen 45 Ton. de capacidad y soportan la cuchara de colada para vaciar el acero líquido hacia la cuba intermedia.

El acero líquido es vaciado a una cuba intermedia (Tundish

o distribuidor), la cual se encuentra en el nivel IV, siendo los equipos que intervienen:

**- Cuba intermedia (ver fig. 1)**

Tiene una capacidad de 5 Ton. y su revestimiento refractorio se cambia cada secuencia de colada, la cual consiste en operaciones realizadas mientras exista el flujo líquido de acero de la cuchara hacia la cuba intermedia. Su altura es de 400 mm. El material refractorio dura 3.5 coladas en promedio y hasta 8 idealmente como máximo. Previamente al vaciado, la cuba se somete a un proceso de precalentamiento, hasta alcanzar una temperatura aproximada de 1100o C., para evitar el choque térmico debido a la diferencia de temperaturas que existe entre el chorro de acero líquido y el material refractorio. Para esta operación se emplea quemadores de petróleo Diesel No 2.

Tanto en la cuba intermedia como en la cuchara de colada se forma una capa de escoria que cubre la superficie del baño, la cual sirve como aislamiento térmico. La escoria de la cuchara se descarga en el nivel cero, en cambio, la escoria de cada secuencia de colada adherida en la cuba intermedia se arroja en unos recipientes trapezoidales mediante una operación conocida como "vuelco de Cuba Intermedia".

**- Carro de Cuba Intermedia:**

Existen 2 carros y se desplazan sobre los mismos rieles. Sirven para centrar el chorro de acero líquido,

exactamente hacia las lingoteras.

El flujo de acero líquido en la cuchara y en la cuba intermedia se realiza mediante el sistema buza - tapón.

La Buza es el refractorio cilíndrico situado en las partes inferiores de la cuchara y de la cuba intermedia y de diámetro exterior e interior de 37 mm. y 15 mm. respectivamente.

El Tapón está hecho a base de alúmina grafitada y es el que permite el flujo de acero líquido.

Por encima de la plataforma de colada existen 4 paletas que pueden desviar el chorro de acero líquido que cae de la cuba intermedia hacia las lingoteras, debido a circunstancias accidentales de la secuencia de colada.

El chorro desviado se dirige hacia 4 bandejas pequeñas ubicadas a cada lado de la plataforma. Además existe un canal en el lugar de colada que conduce a una cuchara de emergencia (casi a nivel IV); cuando el caso accidental es mucho más grave como un posible rebalse en las lingoteras.

Lo anterior representa una medida de seguridad durante las coladas.

Antes de iniciar el flujo de acero líquido se hace subir un falso lingote (falsa palanquilla) hasta el interior de la lingotera, unos 25 cm. por debajo de su extremo superior.

- Falso lingote: (ver fig.1)

Es una barra de acero de 7.35 m. de longitud con igual sección de la palanquilla a producir.

Se utiliza únicamente al empezar cada secuencia de colada y sirve para hacer posible la extracción de la barra en su fase inicial. Por encima del falso lingote ubicado dentro de la lingotera, se introduce una cabeza guía de acero y se unen ambos mediante una unión mecánica (encrochamiento). Luego se introduce escamas (cascarilla formada en la superficie exterior de la barra) y viruta de acero, para que con el chorro de acero líquido se funda rápidamente y se logre de esta manera la unión física entre el falso lingote y la barra en extracción.

En el nivel- 1400 mm. se desencrocha manualmente el falso lingote de la barra de extracción. De no ser posible esta operación manual se procede con el oxicorte (corte con oxígeno y acetileno), ya que el falso lingote debe caer verticalmente y el lingote producido curvarse. El falso lingote se sostiene en una base metálica situada en su parte inferior.

El chorro de acero líquido cae a las lingoteras y empieza la solidificación exterior en forma de una costra, dejando todavía al interior una vena líquida.

El espesor de la costra alrededor de los 16 mm. depende de: la sección de la palanquilla a producir y la altura ferrostática (500 mm.) que comprende desde la parte

inferior de la cuba intermedia hasta el extremo superior de las lingoteras

- **Lingoteras:** (Ver Fig. 1)

Son tubos de cobre, de 800 mm. de longitud y 6 mm. de espesor. Tienen una conicidad hacia abajo (0.6 - 0.8 % por metro) para contrarrestar el huelgo producido al salir la barra al exterior, es decir 4.8 - 6.4 mm. en los 800 mm. de longitud. Esto es considerado para la obtención final de las palanquillas de una sección transversal dada.

Poseen 2 entradas y 2 salidas de agua, la cual recorre su parte hueca en el llamado enfriamiento primario.

Sus paredes internas son lubricadas con aceite de semilla de algodón (aceite comestible que por razones económicas se le agrega un aditivo químico). Con la lubricación en su movimiento oscilatorio evita la unión entre la lingotera y el falso lingote.

Son cambiadas de acuerdo a la palanquilla a producir.

La capacidad de transmisión de calor en las lingoteras aumenta con la conicidad, velocidad y temperatura de colada; pero disminuye con el # de coladas y la dureza del agua de enfriamiento.

La solidificación de la barra se logra en cuatro etapas consecutivas: enfriamiento primario, enfriamiento secundario, cuarto de enfriamiento, anillo de estanqueidad

y finalmente enfriamiento natural al medio ambiente.

**- Enfriamiento primario:**

Es aquel enfriamiento que se da en la lingotera y tiene las siguientes características:

El flujo de agua para las lingoteras es un circuito cerrado a una presión de 5 a 6 kg/cm<sup>2</sup> y con un caudal de 1.3 m<sup>3</sup>/min.

La diferencia de temperatura del agua que entra y la que sale es de 5 a 10o C.

Este flujo de agua no debe faltar nunca. En el caso de una falla se ha previsto un tanque de agua de emergencia encima de la nave de los convertidores LD este almacenamiento de agua dura alrededor de 5 min. con las 4 líneas en operación, tiempo suficiente para solucionar el problema, caso contrario se desvía el chorro líquido de las líneas averiadas.

**- Enfriamiento Secundario: (ver fig.1)**

Se efectúa en el nivel III y consiste en chorros de agua pulverizada que inciden en las cuatro caras de la barra de extracción.

El agua entra a 4 conductos rociadores a una presión de 3 a 4 kg/cm<sup>2</sup> y luego sale por los sprays.

Cada conducto es de 38.1 mm. de diámetro y 1650 mm. de longitud. Son cerrados en su extremo superior y poseen 21 sprays de 6.35 mm. con orificios de 1.5 mm. de

diámetro.

Debido a la diferencia de temperatura entre la superficie de la barra y el agua de enfriamiento se produce vapor de agua. Este vapor es expulsado hacia el medio ambiente mediante un extractor de vapor.

**- Cuarto de Enfriamiento - Anillo de estanqueidad:**

Parte del agua del enfriamiento secundario que no se convierte en vapor cae del cuarto de enfriamiento para ser conducido mediante un ventilador (conocido como sello de aire). Esto se realiza en el nivel II y la finalidad es enfriar adicionalmente la barra y evitar que el agua caiga sobre los rodillos de extracción.

El aire impulsado por los ventiladores llega por tuberías a dos tapas unidas herméticamente pasando la barra en extracción por su parte central. En el interior de las tapas existen 2 cilindros huecos y concéntricos, y el aire que circula por su parte común sale por unos orificios rectangulares en el extremo superior, de tal manera que al contacto con el agua lo pulveriza y sale hacia arriba, enfriando la barra.

Finalmente el agua cae a una bandeja metálica para ser conducida hacia el hidrociclón.

En la producción de palanquillas existen tres fases bien diferenciadas, las cuales son:

**- Movimiento de oscilación:**

Las lingoteras lubricadas constantemente se someten a un

movimiento de oscilación en el nivel III, para evitar la unión entre sus paredes internas y la barra en extracción.

El movimiento oscilatorio es producido en cada línea por un mecanismo de levas, siendo la carrera de oscilación ajustada de acuerdo a la sección de la barra. Este movimiento se aprovecha también para la lubricación de la lingotera.

**- Movimiento de Extracción:**

En el nivel I se encuentran 4 rodillos extractores por línea, los cuales son movidos mediante ejes cardán. (ver fig. 1).

Los rodillos son los que hacen posible la extracción de la barra, siendo la presión promedio ejercida por ellos de 35 a 40 kg./cm<sup>2</sup>.

Son ajustados manualmente contra la barra y luego se asegura para garantizar la extracción mencionada.

Son refrigerados mediante agua.

**- Movimiento de encorvamiento - enderezado: (ver.fig. 1)**

Una vez desencrochada la barra del falso lingote se actúa un rodillo de encorvamiento (rodillo loco) por cada línea, para que pueda ingresar a la parte curvada de la colada continua.

Luego actúan 2 rodillos de enderezado por línea, con una presión sobre la barra de 15 a 25 kg./cm<sup>2</sup>.

Cuando actúa un solo rodillo, el extremo de la barra tiende a levantarse.

Los rodillos de encorvamiento están a la altura del nivel cero y los de enderezado 2000 mm. hacia abajo.

La barra encontrándose en posición horizontal hace contacto con una plaquita cuadrada de cobre y se cierra un circuito eléctrico, lo cual hace que entre en funcionamiento la cizalla con un desplazamiento hacia arriba de su parte inferior, mediante una presión de aceite de 100 kg./cm<sup>2</sup>.

Las palanquillas son desplazadas a una velocidad de 1.8 a 3.4 m./min. y el corte de la barra depende de la longitud dada. La cizalla se desplaza hacia adelante y retorna a su posición inicial después de cortada la barra, cuando no actúa se procede con el oxicorte, originando pérdidas notorias del producto semiterminado.

La temperatura de la barra exteriormente está comprendida entre 550 y 620o C., al momento del corte.

Después del corte actúa el sistema de evacuación de barras (tren de rodillos #s 1 y 2). El primer tren consta de 10 rodillos y el segundo de 13 rodillos.

Estos rodillos desplazan a las palanquillas hasta una mesa de enfriamiento al medio ambiente, la cual a su vez sirve como estación de almacenamiento temporal.

Después del primer tren de rodillos se encuentran unos bloques de acero, llamados topes, los que hacen posible el paso o bloqueo de las palanquillas. Existe un tope para cada línea y se usan para recibir una sola palanquilla, evitando así problemas de recepción. A pesar de ello suceden contratiempos por motivos humanos, fallas eléctricas o mecánicas.

A la mitad del segundo tren de rodillos existe un tope intermedio que abarca la recepción de las 4 líneas en conjunto. Este tope se utiliza para que finalmente las palanquillas queden divididas en dos grupos.

Cuando se encuentran las palanquillas en toda su dimensión en el segundo tren de rodillos, se pone en funcionamiento el empujador de palanquillas. El empujador es accionado por dos pistones hidráulicos; su función es el acomodo final de las palanquillas en la mesa de enfriamiento, quedando lista para su posterior evacuación.

Niveles existentes en la instalación de colada continua:

| NIVEL      | ALTURA (MM.) |
|------------|--------------|
| VI .....   | 17000        |
| V .....    | 14200        |
| IV .....   | 10800        |
| III .....  | 7800         |
| II .....   | 5800         |
| I .....    | 3000         |
| Cero ..... | 0            |
|            | - 1400       |
|            | - 3400       |
|            | - 8600       |
|            | - 9200       |

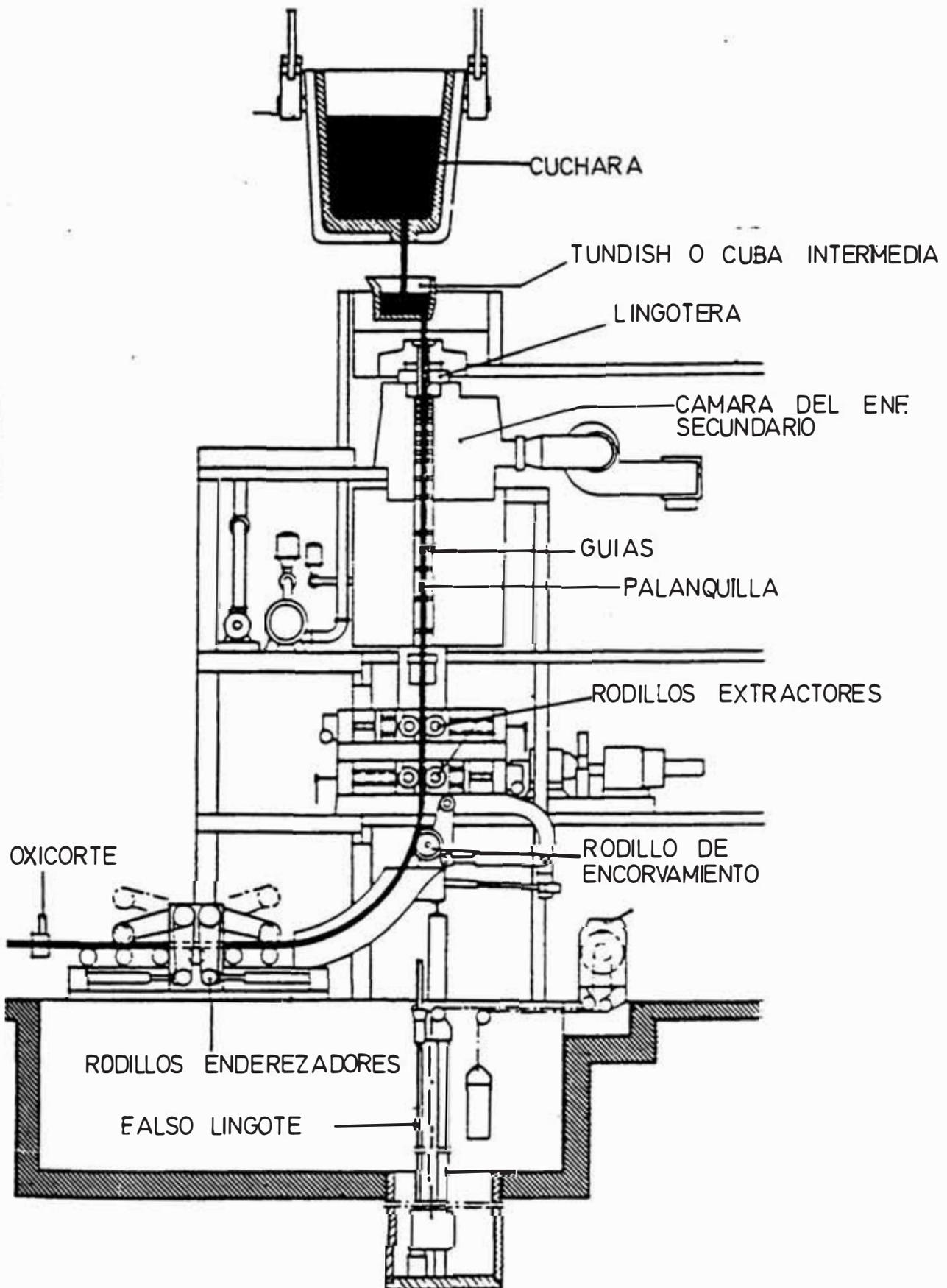


FIG. 1 MAQUINA DE COLADA CONTINUA

## 2.5 Colada continua No 2.

Está proyectada para la producción de aceros calmados, acero semicalmados con calmado definitivo en la lingotera.

Pueden colarse tochos y palanquillas mediante tres líneas de salida para obtenerse palanquillas de : 100x100 mm. y tochos de 200 x 250 mm., la longitud pueden variar de 1.5 a 9 mt.

Es un diseño de FIVES LILLE CAIL, de tipo curvo con lingotera curva.

### 2.5.1 Características técnicas

#### 1. Características de base:

|   |       |                     |
|---|-------|---------------------|
| Peso nominal de las cargas                | ..... | 30 t                |
| Peso máximo de las cargas                 | ..... | 30 t                |
| Tipo de horno                             | ..... | L.D.o<br>eléctrico. |
| Número de hornos en marcha                | ..... | 2                   |
| Cadencia de colada de un horno            | ..... | 30 min.             |
| Colada secuenciales con cambio de cuchara | ..... | si                  |
| Colada secuenciales con cambio de tundish | ..... | si                  |

#### 2. Características de los productos

Dimensiones de los productos: 100 x 100mm.

200 x 250mm.

Longitud de los productos: 2 a 9 m.

Calidad de los productos: acero al carb.

**3. Características principales de la máquina de colada continua**

Tipo de máquina ..... curva con lingotera curva.  
Número de líneas ..... 3.  
Radio de doblado ..... 7.5 m.  
Velocidad de colada normal: 100 x 100 : 3 m/min.  
200 x 250 : 1.05 m/min.

**4. Características técnicas de la máquina:**

Tipo de cuchara ..... de tapón  
Tipo de buza del tundish ..... abierta  
Tipo de regulación de nivel: acción sobre velocidad de extracción.  
Tipo de lingotera ..... curva  
Oscilación de la lingotera:  
. Frecuencia 50 a 150 golp/min.  
. Amplitud 0 a 20 mm.  
Extractor:  
. Velocidad 0.5 a 5 m/min.  
Tipo de corte oxicorte  
Tipo de evacuación desplazamiento lateral y empuje.

**2.5.2 Descripción de los equipos componentes de la instalación. (ver planos 01 y 02)**

**1. Equipos de alimentación de acero líquido.**

**.Estructura metálica**

La estructura de la instalación se presenta en forma de una armadura de una planta.

Esta estructura consta de las columnas, la plataforma de colada, proyectada para sobrecargas

de 1.5 t/m<sup>2</sup> y destinadas a recibir un revestimiento refractorio, las escaleras, barandillas, plataforma del operario responsable de la colada y accesorios.

**.Carros portacucharas:**

El carro soporta la cuchara de colada y permite, por medio de otro carro, la colada en operación secuencial con varias cucharas. Cada carro es desplazado sobre la plataforma de colada por un dispositivo de traslación y de dirección.

**.Tundish:**

El tundish está diseñado para distribuir el acero líquido en la o las lingoteras a partir de la cuchara de colada. El tundish está dotado de soportes giratorios para la manipulación.

Han sido tenidas en cuenta tapas de acero, con orificios para la introducción de los quemadores y para el paso del chorro de acero. Un canal de rebose permite verter la escoria o el acero a una cuba situada en las cercanías. Este tundish está construido en acero mecanosoldado y el interior queda revestido de ladrillos refractorios.

**.Carro porta Tundish:**

Este carro está destinado a soportar el tundish y desplazarse desde la estación de precalentamiento hasta la estación de colada. El carro es de construcción mecano soldada, con posibilidad de regulación del tundish por encima de las

lingoteras. La traslación es efectuada por mecanismos de accionamiento motorizado.

**.Precalentamiento de los tundish:**

Esta operación tiene por objeto elevar el revestimiento interior de los tundish a una temperatura de 1000 a 1200oC, aprox.

Esta instalación, proyectada para un tundish, está situada sobre la plataforma de colada, de tal modo que el precalentamiento tenga lugar fuera de la zona de colada.

La instalación consta de tuberías fijas y flexibles, de quemadores manuales, así como de válvulas de regulación y de seguridad.

**.Cuba de escorias y canales de emergencia:**

Esta cuba está calculada en cuanto a sus dimensiones para recibir las escorias residuales del tundish o el acero que desborde, eventualmente del mismo.

La cuba está construida en chapas de acero mecanosoldadas, recubiertas por placas refractarias.

En caso de que se produzca el desborde de una lingotera, han sido proyectados canales de emergencia adecuados de lámina de acero revestidas de material refractorio, para la evacuación del acero líquido hacia la cuba de escorias y hacia la

cuchara de emergencia.

## **2. Máquina de colada continua con sus equipos.**

### **.Lingotera tubular curva:**

La lingotera tiene por objeto permitir la formación de un espesor suficiente de corteza solidificada, con objeto de que no se produzca una perforación que alcance el núcleo líquido en el momento de la extracción. La lingotera se compone de un tubo de cobre exento de oxígeno, de una altura de 700 mm., y de una pared exterior mecanosoldada. La lingotera es enfriada por circulación externa del agua.

Bajo la lingotera se encuentra dispuesta una hilera de rodillos de pie.

### **.Lubricación de lingotera:**

La lubricación de la lingotera impide que el acero líquido pueda adherirse a las paredes internas de la lingotera, y disminuye la fricción entre la pared y la corteza.

La instalación consta: de las bombas volumétricas, las válvulas de regulación, los motores, las tuberías fijas y flexibles y, asimismo, de un depósito de aceite de colza (intervalo de fusión: 1120 a 1145°C, viscosidad: 0.85 a 5 poises).

### **.Dispositivo de oscilación de la lingotera:**

El dispositivo de oscilación de la lingotera permite la extracción de la palanquilla, sin

provocar fisuras, y permite animar a la lingotera de un movimiento sinusoidal, de tal modo que la corteza solidificada quede solicitada de forma alterna en compresión y en tracción.

