

***UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA***



***“ESTUDIO DEL AHORRO DE ENERGIA TERMICA EN UNA  
LINEA DE LAVADO DE LANA Y PELO DE ALPACA”***

***INFORME DE INGENIERIA  
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE :  
INGENIERO MECANICO***

***EDGAR BENJAMIN REYNOSO PAREDES  
PROMOCION 81 - I***

***LIMA - PERU  
1998***

**ESTUDIO PARA EL AHORRO DE ENERGIA TERMICA  
DE UNA LINEA DE LAVADO DE LANA Y PELO DE ALPACA.**

**1.- INTRODUCCION**

**2.- DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA**

**3.- DESCRIPCION DEL PROCESO DE LAVADO**

**4.- EVALUACION ENERGETICA**

**5.- CALCULO Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS**

**6.- ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO**

**CONCLUSIONES**

**BIBLIOGRAFIA**

**ANEXOS**

# INDICE

	<b>Pag.</b>
<b>1.0 INTRODUCCION</b>	1
1.1 Localización del proyecto	1
1.2 Objetivo	1
1.3 Metodología	2
1.4 Importancia del trabajo	3
<b>2.0 DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA</b>	4
2.1 Maquinaria para la apertura de la materia prima	7
2.1.1 Alimentador	7
2.1.2 Abridoras	8
2.1.3 Sacudidoras	9
2.1.4. Transporte neumatico	10
2.2 Maquinaria para el lavado propiamente dicho	11
2.3 Maquinaria para el secado	12
2.4 Maquinaria para el empacado	14
<b>3.0 DESCRIPCION DEL PROCESO DE LAVADO</b>	15
3.1 Definición de lavado	15
3.2 Impurezas que acompañan a la lana	15
3.3 Fases del proceso de lavado	17
3.4 Procedimientos de lavado	18
3.5 Procedimiento de secado	20

<b>4.0</b>	<b>EVALUACION ENERGETICA</b>	<b>21</b>
	<b>BALANCE DE ENERGIA EN LA LINEA DE LAVADO NRO. 3</b>	
4.1.	Datos obtenidos para poder realizar los cálculos	21
4.1.1.	Temperatura de trabajo de las tinas	21
4.1.2.	Volumen de agua admitido por las tinas	21
4.1.3.	Humedades promedio del pelo de alpaca a lo largo de la línea de lavado	22
4.1.4.	Temperaturas promedio del aire a la entrada y salida de la secadora	22
4.1.5.	Areas de las superficies verticales de las tinas de lavado	23
4.1.6.	Areas de las superficies horizontales de las tinas de lavado	23
4.1.7.	Areas de las superficies inclinadas a las tinas de lavado	24
4.1.8.	Areas de las superficies libres del agua en las tinas de lavado	25
4.1.9.	Características de construcción de las tinas de lavado	25
4.2.	Cálculos para el balance de energía	26
4.2.1.	Requerimiento de calor para poner en operación la línea de lavado	26
4.2.2.	Requerimiento de calor para calentar el agua de reposición	27
4.2.3.	Requerimiento de calor para calentar la materia prima	29
4.2.4.	Calor perdido por las paredes de las tinas	30
4.2.4.1	Por las superficies verticales	30
4.2.4.2	Por las superficies inclinadas	32
4.2.4.3	Por las superficies horizontales	32
4.2.4.4	Pérdidas totales por las paredes de las tinas	33

4.2.5.	Calor perdido por las superficies libres del agua en las tinas	35
4.3.	Distribucion de la energía en la linea de lavado N° 3	39
4.4.	Balance de energía para la secadora N° 3	39
4.4.1.	Método de cálculo empleado	39
4.4.2.	Requerimiiientos de calor en la secadora N° 3	45
4.5	Resultados del balance de energía	49
<b>5.0</b>	<b>CALCULO Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS</b>	<b>54</b>
5.1	Ahorro de energía en el calentamiento del agua de reposición	55
5.1.1	Selección del equipo intercambiador de calor	56
5.2	Ahorro de energía en el secado	61
<b>6.0</b>	<b>ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO</b>	<b>63</b>
6.1	Inversión a realizar en la adquisición de los equipos	64
6.2	Ahorro que se obtendría de la instalación de los equipos	65
6.3	Tiempo de recuperación del capital	66
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>67</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXO N° 1</b>	<b>71</b>
	BALANCE DE ENERGIA TOTAL EN LA ZONA DE LAVADO DE MICHELL Y CIA S.A.	
I.-	Balance de energía en la línea de lavado N° 1	72
II.-	Balance de energía en la línea de lavado N° 2	74
III.-	Balance total en el área de lavado	76

<b>ANEXO N° 2</b>	79
<b>CALCULO DE LAS EFICIENCIAS DE LOS CALDEROS</b>	
I.- Rendimiento y eficiencia del caldero N° 1	80
II.- Rendimiento y eficiencia del caldero N° 2	84
III.- Consumo promedio diario de petroleo	86
IV.- Cantidad de energía aprovechada del combustible	87
<b>ANEXO N° 3</b>	88
I.- Balance de energía de las secadoras	89
II.- Pérdidas de calor por las paredes de las tinas	92
III.- Coeficientes de convección usados para evaluar las pérdidas por la superficie libre del agua	118
IV.- Programas en lenguaje basic utilizados para el cálculo del balance de energía	120

# **1. INTRODUCCION**

## **1.1 LOCALIZACION DEL PROYECTO**

El Proyecto se realiza en la Planta de Lavado de la Empresa Michell & Cia. S.A. , en la ciudad de Arequipa. En esta planta se realiza el segundo paso del proceso productivo, que es el lavado de la materia prima , la lana de oveja y el pelo de alpaca. Este proceso productivo es muy importante porque se elimina todas las impurezas del material, como son la grasa , polvo mineral , paja , trozos , suciedad , marcado , etc.

## **1.2 OBJETIVO**

El objetivo del Proyecto , es un estudio para el ahorro de Energía en el proceso de lavado de lana y pelo de alpaca.

Este proceso demanda la generación de vapor saturado que se utiliza en el calentamiento de agua para el proceso de lavado en sí y para el calentamiento de aire en forma indirecta , aire que se utiliza para el secado. La generación de vapor es producida por calderas horizontales pirotubulares.

La energía térmica representa el costo mas relevante del proceso de lavado y el estudio está dirigido a disminuir este costo. Como antecedente se tiene que una línea nueva de lavado de lana y pelo de alpaca debe tener un rendimiento de 14 Kg. de lana / galón de petróleo ,  
Michell & Cia. S.A. , tiene un rendimiento de 7 – 8 Kg. de lana / galón de petróleo.  
Este rendimiento reflejaba el costo de lavado , ya que se tiene un costo final de  
US\$ 0.14 – 0.15 / Kg. de lana , mientras lo óptimo es de US\$ 0.08 / Kg. de lana.

### **1.3 METODOLOGIA**

Se siguió la siguiente metodología

Primero se realizó una evaluación del funcionamiento de la sala de generación de vapor ( Calderas ) , se verificó la eficiencia térmica con la que trabajan estos equipos , luego se planteó las tareas necesarias para mejorar la eficiencia de operación de los generadores de vapor en base a la implementación de algunos cambios como por ejemplo programadores mas modernos , regulación de combustión y modificaciones físicas de las instalaciones.

Se hizo un estudio para el conocimiento mas detallado y profundo del proceso de lavado en sí , en sus diversas etapas , como son : apertura , lavado y secado . Esto para tener un conocimiento mas preciso del uso de la energía térmica en el proceso.