El conjunto del dispositivo consta de:

- 1 mesa de oscilación, sobre la cual va fijada la lingotera.
- Las palancas de transmisión de movimiento oscilatorio.
- 1 resorte de equilibrio,
- 1 dispositivo de excéntrica,
- 1 motorreductor de accionamiento, con su acoplamiento,
- 1 dispositivo de regulación de amplitud.

.Guías:

A su salida de la lingotera, las palanquillas quedan mantenidas por guías de rodillos que las conducen hasta la horizontal.

Entre los rodillos se encuentran dispuestas los atomizadores del metal. El guía propiamente dicho está formado por dos partes distintas. Cada parte consta de un chasis enfriado por agua y rodillos de acero.

Los guías toman apoyo sobre soportes anclados en los cimientos.

.Cámara de enfriamiento:

Los vapores producidos por el enfriamiento secundario son aspirados a partir de la cámara de

enfriamiento, cuyas paredes metálicas están atornilladas sobre los perfiles de la estructura de la instalación.

Un ventilador con su soporte y su motor aspira el vapor y lo evacúa hacia el exterior del edificio por medio de un conducto de impulsión.

Extractor - enderezador:

El extractor - enderezador está destinado a la introducción del falso lingote hasta la lingotera, así como a la extracción y el enderezamiento de la palanquilla caliente.

El extractor - enderezador está formado por un chasis enfriado por agua, 2 x 2 rodillos, dos de los cuales están accionados por motorreductores y dos apoyados sobre la línea o el falso lingote por medio de cilindros hidráulicos, así como un rodillo de reacción.

La lubricación de los reductores se efectúa por medio de una instalación de lubricación. El extractor está dotado de placas de protección y de rodillos guía.

Uno de los motores está dotado de un freno que sirve para retener el falso lingote después de haber sido introducido en la lingotera.

Falso lingote:

El falso lingote está destinado a la extracción de

la palanquilla al principio de la colada, y está formado por eslabones de cadenas y una cabeza que permite fijar un tope de arranque.

**.Dispositivo de almacenamiento del falso lingote:**

Una casilla formada por perfiles metálicos recibe el falso lingote le levanta por medio de polipastos eléctricos por encima del tren de rodillos.

Los polipastos eléctricos van fijados sobre una estructura de soporte.

Una pasarela metálica situada por encima de la zona de almacenamiento permite acceder al falso lingote para proceder a su refacción.

**.Dispositivo de oxicorte:**

La estación de corte está destinada a cortar las palanquillas según la longitud deseada, por medio de sopletes de oxicorte.

El conjunto de la instalación está formado por:

Un soplete de oxicorte y sus accesorios.

Un chasis de soporte con vía de rodadura, la estación de regulación y de descompresión para el oxígeno, propano y agua de enfriamiento, tubería de alimentación.

Un medidor de longitud permite el corte automático de las palanquillas según longitudes constantes y previamente marcadas.

**.Equipo hidráulico:**

La instalación hidráulica está destinada las

maniobras de los rodillos del extractor enderezador. El conjunto está formado por un grupo de bombeo y de acumuladores, un panel con las válvulas de distribución y de regulación, cilindros hidráulicos, un depósito con accesorios, las tuberías fijas en el interior del grupo y las tuberías fijas y flexibles entre la central hidráulica y los cilindros.

**.Estación de lubricación:**

La estación de lubricación centralizada de grasa grafitada se realiza por medio de bomba manual, depósito, distribuidor, tuberías de alimentación fijas y flexibles, para la lubricación del mecanismo de oscilación, del empujador y del extractor.

Para los soportes del extractor, se ha tenido en cuenta una estación de lubricación por neblina de aceite (SAE 30).

La estación de lubricación por aceite con bomba de engranajes, depósitos, accesorios, refrigerante de aceite y la correspondientes tuberías, ha sido proyectada para la lubricación de los reductores del extractor - enderezador.

**3. Dispositivo de enfriamiento**

**.Enfriamiento de la lingotera:**

El conjunto del equipo consta de: las tuberías de alimentación de la lingotera, hasta las bridas

situadas a la perpendicular de la plataforma de colada, un panel completo con las salidas tubulares para un medidor de caudal, una válvula de regulación, un manómetro y dos termopares, con indicadores para la medición de la temperatura del agua en la entrada y en la salida de la lingotera.

.Enfriamiento secundario:

Este circuito permite la atomización del agua sobre la palanquilla extraída de la lingotera.

El conjunto consta de: las tuberías de alimentación de acero inoxidable, a partir de una brida situada a la perpendicular de la plataforma de colada hasta los filtros, conductos de aire también de acero inoxidable, un panel completo con salidas tubulares con filtros, una válvula de regulación, una válvula motorizada, un medidor de caudal y un manómetro (por línea).

.Enfriamiento de la máquina:

Esta instalación permite obtener el enfriamiento de los elementos sometidos a la radiación de la palanquilla caliente o directamente en contacto con la misma.

El conjunto consta de: las tuberías flexibles y fijas hasta las bridas situadas a la perpendicular de la plataforma de colada, las válvulas de aislamiento y de equilibrio.

#### **4. Equipo de evacuación.**

##### **.Tren de rodillos del dispositivo de corte:**

Un tren de rodillos automotores se encuentra dispuestos entre el extractor y el dispositivo de corte.

Chasis formado por perfiles metálicos y rodillos sobre soportes.

##### **.Tren de rodillos de evacuación:**

Este tren tiene como función la evacuación de las palanquillas cortadas hasta el tope fijo, desde el cual las palanquillas son desplazadas lateralmente sobre un enfriadero.

Este tren sirve también para el transporte del falso lingote.

Construido en perfiles metálicos, este tren consta de los rodillos automotores y de los rodillos locos correspondientes.

##### **.Topes:**

Un tope fijo se encuentra situado en el extremo del tren de rodillos de evacuación.

Un tope retráctil, con el objeto de facilitar el desplazamiento lateral de las distintas secciones de palanquillas, se encuentra situado en el centro del equipo de transferencia. Este tope queda accionado por un cilindro neumático.

Los topes están contruidos en acero

mecanosoldado.

**.Enfriadero:**

Sirve para el almacenamiento de las palanquillas durante su enfriamiento.

Está formado por perfiles y rieles atornillados.

**.Empujador de desplazamiento lateral:**

El empujador de desplazamiento lateral para la evacuación ha sido proyectado para disponer las palanquillas en la zona de trabajo del empujador.

Este equipo está construido en acero mecosoldado y va accionado por un sistema de cables, poleas, reductor y motor.

**.Empujador:**

El empujador sirve para transferir las palanquillas de cada línea directamente sobre el enfriadero, hasta alcanzar una carga máxima de 60 toneladas.

El empujador está construido de acero mecosoldado y está accionado por una regla accionada por un sistema de palancas y cilindros hidráulicos.

El grupo hidráulico de mando consta de una bomba, las válvulas de distribución, un tanque completo, las tuberías fijas en el interior del grupo y las tuberías fijas y flexibles entre el grupo y los cilindros.

### 3. SISTEMA DE ENFRIAMIENTO SECUNDARIO

En el presente capítulo se describe el actual sistema de enfriamiento secundario por Atomización de agua.

El sistema de enfriamiento utiliza dos circuitos: uno de agua y el otro de aire; el fluido que incide sobre el tocho o la palanquilla según sea el caso, es un flujo mixto (agua - aire), de donde deriva la denominación "atomización de agua".

El enfriamiento secundario se dá en la zona 1 y zona 2, para producir palanquillas o tochos, utilizando atomizadores.

Un atomizador es un accesorio con tres orificios: 2 en los extremos por donde sale agua y el orificio central por donde sale el aire, formando en conjunto un chorro de agua atomizada.

La distribución de los atomizadores en las 2 zonas se determina según el tipo del producto colado (palanquillas o tochos).

El sistema de enfriamiento presenta problemas causados por las continuas perforaciones que se producen en la barra de extracción, por una insuficiente solidificación superficial de la barra, causando una interrupción en el proceso de colada.

La barra en extracción, al no tener un enfriamiento superficial adecuado por los atomizadores, el acero

líquido traspasa la costra formada en la barra produciendo ametalamiento en los rodillos guía, tuberías que contienen atomizadores (llegando muchas veces a perforarlos), estructura del corcet; obligando de esta manera a parar la línea de producción, llegando en algunos casos a parar toda la producción.

Debido al insuficiente enfriamiento que presenta este sistema, ocasiona las continuas perforaciones en las barras, siendo esta la razón para hacer un cambio por un nuevo sistema de enfriamiento, corrigiendo así esta deficiencia, cuya solución se dará en el 4to. capítulo.

### **3.1 Características de funcionamiento**

El equipo instalado para el enfriamiento secundario es un sistema de atomización del agua, que consiste en toberas de agua/aire.

Las toberas o boquillas como también se las llama, son sencibles a las impurezas del agua, por lo tanto requiere de un control diario para minimizar las impurezas.

Se debe garantizar un buen suministro de agua en aquella región cerca de la salida de la lingotera.

La cantidad de agua de enfriamiento se da normalmente en lt/kg. Se da un rango de 0.5 a 1 lt/kg. de acero, pero puede variar dependiendo de las condiciones de operación y los grados de acero.

Tiene dos circuitos:

- Circuito de agua:  $60 \frac{m^3}{h}$
- Circuito de aire:  $41.3 \frac{m^3}{min.}$

### 3.1.1 Velocidad de extracción

#### a) Velocidades garantizadas:

- Para palanquillas de  $100 \times 100$  mm.:  $3 \frac{m}{min.}$
- Para tochos de  $200 \times 250$  mm.:  $1.08 \frac{m}{min.}$

#### b) Velocidades máximas:

- Para palanquillas de  $100 \times 100$  mm. :  $3.3 \frac{m}{min.}$
- Para tochos de  $200 \times 250$  mm. :  $1.2 \frac{m}{min.}$

### 3.1.2 Caudal de agua máximo en el circuito secundario

El caudal de agua máximo del circuito de enfriamiento secundario es de  $60 \frac{m^3}{h}$ , es decir:  $20 \frac{m^3}{h}$  para cada línea.

La presión en la tubería de alimentación de agua de la máquina es 6 bar.

La presión disponible a la entrada de los conductos perforados de atomización debe ser superior a  $4 \frac{kg}{cm^2}$  efectivos (es decir cerca de  $5 \frac{kg}{cm^2}$ ).

Los caudales específicos en litros (L), de agua por kilogramos de acero son:

- Para la palanquillas de  $100 \times 100$  mm.:
  - A la velocidad garantizada:  $1.46 \frac{L}{kg.}$
  - A la velocidad máxima :  $1.33 \frac{L}{kg.}$
- Para los tochos de  $200 \times 250$  mm.:
  - A la velocidad garantizada:  $0.81 \frac{L}{kg}$

A la velocidad máxima : 0.73 L/kg.

### **3.1.3 Caudal de aire máximo en el circuito secundario**

Son previstos dos compresores de aire para el circuito de enfriamiento secundario de la planta de colada continua.

Por consiguiente el caudal total de aire suministrado por cada compresor resulta igual a  $41.3 \text{ m}^3/\text{min}$ . a una presión de  $6 \text{ kg/cm}^2$ .

Un solo compresor es suficiente para suministrar el aire necesario a los conductos perforados de atomización.

En cada línea se tiene un caudal de  $13.8 \text{ m}^3/\text{min}$ . de aire.

El segundo compresor se utilizará como "reserva", (en caso que el caudal de aire de un solo compresor esté insuficiente) ó como "emergencia" (en el caso de avería mecánica en el primer compresor). La presión disponible a la entrada de los conductos perforados de atomización debe ser superior a  $4 \text{ kg/cm}^2$  efectivos (cerca de  $5 \text{ kg/cm}^2$ ).

La relación global: volumen de agua/ volumen de aire para el conjunto del circuito del enfriamiento secundario resulta igual a  $24 \text{ lt/m}^3$ .

### **3.1.4 Repartición de los caudales entre las dos zonas de rociado.**

La repartición del caudal de agua puede variar entre los porcentajes máximos y mínimos siguientes:

- zona 1:

$14 \text{ m}^3/\text{h}$  máximo (70% del total)

<sup>3</sup>  
12 m<sup>3</sup> /h mínimo (60% del total)

- zona 2:

<sup>3</sup>  
8 m<sup>3</sup> /h máximo (40% del total)

<sup>3</sup>  
6 m<sup>3</sup> /h mínimo (30% del total)

Los caudales de aire máximos y mínimos resultan iguales a:

- zona 1:

<sup>3</sup>  
9.65 m<sup>3</sup> /min máximo

<sup>3</sup>  
8.25 m<sup>3</sup> /min mínimo.

- zona 2:

<sup>3</sup>  
5.5 m<sup>3</sup> /min máximo

<sup>3</sup>  
4.1 m<sup>3</sup> /min mínimo.

### **3.2 Número y ubicación de los atomizadores**

La palabra "atomizador" designa un conjunto de tres orificios, que crean un chorro de agua atomizada (2 orificios de agua y 1 orificio de aire).

La distancia entre el atomizador y la superficie de la barra, así como la distancia entre dos atomizadores sucesivos se determina según el tipo de producto colado (palanquillas o tochos) y de manera que el riego resulte uniforme en todas las superficies de la barra.

La distancia del atomizador a la palanquilla o al tocho es 130 mm.

A continuación se detalla la ubicación de los conductos perforados de riego y el número de atomizadores:

#### **3.2.1 Para palanquillas de 100 x 100 mm.**

a) zona 1: en conjunto 28 atomizadores.

1 anillo horizontal de tubo perforado con 8 atomizadores (2 atomizadores por cada cara de la fila).

- 1 anillo horizontal de tubo perforado con 4 atomizadores (1 atomizador por cada cara de la fila).

4 tubos perforados verticales, cada uno de estos provistos con 4 atomizadores (1 tubo por cada cara de la fila).

**b) zona 2:** en conjunto 38 atomizadores.

4 tubos perforados verticales (1 tubo por cada cara de la fila); los tubos de las caras delanteras y traseras son provistas de 5 atomizadores cada uno y los tubos de las caras laterales son provistos con 4 atomizadores cada uno.

4 tubos perforados verticales (1 tubo por cada cara de la fila), los tubos de las caras delantera y traseras son provistas con 6 atomizadores cada uno y los tubos de las caras laterales son provistos con 4 atomizadores cada uno.

En total hay 66 atomizadores.

### **3.2.2 Para tochos de 200 x 250 mm.**

**a) zona 1:** en conjunto 54 atomizadores.

1 anillo horizontal de tubo perforado con 12 atomizadores (3 atomizadores por cada cara

de la fila).

1 anillo horizontal de tubo perforado con 10 atomizadores (3 atomizadores por cada una de las caras delanteras y traseras de la fila y 2 atomizadores por cada una de las caras laterales).

8 tubos perforados verticales, cada uno provisto con 4 atomizadores (dos tubos por cada cara de la fila).

**b) zona 2:** en conjunto 76 atomizadores

- 8 tubos perforados verticales (2 tubos por cada cara de la fila), los tubos de la cara delantera y trasera provistos de 5 atomizadores cada uno, y los tubos de las caras laterales provistos con 4 atomizadores cada uno.

8 tubos perforados verticales (2 tubos para cada cara de la fila), los tubos de las caras delantera y trasera provistos con 4 atomizadores cada uno y los tubos de las caras laterales provistos con 4 atomizadores cada uno.

En total hay 130 atomizadores.

### **3.3 Dimensiones de los orificios de agua y aire**

Los orificios de agua y de aire se determinaron, teniendo en cuenta los caudales de agua máximos.

En el caso de un producto idéntico (palanquilla o tocho), los atomizadores de una misma zona tienen orificios idénticos.

La determinación de éstos orificios se efectuó, basandose en los tubos perforados de riego.

Los diámetros de los orificios son:

**3.3.1 Para palanguilla de 100 x 100 mm.**

**a) zona 1:**

- 2 orificios de agua, diámetro: 2.2 mm  
capacidad: 1.1 gal/min. c/u.
- 1 orificio de aire, diámetro: 3.0 mm.  
capacidad: 345 lt/min.

**b) zona 2:**

- 2 orificios de agua, diámetro: 1.8 mm.  
capacidad: 0.5 gal/min c/u.
- 1 orificio de aire, diámetro: 2.4 mm.  
capacidad: 145 lt/min.

**3.3.2 Para tochos de 200 x 250 mm**

**a) zona 1:**

- 2 orificios de agua, diámetro: 1.8 mm.  
capacidad: 0.26 gal/min c/u.
- 1 orificio de aire, diámetro: 2.4 mm.  
capacidad: 179 lt/min.

**b) zona 2:**

- 2 orificios de agua, diámetro: 1.3 mm.  
capacidad: 0.11 gal/min c/u.
- 1 orificio de aire, diámetro: 1.5 mm.  
capacidad: 72 lt/min.

### 3.4 Relación agua/aire

En el caso de un caudal de agua determinado, el caudal de aire necesario para una buena atomización se obtiene a partir de la siguiente figura; No 3 que permite obtener la relación: volumen de agua/volumen de aire, conociendo el caudal de agua.

La relación agua/aire se expresa en litros (L) de agua por  $m^3$  de aire y el caudal de agua de la zona considerada se expresa en porcentaje del caudal máximo de ésta zona.

Dicho gráfico es válido para ambas zonas de enfriamiento secundario, y para las palanquillas y los tochos, tal como se escoga:

- Para la zona 1, un caudal máximo de agua de  $14 m^3/h$  (100% en la figura)
- Para la zona 2, un caudal máximo de agua de  $8 m^3/h$  (100% en la figura).

Conociendo el caudal de agua, expresado en  $m^3/h$  y después, en porcentaje del caudal máximo de la zona considerada, se obtiene la relación agua/aire en  $L/m^3$ , y en consecuencia el caudal de aire necesario para la zona considerada, expresado en  $m^3/h$ .

El consumo de aire comprimido es relativamente más importante cuando el caudal de agua es pequeño (la relación agua/aire disminuye cuando el caudal de agua disminuye). En efecto es indispensable dar una velocidad suficiente a los fluidos y a las gotas de agua atomizadas.

# RELACION VOLUMETRICA AGUA-AIRE EN FUNCION DEL CAUDAL DE AGUA

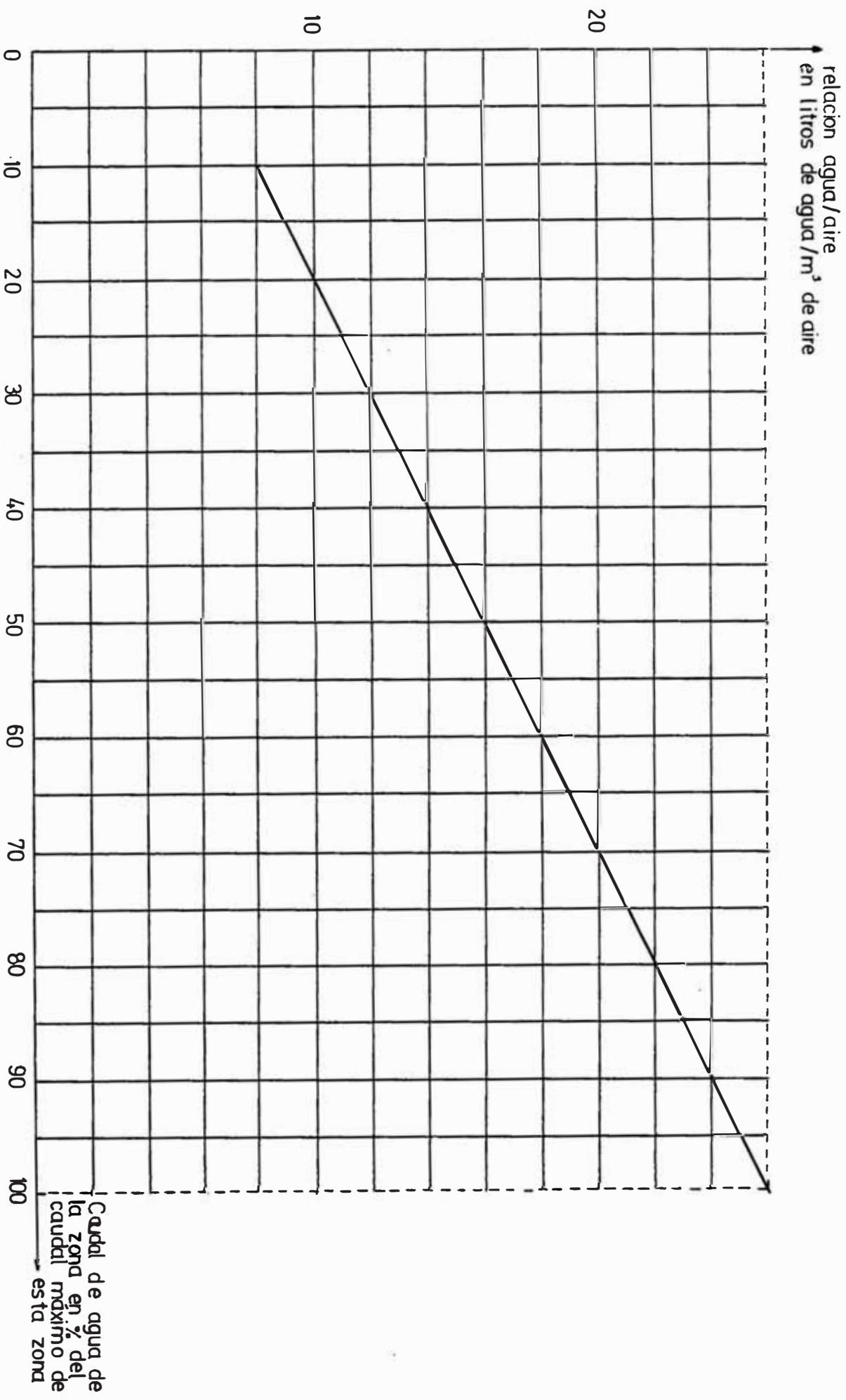


FIG. 3. Zona 1 : caudal max. = 14 m<sup>3</sup>/h  
Zona 2 : " " = 8 m<sup>3</sup>/h

#### 4.- PROYECTO DEL SISTEMA DE PULVERIZACION DE AGUA.

En el presente capítulo se determina la cantidad de agua necesaria para enfriar la palanquilla o el tocho mediante el sistema de pulverización de agua.