Se desarrolló el balance térmico bastante detallado , para lograr tener la información veráz de la distribución real del consumo de energía térmica en el proceso , para luego poder definir



los modos de atacar los consumos mas altos y así lograr una disminución sustancial del consumo de energía , lo que repercutiría en un menor costo.

Teniendo definido los puntos a atacar , se procedería a seleccionar o diseñar los equipos necesarios para lograr el objetivo trazado. Equipos como intercambiadores de calor , uso de la energía solar , cuyos niveles son un privilegio en la ciudad de Arequipa , ya que la máxima temperatura del agua en el lavado llega a 60 °C . Temperatura que se puede alcanzar con el uso de la energía no convencional en referencia.

Luego de realizada la selección o diseño de los equipos necesarios , se procedería a la evaluación económica respectiva para verificar el beneficio – costo de la inversión a realizar y poder tener claro el tiempo de retorno del capital necesario para la inversión.

#### **1.4 IMPORTANCIA DEL TRABAJO**

Este trabajo es de mucha importancia para la Empresa Michell & Cia. S.A. , ya que la reducción del costo final del lavado va a permitir lograr un mayor valor agregado en los procesos productivos siguientes , como son : peinado , hilado , tejeduría , y confección.

Con esto también se lograría optimizar el proceso de lavado , en base a un cronograma de actividades a seguir. Actividades que en la medida que se realicen permitirían lograr los objetivos trazados.

## **2. DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA**

Una línea de lavado de lana y pelo de alpaca consta de la siguiente maquinaria

- a) Alimentador de abridoras.
- b) Abridoras ( De simple ó doble tambor )
- c) Sacudidoras.
- d) Alimentador de tinas de lavado.
- e) Tinas de lavado ( 4 ó 5 tinas )
- f) Rodillos exprimidores.
- g) Alimentador a secadora.
- h) Secadora.
- i) Transporte neumático.
- j) Prensa para empaçado.

Esta maquinaria está dispuesta en las siguientes áreas

Apertura.

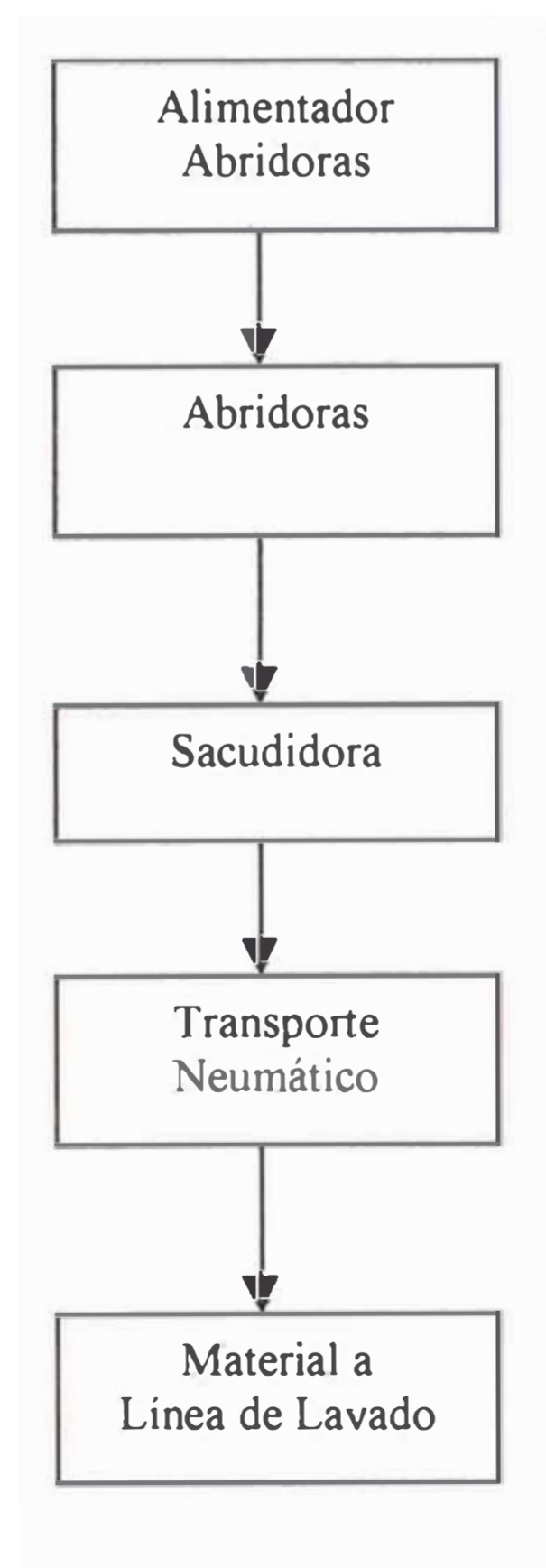
Lavado propiamente dicho.

Secado.

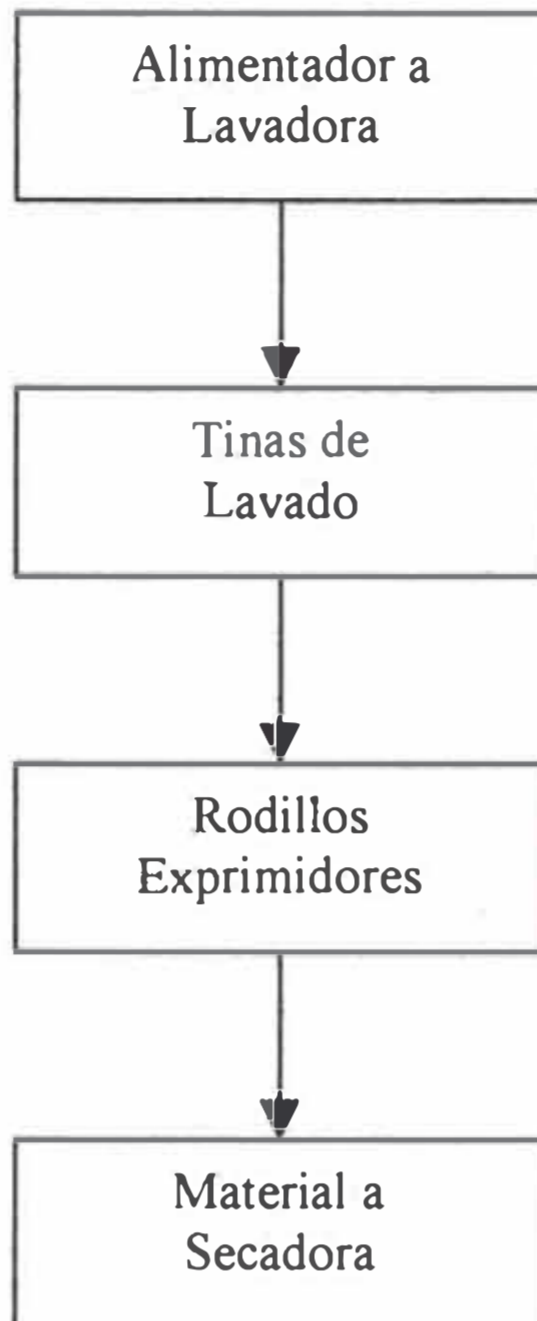
Empacado.