Para realizar dicho cálculo se desarrollan ecuaciones de transferencia de calor; la solución matemática al problema es complejo por lo que se recurre a ecuaciones de conducción de calor en estado no estacionario, las que serán usadas para hallar la distribución de temperaturas en la superficie de la barra, las que a su vez se usarán para calcular el caudal de agua necesario para enfriar la barra en una determinada sección.

Con la información técnica disponible se selecciona el tipo de SPRAY, así como su ubicación y disposición lo largo de la barra, también se determina el número de sprays requeridos y sus características operativas tales como el caudal y la presión del agua.

Para la realización de éste proyecto, se ha estudiado y analizado el sistema de enfriamiento secundario por pulverización de agua de la máquina de colada continua No 1.

4.1.1 Distribución de temperaturas en la superficie de la palanquilla.

Se hará una simulación matemática para obtener la distribución de temperaturas.

La ecuación básica de conducción de calor en régimen no estacionario, considerando un volumen elemental de acero deslizándose a lo largo de la vena líquida-sólida.

Ecuación general de conducción de calor en régimen no estacionario:

$$\frac{\partial}{\partial x} (K \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K \frac{\partial T}{\partial z}) + \dot{Q} = \rho \cdot C \frac{\partial T}{\partial t}$$

Consideraciones:

- Régimen bidimensional
- No hay generación interna de calor.

La ecuación se simplifica a:

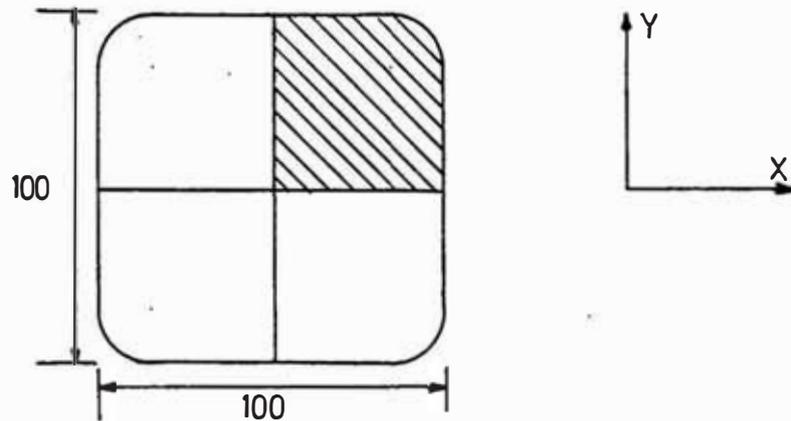
$$\frac{\partial}{\partial x} (K \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K \frac{\partial T}{\partial y}) = \rho \cdot C \frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\rho \cdot C}{K} \frac{\partial T}{\partial t} ; \frac{1}{a} = \frac{\rho \cdot C}{K}$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \dots \dots \dots (1)$$

Condiciones limitrofes:

A causa de la naturaleza simétrica de la pieza fundida solamente 1/4 de la sección transversal será considerada.



A través de la línea central en las direcciones X e Y el gradiente de temperatura es igual a cero.

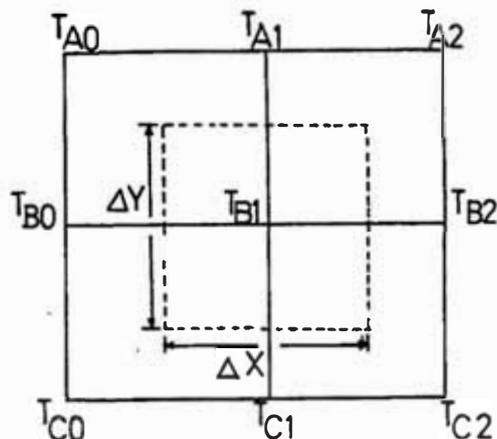
$$\frac{(aT)}{(ax)_y} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{(aT)}{(ay)_x} = 0$$

A través de la superficie de la colada las condiciones limitrofes varían con el proceso de extracción de calor.

Los procedimientos actuales de la colada continua incluyen la transferencia de calor en el molde, zonas de rociado y radiación.

Para la solución de la ecuación (1) se aplicará el método de SAUL'YER.

Desarrollo del método:



a) Para un nodo interno:

$$\frac{K(L\Delta y)(T_{B0}^t + T_{B1}^t)}{\Delta x} + \frac{K(L\Delta x)(T_{A1}^t - T_{B1}^t)}{\Delta y} +$$

$$\frac{K(L\Delta y)(T_{B2}^t - T_{B1}^t)}{\Delta x} + \frac{K(L\Delta x)(T_{C1}^t - T_{B1}^t)}{\Delta y} =$$

$$(L\Delta x\Delta y) \frac{\rho C_p (T_{B1}^{t+1} - T_{B1}^t)}{\Delta t}$$

Para una malla cuadrada:  $\Delta X = \Delta Y$ , entonces:

$$T_{B1}^{t+1} = \frac{[T_{B0}^t + T_{A1}^t + T_{B2}^t + T_{C1}^t + (M-4) \times T_{B1}^t]}{M}$$

donde:  $M = \frac{\Delta x^2}{a \cdot \Delta t}$

que da la nueva temperatura en el punto central en función de las temperaturas primitivas en los cinco puntos.



$$T_2^{t+1} = \frac{[2 T_{\phi} N_2 + T_1 + T_3 + 2 T_8 + (M_2 - 4 - 2N_2) \cdot T_2]^t}{M_2}$$

$$T_3^{t+1} = \frac{[2 T_{\phi} N_3 + T_2 + T_4 + 2 T_9 + (M_3 - 4 - 2 N_3) \cdot T_3]^t}{M_3}$$

$$T_4^{t+1} = \frac{[2 T_{\phi} N_4 + T_3 + T_5 + 2 T_{10} + (M_4 - 4 - 2N_4) \cdot T_4]^t}{M_4}$$

$$T_5^{t+1} = \frac{[2 T_{\phi} N_5 + T_4 + T_6 + 2 T_{11} + (M_5 - 4 - 2N_5) \cdot T_5]^t}{M_5}$$

$$T_6^{t+1} = \frac{(T_5 + T_{12})^t}{2}$$

$$T_7^{t+1} = \frac{[T_1 + 2 T_8 + T_{13} + (M_7 - 4) \cdot T_7]^t}{M_7}$$

$$T_8^{t+1} = \frac{[T_2 + T_9 + T_{14} + T_7 + (M_8 - 4) \cdot T_8]^t}{M_8}$$

$$T_9^{t+1} = \frac{[T_3 + T_{10} + T_{15} + T_8 + (M_9 - 4) \cdot T_9]^t}{M_9}$$

$$T_{10}^{t+1} = \frac{[T_4 + T_{11} + T_{16} + T_9 + (M_{10} - 4) \cdot T_{10}]^t}{M_{10}}$$

$$T_{11}^{t+1} = \frac{[T_5 + T_{12} + T_{17} + T_{10} + (M_{11} - 4) \cdot T_{11}]^t}{M_{11}}$$

$$T_{12}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{\phi} \cdot N_{12} + T_6 + T_{18} + 2 T_{11} + (M_{12} - 4 -$$

$$2N_{12}) \cdot T_{12}]^t}{M_{12}}$$

$$T_{13}^{t+1} = \frac{[T_7 + 2 T_{14} + T_{19} + (M_{13} - 4) \cdot T_{13}]^t}{M_{13}}$$

$$T_{14}^{t+1} = \frac{[T_8 + T_{15} + T_{20} + T_{13} + (M_{14} - 4) \cdot T_{14}]^t}{M_{14}}$$

$$T_{15}^{t+1} = \frac{[T_9 + T_{16} + T_{21} + T_{14} + (M_{15} - 4) \cdot T_{15}]^t}{M_{15}}$$

$$T_{16}^{t+1} = \frac{[T_{10} + T_{17} + T_{22} + T_{15} + (M_{16} - 4) \cdot T_{16}]^t}{M_{16}}$$

$$T_{17}^{t+1} = \frac{[T_{11} + T_{18} + T_{23} + T_{16} + (M_{17} - 4) \cdot T_{17}]^t}{M_{17}}$$

$$T_{18}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{\emptyset} \cdot N_{18} + T_{12} + T_{24} + 2 T_{17} + (M_{18} - 4 -$$

$$2N_{18}) \cdot T_{18}]^t}{M_{18}}$$

$$T_{19}^{t+1} = \frac{[T_{13} + 2 T_{20} + T_{25} + (M_{19} - 4) \cdot T_{19}]^t}{M_{19}}$$

$$T_{20}^{t+1} = \frac{[T_{14} + T_{21} + T_{26} + T_{19} + (M_{20} - 4) \cdot T_{20}]^t}{M_{20}}$$

$$T_{21}^{t+1} = \frac{[T_{15} + T_{22} + T_{27} + T_{20} + (M_{21} - 4) \cdot T_{21}]^t}{M_{21}}$$

$$T_{22}^{t+1} = \frac{[T_{16} + T_{23} + T_{28} + T_{21} + (M_{22} - 4) \cdot T_{22}]^t}{M_{22}}$$

$$T_{23}^{t+1} = \frac{[T_{17} + T_{24} + T_{29} + T_{22} + (M_{23} - 4) \cdot T_{23}]^t}{M_{23}}$$

$$T_{24}^{t+1} = \frac{[2 \cdot N_{24} \cdot T_{\emptyset} + T_{18} + T_{30} + 2 T_{23} + (M_{24} - 4 -$$

$$2N_{24}) \cdot T_{24}]^t}{M_{24}}$$

$$T_{25}^{t+1} = \frac{[T_{19} + 2 T_{26} + T_{31} + (M_{25} - 4) \cdot T_{25}]^t}{M_{25}}$$

$$T_{26}^{t+1} = \frac{[T_{20} + T_{27} + T_{32} + T_{25} + (M_{26} - 4) \cdot T_{26}]^t}{M_{26}}$$

$$T_{27}^{t+1} = \frac{[T_{21} + T_{28} + T_{33} + T_{26} + (M_{27} - 4) \cdot T_{27}]^t}{M_{27}}$$

$$T_{28}^{t+1} = \frac{[T_{22} + T_{29} + T_{34} + T_{27} + (M_{28} - 4) \cdot T_{28}]^t}{M_{28}}$$

$$T_{29}^{t+1} = \frac{[T_{23} + T_{30} + T_{35} + T_{28} + (M_{29} - 4) \cdot T_{29}]^t}{M_{29}}$$

$$T_{30}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{\phi} \cdot N_{30} + T_{24} + T_{36} + 2 T_{29} + (M_{30} - 4 -$$

$$2M_{30}) \cdot T_{30}]^t}{M_{30}}$$

$$T_{31}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{25} + 2 T_{32} + (M_{31} - 4) \cdot T_{31}]^t}{M_{31}}$$

$$T_{32}^{t+1} = \frac{[2 T_{26} + T_{33} + T_{31} + (M_{32} - 4) \cdot T_{32}]^t}{M_{32}}$$

$$T_{33}^{t+1} = \frac{[2 T_{27} + T_{34} + T_{32} + (M_{33} - 4) \cdot T_{33}]^t}{M_{33}}$$

$$T_{34}^{t+1} = \frac{[2 T_{28} + T_{35} + T_{33} + (M_{34} - 4) \cdot T_{34}]^t}{M_{34}}$$

$$T_{35}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{29} + T_{36} + T_{34} + (M_{35} - 4) \cdot T_{35}]^t}{M_{35}}$$

$$T_{36}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{\phi} \cdot N_{36} + 2 T_{30} + 2 T_{35} + (M_{36} - 4 - 2N_{36}) \cdot M_{36}]^t}{M_{36}}$$

$$T_{36}]^t$$

$$M = \frac{\Delta x^2}{a \cdot \Delta t} \cdot 1 \quad ; \quad N = \frac{\bar{h}_c \Delta \cdot x}{K} \quad ; \quad \Delta x = 1 \text{ cm.}$$

$$N = \frac{\bar{h}_c}{(0.000029618 \cdot T + 0.0351)}$$

$$M = \frac{(7.96 - 0.0004575 \cdot T) (0.00002346 \cdot T + 0.129232)}{(0.000029618 \cdot T + 0.0351) \cdot \Delta t}$$

MOLDE:

La temperatura a la salida del molde está comprendida entre:

1070 °C a 1110 °C

ENFRIAMIENTO SECUNDARIO: La variación entre la temperatura a la salida del molde y la temperatura al final de la solidificación; no debe exceder de 300°C.

La temperatura al final de la solidificación debe oscilar entre:

770°C a 810°C.

A continuación se muestran las tablas de distribución de temperaturas en toda la sección de la barra. (Tabla 1)

Para nuestro estudio solo nos interesa las temperaturas superficiales de la barra:

Se muestra una temperatura superficial promedio de la barra igual en las 4 caras de una determinada sección transversal.

El enfriamiento secundario solo debe llegar hasta el segundo 44 teniendo en cuenta la distribución interna de temperaturas de tal manera, que un punto interno crítico no esté sólido como es el caso de los puntos 31, 25 y 32.

#### 4.1.2 Espesor solidificado a lo largo de la palanquilla.

Se calculará haciendo uso de la siguiente relación:

$$e = K_5 \cdot \sqrt{t}$$

donde:

$$e : \text{ mm}$$

$$K_5 : \text{ mm. min}^{-1/2}$$

$$t : \text{ min.}$$

$K_5$  depende de:

- La dimensión y perfil de las secciones.
- Grados de acero
- Diseño de la lingotera.

El valor de  $K_5$  se descubrió en investigaciones en un rango fluctuante entre:

$$K_5 : 30 \text{ a } 40 \text{ mm. min}^{-1/2}$$

En base a la distribución de temperaturas de la palanquilla tomamos un valor de  $K_5 = 37 \text{ mm. min}^{-1/2}$ .

A continuación se muestra la tabla 2; en donde se calcula el espesor de la palanquilla haciendo uso de la siguiente ecuación:  $e = 37 \sqrt{\frac{t}{60}}$  (mm)  
 $t$ : min.

Para calcular el tiempo necesario para la solidificación total de la palanquilla se hace lo siguiente:

$$e = K_S \sqrt{t}$$

$$e = 50 \text{ mm.}$$

$$50 = 37 \sqrt{t} \rightarrow t = 1.82 \text{ min (109.57 seg).}$$

Expresándolo en términos de longitud de la palanquilla, esto ocurre a 5.46 m. desde el menisco superior de la lingotera..

Verificando con el largo metalúrgico (longitud del núcleo):

$$L = \frac{V \cdot S^2}{4 K_S^2}$$

donde:

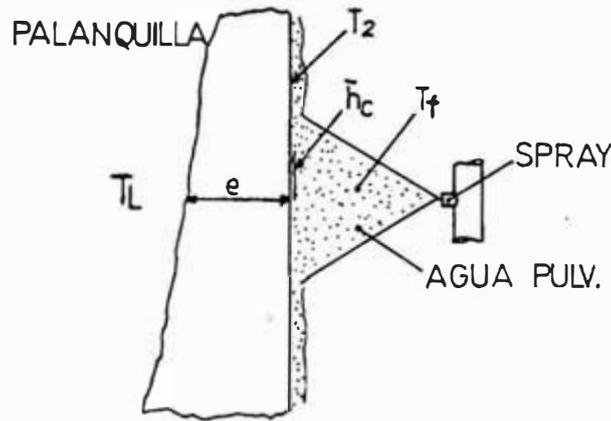
L : largo metalúrgico (mm)

V : velocidad de colada (m/min)

S : espesor de la palanquilla (mm)

$$L = \frac{3 \times (100)^2}{4 \times (37)^2} = 5.47 \text{ m.}$$

4.1.3 Coefficiente de transmisión de calor en la zona de contacto agua-palanquilla



Se hará el siguiente balance de calor:

q ganado por agua = q perd. por la palanquilla

Calor perdido por la palanquilla:

$$\frac{q}{A} \cdot \int_0^e dx = - \int_{T_1}^{T_2} K dt$$

$$K = [0.000029618 \cdot T + 0.0351] \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}}, T: (700 \text{ a } 1523) ^\circ\text{C}$$

$$q = \frac{10 \cdot A}{e} [0.0000148 (T_1^2 - T_2^2) + 0.0351 (T_1 - T_2)] \dots \quad (1)$$

$$T_1 = T_L = 1477^\circ\text{C}$$

Calor ganado por el agua pulverizada:

$$q = \bar{h}_c \cdot A \times (T_2 - T_f) \dots \dots \dots (2)$$

Igualando las ecuaciones (1) y (2) hallamos  $\bar{h}_c$ :

$$\bar{h}_c = \frac{10 [0.0000148 (T_{12} - T_{22}) + 0.0351 (T_1 - T_2)]}{e (T_2 - T_f)}$$

cal/cm<sup>2</sup> - s - °C

donde :

e : (mm)

T<sub>2</sub> : (°C)

T<sub>f</sub> : 35 °C

Anteriormente se muestra el coeficiente promedio de transición de calor (tabla 3) para distintas secciones de la palanquilla.

#### 4.1.4 Caudal de agua necesario para el enfriamiento secundario.

Se hará uso de la siguiente ecuación, la cual calcula la variación del flujo de agua con la distancia entre la boquilla de rociado y la superficie de la palanquilla; mojando siempre una determinada superficie de rociado.

$$w_f = 7373 \times \frac{\bar{h}_c}{(P + 5)} \quad (\text{Gal/min-pie}^2)$$

10

donde:

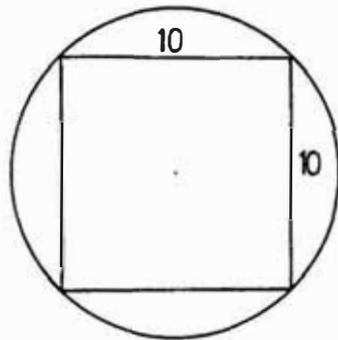
P : presión (PSI)

$\bar{h}_c$  : (cal/cm<sup>2</sup> - s - °C)

F : varía de 20 a 80 F51.

A continuación se muestra la tabla 4, que da el caudal de agua por unidad de superficie.

El agua debe mojar todo el ancho de la cara de la palanquilla (10 cm), se ha tomado un área de 10 x 10 cm, las esquinas de este cuadrado también deben ser mojados:



El agua pulverizada debe mojar todo el círculo de diámetro  $10 \cdot \sqrt{2}$  cm., es decir, debe mojar un área de  $0.1689 \text{ pie}^2$ .

A continuación se muestra la tabla 5 donde se indica el agua necesaria para mojar toda la superficie de 10 x 10 cm. en distintas secciones de la barra para distintas presiones del agua.

4.1.5 Selección de los SPRAYS necesarios para el enfriamiento secundario.

Usando el catálogo: SPRAYING SYSTEMS C.O., con la presión P (PSI) y el caudal de agua (Gal/min) se seleccionará el SPRAY requerido. (Tabla 7)

Se tomará un caudal promedio, y a una determinada presión de trabajo. (Tabla 5)

El SPRAY seleccionado es el siguiente:

Tipo:  $\frac{1}{4}$  GG 10

Angulo del SPRAY : 65°

Presión de trabajo : 40 PSI

Caudal de agua : 1.9 Gal/min.