La disposición de la maquinaria se muestra en los siguientes diagramas de flujo

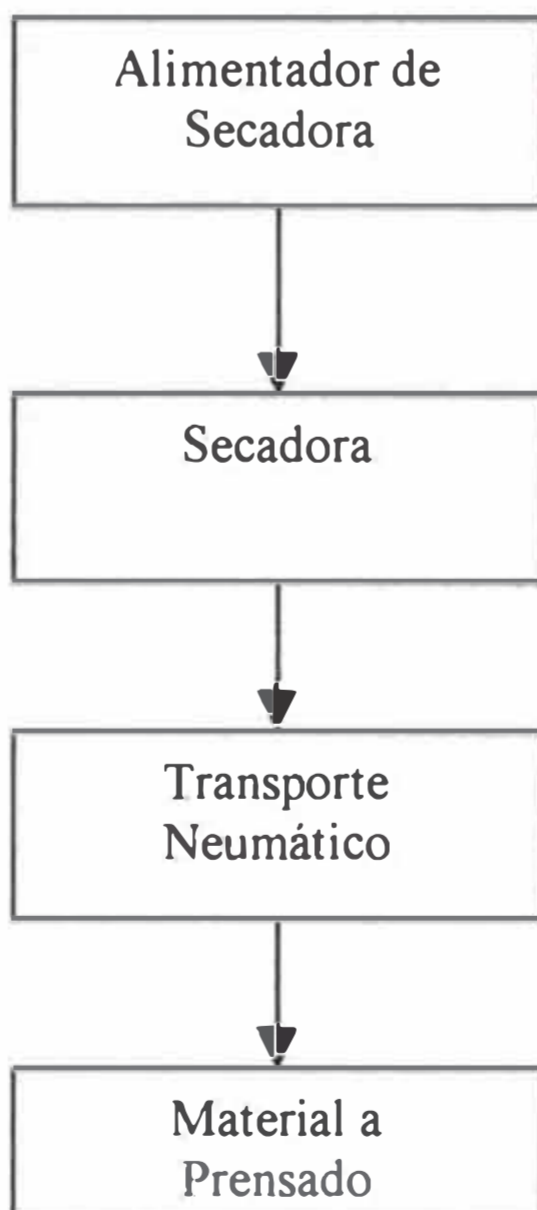
### **AREA DE APERTURA**



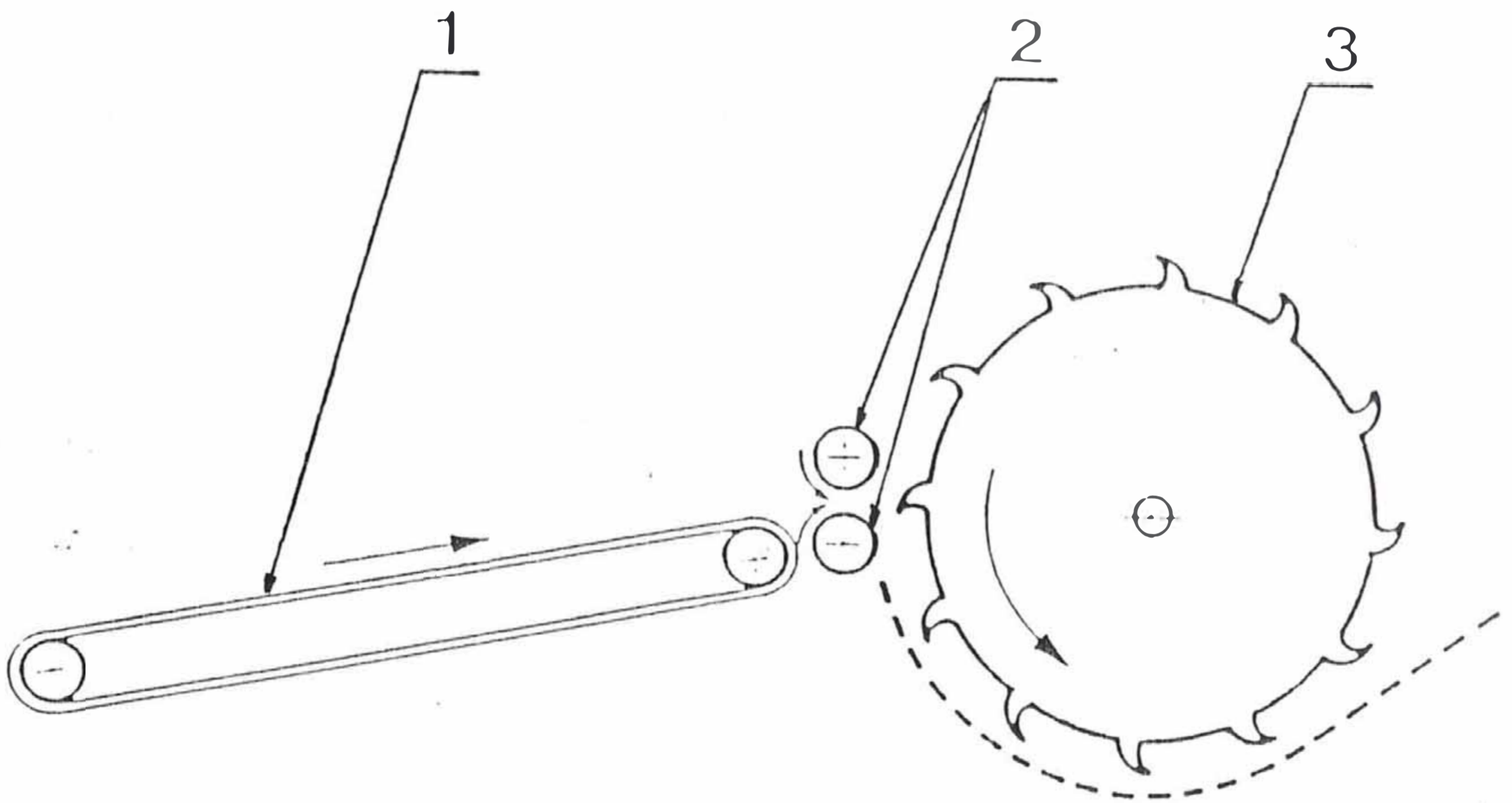
**AREA DE LAVADO**



**AREA DE SECADO**



ESQUEMA DE UNA ABRIDORA  
DE UN SOLO TAMBOR



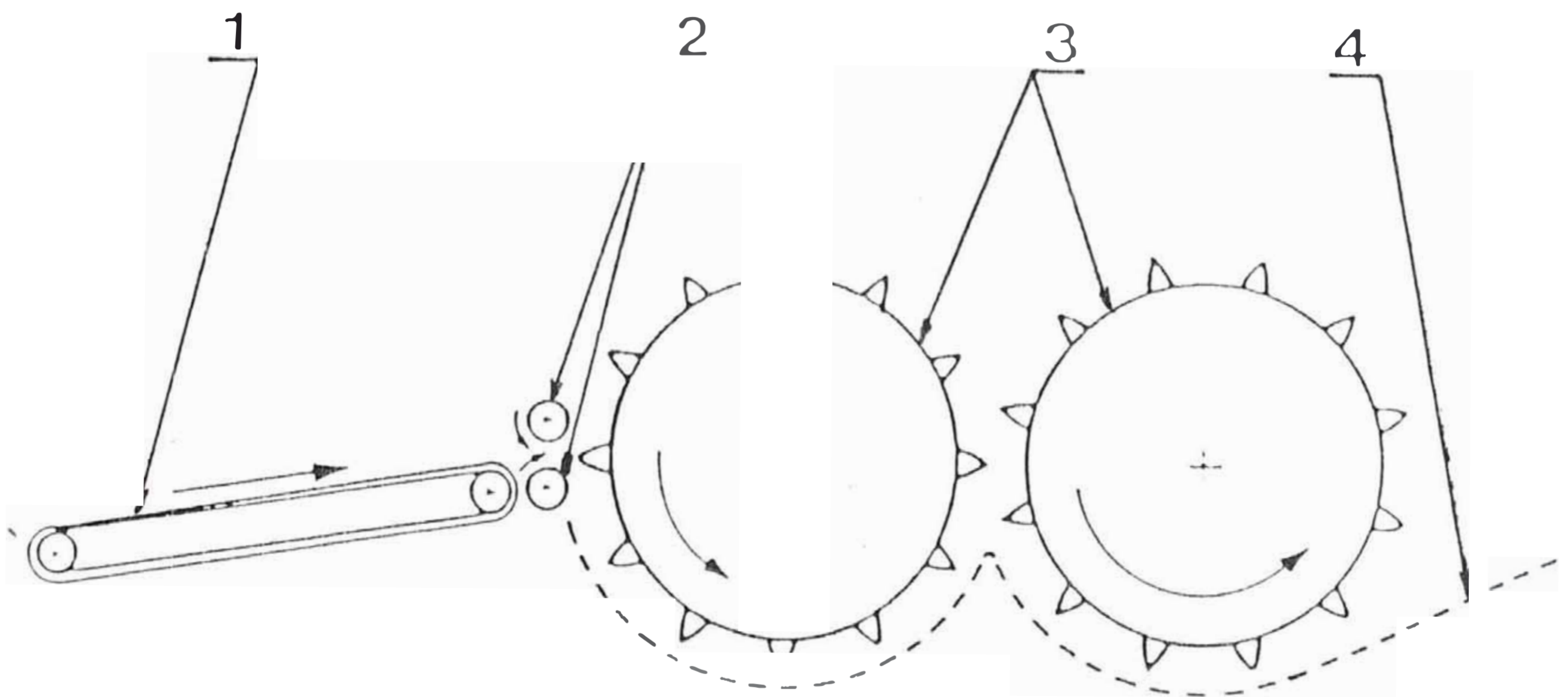
1.- Faja Transportadora

2.- Rodillos alimentadores

3.- Tambor de púas.

FIG.1

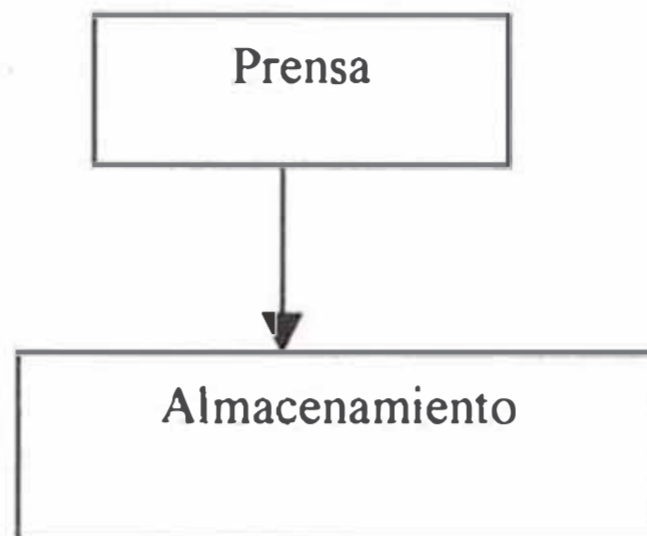
## ESQUEMA DE UNA ABRIDORA DE DOS TAMBORES



- 1.- Faja Transportadora
- 2.- Rodillos alimentadores
- 3.- Tambores de púas.
- 4.- Parrillas

FIG.2

## AREA DE EMPACADO



Teniendo ya la idea física de cómo está ubicada la maquinaria , se va a realizar una descripción de ésta.

### 2.1 MAQUINARIA PARA LA APERTURA DE LA MATERIA PRIMA

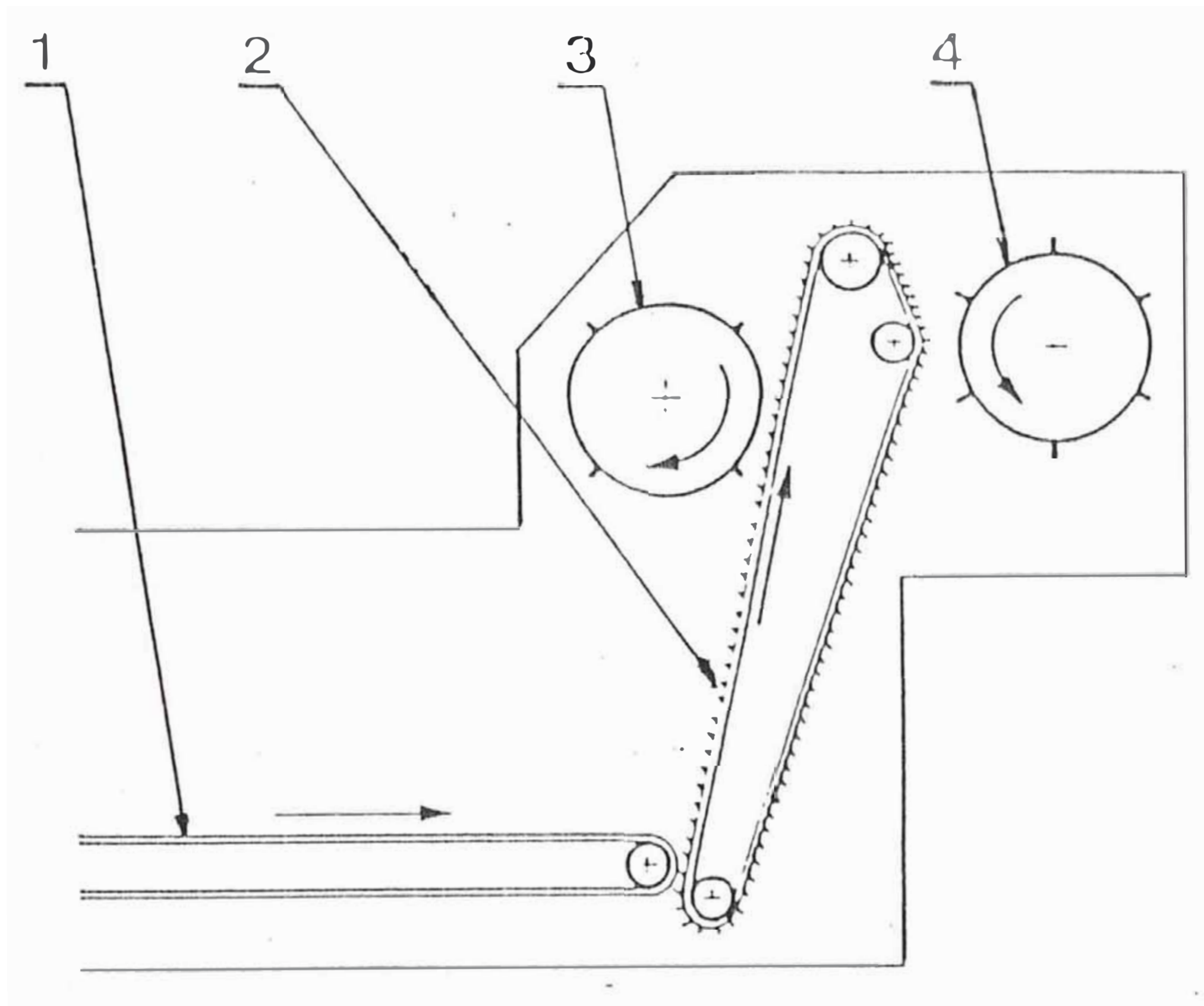
En esta etapa se usan alimentadores , abridoras de uno o dos tambores , sacudidoras y transporte neumático para trasladar el material a la otra etapa.