Se ha tomado las siguientes consideraciones:

- . La presión de trabajo de 40 PSI, ha sido tomada de datos prácticos, de la presión del agua al ingreso de los SPRAYS en la máquina de colada continua No 1.
- . El caudal de agua, es el máximo caudal que da el SPRAY para una determinada presión de trabajo.

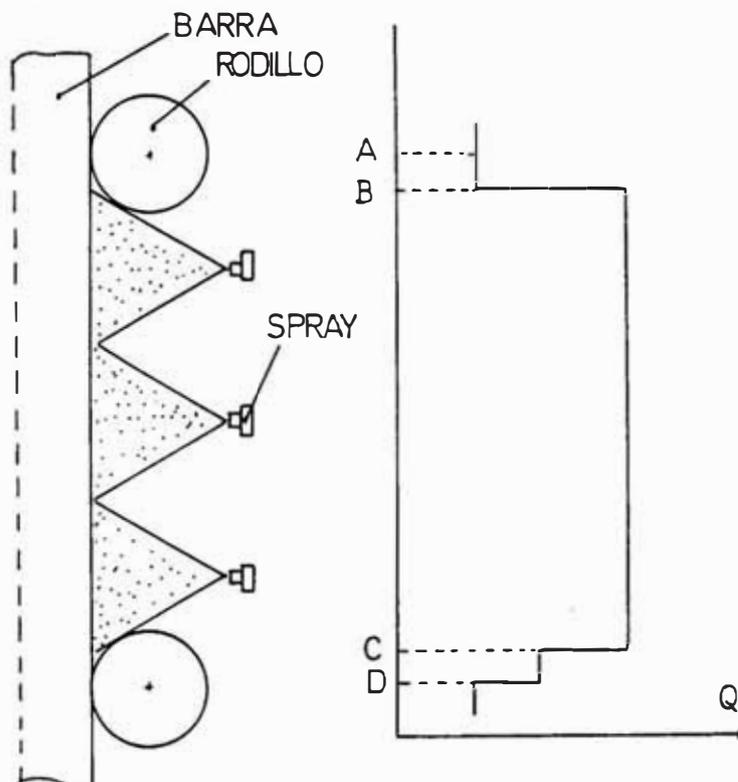
**4.1.6 Cálculo del flujo de calor en el molde y en el enfriamiento secundario.**

Se ha tenido en cuenta la siguiente distribución de acuerdo a porcentajes ya establecidos para máquinas de colada continua.

Lugar de enfriamiento y distribución de la pérdida de temperatura:

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| Enfriamiento primario .....   | 15 - 20 % |
| Enfriamiento secundario ..... | 35 - 45 % |
| Radiación y convección .....  | 35 - 50 % |

En el enfriamiento secundario, la pérdida de temperatura se divide en:



A - B : enfriamiento principalmente por radiación.

B - C : enfriamiento directo por el agua pulverizada por convección.

Además existe radiación a través de la película de vapor formada sobre la superficie de la palanquilla.

C - D : enfriamiento por convección, por el flujo de agua caliente.

En la zona B - C y considerando toda la superficie de la palanquilla en contacto directo con el agua pulverizada por el SPRAY, la temperatura  $\Delta T$  baja en un 40%.

$$\Delta T = (T_{\text{LIQUIDOS}} - T_{\text{SALIDA ENF. SECUNDARIO}}) \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Para el caso de palanquillas:

$$\Delta T = (1477 - 945) = 532 \text{ } ^{\circ}\text{C}.$$

### EN EL MOLDE:

Cálculo del caudal de agua para el enfriamiento de las lingoteras.

$$\begin{aligned} Q_{\text{MOLDE}} &= m_{\text{Qce}} \times C_{P_{\text{ace}}} \cdot \Delta T_{\text{MOLDE}}; \quad \Delta T_{\text{MOLDE}} = 18\% \cdot \Delta T \\ &= 30,000 \times 0.2 \times 0.18 \times 532 \\ &= 574,650 \text{ Kcal.} \end{aligned}$$

$$m_{\text{agua}}^{\circ} = \frac{Q_{\text{MOLDE}}}{\Delta T_{\text{agua}} \times C_{P_{\text{agua}}} \times \rho_{\text{agua}} \times t_c}$$

$t_c$  : tiempo promedio normal de colada (43 min.)

$$= \frac{574,650 \text{ Kcal}}{10^{\circ}\text{C} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 43 \text{ min}} = 1.3 \frac{\text{m}^3}{\text{min.}}$$

**EN EL ENFRIAMIENTO SECUNDARIO:**

Cálculo del calor perdido por la palanquilla:

$$Q_{E.S.} = m_{ac} \times C_{P_{ac}} \times \Delta T_{ENF.SECUND.} \times \Delta T_{ENF.SECUND.} = 0.4 \Delta T$$

$$= 30,000 \times 0.15 \times 0.4 \times 532 = 957,600 \text{ Kcal.}$$

Cálculo del caudal de agua necesario para el enfriamiento secundario:

$$m^{\circ}\text{agua} = \frac{Q_{E.S.}}{\Delta T_{\text{agua}} \times C_{P_{\text{agua}}} \times \rho_{\text{agua}} \times t_c}$$

$$= \frac{957,600}{22^{\circ}\text{C} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 43 \text{ min.}}$$

$$m^{\circ}\text{agua} = 1.01226 \frac{\text{m}^3}{\text{min.}} \left( 60.74 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \approx 61 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

De acuerdo al esquema anterior, se calculará el calor perdido por la palanquilla en cada sección:

$$Q = \bar{h}_g \cdot A \cdot (T_2 - T_f) \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$

donde:

$$A = 400 \text{ cm}^2$$

$$T_f = 35^\circ\text{C}$$

$T_2$  : (Temperatura superficial)

$$= \left( \frac{P}{10} + 5 \right) \times \frac{W_f}{7373} + \text{hrad.}$$

$$= \left( \frac{40}{10} + 5 \right) \times \frac{1.9}{7373} + \text{hrad.} = 0.002319 + \text{hrad.} \dots (a)$$

$$\text{hrad} = \frac{E}{7373} (T_2^3 + T_a \cdot T_2^2 + T_2 \cdot T_a^2 + T_a^3)$$

donde:

$$\sigma = 0.17114 \times 10^{-8} \frac{\text{BTU}}{\text{h-pie}^2 \cdot ^\circ\text{R}^4}$$

$T_a = 40^\circ\text{C}$  (Temp. del ambiente, rodea a la palanq.)

$$T_2 \text{ y } T_a : \text{ en } ^\circ\text{R}, \quad T_a = 564^\circ\text{R}$$

$$E = 0.93$$

Reemplazando en (a):

$$\bar{h}_g = 0.002319 + \frac{(0.1714 \times 10^{-8}) \cdot 0.93}{7373} [(492 + 1.8 T_2)^3 + 564 \times$$

$$(492 + 1.8 T_2)^2 + (492 + 1.8 T_2) \times (564)^2 + (564)^3]$$

En la tabla 6 se muestra el valor de  $\bar{h}_g$  y el calor transferido en cada sección de la palanquilla.

El calor total transferido por la palanquilla en el enfriamiento secundario es:

$$Q = 118.3685 \text{ Kcal}$$

Tiempo de colada: 43 min. (2580 s.)

3 líneas de colada:

$$Q_{\text{TOTAL}} = 118.3685 \times 3 \times 2580 = 916,172.19 \text{ Kcal.}$$

3 LINEAS

#### **4.1.7 Diseño de los conductos rociadores en el proceso de pulverización de agua.**

Se tomará en cuenta los datos prácticos de la colada continua No 1 que tiene instalada este sistema.

##### **4.1.7.1 Para palanquillas de 100 x 100 mm.**

###### **4.1.7.1.1 Selección del diámetro y material de los conductos rociadores.**

El diámetro del SPRAY seleccionado es de  $11/16''$ , entonces tomamos un diámetro para el conducto rociador de  $1\ 1/2''$ , siendo este un valor práctico, similar al diámetro de la C.C. No 1.

El material del conducto rociador es de acero al carbono ASTM: A - 53.

SCHEDULE SIN COSTURA 40. El cual debe ser galvanizado en caliente, además se deben proteger las roscas.

###### **4.1.7.1.2 Distancia de los SPRAYS a la palanquilla.**

La distancia de los SPRAYS a la palanquilla se halla haciendo uso de la tabla 8. Con un ángulo del SPRAY de  $65^\circ$  se calcula:

Para un THEORETICAL COVERAGE de  $5.1''$  (12.95 cm) la distancia resulta igual a  $4''$ .

#### 4.1.7.1.3 Ubicación de los SPRAYS en los conductos rociadores.

De acuerdo a las tablas 1 y 2; de distribución de temperaturas y espesor solidificado de la palanquilla.

El enfriamiento secundario, sólo debe hacerse hasta el segundo 44. El enfriamiento secundario está comprendido de: 14 a 44 seg., es decir dura 30 seg.

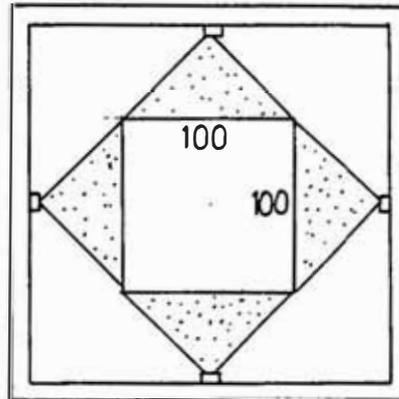
La velocidad de la palanquilla es 3 m/min, entonces la longitud neta del conducto rociador es:

$$\frac{3 \text{ m}}{60 \text{ S}} \times 30 \text{ S} = 1.5 \text{ m.}$$

Por lo tanto los SPRAYS deben mojar una longitud de 150 cm.

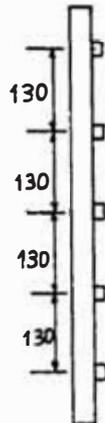
La distribución de los SPRAYS por línea de colada es la siguiente (ver el plano Hg 03 ).

- 2 anillos superiores:



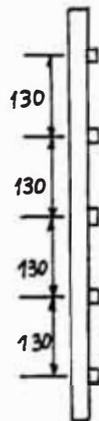
Total :  $2(4) = 8$  SPRAYS.

- 1 conducto rociador por cada cara:



Total:  $4 \times 5 = 20$  SPRAYS.

- 1 conducto rociador por cada cara:



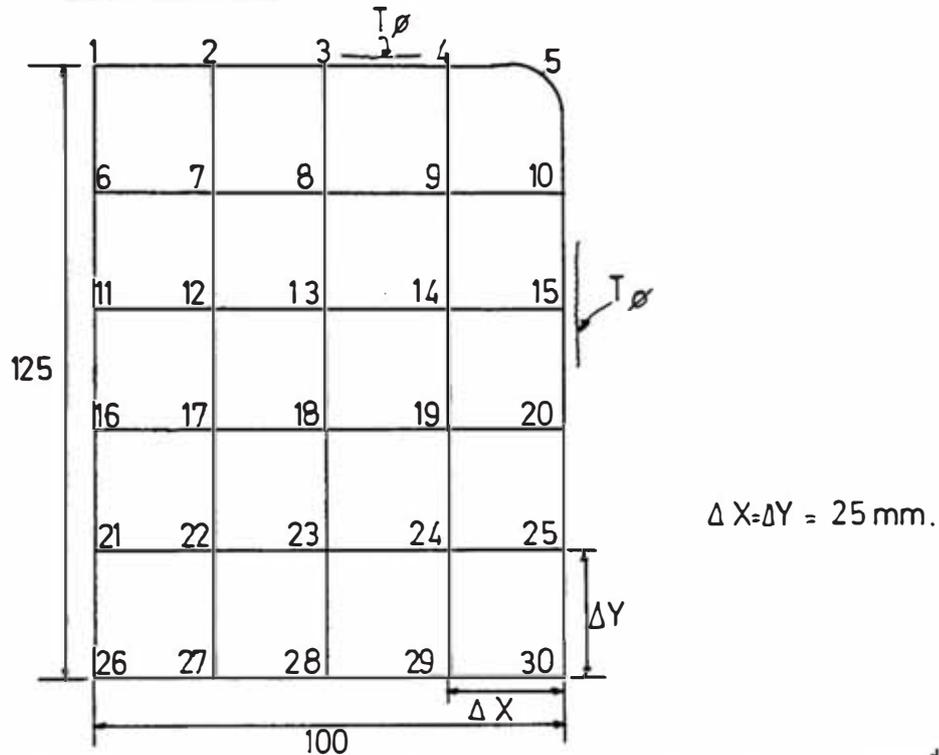
Total:  $4 \times 5 = 20$  SPRAYS.

En toda la línea de colada:  $8 + 20 + 20 = 48$  SPRAYS.

En total (3 líneas):  $3 \times 48 = 144$  SPRAYS.

4.2. Para tochos de 200 x 250 mm.

4.2.1 Distribución de temperaturas en la superficie del tocho.



$$T_1^{t+1} = \frac{[2 T_{\text{amb}} \cdot N_1 + 2 T_2 + 2 T_6 + (M_1 - 4 - 2N_1) \cdot T_1]^t}{M_1}$$

$$T_2^{t+1} = \frac{[2 T_{\text{amb}} \cdot N_2 + T_1 + T_3 + 2T_7 + (M_2 - 4 - 2N_2) \cdot T_2]^t}{M_2}$$

$$T_3^{t+1} = \frac{[2 T_{\text{amb}} \cdot N_3 + T_2 + T_4 + 2T_8 + (M_3 - 4 - 2N_3) \cdot T_3]^t}{M_3}$$

$$T_4^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{\text{amb}} \cdot N_4 + T_3 + T_5 + 2 T_9 + (M_4 - 4 - 2N_4) \cdot T_4]^t}{M_4}$$

$$T_5^{t+1} = \frac{[T_4 + T_{10}]^t}{2}$$

$$T_6^{t+1} = \frac{[T_1 + 2T_7 + T_{11} + (M_6 - 4) \cdot T_6]^t}{M_6}$$

$$T_7^{t+1} = \frac{[T_2 + T_8 + T_{12} + T_6 + (M_7 - 4) \cdot T_7]^t}{M_7}$$

$$T_8^{t+1} = \frac{[T_3 + T_9 + T_{13} + T_7 + (M_8 - 4) \cdot T_8]^t}{M_8}$$

$$T_9^{t+1} = \frac{[T_4 + T_{10} + T_{14} + T_8 + (M_9 - 4) \cdot T_9]^t}{M_9}$$

$$T_{10}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{10} \cdot N_{10} + T_5 + T_{15} + 2 T_9 + (M_{10} - 4 - 2N_{10}) \cdot T_{10}]^t}{M_{10}}$$

$$T_{10}]^t$$

$$T_{11}^{t+1} = \frac{[T_6 + 2T_{12} + T_{16} + (M_{11} - 4) \cdot T_{11}]^t}{M_{11}}$$

$$T_{12}^{t+1} = \frac{[T_7 + T_{13} + T_{17} + T_{11} + (M_{12} - 4) \cdot T_{12}]^t}{M_{12}}$$

$$T_{13}^{t+1} = \frac{[T_8 + T_{14} + T_{18} + T_{12} + (M_{13} - 4) \cdot T_{13}]^t}{M_{13}}$$

$$T_{14}^{t+1} = \frac{[T_9 + T_{15} + T_{19} + T_{13} + (M_{14} - 4) \cdot T_{14}]^t}{M_{14}}$$

$$T_{15}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{15} \cdot N_{15} + T_{10} + T_{20} + 2 T_{14} + (M_{15} - 4 - 2N_{15}) \cdot T_{15}]^t}{M_{15}}$$

$$2N_{15}) \cdot T_{15}]^t$$

$$T_{16}^{t+1} = \frac{[T_{11} + 2T_{17} + T_{21} + (M_{16} - 4) \cdot T_{16}]^t}{M_{16}}$$

$$T_{17}^{t+1} = \frac{[T_{12} + T_{18} + T_{22} + T_{16} + (M_{17} - 4) \cdot T_{17}]^t}{M_{17}}$$

$$T_{18}^{t+1} = \frac{[T_{13} + T_{19} + T_{23} + T_{17} + (M_{18} - 4) \cdot T_{18}]^t}{M_{18}}$$

$$T_{19}^{t+1} = \frac{[T_{14} + T_{20} + T_{24} + T_{18} + (M_{19} - 4) \cdot T_{19}]^t}{M_{19}}$$

$$T_{20}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{\emptyset} \cdot N_{20} + T_{15} + T_{25} + 2 T_{19} + (M_{20} - 4 - 2$$

$$N_{20} \cdot T_{20}]^t$$

$$T_{21}^{t+1} = \frac{[T_{16} + 2 T_{22} + T_{26} + (M_{21} - 4) \cdot T_{21}]^t}{M_{21}}$$

$$T_{22}^{t+1} = \frac{[T_{17} + T_{23} + T_{27} + T_{21} + (M_{22} - 4) \cdot T_{22}]^t}{M_{22}}$$

$$T_{23}^{t+1} = \frac{[T_{18} + T_{24} + T_{28} + T_{22} + (M_{23} - 4) \cdot T_{23}]^t}{M_{23}}$$

$$T_{24}^{t+1} = \frac{[T_{19} + T_{25} + T_{29} + T_{23} + (M_{24} - 4) \cdot T_{24}]^t}{M_{24}}$$

$$T_{25}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{\emptyset} \cdot N_{25} + T_{20} + T_{30} + 2 T_{24} + (M_{25} - 4 - 2$$

$$N_{25}) \cdot T_{25}]^t$$

$$T_{26}^{t+1} = \frac{[2 \cdot T_{21} + 2 T_{27} + (M_{26} - 4) \cdot T_{26}]^t}{M_{26}}$$

$$T_{27}^{t+1} = \frac{[2 T_{22} + T_{28} + T_{26} + (M_{27} - 4) \cdot T_{27}]^t}{M_{27}}$$

$$T_{28}^{t+1} = \frac{[2 T_{23} + T_{29} + T_{27} + (M_{28} - 4) \cdot T_{28}]^t}{M_{28}}$$

$$T_{29}^{t+1} = \frac{[2 T_{24} + T_{30} + T_{28} + (M_{29} - 4) \cdot T_{29}]}{M_{29}}$$

$$T_{30}^{t+1} = \frac{[2 T_{25} \cdot N_{30} + 2 T_{25} + 2 T_{29} + (M_{30} - 4 - 2 N_{30}) \cdot T_{30}]}{M_{30}}$$

$$T_{30}^t$$

$$M = \frac{\Delta X^2 \cdot \rho \cdot c}{a \cdot \Delta t} ; \quad N = \frac{\bar{h}_c \cdot \Delta X}{K} ; \quad \Delta X = 2.5 \text{ cm.}$$

$$N = \frac{2.5 \times \bar{h}_c}{(0.000029618 \cdot T + 0.0351)}$$

$$M = \frac{6.25 \times (7.96 - 0.0004575 \cdot T)(0.00002346 \cdot T + 0.129232)}{(0.000029618 \cdot T + 0.0351) \cdot \Delta t}$$

#### Temperaturas recomendables:

##### MOLDE:

La temperatura superficial del tocho a la salida del molde debe estar comprendido entre: 1070°C a 1115°C.

##### ENFRIAMIENTO SECUNDARIO:

La diferencia de temperaturas superficiales del tocho a la salida del molde y la temperatura al final de la solidificación no debe exceder de 300°C.

La temperatura superficial del tocho al final de la solidificación debe oscilar entre : 700°C a 810°C.

A continuación se muestran la tabla 9, que son el resultado de las ecuaciones anteriormente planteados para las diferentes temperaturas externas e internas del tocho.

El enfriamiento secundario solo debe hacerse hasta el segundo 213.9 teniendo en cuenta la distribución interna de temperaturas.

#### 4.2.2 Espesor solidificado a lo largo del tocho

Se hace uso de la siguiente relación:

$$e = K_s \cdot \sqrt{t}$$

e : (mm)

$K_s$  : mm. min<sup>-1/2</sup>

t : min.

$K_s$  : varía de 30 a 40 mm. min<sup>-1/2</sup>

Teniendo en cuenta la distribución de temperaturas, tomamos el valor de  $K_s$ :

$$K_s = 32 \text{ mm. min}^{-1/2}$$

El espesor se calcula con la siguiente expresión:

$$e = 32 \sqrt{\frac{t}{60}} \text{ (mm)} \quad ; \quad t : \text{seg.}$$

Esta expresión se ha tabulado en la siguiente tabla:  
(tabla 10)

Cálculo del tiempo necesario para la solidificación total del tocho:

$$e = 32 \cdot \sqrt{t} \rightarrow 100 = 32\sqrt{t} \rightarrow t = 9.77 \text{ min.}$$

(586 seg.)