#### 2.1.1 ALIMENTADOR

Esta máquina sirve como su nombre lo indica para alimentar la materia prima , sucia o limpia , seca o húmeda , en forma dosificada y constante a otras maquinarias como son abridoras , lavadora y secadora.

Los alimentadores son de robusta construcción de acero soldado. En los sitios mas necesarios se han instalado cojinetes herméticos para reducir la necesidad de mantenimiento . Se tiene acceso fácil a los distintos puntos en que sea necesario efectuar limpieza y mantenimiento.

## ESQUEMA DE UN ALIMENTADOR



**1.- Faja transportadora horizontal**

**2.- Faja transportadora vertical con clavos**

**3.- Tambores de púas.**

**4.- Tambor regulador de materia prima**

**5.- Tambor descargador**

**FIG. 3**



En la Fig. 3 , se muestra un esquema de la máquina , donde se aprecia las partes mas importantes y a la vez muestran el funcionamiento de la misma. En la telera inclinada con clavos , la velocidad es variable por medio de un juego de engranajes recambiables . El movimiento se transmite a la telera horizontal desde la inclinada mediante un accionamiento de excéntrica y mecanismo de trinquete. La variación de velocidad con relación al de la telera inclinada se hace ajustando la excéntrica.

Estas máquinas cuentan en algunos casos con un peine y en otros con un tambor regulador , que sirven para regular la cantidad de material a alimentar , este material es descargado en todos los casos por un tambor descargador. En todos los casos donde se necesita de un alimentador la concepción de funcionamiento y diseño es igual , variando solamente el ancho de la maquinaria según el ancho de la máquina a la cual se le va a proporcionar material.

Los accionamientos motorizados para la telera inclinada y el peine ó tambor igualador y el descargador giratorio están agrupadas en una caja de engranajes provistas de puertas de acceso para fácil inspección y mantenimiento.

### **2.1.2 ABRIDORAS**

Esta máquina sirve para abrir la fibra , en este proceso son separadas por gravedad todas las impurezas mas pesadas , estas impurezas pasan a travez de unas parrillas que permiten el paso de éstas mas no del material . En la parte inferior de la máquina va una tolva que recolecta las impurezas y estas son trasladadas por transporte neumático a un cuarto donde se acumulan para después ser retiradas por medio de un volquete

El funcionamiento físico y sus componentes mas importantes se pueden ver en las figuras 1 y 2 , se usan de un solo tambor y de dos tambores que es lo mas usual .

La estructura de la máquina es una construcción de acero de diseño robusto. Los dos cilindros , acoplados con púas de acero , giran sobre cojinetes de bolas y están equilibrados dinámicamente . Las parrillas debajo de los cilindros están diseñadas para ser retiradas fácilmente.

La lana es alimentada dentro de la máquina por una cinta transportadora y dos cilindros alimentadores ; la presión de los rodillos es aplicada por resortes y pernos de ajuste.

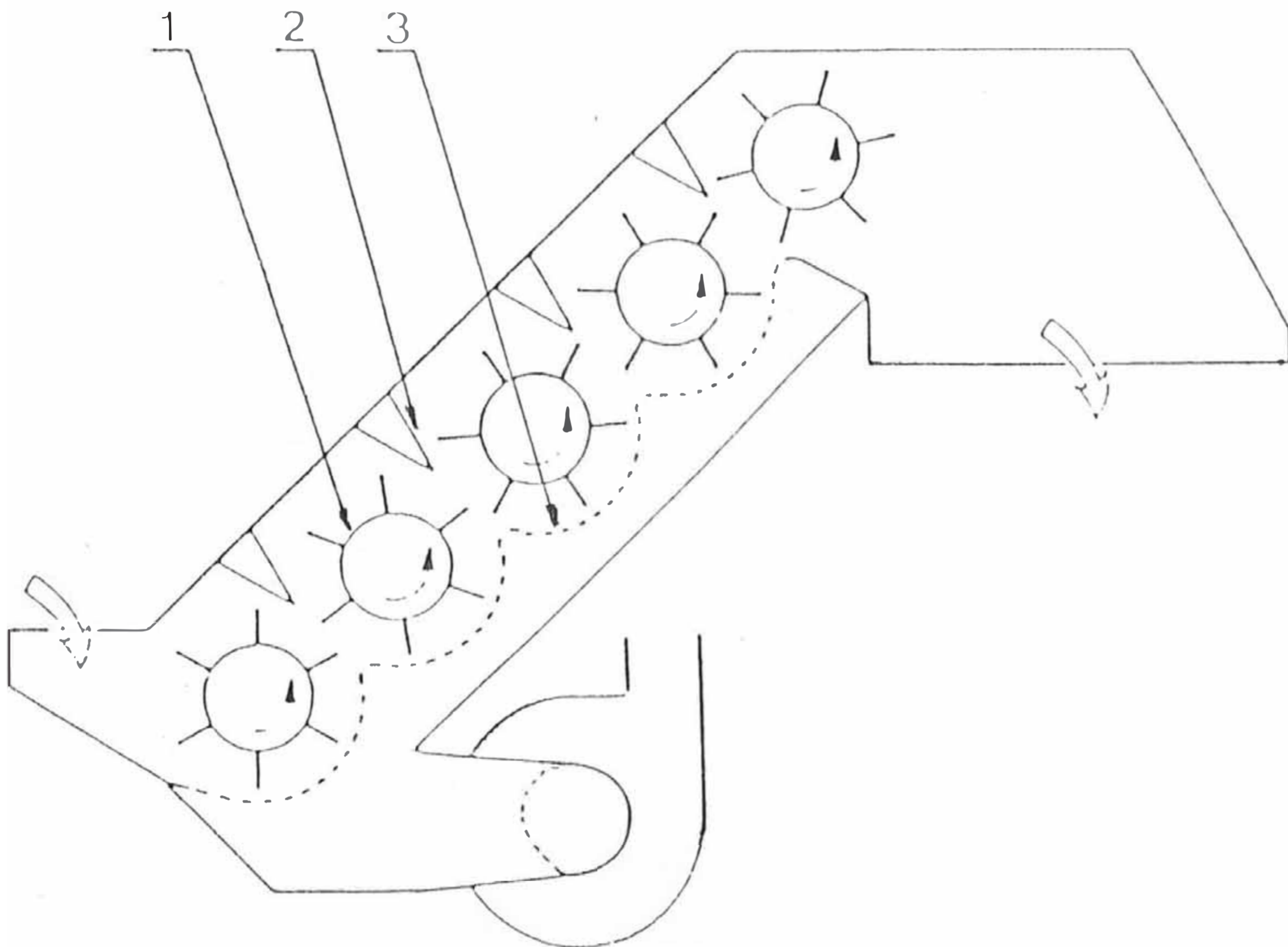
El dispositivo de salida se adapta a la máquina subsiguiente. El accionamiento principal a los cilindros , es por una correa trapezoidal del motor eléctrico montado integralmente a la máquina.

El mando entre cilindros es por correa plana de alta resistencia a la tracción . Los rodillos alimentadores y el transportador de alimentación son accionados por motor engranado con mando de cadena. Todos los mandos están protegidos adecuadamente.

### **2.1.3 SACUDIDORAS**

Esta máquina sirve para elevar y remover de la materia prima todas las impurezas finas como son el polvo , está compuesta de una serie de tambores ( de 3 a 5 piezas) , que tienen un diferencial positivo de revoluciones , estos tambores están ubicados en una línea inclinada de 30 a 50 ° de inclinación . El esquema físico que muestra la ubicación de los diferentes componentes se muestra en la fig. 4 . En la parte inferior de los tambores son ubicadas unas parrillas de fácil acceso para limpieza , por las cuales cae el polvo que es recepcionado en

# ESQUEMA DE UN SACUDIDOR



1.- Tambores de sacudido

2.- Deflectores

3.- Parrillas

FIG. 4

una tolva , de la cual es aspirado por un ventilador centrífugo y trasladado a un cuarto para ser retirado posteriormente.

Los tambores son apoyados en soportes de pie con rodamientos y el sistema de transmisión es realizado por fajas trapezoidales desde el motor eléctrico hasta el tambor de mayor altura , la descarga de la maquina puede ser acoplada de diversas maneras , dependiendo de lo que se necesite alimentar como es una tolva para aspiración por transporte neumático o a un transportador horizontal de otra máquina.

Esta máquina puede ser utilizada para material sucio o limpio , es decir antes del lavado o después de éste.

#### **2.1.4. TRANSPORTE NEUMATICO**

El transporte neumático soluciona problemas de acarreo de materia prima de un proceso a otro , en Michell & Cia. S.A. se implemento este traslado dando muy buenos resultados en la optimización del proceso de lavado , ya que este se realiza en forma continua , no existiendo ya el traslado manual del material.

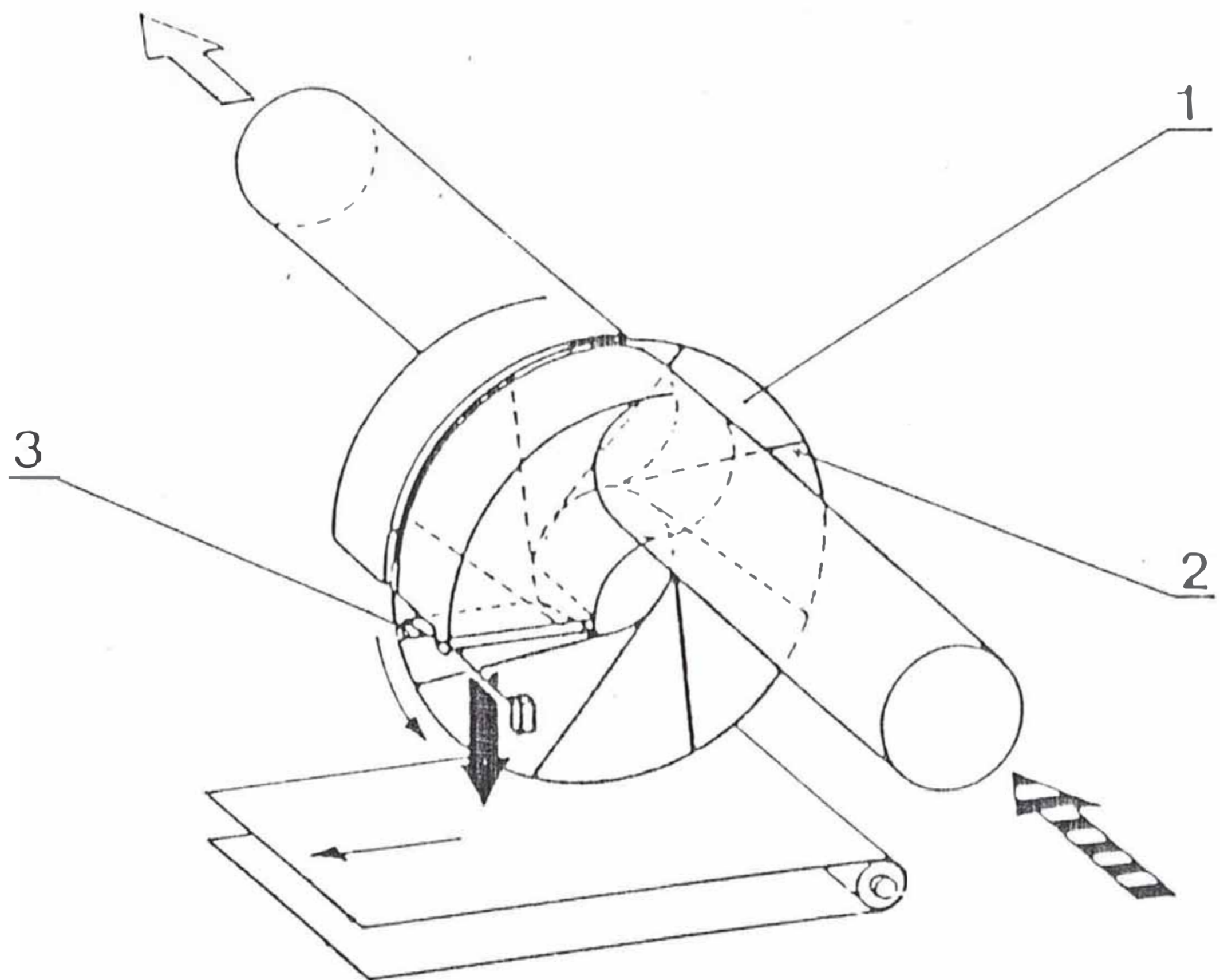
El transporte neumático puede ser realizado de dos maneras que son las siguientes

Sistema a Presión.

Sistema a succión.

Sistemas de ambos tipos requieren de un separador del aire – materia prima , que son usados para alimentar la lana al siguiente paso en el proceso productivo.

ESQUEMA DE UN SEPARADOR  
DE AIRE - MATERIA PRIMA



1.- Disco perforado

2.- Deflectores para arrastre de materia prima

3.- Puerta de salida del material

FIG. 5

El esquema de este separador puede verse en la fig. 5 , y está compuesto de un disco perforado cuyo diámetro es de hasta 5 veces el diámetro del ducto, en el cual se han soldado radialmente unos deflectores que sirven para arrastrar y desplazar la lana hasta la compuerta de salida que se abre por la presión ejercida , esta compuerta se mantiene cerrada por un sistema de resortes.

Las perforaciones en el disco sirven para que pasen a través de él el aire con polvo fino que es depositado en un sistema de mangas.