Esto ocurre a 10.547 m. desde el menisco superior de la lingotera.

Verificando con el largo metalúrgico:

$$L = \frac{V \cdot S^2}{4 K_s^2}$$

donde:

L : largo metalúrgico (m.)

V : velocidad de colada (m/min)

S : espesor del tocho (mm)

$$L = \frac{1.08 \times (200)^2}{4 \times (32)^2} = 10.547$$

**4.2.3 Coficiente de transmisión de calor en la zona de contacto agua-tocho**

Se hace el siguiente balance de calor:

Calor ganado por el agua = Calor perdido por el tocho.

Calor perdido por el tocho:

$$\frac{q}{A} \cdot \int_0^e dx = - \int_{T_1}^{T_2} K dT$$

$$K = (0.000029618 \cdot T + 0.0351) \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad T = (700 \text{ a } 1523^\circ\text{C})$$

$$q = \frac{10}{e} A [0.0000148 (T_1^2 - T_2^2) + 0.0351 (T_1 - T_2)] \dots (1)$$

$$T_1 = T_L = 1477^\circ\text{C}.$$

Calor ganado por el agua pulverizada:

$$q = \bar{h}_c \cdot A (T_2 - T_f) \dots (2)$$

Igualando las expresiones (1) y (2) hallamos  $\bar{h}_c$  :

$$\bar{h}_c = \frac{10}{e} \frac{[0.0000148 (T_1^2 - T_2^2) + 0.0351 (T_1 - T_2)]}{(T_2 - T_f)}$$

cal/cm<sup>2</sup> - s - °C

e : mm

T<sub>2</sub> : (°C)

T<sub>f</sub> : 35°C

Se analizará las dos caras de la sección transversal del tocho, la de 200 mm. y la de 250 mm.

A continuación se muestra la tabla 11 (cara de 200 mm) y la tabla 11' (cara de 250 mm), en donde se calcula el coeficiente promedio de transmisión de calor por convección en distintas secciones del tocho.

**4.2.4 Caudal de agua necesario para el enfriamiento secundario.**

Se empleará la siguiente expresión, la cual da la variación del flujo de agua con la distancia entre la boquilla de rociado y la superficie del tocho, mojando siempre una misma superficie de rociado en una determinada sección del tocho (la mitad de la cara)

$$w_f = 7373 \cdot \frac{\bar{h}_c}{\frac{(F + 5)}{10}} \quad (\text{Gal/min-pie}^2)$$

donde:

$P$  : (FSI)

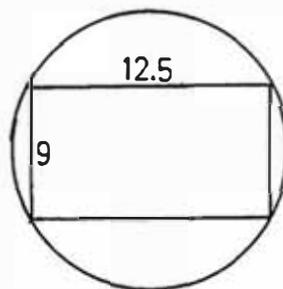
$\bar{h}_c$  : (cal/cm<sup>2</sup>-S-°C)

$P$  : varía de 20 a 80 FSI.

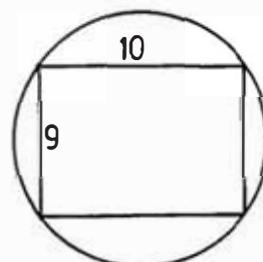
Se analizará las 2 caras de la sección del tocho : la de 200 mm y la de 250 mm.

A continuación se muestran las tablas 12 (cara de 200 mm) y la tabla 12' (cara de 250 mm), en donde se calcula el caudal específico de agua en gal/min-pie<sup>2</sup>, necesarios en cada sección del tocho a diferentes presiones del agua.

El agua pulverizada debe mojar las siguientes áreas: mitad de la cara de 250 mm y mitad de la cara de 200 mm.



A circulo<sub>1</sub>



A circulo<sub>2</sub>

$$A_{\text{circulo}_1} = 0.2 \text{ pie}^2$$

$$A_{\text{circulo}_2} = 0.1528 \text{ pie}^2$$

Luego se muestran las tablas 13 (cara de 200 mm) y 13' (cara de 250 mm) donde se calcula el caudal de agua en gal/min, para diferentes secciones del tocho. Se deduce que la cara más crítica es la de 250 mm de ancho, por necesitar mayor cantidad de agua a una misma presión de trabajo que la otra cara (200 mm).

#### 4.2.5 Selección de los SPRAYS necesarios para el enfriamiento secundario.

Usando el catálogo : SPRAYING SYSTEMS C.O., con la presión P(FSI) y el caudal de agua en (gal/min) se seleccionará el SPRAY requerido (tab.7)

Para esto se tomará un caudal promedio y una presión de trabajo recomendada para este tipo de aplicaciones.

La cara más crítica del tocho es la de 250 mm (Tabla 13') y para mojar toda esta longitud se tomarán 2 SPRAYS que tienen las siguientes características:

tipo :  $\frac{1}{8}$  GG 5

Angulo del SPRAY : 61°

Presión de trabajo : 60 FSI

Caudal de agua : 1.2 gal/min.

#### Consideraciones:

- . La presión de trabajo de 60 FSI, ha sido tomada teniendo en cuenta la presión de trabajo del agua de la colada continua No 1
- . Para esta presión de trabajo (60 FSI) se ha tomado el caudal máximo que puede dar el SPRAY.
- . Para cubrir el ancho de la cara del tocho se van ha usar 2 SPRAYS.

4.2.6. Cálculo del flujo de calor en el molde y en el enfriamiento secundario.

**EN EL MOLDE :** (Para las 3 líneas de colada)

$$\begin{aligned} Q_{\text{MOLDE}} &= m_{\text{ac}} \times C_{P_{\text{ac}}} \times \Delta T_{\text{MOLDE}} = 0.18 \times \Delta T_{\text{TOTAL}} \\ &= 30,000 \times 0.2 \times 0.18 \times 635 \\ &= 685,800 \text{ Kcal.} \end{aligned}$$

Cálculo del caudal de agua para el enfriamiento de las lingoteras:

$$\begin{aligned} m^{\circ} \text{agua} &= \frac{Q_{\text{MOLDE}}}{\Delta T_{\text{agua}} \times C_{P_{\text{agua}}} \times \rho_{\text{agua}} \times t_c} \quad (\text{m}^3/\text{min}); \quad t_c : \text{tiempo normal de colada (24 min)} \\ &= \frac{685,000 \text{ Kcal}}{7^{\circ}\text{C} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 24 \text{ min}} = 4.082 \frac{\text{m}^3}{\text{min.}} \end{aligned}$$

**EN EL ENFRIAMIENTO SECUNDARIO :** (Para las 3 líneas de colada).

Calor perdido por los tochos :

$$\begin{aligned} Q_{\text{E.S.}} &= m_{\text{ac}} \times C_{P_{\text{ac}}} \times \Delta T_{\text{E.S.}} = 0.4 \Delta T \\ &= 30,000 \times 0.15 \times 0.4 \times 635 \\ &= 1,143,000 \text{ Kcal.} \end{aligned}$$

Cálculo del caudal de agua necesario para el enfriamiento secundario :

$$\begin{aligned} m_{\text{agua}} &= \frac{Q_{\text{E.S.}}}{\Delta T_{\text{agua}} \times C_{P_{\text{agua}}} \times \rho_{\text{agua}} \times t_c} \\ &= \frac{1,143,000 \text{ Kcal.}}{21^{\circ}\text{C} \times 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \times 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 24 \text{ min}} = 2.2679 \frac{\text{m}^3}{\text{min.}} \quad (136.1 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}) \end{aligned}$$

Para calcular el calor por cada sección se usa la siguiente ecuación :

$$Q = h_G A (T_2 - T_f) \text{ cal/S}$$

donde :

$$h_G = \frac{(P + 5) \cdot w_f + hr}{10 \cdot 7373}$$

$$P = 60 \text{ PSI, } w_f = 1.2 \text{ gal/min.}$$

$$h_G = 0.00179 + \frac{(0.174 \times 10^{-8}) [(492 + 1.8T_2)^3 + 564(492+1.8T_2)^2 + (492+1.8T_2)564^2 + (564)^3]}{7373}$$

Se hará un cálculo de  $h_G$  para la cara de 200 mm y otro para la cara de 250 mm (Ver la tabla 14)

Luego se calculará un calor  $Q_1$  para la cara de 200 mm, y otro calor  $Q_2$  para la cara de 250 mm, para luego hallar el calor total  $Q_{total}$  en la línea de colada (Ver tabla 14).

Por lo tanto el calor total transferido por el tocho en el enfriamiento secundario es:

$$Q = 256.7484 \text{ Kcal/S. (Por línea)}$$

Total : 3 líneas de colada

Tiempo de colada : 24 min (1440 S)

$$Q_{TOTAL} = 256.7484 \times 1440 \times 3 = 1,109,153.088 \text{ Kcal}$$

3 LINEAS

#### 4.3.1 Para tochos de 200 x 250 mm.

##### 4.3.1.1 Selección del diámetro y material de los conductos rociadores.

El diámetro del SPRAY seleccionado es 9/16" por lo tanto tomamos un diámetro para el conducto rociador de 1 1/2" , siendo este un valor práctico para este tipo de aplicaciones.

El material del conducto rociador es de acero al carbono tipo : ASTM- A - 53 SCHEDULE 40 SIN COSTURA. El cual debe ser galvanizado en caliente y se debe proteger las roscas.

##### 4.3.1.2 Distancia de los SPRAYS al tocho.

La distancia de los SPRAYS al tocho se halla haciendo uso de la tabla 8', con un ángulo del SPRAY de 61°. Se calcula un THEORETICAL COVERAGE de 5.87 (15 cm); la distancia resulta igual a 5".

##### 4.3.1.3 Ubicación de los SPRAYS en los conductos rociadores.

De acuerdo a las tablas : de distribución de temperaturas y espesor solidificado del tocho. (tablas 9 y 10)

El enfriamiento secundario solo debe hacerse hasta el segundo 213.9.

El enfriamiento secundario está comprendido entre : 38.9 a 213.9 seg. dura : 175 seg.

La velocidad del tocho es: 1.08 m/min.

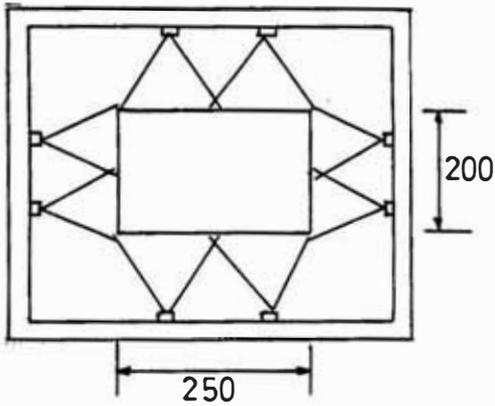
La longitud que deben mojar los SPRAYS es :  $\frac{1.08}{60} \times 175 =$

3.15 m.

- Para cubrir toda la cara del tocho se usarán, siempre 2 SPRAYS paralelos en cada sección donde deben ser colocados.

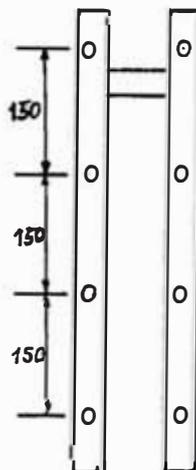
La distribución de los SPRAYS por línea es la siguiente :

2 anillos superiores



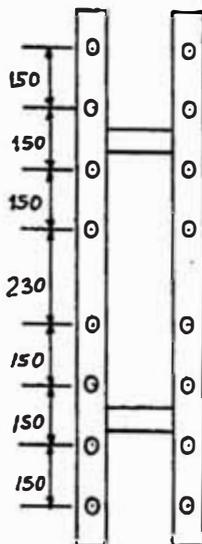
Total: 2 (8) = 16 SPRAYS

2 conductos rociadores por cada cara :



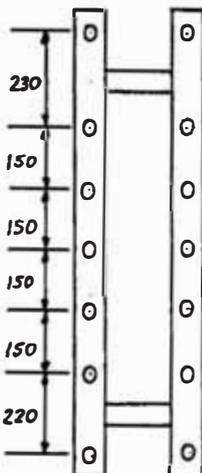
Total: 4(8) = 32 SPRAYS

2 conductos rociadores por cada cara :



Total:  $4(16) = 64$  SPRAYS

2 conductos rociadores por cada cara :



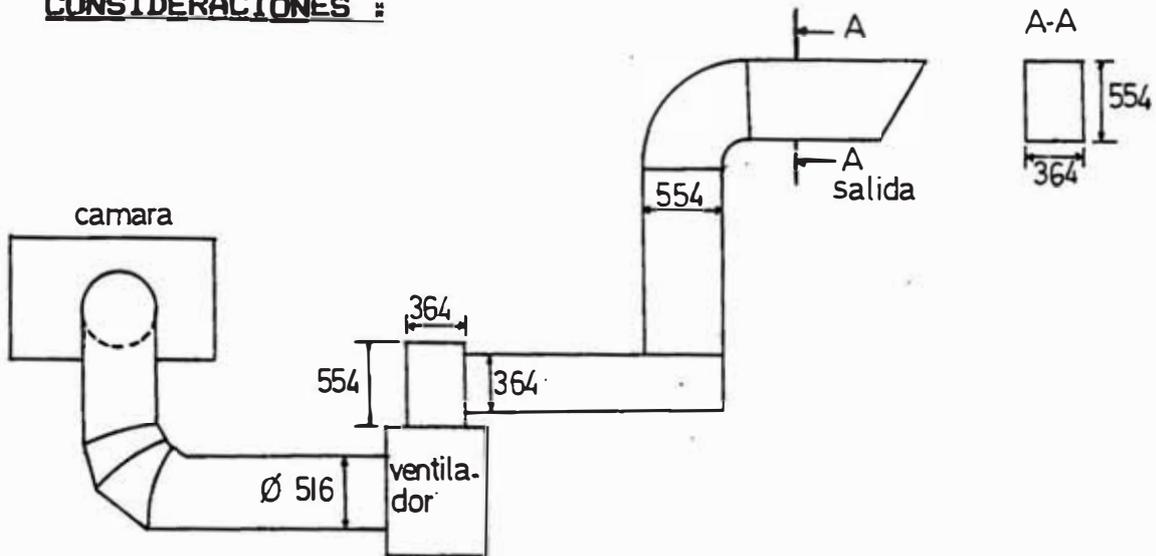
Total:  $4(14) = 56$  SPRAYS

En toda la línea de colada :  $16 + 32 + 64 + 56 = 168$   
SPRAYS

En las 3 líneas :  $3 \times 168 = 504$  SPRAYS.

#### 4.3.1.4 Selección del extractor de vapor.

##### CONSIDERACIONES :



- Del 2 al 4% del agua pulverizada se evapora.

El agua se evapora a razón de :  $\frac{4}{100} \times 137 = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

- La cámara donde se produce el enfriamiento secundario no es hermética, el aire puede entrar con facilidad, es decir se encuentra a presión atmosférica.
- La velocidad de extracción de la mezcla vapor-aire, es aproximadamente 3.32 m/S., siendo este un valor referencial para este tipo de cámaras.
- La función del ventilador será extraer el vapor formado, y evitar que inunde toda la máquina de colada continua.
- A continuación se seleccionará un ventilador centrífugo, el sistema de ductos no se modificará.

TUBERIA Y ACCESORIOS :

. TUBERIA CIRCULAR : Material acero comercial.

Ø 516 mm Long = 5.1 m.

ACCESORIOS :

|                                    | Kp    |
|------------------------------------|-------|
| 1 REDUCCION 350/516 Long 400 ..... | 0.21  |
| 1 CODO Ø 516 .....                 | 0.496 |
| TOTAL :                            | 0.706 |

. TUBERIA RECTANGULAR :

Sección : 364 x 554 (mm), Long. = 15 m.

. ACCESORIOS:

|  | Kp        |
|--|-----------|
| 3 Codos de 554 x 364 mm .....                    | 3 x (0.7) |
| 1 Cambio de sección brusca<br>de 554 a 364 ..... | 0.9       |
| Ducto de salida de 554 x 364 .....               | 1.0       |
| TOTAL :  | 3.1       |

. Cálculo de la caída de presión en el ducto :

$$\Delta P = \Delta P_{\text{TUBERIA CIRCULAR}} + \Delta P_{\text{TUBERIA RECTANGULAR}}$$

$$\Delta P = (f + K_p) \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

donde :

f = factor de fricción

Kp = coef. de pérdidas total en los accesorios.

L = Longitud (m)

D = Diámetro hidráulico (m)

V = Velocidad (m/S)

**PARA LA TUBERIA CIRCULAR :**

$$V = 3.32 \text{ m/S}$$

$$L = 5.1 \text{ m}$$

$$D = 0.516 \text{ m}$$

Cálculo de f :

Para el vapor a 60°C.

$$\rho = 0.13 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 1.5 \times 10^{-6} \text{ Kg } \frac{\text{m}}{\text{m}^2 \text{ s}}$$

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{0.13 \times 3.32 \times 0.516}{1.5 \times 10^{-6} \times 9.8} = 15,150$$

$$\frac{E}{D} = \frac{0.006}{51.6} = 0.00012$$

Del diagrama de MOODY hallamos el valor de f = 0.022

$$\Delta P = (f + K_p) \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta P = (0.022 + 0.706) \times \frac{5.1}{0.516} \times \frac{(3.32)^2}{2 \times 9.8} = 4.046 \text{ m vapor de agua.}$$

**PARA LA TUBERIA RECTANGULAR :**

$$Q = 2500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \longrightarrow Q = V \times A$$

$$\frac{2500}{3600} = V \times 0.364 \times 0.554$$

$$V = 3.44 \text{ m/S}$$

$$L = 15 \text{ m.}$$

$$D = 0.44 \text{ m.}$$

Cálculo de  $f$  :

Para el vapor a  $60^{\circ}\text{C}$  :

$$\rho = 0.13 \text{ Kg/m}^3$$

$$\mu = 1.5 \times 10^{-6} \text{ Kg } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{0.13 \times 3.44 \times 0.44}{1.5 \times 10^{-6} \times 9.8} = 13,386$$

$$\frac{E}{D} = \frac{0.006}{44} = 0.00014$$

Del diagrama de MOODY hallamos el valor de :  $f = 0.024$

$$\Delta P = (f + K_p) \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$\Delta P = (0.024 + 3.1) \times \frac{15}{0.44} \times \frac{(3.44)^2}{2 \times 9.8} = 64.3 \text{ m. vapor de agua.}$$

$$\therefore \Delta P_{\text{TOTAL}} = 4.046 + 64.3 = 68.346 \text{ m. vapor de agua.}$$

Expresándolo en mm H<sub>2</sub>O :

$$\Delta P_{\text{TOTAL}} = 8.88 \text{ mm H}_2\text{O.}$$

Cálculo del caudal :

$$Q = V \times A = 3.32 \text{ m/s} \times \pi/4 \cdot (0.516)^2 \text{ m}^2$$

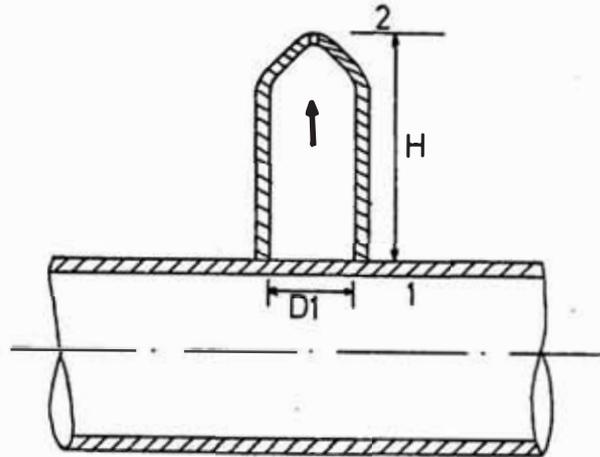
$$Q = 0.694 \text{ m}^3/\text{s} = 2500 \text{ m}^3/\text{h}$$

El ventilador tendrá las siguientes características :

$$Q = 2500 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$H = 9 \text{ mm H}_2\text{O.}$$

BALANCE TERMODINAMICO DEL SPRAY (TOBERA)



$D1 = 10 \text{ mm}$

$H = 20 \text{ mm}$

CONSIDERACIONES :

- . Proceso adiabático.
- . Proceso unidimensional.
- . Proceso en estado estable y flujo estable.