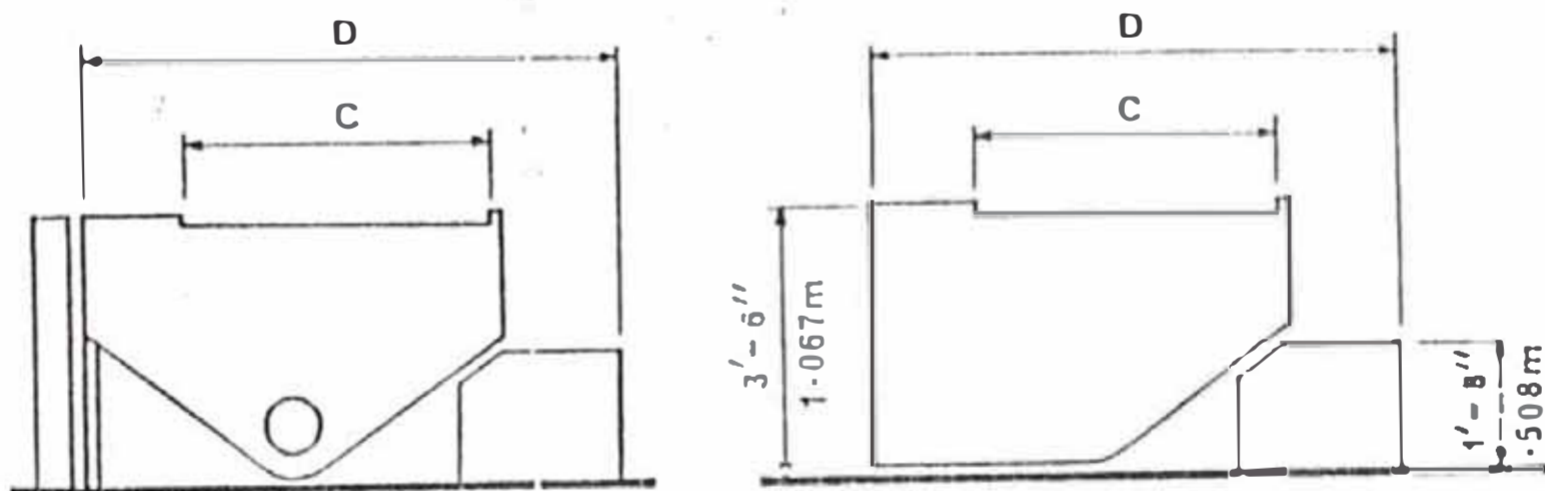
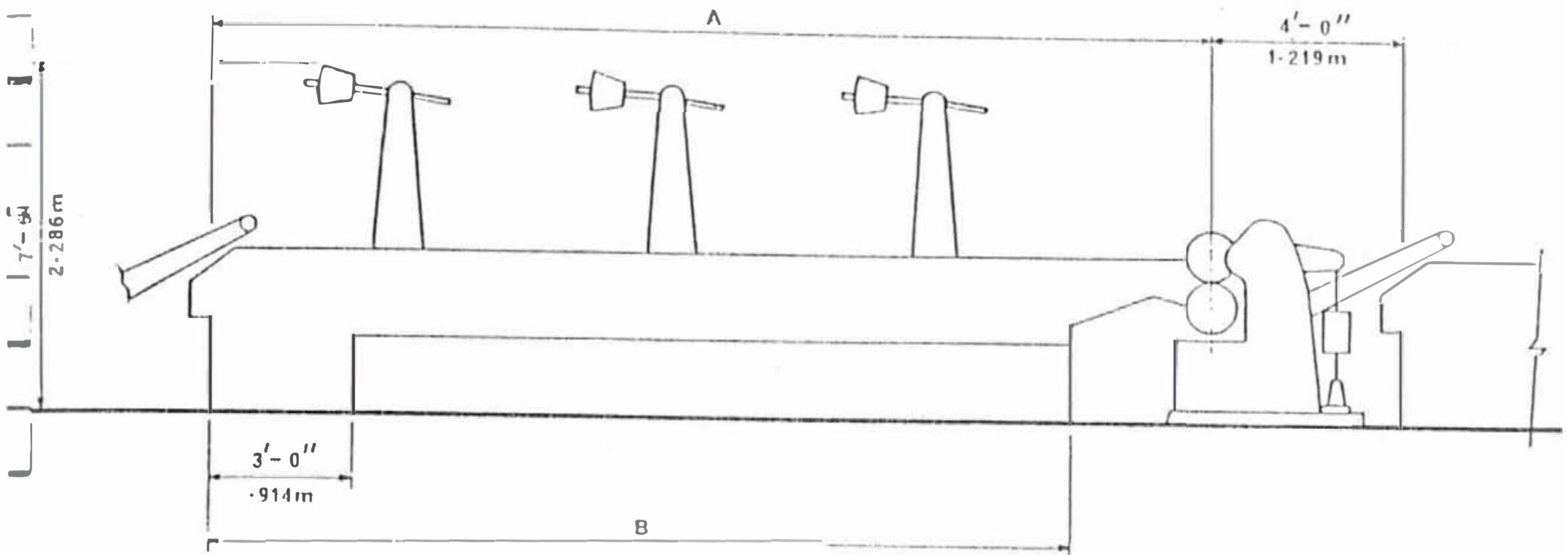
## **2.2 MAQUINARIA PARA EL LAVADO PROPIAMENTE DICHO**

Las líneas de lavado están diseñadas para lavar todo tipo de lana , dejándolas suaves y sueltas , no existe una lavadora especialmente diseñada para el pelo de alpaca , sino se usan las líneas de lavado de lana para este fin. En la planta donde se realiza este proyecto se tiene tres líneas de lavado , dos con cuatro tinas y una de cinco tinas.

La línea empieza con un alimentador que suministra material a la primera tina . En la fig. 6 se muestra un esquema de una tina de lavado , cuyas características son que cada tina está construida de fierro gris o de acero inoxidable , cuenta con fondos cónicos que ayudan a la sedimentación de los sólidos para ser evacuados en las purgas . Las tinas cuentan con un sistema de arrastre para el material , éste sistema de arrastre puede ser de rrastrillo como se muestra en la fig. 8 o del tipo compacto compuesto de hileras de fierro redondo que se utiliza para el arrastre , generalmente se usan en la tercera , cuarta y quinta tina.

Las tinas llevan como falso fondo planchas perforadas para que permitan la sedimentación de las impurezas y no permitan el paso del material.

ESQUEMA DE UNA  
TINA DE LAVADO



NOTA.- Se muestra el corte de una tina antigua y una moderna

FIG. 6

Tienen un sistema de recirculación de agua por medio de una bomba centrífuga que succiona de una pequeña tina y descarga al inicio de la tina , la pequeña tina es alimentada por el agua que resulta luego del exprimido.

El calentamiento del agua es por vapor saturado en forma directa.

Al final de cada tina es colocado un sistema de exprimido , como se muestra en la fig. 8 , que consta de dos rodillos uno maciso y otro revestido que son presionados por un sistema de resortes , pero sistemas mas modernos usan cilindros neumáticos para dar presión , después del paso del material por los rodillos pasan a un transportador que alimenta a la siguiente tina y el último alimenta a la telera horizontal del alimentador de la secadora.

### **2.3. MAQUINARIA PARA EL SECADO**

La secadora de transportador sencillo es adecuada para el secado continuo de fibras textiles sueltas. En este tipo de secador , un transportador horizontal lleva la fibra a través de un cerramiento calentado donde queda sometida a una corriente de aire caliente, físicamente podemos apreciar mas claramente la forma de secado en el esquema de la fig. 7.

Las diversas características que presentan este tipo de máquinas son su sencillez de funcionamiento , fiabilidad mecánica y fácil acceso para limpieza y mantenimiento , cuentan con Ventiladores para circulación del aire con motores directamente acoplados.