Aplicando la 1era Ley de la Termodinámica :

$$\dot{Q}_{y.c} = \dot{W}_{y.c} + \Sigma \dot{m}_s (h_s + \frac{V_s^2}{2} + gZ_s) - \Sigma \dot{m}_i (h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i)$$

De la ecuación de continuidad :  $\dot{m}_i = \dot{m}_s$

Luego obtenemos :

$$h_s + \frac{V_s^2}{2} + g Z_s = h_i + \frac{V_i^2}{2} + g Z_i \dots\dots\dots (I)$$

De la 2da Ley de Termodinámica, concluimos que :  $S_s > S_i$

$$Tds = dh - vdf$$

Considerando un proceso reversible adiabático :  $\Delta_s = 0$

$$\int_i^e dh = - \int_i^e vdf$$

$$h_e - h_i = - \int_i^e vdf$$

Para fluidos incompresibles :

$$h_e - h_i = v (P_e - P_i) \times g \dots\dots\dots (II)$$

Donde :

v = volumen especifico ( $m^3/Kg$ )

h = entalpía (KJ /Kg)

P = presión ( $Kg/m^2$ )  
absoluta

De (I) :

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2} + gZ_2 = h_1 + \frac{v_1^2}{2} + gZ_1$$

$$v_2 = \sqrt{2 [(h_1 - h_2) + \frac{v_1^2}{2} + g (Z_1 - Z_2)]} \dots\dots\dots 3$$

De (II) :

$$h_2 - h_1 = v(P_2 - P_1) \cdot g$$

$$h_2 = h_1 + v(P_2 - P_1) \cdot g$$

**PARA PALANQUILLAS :**

$$P_1 = 40 \text{ PSI} + P_{atm} = 28182 \frac{Kg}{m^2} + P_{atm}.$$

$$Q = 1.82 \frac{Gal}{min} \quad (0.0001149 \frac{m^3}{s})$$

$$Q = v_1 \cdot A_1 \quad \rightarrow \quad 0.0001147 = v_1 \times \pi/4 (0.1)^2$$

$$v_1 = 0.0146 \text{ m/s.}$$

$$P_2 = P_{atm}.$$

. Cálculo de  $h_1$  :

El punto (1) se encuentra a  $30^{\circ}C$ , de tablas se obtiene :

$$h_1 = 125.79 \frac{Kj}{Kg}.$$

. Cálculo de  $h_2$  :

$$h_2 = h_1 + v (P_2 - P_1) \cdot g \times 10^{-3}$$

$$v = 0.001004 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

$$h_2 = 125.79 + 0.001004 (P_{\text{atm}} - 28182 - P_{\text{atm}}) \times 10^{-3} \times 9.8$$

$$h_2 = 125.513 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$V_2 = \sqrt{2[(125.70 - 125.513) \times 10^3 + \frac{(0.0146)^2}{2} - 9.8 \times 0.02]}$$

$$V_2 = 23.53 \text{ m/s}$$

Cálculo de velocidad  $V'_2$ , para el SPRAY seleccionado :

$$V'_2 = \frac{1.9 \times 3.78 \times 10^{-3}}{60 \times \frac{\pi}{4} (0.00278)^2} = 20 \text{ m/s}$$

$$\text{El error será : } \frac{(V_2 - V'_2) \times 100}{V'_2} = 18\%$$

PARA TOCHOS :

$$P_1 = 60 \text{ PSI} + P_{\text{atm}} = 42273 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2} + P_{\text{atm}}$$

$$Q = 1.19 \frac{\text{Gal}}{\text{min}} (0.000075 \frac{\text{m}^3}{\text{s}})$$

$$Q = V_1 \cdot A_1 \rightarrow 0.000075 = V_1 \times \pi/4 \cdot (0.1)^2$$

$$V_1 = 0.0095 \text{ m/s}$$

$$P_2 = P_{\text{atm}}$$

. Cálculo de  $h_1$  :

El punto (1) se encuentra a 30°C, de tablas se obtiene :

$$h_1 = 125.79 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

. Cálculo de  $h_2$  :

$$h_2 = h_1 + v (P_2 - P_1) \cdot g \times 10^{-3}$$

$$v = 0.001004 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

$$h_2 = 125.79 + 0.001004 (P_{atm} - 42273 - P_{atm}) \times 9.8 \times 10^{-3}$$

$$h_2 = 125.374 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$V_2 = \sqrt{2[(125.79 - 125.374) \times 10^3 + \frac{(0.0095)^2}{2}] - 9.8 \times 0.02}$$

$$V_2 = 28.83 \text{ m/s}$$

. Cálculo de la velocidad  $V'_2$  para el SPRAY seleccionado :

$$V'_2 = \frac{1.2 \times 3.78 \times 10^{-3}}{60 \times \pi/4 \cdot (0.00198)^2} = 24.55 \text{ m/s}$$

El error es :

$$\frac{(V_2 - V'_2) \times 100}{V'_2} \\ = \frac{(28.83 - 24.55) \times 100}{24.55} = 17\%$$

## 5.- Diseño del circuito de agua del enfriamiento secundario

El presente capítulo describe el circuito de agua que está operando actualmente.

Al cambiar el sistema de enfriamiento (agua-aire) por el sistema de pulverización de agua, es necesario incrementar el caudal de agua.

Se hace un cálculo previo para determinar el diámetro de la tubería a utilizar, llegando a concluir que se utilizará la tubería que está instalada con sus respectivos accesorios.

El hidrociclón (captador de escorias), no sufrirá ninguna modificación adicional, como está operando.

En la zona de filtrado del agua será necesario instalar un filtro adicional que filtrará el incremento del caudal de agua.

Se instalará una torre de enfriamiento en paralelo a la existente para enfriar el incremento del caudal de agua.

El caudal de agua se ha incrementado de 90 a 157  $\text{m}^3/\text{h}$ , por lo que tenemos que cambiar las bombas ubicadas cerca al hidrociclón y las bombas cerca al depósito de agua limpia, por tener capacidades inferiores a la requerida; también será necesario cambiar la instrumentación del circuito de agua.

### 5.1 Descripción del Circuito de Agua :

El agua empleada en SIDERPERU proviene de un ramal del río santa. De unos pozos del subsuelo se bombea el agua hacia el reservorio de Coishco, de allí cae el agua por gravedad hacia cada una de las Plantas, con una presión elevada.

Mediante reductores se baja la presión entre 4 y 5 Kg/cm<sup>2</sup>.

Luego entra a la planta de tratamiento de agua, la cual consiste en ablandadores que utilizan resinas, en donde se adhiere las sales y el carbonato de calcio, para luego ser lavada mediante una salmuera.

El tratamiento de agua permite controlar su dureza total, PH y alcalinidad total y presencia de iones cloruro. La calidad y cantidad de agua son factores de vital importancia para la formación de la costra en la barra de extracción.

Existen cuatro bombas principales que bombean el agua tratada desde unas antecámaras hacia las secciones de la Planta de acería, con un caudal nominal de 1070 m<sup>3</sup>/h., el sobrante retorna a las antecámaras ya que con dicho caudal no hay posibilidad de falta de agua. El agua usada va a los circuitos A - E, en donde existen unos filtros desarenadores, para realizar un ciclo posterior de flujo de agua de la siguiente manera :

Circuito A - E : abastece a toda la planta de acería.

Circuito A : abastece COCO 1 - LD y planta de oxígeno.

Circuito E : abastece COCO 2.

El agua que retorna de LD va hacia la torre de enfriamiento y la de COCO 1 y la planta de oxígeno va hacia una antecámara de agua caliente (hidrociclón) para que las impurezas se depositen en la parte inferior y el agua limpia vaya a la torre de enfriamiento.

El circuito de agua que abastece el sistema de atomización, es el circuito E, a continuación se describirá el circuito que está operando actualmente :

### Tuberías :

El sistema de tuberías y accesorios son de acero standard, SCHEDULE 40 y tienen un diámetro interno de 150 mm., diámetro externo de 168 mm., la presión máxima que soportan es: 1000 PSI. Tienen una capa protectora de pintura y la mayor parte de las tuberías están en un ducto subterráneo.

### Hidrociclón :

Es un captador de escoria de acero que tiene la forma cilíndrica en la parte superior y en la base un tronco de cono en la parte inferior. Tiene una capacidad de 57 m<sup>3</sup>., en el fondo se deposita la escoria y en la parte superior el agua. Tiene instalado dos bombas (1 en stand by) cuyas características son: altura 25 m.,

potencia 21 Kw., caudal  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ . son las que alimentan el agua que pasa por los filtros y luego llegará a la torre de enfriamiento.

### Filtros :

El agua que es bombeada del hidrociclón llega a tres filtros de arena que están en paralelo. El caudal de agua que pasa por cada filtro es de  $27 \text{ m}^3/\text{h}$ . La diferencia de presión de agua que entra al filtro y la que sale es :  $0.306$  a  $0.408 \text{ kg/cm}^2$ . cuando llega a  $0.612$ , se debe hacer un lavado al filtro.

### Torre de Enfriamiento :

Las características de la torre son las siguientes:

Caudal de agua que enfría:  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Temperatura del agua que ingresa :  $40^\circ\text{C}$ . (caliente).

del agua que sale :  $30^\circ\text{C}$ . (fría).

Temperatura de bulbo húmedo :  $23.89^\circ\text{C} = 24^\circ\text{C}$ .

Es una torre en contraflujo, el aire que enfría el agua fluye en forma opuesta al flujo de agua caliente. El aire ingresa por la parte inferior de las caras laterales, un ventilador ubicado en la parte superior hace circular el aire de abajo hacia arriba. Para el enfriamiento del agua se requiere que el agua llegue a la parte superior de la torre, luego

el agua fluye por gravedad a través del relleno de la torre. El agua es depositada en el fondo, luego cae hacia un depósito de agua limpia.

**Depósito de agua limpia :**

Tiene una capacidad de  $38 \text{ m}^3$ , en la parte exterior se encuentran instalados 2 bombas : B 7 y B 8 (stand by) las cuales bombean el agua para la zona de enfriamiento secundario (atomización). Estas bombas están gobernadas por el contacto de nivel CN 9. El nivel de agua que debe tener el tanque está controlada por los contactos de nivel CN 10 (nivel mínimo) y CN 11 (nivel máximo) los cuales gobiernan a la electroválvula EV 5, la cual acciona la válvula VM 60 dejando pasar o cortando el flujo de agua descarbonatada hacia el depósito. Este depósito también cuenta con un indicador de PH. El valor recomendable del PH del agua en este depósito debe estar alrededor de 8. Las características de las bombas B 7 y B 8 son :

Caudal :  $80 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Altura : 60 m.

Potencia : 58 HP. del motor.

Motor : Tipo Unelec 315 LA 1750 RPM.

## 5.2.- Características del Hidrociclón :

Es un captador de escorias, separa las escorias del agua que proviene del circuito de pulverización, el agua se utiliza para granulación y para limpieza de canaletas, además el agua sufre contaminación con grasa diluida debido al excesivo calentamiento de la máquina de Colada Continua en su zona de lubricación. Tiene una capacidad de  $57 \text{ m}^3$ , en la parte superior tiene un cilindro de acero sin tapa, que sirve para separar materiales de mayores dimensiones que flotan sobre la superficie del agua. El agua rebalsa al hidrociclón y es almacenada en un tanque cercano. Este tanque tiene una capacidad de  $100 \text{ m}^3$ . y en el fondo están ubicados los impulsores de las bombas de B 9, B 10, B 11 y B 12; la grasa y aceite diluidos que se depositan en la parte superior caen a un pequeño tanque de  $6 \text{ m}^3$ . de capacidad, donde se encuentra instalada una bomba sumergida para bombear el aceite y grasa al exterior.

Las bombas B 9 y B 10 (en stand by) son para bombear el agua para la limpieza de las canaletas. Sus características son las siguientes :

C :  $50 \text{ m}^3/\text{h.}$

Altura : 28 m.

Potencia : 21 Kw. Motor

Motor : Tipo Unelec 315 LA 1775 RPM.

Para el nuevo circuito se cambiarán las bombas B 11 y B 12 por las bombas B'11 y B'12 (en stand by) las cuales se utilizarán para filtrar y enfriar el agua respectivamente. Las características de estas bombas son las siguientes :

Caudal : 158 m<sup>3</sup>/h.

Altura : 31 m.

Potencia : 30 HP  
Del Motor

Motor : Delcrosa - 1760 RPM.

Cada mes se le hace el mantenimiento al hidrociclón, se le introduce un extractor de escorias (gancho) que es accionado por una grúa pluma, luego se extrae del fondo del hidrociclón las escorias que allí se acumulan. Para el nuevo circuito de agua no se hará ningún cambio estructural al hidrociclón, seguirá operando como está actualmente.

### 5.3.- Selección del diámetro de tuberías y accesorios :

La selección del diámetro de tuberías se realizará haciendo uso del método "Diámetro Económico", cuyo

objetivo es tener el caudal deseado con el mínimo de costo total.

El costo inicial de tuberías y accesorios es directamente proporcional al diámetro del tubo. Así, igualmente lo son los costos de depreciación y mantenimiento.

El costo de la caída de presión (por Ejm. el costo de bombeo) es sin embargo, inversamente proporcional al diámetro. De manera que debe buscarse un balance económico, por análisis apropiado, del diámetro que dará la suma para los costos iniciales de operación y de bombeo.

### 5.3.1.- Método del "Diámetro Económico" :

#### datos Prácticos :

Peso específico del acero :  $\gamma_{ac} = 7.8 \text{ gs./cm}^3$ .

Coefficiente de rozamiento :  $f = 0.024$ .

Golpe de ariete : 25%.

Esfuerzo de tracción :  $\sigma_t = 8 \text{ Kg/mm}^2$ .

Coefficiente de seguridad :  $K = 0.9$

Costo del material :  $C = 5 \text{ \$/Kg}$ .

Interés anual :  $i = 21\%$   
En dólares

Costo de energía :  $C_e = 0.024 \text{ \$/Kw-h}$

Trabajo de mantenimiento : 2.3 4.4 % de  
Hrs./Año

**Espesor :** (E)

$$E = \frac{P \cdot D}{(2 \cdot \sigma_t \cdot k)}$$

P = Presión promedio más golpe de ariete (kg/m<sup>2</sup>.)

D = Diámetro de la tubería (m)

$$P = 60 \times 0.25 + 60 = 75 \text{ PSI (52,500 kg/m}^2\text{.)}$$

$$E = \frac{52500 \times D}{2 \times 0.9 \times 8 \times 10^6} = 0.00365 \cdot D \text{ (m)}$$

**Volumen del Tubo :**

$$V = \pi \cdot D \cdot e \cdot L$$

$$V = \pi \times D \times 0.00365 D \cdot L = 0.01147 D^2 \cdot L \text{ (m}^3\text{)}$$

**Peso del Tubo :**

$$W = V \times \gamma_{ac}$$

$$W = 0.01146 \times D^2 \times L \times 7800$$

$$W = 89.388 \cdot D^2 \cdot L \text{ (kg)}$$

Por recubrimiento del tubo este es aumentado en un 30 %

$$W = 116.2044 \times D^2 \times L \text{ (kg)}$$

**Costo del Tubo :**

$$C = C \times W$$

$$C = 5 \times 155.7504 \cdot D^2 \times L \text{ (\$)}$$

$$C = 581.022 \times D^2 \times L \text{ (\$)}$$

**Amortización :**

$$A = C \times \frac{[i (i + 1)^n]}{(i + 1)^n - 1} \quad n = 6 \text{ años}$$

$$i = 21\%$$

$$A = 177.379 \cdot D^2 \times L \text{ (\$)}$$

**Pérdidas en la Tubería :**

$$H_f = f \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g} \quad ; \quad v^2 = \frac{16 \times Q^2}{(\pi^2) \times D^4}$$

$$H_f = \frac{0.001985 \times Q^2 \times L}{D^5} \quad (\text{m})$$

**Potencia de Pérdidas :**

$$P_f = \frac{\gamma_{\text{agua}} \times Q \times H_f}{\eta_e \times 102}$$

$$P_f = \frac{1000 \times Q \times 0.001985}{0.80 \times 102} \times \frac{Q^2 \times L}{D^5}$$

$$P_f = \frac{0.02433 \times Q^3 \times L}{D^5} \quad (\text{kW})$$

$$\text{Pero: } P_{mf} = P_f \times f.p. = P_f \times 0.85 = \frac{0.02433 \times Q^3 \times L \times 0.85}{D^5}$$

$$P_{mf} = \frac{0.02068 \times Q^3 \times L}{D^5} \quad (\text{kW})$$

Energía que se pierde :

$$E_f = F_{mf} \times t \quad ; \quad t = \text{tiempo efectivo.}$$

En un año el tiempo efectivo es: 8640 h.

El tiempo invertido en mantenimiento : 225 h.

El tiempo efectivo será : 8415 Hrs.

$$E_f = 0.02068 \times Q^3 \times L \times 8415$$

---

$$D^5$$

$$E_f = 174.022 \times \frac{Q^3 \times L}{D^5} \quad (\text{kw} - \text{h})$$

Como :  $ce. = 0.024 \text{ (\$/kw} - \text{h)}$

$$Cep = 0.024 E_f$$

$$Cef = 4.1765 \times \frac{Q^3 \cdot L}{D^5} \quad (\$)$$

Costo Total :

$C_t = \text{Costo de la tubería} + \text{costo energía perdida.}$

$$C_t = 177.379 \times D^2 \times L + 4.1765 \times \frac{Q^3 \times L}{D^5}$$

Para hallar el costo mínimo derivamos en función del diámetro y luego igualamos a cero.

$$\frac{dC_t}{dD} = 354.758 \cdot D \cdot L - 20.8825 \cdot \frac{Q^3 \cdot L}{D^6}$$

$$D_{OPTIMO} = \sqrt[3]{\frac{20.88}{354.758} \cdot Q^3} \quad (\text{m}) \quad \dots\dots(1)$$

El caudal de agua requerido es :

$$Q = \frac{20}{3600} + \frac{2.286}{60} = 0.043655 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Reemplazando en (1); hallamos :

$$\text{DOPTIMO} = 0.17435 \text{ m (6.86")}$$

La tubería instalada es de 150 mm de diámetro interior usaremos esta tubería para el nuevo circuito de agua.

El sistema de tuberías instalado tiene los siguientes accesorios, de acero, para tubería ESTANDAR SCHEDULE 40

-----  
 TRAMO: Hidrociclón - TORRE DE ENFRIAMIENTO  
 -----

| ZONA         | ELEMENTO  | Kp Tot. |
|--------------|---|---------|
| Succión Tub. | 1 CEDAZO DE ASPIRACION Ø150                       | 0.8     |
| SUMERGIDA    | 1 CODDO DE 90°, BRIDADO Ø150                      | 0.4     |
| LONG=6.4M    |   |         |
| FILTRACION   | 2 REDUCCIONES 100/150, SOLDADA                    | 0.08    |
|              | 2 CODOS CORTO 90°, BRID. Ø100                     | 0.4     |
| LOG: 2.362 m | 2 VALV. COMP. BRIDADA Ø100                        | 0.3     |
|              | 1 FILTRO DE ARENA<br>(PERD. DE CARGA 6.12 m agua) |         |
| TUBERIA      | 1 VALV. ANTIRETORNO BRID. Ø150                    | 2       |
| 185 m        | 1 VALV. COMP. BRID. Ø150                          | 0.1     |
|              | 1 CODDO 90° SOLD. Ø150                            | 0.3     |
|              | 2 CODOS LARGOS 45°, SOLD. Ø150                    | 0.36    |
|              | 3 UNIONES SOLD. Ø150                              | 0.09    |
|              | 6 CODOS 90° BRID. Ø150                            | 2.4     |
|              | 1 TE Ø 100/150 SOLD.                              | 0.77    |
|              | 1 TE Ø 150 SOLD.                                  | 0.6     |
|              | 2 UNIONES BRID. Ø 150                             | 0.06    |

-----

TRAMO: TANQUE AGUA LIMPIA - PULVERIZACION

| ZONA       | ELEMENTO                          | KF TOT. |
|------------|-----------------------------------|---------|
| F - G      | 1 CEDAZO DE ASPIRACION Ø 150      | 0.8     |
| LONG: 165m | 8 CODOS LARGOS 90°, SOLDADOS Ø150 | 1.6     |
|            | 2 UNIONES BRID. Ø 150             | 0.06    |
|            | 2 VALV. COMP. BRID.Ø 150          | 0.2     |
|            | 1 REDUCCION SOLD.Ø125/150         | 0.035   |
|            | 1 DIAFRAGMA Ø 150                 | 0.03    |
|            | 1 VALV. RETENCION BRID. Ø 150     | 2       |
|            | 2 UNIONES SOLD. Ø 150             | 0.06    |
| G - H      | 1 REDUCCION SOLD. Ø 100/150       | 0.04    |
| LONG:17 M  | 2 VALVULAS COMP. BRID. Ø 100      | 0.3     |
|            | 1 FILTRO DE TAMIZ Ø 100           | 1       |
|            | 2 CODOS RECTOS DE 90°, Ø 100      | 0.6     |
|            | 1 REDUCCION SOLD. Ø 80/100        | 0.035   |
|            | 2 CODOS CORT. 90°,SOLD. Ø 80      | 0.6     |
|            | 1 REDUCCION SOLD. Ø 65/80         | 0.035   |
|            | 6 CODOS CORT. 90°,SOLD. Ø 65      | 1.8     |
|            | 1 VALV. COMP. BRID. Ø 65          | 0.22    |
|            | 2 TEES RECT. SOLD. Ø 65-65        | 1.6     |
|            | 1 VALV. COMP. BRID. Ø 65          | 0.22    |

#### 5.4 Selección de las bombas de la instalación.

##### 5.4.1 Calculo de las bombas ubicadas en el hidrociclón:

Se colocarán dos bombas en paralelo, una de ellas estará en STAND BY.

Aplicando la ecuación de la energía entre el tanque al costado del hidrociclón y la torre de enfriamiento.

$$\frac{P_h}{\gamma} + \frac{V_h^2}{2g} + Z_h + H_b = \frac{P_t}{\gamma} + \frac{V_t^2}{2g} + Z_t + E_{hp}$$

$$H_b = Z_t - Z_h + \frac{V_t^2}{2g} + E_{hp} \dots (1)$$

Donde:

$$Z_t = 2.75 \text{ m.}$$

$$Z_h = - 9.25 \text{ m.}$$

$$V_t = 1.2128 \text{ m/s.}$$

$$E_{hp} = hp \text{ succión} + hp \text{ tubería y accs.} + hp \text{ filtro tub. sum.}$$

Cálculo de hp succión:  
Tub. Sumergida

$$hp \text{ succ.} = \frac{V^2}{2g} (K_p + f \cdot \frac{L}{D})$$

Donde:

$$V = 2.47 \text{ m/s} , f = 0.026 , D = 0.15 \text{ m}$$

$$K_p = 1.2 , L = 6.4 \text{ m.}$$

$$hp \text{ succ.} = \frac{(2.47)^2}{2 \times 9.8} (1.2 + 0.026 \times \frac{6.4}{0.15})$$

$$hp \text{ succ.} = 0.72 \text{ m.}$$

Cálculo de hp TUBERIA Y ACC.

$$\text{hp Tub. y Acc.} = \frac{V^2}{2g} (K_p + f \cdot \frac{L}{D})$$

Donde:

$$V = 2.47 \text{ m/s} \quad , \quad f = 0.026 \quad \quad D = 0.15 \text{ m.}$$

$$K_p = 6.68 \quad \quad L = 185 \text{ m.}$$

$$\text{hp Tub. y Acc.} = \frac{(2.47^2)}{2 \times 9.8} (6.68 + 0.026 \times \frac{185}{0.15})$$

$$\text{hp Tub. y Acc.} = 12.06 \text{ m.}$$

Cálculo de hp filtro:

$$\text{hp filtro} = \frac{V^2}{2g} (K_p + f \frac{L}{D}) + \text{hp LECHO FILTRANTE}$$

Donde:

$$V = 0.943 \text{ m/s} \quad , \quad K_p = 0.78 \quad , \quad D = 0.1 \text{ m.}$$

$$f = 0.037 \quad , \quad L = 2.362 \text{ m.} \quad , \quad \text{hp LECHO} = 6.12 \text{ M.}$$

FILTRANTE

$$\text{hp FILTRO} = \frac{(0.943^2)}{2 \times 9.8} (0.78 + 0.037 \cdot \frac{2.362}{0.1}) + 6.12$$

$$\text{hp FILTRO} = 6.195 \text{ M.}$$

$$hp \text{ FILTRO} = \frac{(0.943^2)}{2 \times 9.8} (0.78 + 0.037 \cdot \frac{2.362}{0.1}) + 6.12$$

$$hp \text{ FILTRO} = 6.195 \text{ m.}$$

Reemplazando en (1):

$$HB = 2.75 - (-9.25) + \frac{(1.2128)^2}{2 \times 9.8} + (0.72 + 12.06 + 6.195)$$

$$HB = 31 \text{ m.}$$

$$Q = 0.043655 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 43.66 \text{ lt/s}$$

Cálculo del NPSH disponible.

$$NPSH = \frac{P_a}{\gamma} \times 10 - \frac{P_v}{\gamma} \times 10 - h_s - h_{fs}$$

Donde:

$$p_a = 1.03 \text{ atm} \quad P_{v50^\circ\text{C}} = 0.1213 \text{ atm. abs}$$

$$\gamma = 0.988 \text{ gr/cm}^3 \quad h_s = -1 \text{ m.} \quad h_{fs} = 0.249 \text{ m.}$$

$$NPSH = \frac{1.03}{0.988} \times 10 - \frac{0.1213}{0.988} \times 10 - (-1) - 0.249$$

$$NPSH = 9.94 \text{ m.}$$

Con los datos:

$$H = 31 \text{ m.}$$

$$Q = 44 \frac{\text{lt}}{\text{s}}$$

$$NPSH = 9.94 \text{ m.}$$

Seleccionamos la bomba HIDROSTAL..

Tipo: F4K - MH

$$N = 1620 \text{ RPM.}$$

Succión: Ø 200 mm.

Descarga: Ø 150 mm.

Temperatura ..

Máxima de trabajo: 90°C.

**5.4.2. Cálculo de las bombas ubicados en el depósito de agua limpia**

Se colocará 2 bombas en paralelo, una de ellas estará en STAND BY.

Estas son las bombas que suministrarán el agua para la zona de pulverización.

Aplicando la ecuación de la energía entre el depósito de agua limpia y el conducto asociador de agua.

$$\frac{P_D}{\gamma} + \frac{V_D^2}{2g} + Z_D + HB = \frac{PCR}{\gamma} + \frac{VCR^2}{2g} + ZCR + EHP$$

$$HB = \frac{PCR}{\gamma} + \frac{VCR^2}{2g} + ZCR - ZD + EHP \dots (2)$$

Donde:

$$PCR = 60 \text{ PSI } (42.24\text{m})$$

$$VCR = 3.827 \text{ m/s}$$

$$ZCR = 3 \text{ m.}$$

$$ZD = -1.7 \text{ m.}$$

$$Ehp = Ehp \text{ } \emptyset 150 + Ehp \text{ } \emptyset 65$$

Cálculo de Ehp  $\emptyset 150$

$$Ehp = \frac{V^2}{2g} (Kp + f \frac{L}{D})$$

Donde:

$$V = 2.156 \text{ m/s, } f = 0.0205$$

$$L = 165 \text{ m. , } D = 0.15\text{m. , } Kp = 4.838$$

$$E_{hp} = \frac{(2.156)^2}{2 \times 9.8} (4.838 + 0.0265 \times \frac{165}{0.15})$$

$$E_{hp} = 8.06 \text{ m.}$$

Cálculo de  $E_{hp}$  Ø65.

$$E_{hp} = \frac{V^2}{2g} (K_p + f \frac{L}{D})$$

Donde:

$$V = 3.827 \text{ m/s} \quad K_p = 6.453, \quad D = 0.065 \text{ m.}$$

$$f = 0.03 \quad L = 17 \text{ m}$$

$$E_{hp} = \frac{(3.827)^2}{2 \times 9.8} (6.453 + 0.03 \times \frac{17}{0.065})$$

$$E_{hp} = 10.6585 \text{ m.}$$

Reemplazando en (2):

$$H_B = 42.24 + \frac{(3.827)^2}{2 \times 9.8} + 3 - (-1.7) + (8.06 + 10.685)$$

$$H_B = 66.43 \text{ m} = 67 \text{ m.}$$

$$Q = 0.043655 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (43.66 \text{ lt/s})$$

$$\text{Cálculo de NPSH} = \frac{P_a}{\gamma} \times 10 - \frac{P_e}{\gamma} \times 10 - h_s - h_{fs} \dots (1)$$

Donde:

$P_a$ : presión atmosférica absoluta (1.03 atm)

$P_e$ : presión de evaporación en atm (0.04262 atm)

$\gamma$ : peso específico del líquido en gr/cm (0.966 gr/cm<sup>3</sup>)

$h_s$ : altura estática en la succión de la bomba (-0.9 m.)

$h_{fs}$ : caída de presión en la succión de la bomba.

$$h_{fs} = \frac{V^2}{2g} (K_p + f \frac{L}{D}), \quad V = 2.47 \text{ m/s}, \quad K_p = 0.948$$

$$f = 0.026, \quad D = 0.15\text{m.} \quad L = 1.9 \text{ m.}$$

$$h_{fs} = \frac{(2.47)^2}{2 \times 9.8} (0.948 + 0.026 \times \frac{1.9}{0.15}) = 0.398 \text{ m.}$$

Reemplazando en (1):

$$\text{NPSH} = 10.72\text{m.}$$

Con los datos de:

$$H = 67 \text{ m.}$$

$$Q = 44 \text{ lt/s}$$

$$\text{NPSH} = 10.7\text{m.}$$

Seleccionamos la bomba: Hidrostral

Tipo: 65-200

$$N = 3540 \text{ RPM.}$$

Succión:  $\emptyset$  100 mm.

Descarga:  $\emptyset$  65 mm.

Temperatura máxima: 90°C.

De trabajo.

### 5.5. Selección de los Filtros de Arena:

La filtración del agua se hace a través de una o varias capas de arena, cuya granulometría ha sido determinada en función del tipo de filtros, las capas de arena reposan sobre otras capas de grava y arena están dispuestas según la granulometría decreciente de abajo arriba.

Los granos finos arriba y los granos gruesos en el fondo.

### Características de la arena:

- Físicas:

.La arena deberá tener el aspecto de un buen material, sílices de río (granos redondos y limpios).

.No debe ser deleznable (un puñado de arena, no debe tener residuos finos o polvo).

-Químicas:

La arena es definida en base a su tamaño efectivo nominal TEN y su coeficiente de uniformidad .

Los fabricantes de filtros tienen estandarizados 3 valores de tamaño efectivo nominal: 0.55, 0.95 y 1.35. La arena con tamaño efectivo nominal de 0.95 es la utilizada en la mayoría de los casos, principalmente cuando se debe filtrar agua que se ha aplicado un proceso de coagulación o desferrización (filtros de lavado por retorno del agua de inyección de aire). La arena de tamaño efectivo nominal de 0.95 es la que se obtiene después de cernir arena bruta seca, a través de un tamiz con espacio vacío de malla de 1.48 mm. y pasarla en seguida a través del tamiz con espacio de malla igual a 0.99mm., esto es un tamizado industrial. Todo lo que atraviesa el tamiz 1.48 y se queda retenido sobre el tamiz 0.99 se debe considerar como bueno, a condición que la proporción de los granos de mayor tamaño corresponda a un porcentaje dado.

En la práctica en una explotación no especializada

la porción correcta se puede determinar siguiendo el proceso siguiente:

- Tomar 1 litro de arena que ha pasado el tamiz 1.48 y que haya sido retenida éste litro de arena a través del tamiz 0.99.
- Tamizar enseguida éste litro de arena a través del tamiz con espacios de malla de 0.99 mm. hasta obtener una buena selección. No debe pasar mas de 15% de arena.

Las cantidades teóricas de arena filtrante necesarias en un filtro deben aumentarse en un 5% aproximadamente al momento de su preparación, con el objeto de prevenir pérdidas de la misma ocasionadas por el manipuleo y el llenado de los filtros.

#### Características de la grava:

La grava definida por la talla 3/6 es una grava en la cual la dimensión de sus granos mas finos es de 3mm. y la mayor es de 6 mm.

La definición de la grava a utilizar se hace principalmente a los tipos disponibles por el proveedor lo cual es función tambien del material con que se cuenta en una determinada región.

Los tipos de la grava mas usuales son:

- grava de 3/6 ó 4/7
- grava de 8/5 ó 5/15
- grava de 15/30 ó 20/30

Forma de Explotación:

Se debe cernir primero la grava y en seguida la arena, continuado con un orden granulométrico, cuyo objeto es de utilizar el material disponible dentro de las condiciones de optima rentabilidad haciendo uso de los residuos de los tamaños mayores para obtener los más finos.

Para el nuevo circuito de agua se van a utilizarlos tres filtros existentes, cuyas características son:

- Caudal de agua filtrada :  $27 \text{ m}^3 / \text{h}.$

Pérdidas de presión: de 0.3 á 0.4 kg/ cm .

Quando llegue a  $0.6 \text{ kg/cm}^2.$

lavar el filtro en contracorriente.

- Diámetro del filtro: 1400 mm.

Altura del filtro: 2100 mm.

Como el caudal del agua bombeada se ha incrementado, se necesita filtrar  $77 \text{ m}^3 / \text{h}$  de agua, para esto se tiene que seleccionar un filtro de arena y grava de lecho profundo similar a los anteriores que será instalado en paralelo, cuyas características son las siguientes que han sido obtenidos del Catálogo "Culligan":

Marca: Culligan

Modelo: HD- 72

Presión de trabajo: 20 á 100 FSI

Temperatura de trabajo: 4° C.-49° C.

Caudal de agua filtrada: 66 á 96 m<sup>3</sup>/h

Pérdida de presión : 0.28 á 0.63 kg/cm<sup>2</sup>.

Para 77 m<sup>3</sup>/h la pérdida de presión es de 0.4 kg/cm<sup>2</sup>.

Diámetro de filtro: 1828.8 mm.

Altura del filtro: 2387.6 mm.

Este filtro tiene un sistema de lavado automático, que es controlado por una válvula (accionada electricamente).

#### **5.6 Selección de la Torre de Enfriamiento:**

De acuerdo a las condiciones ambientales del medio, de la atmósfera de la planta, se elige la torre de enfriamiento que nos da la mayor eficiencia y el menor costo.

De acuerdo a los requerimientos de máximo enfriamiento, menor costo y mínimo espacio.

Se elige la torre de tiro inducido, que tiene un ventilador para la caída de presión creada por el empaque y equipo de anclaje.

Las torres de flujo cruzado, tienen una configuración de relleno en la cual el aire fluye horizontalmente a través de las gotas de agua cayentes. El agua al ser enfriada es repartida en la entrada de

agua caliente por el sistema de distribución de agua localizada encima del área de relleno, y es distribuida al relleno por medio de los orificios en el piso de este sistema. El agua fluye por gravedad a través del relleno.

Para el nuevo circuito de agua, se va a considerar la torre instalada y se instalará otra torre en paralelo cuyas características que debe cumplir son las siguientes:

Caudal de agua a enfriar:  $77.158 \text{ m}^3/\text{h}$  (340 GPM)

Agua caliente (H W) :  $40^\circ \text{C}$ . ( $104^\circ \text{F}$ )

Agua fría (C W) :  $30^\circ \text{C}$ . ,  $86^\circ \text{F}$

Temperatura bulbo húmedo ( H W ) :  $75^\circ \text{F}$

Cálculo de rango (Range) :  $104 - 86 = 18^\circ \text{F}$

Cálculo de aproximación (Approach):  $86 - 75 = 11^\circ \text{F}$

Selección del factor de torre (T S F):

Con la temperatura de bulbo húmedo (W B) en grados  $^\circ \text{F}$  y con el catálogo de torres enfriamiento Marley, seleccionamos las series 4800 AQUATOWER:

Con (W B) =  $75^\circ \text{F}$ , se escoge un rango de factores de selección de torre, con un (Approach) =  $11^\circ$  y rango =  $18^\circ \text{F}$ .

Tomamos un (T S F) = 4.69 (interpolado).

Selección de modelo de la torre de enfriamiento:

Con la capacidad en GPM = 340 y con el factor de torre = 4.69.

Seleccionamos el modelo:

Modelo: 4862, capacidad : 349. GPM (interpolado)

Modelo: 4871 , capacidad: 447 GPM (interpolado)

Cuando comparamos los precios de las torres notamos que el modelo 4871 es 500 \$ más cara que el modelo 4862 y además supera una capacidad de 98 GPM en enfriar agua. Por lo tanto tomamos el modelo 4871, cuya capacidad es de 447 GPM, pero que realmente trabajará con 340 GPM.

Para calcular el caudal de agua de reposición se considero los siguientes datos: Para el aire:

Tentrada: 25°C. Humedad relativa (H.R.) = 80%

Tsalida : 30°C. Humedad relativa (H.R.) = 95%

Presión estática = 14.7 PSI

Haciendo un balance de masas en la torre de enfriamiento, el caudal de agua de reposición es igual a  $1.12 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 5.7. Instrumentación del Sistema de Agua:

El circuito de agua que se instalará contará con los siguientes instrumentos: (ver plano N° 05)

#### En el Hidrociclón:

- Dos contactos del nivel CN 12 y CN 13.

El contacto CN 12, tiene como función poner en operación a la bomba B'12, la bomba B'13 normalmente se encuentra en stand by, sólo entra en operación cuando el agua toca el contacto CN 13.

- Dos manómetros. (o a 6  $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

Cada uno de ellos ubicado en la salida de las bombas B'12 y B'13 respectivamente.

**En los filtros de arena:**

- Tres manómetros diferenciales: FIDA 3, FIDA 4 y FIDA 5 para cada filtro existente, cuyo rango de presión es: de 0 a  $0.6 \text{ kg/cm}^2$ .
- Un manómetro diferencial FIDA6 (0 a  $0.6 \text{ Kg/cm}^2$ ), cuando la diferencia de presión es igual o superior  $0.6 \text{ Kg/cm}^2$  se acciona el sistema de lavado automático.
- Un caudalimetro CA9 ubicado en el filtro de lavado automático. (de 0 a  $6 \text{ m}^3/\text{min.}$ )
- Un caudalimetro CA 10 cuyo rango es: 0 a  $0.6 \text{ m}^3/\text{min.}$  ubicado en la tubería del agua filtrada.

**En el depósito de agua limpia:**

Un indicador de Fh, cuando el agua no cumple con el Fh requerido (8), se acciona una pequeña bomba que hace ingresar al tanque el ácido sulfúrico.

Tres contactos de nivel: CN9, CN10 y CN11.

El contacto de nivel: CN 9 acciona la bomba B'8 y la bomba B'7, la cual normalmente se encuentra en stand by.

Los contactos CN10 y CN11 regulan el nivel del agua limpia, debido a la pérdida de agua que se produce en el circuito de enfriamiento. Estos contactos accionan a una electroválvula la cual gobierna el flujo de agua de reposición.

- Dos manómetros (o a  $10 \text{ kg/cm}^2$ ) ubicados en la salida de las bombas.
- Un termómetro (o a  $50^\circ\text{C}$ ) colocado después de los manómetros.

**En la zona de pulverización:**

- Tres manómetros (o a 100 PSI), cada uno de ellos ubicado en una línea de colada.
- Tres caudalímetros (o a  $0.3 \text{ m}^3 / \text{min.}$ ), ubicados uno por línea de colada.
- 1 manómetro diferencial (o a  $6 \text{ kg/cm}^2$ ) ubicado en el filtro a la entrada de tramo GH.

**5.8. Características químicas del agua de enfriamiento:**

La cantidad del agua es de vital importancia, ya que 50 á 60% del calor total del acero extraído a través del sistema de enfriamiento por agua.

El tratamiento que recibe el agua, básicamente es:

- Anti-crustante, para tal efecto se usa dispersantes orgánicos.
- Anti-corrosivo, para lo cual se usa inhibidores de corrosión a base de fosfonatos y polifosfatos de zinc.
- Anti-microbiológico, usando microbioácidos no oxidantes constituidos principalmente por sales de amonio, cloratos y compuestos sulfurosos.

A continuación se dan las características que tienen el agua así como las exigencias que debe cumplir el agua para la pulverización.

**Condiciones climáticas del sitio:**

- Temperaturas máxima: 30° c.
- Temperatura mínima: 15° c.
- Humedad relativa: 80 %
- Altitud : 9 metros sobre el nivel del mar.

**Agua cruda de río:**

|                                       | MAX. | MIN. |
|---------------------------------------|------|------|
| - Dureza total en grados alemanes     | 20.8 | 7.3  |
| - Dureza temporal en grados alemns.   | 9.5  | 6.7  |
| - Dureza permanente en grados alemns. | 11.3 | 0.6  |
| - Gao mg/lt. :                        | 149  | 46   |
| - Mgo mg/lt. :                        | 48   | 19   |
| - CH O <sub>3</sub> <sup>-11</sup> :  | 232  | 85   |
| - C O <sub>3</sub> <sup>-2</sup> :    | -    | -    |
| - Cl <sup>-1</sup> :                  | 85   | 28   |
| Materias en suspensión:               | 600  | 500  |
| - PH (A 21° C) :                      | 8.5  | 7.1  |

**Enfriamiento por Pulverización:**

- Caudal normal : 137 m<sup>3</sup>/h
- Caudal de reposición: 10 m<sup>3</sup>/h
- Caudal de emergencia: 42 m<sup>3</sup>/h
- Tiempo de caudal de emergencia : 15 minutos
- Temperatura máxima en la entrada: 35° C.
- Calidad de aguas

- Dureza en carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) : 15 DGH
- Dureza en no carbonato ( $\text{CaCO}_3$ ) : 60 DGH
- PH : 8
- Suspensión : <8 mg/lt.
- Granulometría : <0.3 mm.
- Sólidos en suspensión (max.) : 50 PPM.
- Sólidos disueltos, total max. : max : 3000 PPM.

### Cloruros

- En forma de Cl. max. : 400 PPM.
- Sulfatos en forma de  $\text{SO}_4$  max. : 600 PPM.
- Silicatos en forma de  $\text{SiO}_2$  max. : 200 PPM.

#### 6.- ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO

Con la finalidad de contar con los medios para la ejecución del proyecto debemos reducir a términos monetarios el valor de los diversos recursos necesarios, en éste capítulo trataremos de la inversión de dichos recursos valorando los equipos y materiales a precios de mercado e incluyendo todos los gastos para su ejecución.

Se tendrán en cuenta los siguientes aspectos:

- Producción de la máquina de colada continua.
- A horro, con el nuevo sistema en operación.
- Costo de la inversión para las nuevas implantaciones.
- Comparación entre el ahorro y la inversión, así como determinación de la tasa interna de retorno.

##### 6.1.- Producción de la máquina de colada continua.

La máquina está diseñada para una producción anual de acero, cuya capacidad se dá a continuación:

- Para coladas aisladas..... 120,000 ton.
- Para coladas consecutivas..... 180,000 ton.

Para una colada de 30 ton, y con tres líneas de colada se tiene las siguientes características:

| SECCION   | VELOCIDAD DE | RENDIMIENTO |        | DURACION DE |
|-----------|--------------|-------------|--------|-------------|
|           | EXTRACCION   | Por línea   | Total  | COLADA      |
| mm        | m/min        | Kg/min      | Kg/min | min.        |
| 100 x 100 | 3            | 228         | 684    | 43          |
| 200 x 250 | 1.08         | 410.4       | 1231.2 | 24          |

Se dispone de un mes para realizar el mantenimiento anual de toda la planta, por lo tanto la operación efectiva de la máquina es 333 días por año.

Según recomendaciones del fabricante la máquina puede producir:

- 12 coladas por día, para cucharas aisladas.
- 18 coladas por día, para coladas secuenciales (con un máximo de 6 coladas consecutivas).

La producción anual sería:

Para coladas aisladas:

$$12 \frac{\text{colad.}}{\text{día}} \times 333 \text{ días} \times 30 \frac{\text{ton}}{1 \text{ colad.}} = 120,000 \text{ ton}$$

Para coladas secuenciales:

$$18 \frac{\text{colad.}}{\text{día}} \times 333 \text{ días} \times 30 \frac{\text{ton}}{1 \text{ colad.}} = 180,000 \text{ ton.}$$

Tiempo de preparación de la máquina

- fin de colada (cierre del lingote y evacuación de la máquina)
  - para palanquillas 100 x 100 mm ... aprox. 10 min.
  - para tochos de 200 x 250 mm ..... aprox. 20 min.
  - Subida del falso lingote..... aprox. 7 min.
  - Emplazamiento del Tundish - repartidor por encima de la máquina..... aprox. 2 min.
  - Emplazamiento de la cuchara en posición de colada..... aprox. 1 min.
  - Seguridad..... aprox. 5 min.
  - Tiempo necesario para el cambio de una lingotera (sin cambiar de sección)..... 20 a 30 min.
- TOTAL: 50 a 60 min.

Para palanquillas de 100 x 100 mm ..... 50 min.

Para tochos de 200 x 250 mm..... 60 min.

6.2 Ahorro con el nuevo sistema en operación

Primeramente se evaluará el costo anual de mantener operativo el sistema de enfriamiento instalado actualmente (atomización de agua) y luego el costo para mantener operativo el sistema de enfriamiento por pulverización de agua.

La diferencia entre estos dos costos nos da el ahorro anual, al evaluarlos el ahorro resulta ser igual a: 105,529 \$ al año.

**Sistema de enfriamiento por atomización:**

**- Reparación del corcet :**

La frecuencia de perforaciones por línea de colada es: 1 cada dos días

Los tiempos empleados en cada una de las operaciones son:

- Parar la máquina ..... 30 min.
- Desmontaje del corcet..... 40 min.
- Reparación del corcet (limpieza de escorias, reparación de tuberías, rodillos guía, atomizadores)..... 6 a 10 h.
- Montaje del corcet..... 60 min.

TOTAL      8.1 a 12.1 horas

para palanquillas de 100 x 100 mm..... 8.1 h.

para tochos de 200 x 250 mm.....12.1 h.

- Personal de mantenimiento : 4 en total

jornal = 1.04 \$/h

En un año:

$4 \times 1.04 \times 333/2 \times 12.1 = 8,381 \$.$

- Materiales empleados: aproximadamente 40 \$/reparación

En un año:  $333/2 \times 40 = 6,660 \$$

- Pérdida de acero por perforaciones:

aprox. 15 Kg/perforación

costo = 0.3 \$/Kg.

En un año:  $333/2 \times 15 \times 0.3 = 750$  \$

- Pérdida de acero por parada de la máquina :

Ocurre aproximadamente una vez por mes, el costo del procesamiento metalúrgico del acero para llegar hasta la temperatura de colada es de 146 \$/ton.

En 1 año:  $146\$/\text{ton.} \times 30 \text{ ton.} \times 12 = 52,560$  \$

- Gasto de aire comprimido: aprox.  $33 \frac{\text{m}^3}{\text{ton.}}$

El costo es de  $= 0.01 \frac{\$}{\text{m}^3}$

En un año :

$33 \frac{\text{m}^3}{\text{ton.}} \times 0.01 \frac{\$}{\text{m}^3} \times 180,000 \text{ ton.} = 59,400$  \$

El costo total anual en la reparación del corcet es:

127,751\$

### Sistema de enfriamiento por pulverización:

- Reparación del corcet:

La frecuencia de perforaciones por línea de colada es:

2 al mes.

No es necesario desmontar el corcet, se realizan las siguientes operaciones de reparación y el tiempo necesario para realizar dichas operaciones.

|  | PALANQUILLAS<br>(100 x 100) | TOCHOS<br>(200 x 250) |
|--|-----------------------------|-----------------------|
| - Parar la máquina.....                      | 30 min.                     | 30 min.               |
| - Desmontaje de conductos<br>rociadores..... | 20 min.                     | 40 min.               |
| - Reparación de conductos<br>rociadores..... | 60 min.                     | 120 min.              |
| - Montaje de conductos<br>rociadores.....    | 25 min.                     | 50 min.               |
|  | <hr/>                       | <hr/>                 |
| TOTAL :                                      | 1.75 h.                     | 3.5 h.                |

- Personal de mantenimiento: 2 en total  
jornal = 1.04 \$  
h

En un año:

$$2 \times 1.04 \frac{\$}{h} \times \frac{333}{30} \times 2 \text{ día} \times \frac{3.5 h}{\text{día}} = 162 \text{ \$}$$

- Materiales empleados en reparación : principalmente SPRAYS, se cambiarán de 5 a 10 SPRAYS en promedio.

Costo de un SPRAY = 20%.

En un año:

$$20 \times 10 \times \frac{333}{30} \times 2 = 4440 \text{ \$}$$

- Pérdida de acero por perforaciones: aprox. 15 Kg/perforación.

$$\text{costo} = 0.3 \frac{\text{\$}}{\text{Kg.}}$$

En un año:

$$333 \times \frac{2}{30} \times 15 \times 0.3 = 100 \text{ \$}$$

- Pérdida de acero por parada de la máquina:

Ocurrirá aproximadamente 1 cada 3 meses, el costo del procesamiento metalúrgico del acero hasta llegar a la temperatura de colada es de : 146 \$/ton.

$$\text{En 1 año : } 146 \frac{\text{\$}}{\text{ton.}} \times 30 \text{ ton} \times 4 = 17,520 \text{ \$}$$

El costo total anual en la reparación del corcet es 22,222 \$.

El ahorro anual será : 127,751 - 22,222 = 105,529 \$.

**6.3.- Costo de la inversión :**

Se tendrán en cuenta los siguientes rubros:

Costo de Maquinaria y equipo.

Costo de Materiales e instrumentos.

- Costo de puesta en marcha.

El costo total para la ejecución del proyecto refleja en la evaluación de los costos, cuyo monto asciende a : 79,540 dólares.

**6.3.1 Costo de maquinarias y equipos.**

Los costos de las máquinas y equipos que se consideran en el proyecto, incluyen costos por adquisición, transporte, montaje, pruebas y supervisión, hasta su entrega en funcionamiento, alcanzando un total de 54,679 dólares.

A continuación se muestra una tabla I donde se detalla el costo de los equipos:

TABLA I

| ITEM MAQUINARIA Y EQUIPO    | CANT. | COSTO UNIT. | COSTO TOT. |
|-----------------------------|-------|-------------|------------|
|                             |       | U.S.\$      | U.S.\$     |
| 1 FILTRO DE ARENA           |       |             |            |
| Marca: Culligan-Mod. hd-72  | 1     | 5,300       | 5,300      |
| Con accesorios              |       |             |            |
| 2 TORRE DE ENFRIAMIENTO     |       |             |            |
| Marca: Marley-Mod. 4871     | 1     | 12,161      | 12,161     |
| Con accesorios              |       |             |            |
| 3 BOMBA CENTRIFUGA          |       |             |            |
| Marca: Hidrostal-Tipo       |       |             |            |
| 65-200, Ø 210               | 2     | 4,973       | 9,946      |
| 4 BOMBA CENTRIFUGA          |       |             |            |
| Marca: Hidrostal-Tipo       |       |             |            |
| F4k-MH                      |       |             |            |
| Incluido reductor de veloc. | 2     | 12,036      | 24,072     |
| 5 VENTILADOR CENTRIFUGO     | 1     | 3,200       | 3,200      |
|                             |       | TOTAL :     | 54,679 \$  |

6.3.2 Costo de Materiales e instrumentos.

Consideramos todos los materiales e instrumentos necesarios para realizar, las instalaciones del circuito de pulverización de agua, alcanzando un total de 20,487 dólares.

A continuación se muestra la tabla II donde, se detalla el costo de los materiales e instrumentos empleados.

TABLA II

| ITEM | MATERIALES E INSTRUMENTOS  | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|------|--|----------|----------------|-------------|
|      |  |          | U.S. \$        | U.S. \$     |
| 1    | CAUDALIMETRO, RANGO: 0 A 0.3m <sup>3</sup> /min.<br>Ø 65, EMBRIDADO  | 3        | 750            | 2250        |
| 2    | CAUDALIMETRO, RANGO: 0 A 0.6m <sup>3</sup> /min.<br>Ø 100. EMBRIDADO | 2        | 1023           | 2046        |
| 3    | MANOMETRO, DIAL 63 mm, RANGO: 0-7 Kg/cm <sup>2</sup>                 | 2        | 33             | 66          |
| 4    | MANOMETRO, DIAL 63 mm, RANGO: 0-10 Kg/cm <sup>2</sup>                | 2        | 22             | 44          |
| 5    | MANOMETRO, DIAL 63 mm, RANGO: 0-100 Kg/cm <sup>2</sup>               | 3        | 33             | 99          |
| 6    | TERMOMETRO, FIJO, RANGO: 0-100°C                                     | 1        | 49             | 49          |
| 7    | REDUCCION DE ACERO SOLDADA Ø 125/150                                 | 1        | 40.04          | 40.04       |
| 8    | REDUCCION DE ACERO SOLDADA Ø 80/100                                  | 1        | 22             | 22          |
| 9    | REDUCCION DE ACERO SOLDADA Ø 65/80                                   | 3        | 15.4           | 46.2        |
| 10   | UNION DE ACERO EMBRIDADA Ø 100                                       | 1        | 44.4           | 44.4        |
| 11   | TEE DE ACERO, SOLDADA Ø 65-65  | 8        | 30.8           | 246.4       |
| 12   | CODO DE ACERO, 90°, EMBRIDADO Ø 100                                  | 1        | 17.34          | 17.34       |
| 13   | CODO DE ACERO, 90°, SOLDADO Ø 80                                     | 2        | 11.53          | 23.06       |
| 14   | CODO DE ACERO, 90°, SOLDADO Ø 65                                     | 15       | 9.24           | 138.6       |
| 15   | CODO DE ACERO, 90°, SOLDADO Ø 1/2"                                   | 3        | 2.38           | 7.14        |
| 16   | VALVULA COMPUERTA DE BRONCE EMBRIDADA Ø 65                           | 18       | 99.37          | 1788.66     |
| 17   | VALVULA COMPUERTA DE BRONCE ROSCADA Ø 1/2"                           | 3        | 16.33          | 48.99       |
| 18   | TUBERIA DE ACERO SCH40 SIN COSTURA Ø 100                             | 3 m.     | 36.34 \$/m.    | 109.02      |

| ITEM | MATERIALES E INSTRUMENTOS                   | CANTIDAD | COSTO UNITARIO | COSTO TOTAL |
|------|---|----------|----------------|-------------|
|      |   |          | U.S. \$        | U.S. \$     |
| 19   | TUBERIA DE ACERO SCH40 SIN COSTURA Ø 80     | 6 m.     | 25.46 \$/m.    | 152.76      |
| 20   | TUBERIA DE ACERO SCH40 SIN COSTURA Ø 65     | 69 m.    | 21.38 \$/m.    | 1475.22     |
| 21   | TUBERIA DE ACERO SCH40 SIN COSTURA Ø 1 1/2" | 66 m.    | 10.1 \$/m.     | 666.6       |
| 22   | TUBERIA DE ACERO SCH40 SIN COSTURA Ø 1"     | 16 m.    | 7.66 \$/m.     | 122.56      |
| 23   | SPRAY, TIPO 1/4 6610                        | 144      | 20             | 2880        |
| 24   | SPRAY, TIPO 1/8 665                         | 504      | 15             | 7560        |
| 25   | REDUCCION DE ACERO SOLD. Ø 1 1/2 "          | 4        | 10             | 40          |
| 26   | TEE DE ACERO, SOLD. Ø 1 1/2"                | 11       | 5              | 55          |
| 27   | UNION UNIVERSAL DE ACERO Ø 1 1/2"           | 18       | 5.5            | 99          |
| 28   | UNION UNIVERSAL DE ACERO Ø 1"               | 23       | 3.5            | 80.5        |
| 29   | CODO DE ACERO, 90°, SOLD. Ø 1 1/2"          | 13       | 7.14           | 92.82       |
| 30   | CODO DE ACERO, 90°, SOLD. Ø 1"              | 37       | 4.76           | 176.12      |
|      |   |          | TOTAL :        | 20,487 \$   |

### 6.3.3 Costo de puesta en marcha.

Los costos de puesta en marcha, se refiere a los pagos de los servicios técnico administrativos que se necesitan para dirigir y administrar el montaje e instalación de la obra, así como los gastos de operación que se originan al probar la instalación y ponerlo en marcha, hasta alcanzar su funcionamiento satisfactorio.

Puede considerarse 8% de los costos de Maquinaria y Equipos, resulta ser: 4374 dólares.

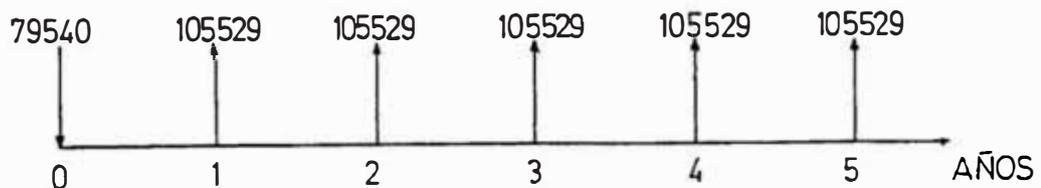
### 6.4 Comparación entre el ahorro y la inversión.

Inversión : 79,540 \$

Ahorro anual : 105,529 \$

$i$  anual en dólares = 22%

$N$  = 5 años



Determinación del VAN:

$$VAN = -79,540 + \frac{105,529}{(1+0.22)^1} + \frac{105,529}{(1+0.22)^2} + \frac{105,529}{(1+0.22)^3} + \frac{105,529}{(1+0.22)^4} + \frac{105,529}{(1+0.22)^5}$$

$$VAN = 222,657 \$ \gg 0$$

Determinación de la TIR:

$$0 = -79,540 + \frac{105,529}{(1+TIR)^1} + \frac{105,529}{(1+TIR)^2} + \frac{105,529}{(1+TIR)^3} + \frac{105,529}{(1+TIR)^4} + \frac{105,529}{(1+TIR)^5}$$

| ANO | \$     | TIR 130   | TIR 131   |
|-----|--------|-----------|-----------|
| 0   | 79,540 |           |           |
| 1   | ---    | 45,882.17 | 45,683.55 |
| 2   | ---    | 19,948.77 | 19,776.43 |
| 3   | ---    | 8,673.38  | 8,561.22  |
| 4   | ---    | 3,771.03  | 3,706.16  |
| 5   | ---    | 1,639.58  | 1,604.4   |
|     |        | 79,914.93 | 79,331.76 |

$$TIR \approx 130\% > 22\%$$

.. El proyecto es ventajoso.

**CONCLUSIONES:**

- 1.- Con el sistema de enfriamiento por atomización de agua se tiene un déficit en la producción de acero del orden de 12,150 Ton/Año, mientras que con el nuevo sistema de enfriamiento el déficit solo llega a 720 Ton/Año; por esta razón se logra asegurar una producción anual de 180,000 Ton. de acero .
- 2.- Con el nuevo sistema de pulverización de agua, se reduce el espacio que ocupa el sistema de enfriamiento por atomización de agua. El sistema de enfriamiento para palanquillas necesitará una longitud de 1.5 m. mientras que para tochos 3.15 m.
- 3.- Para el sistema de enfriamiento de tochos fué necesario usar dos sprays en paralelo para mojar toda la cara de la barra, en el caso de palanquillas fué suficiente usar un solo spray para mojar toda la cara de la barra.
- 4.- Con el nuevo sistema de enfriamiento disminuirá notablemente la frecuencia de perforaciones en la barra en extracción, mejorando el sistema de enfriamiento usado.
- 5.- Para realizar la reparación y el mantenimiento del nuevo sistema de enfriamiento, no será necesario

desmontar el corcet, disminuyendo notablemente el tiempo en realizar dichos trabajos.

6.- Se ha modificado el circuito de agua de pulverización para cumplir con las nuevas condiciones operativas. Siendo necesario disponer de un filtro de arena, una torre de enfriamiento, cuatro bombas de agua, instrumentación y tuberías.

7.- Con el nuevo sistema de enfriamiento se logra disminuir el costo de producción de acero, ahorrando más de cien mil dólares anuales.

**BIBLIOGRAFIA :**

- 1.- LAWRENCE SAROFF "Simulación de la transferencia de calor de dos dimensiones de la Colada Continua - sus usos en el diseño y operación".
- 2.- "PIPE FRICCIÓN MANUAL", 3<sup>ra</sup> Ed. copyright 1961 por el Hydraulic Institute.
- 3.- H. RASE "Diseño de tuberías para plantas de proceso".
- 4.- W. H. MC. ADAMS "Transmisión de calor".
- 5.- FIVES LILLE CAIL "Manual de colada continua No2."
- 6.- FRANK KREITH "Principios de transferencia de calor".
- 7.- METALURGIA A.B.M. "Cálculo de los tiempos y la distribución de temperatura en los moldes refrigerados por agua" Vol. 35.
- 8.- METALURGIA A.B.M. "Modelamiento matemático de solidificación del lingotamiento continuo" Vol. 36.
- 9.- BOLETIN TECNICO FINSIDER "Modelo matemático de la solidificación de un tocho en la Colada Continua" Mayo - Agosto de 1981.
- 10.-DONALD G. KERN "Procesos de transferencia de calor"
- 11.-ILAFSA 81 "Colada Continua y metalurgia en cuchara" 1981.

12.-ILAPA 77 "Colada Continua y tecnología afines,  
operación y selección - 1977"

13.-FIVES CAIL BABCOCK "Centro de estudios de  
investigaciones, experimentos y prototipos".

14.-BRUNO TARMAN "Palanquillas y tochos colados en  
continuo, un proceso para aceros especiales y de  
calidad".