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO  
DE UNA SECADORA

SECADORA DE LANA

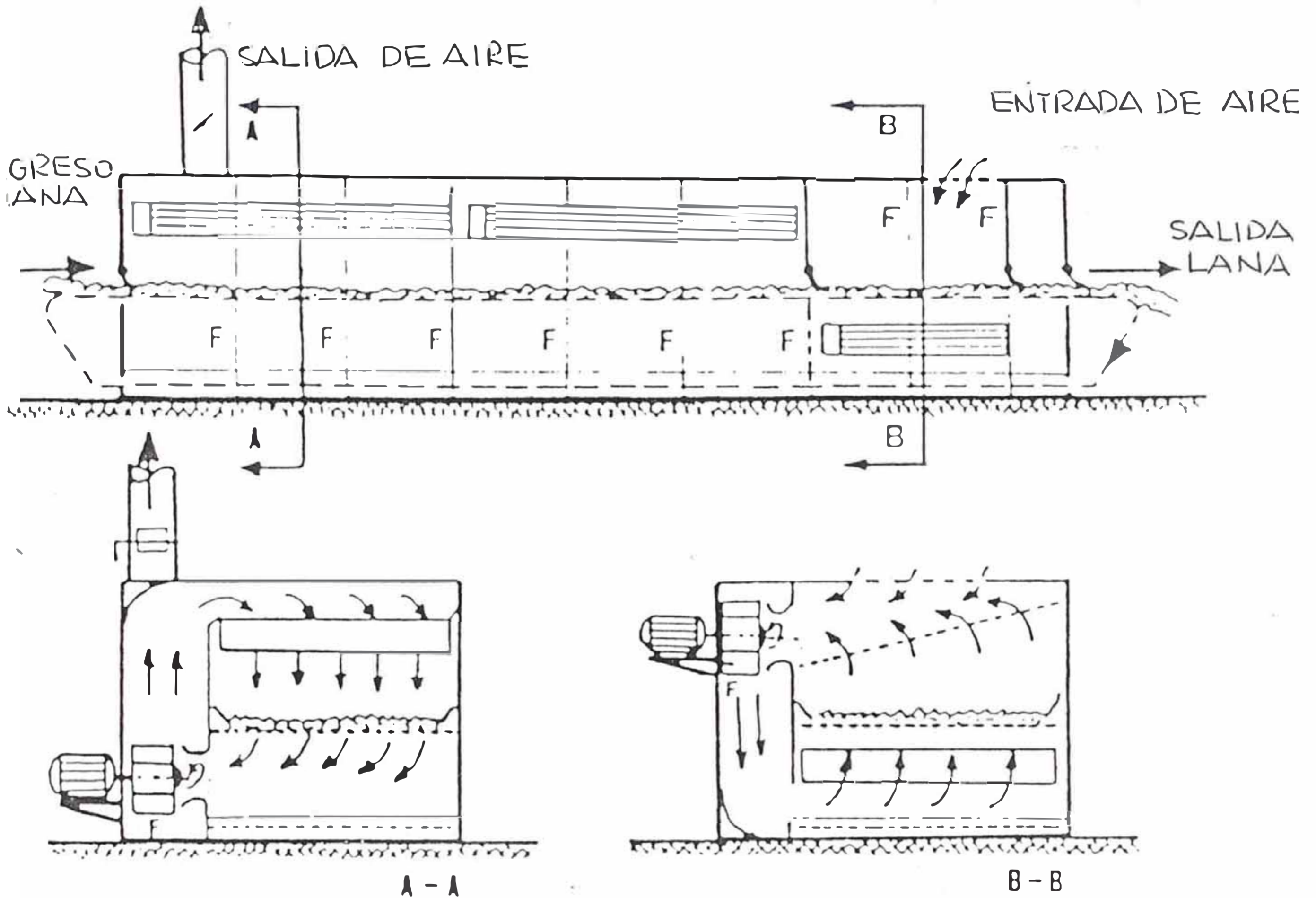
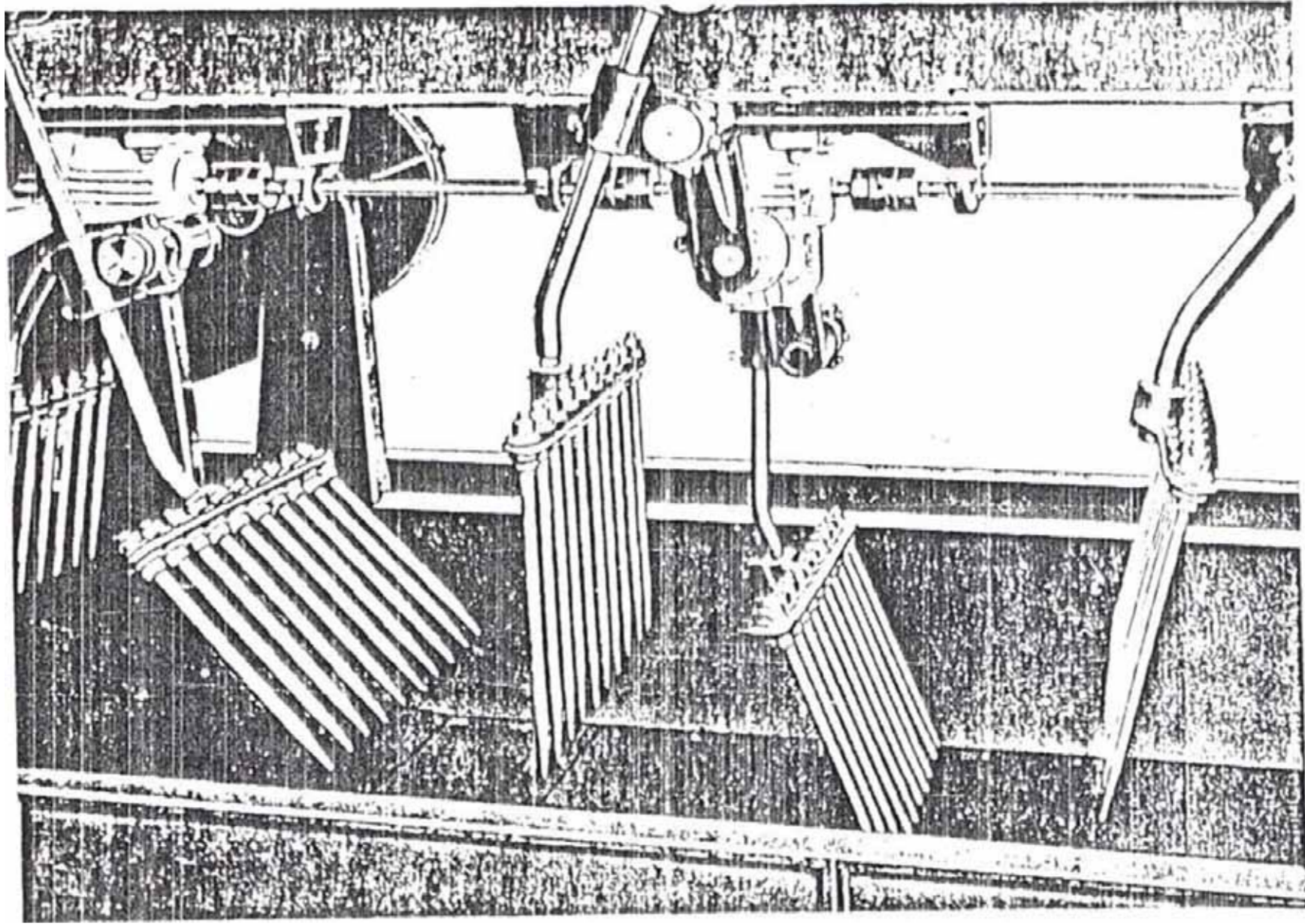
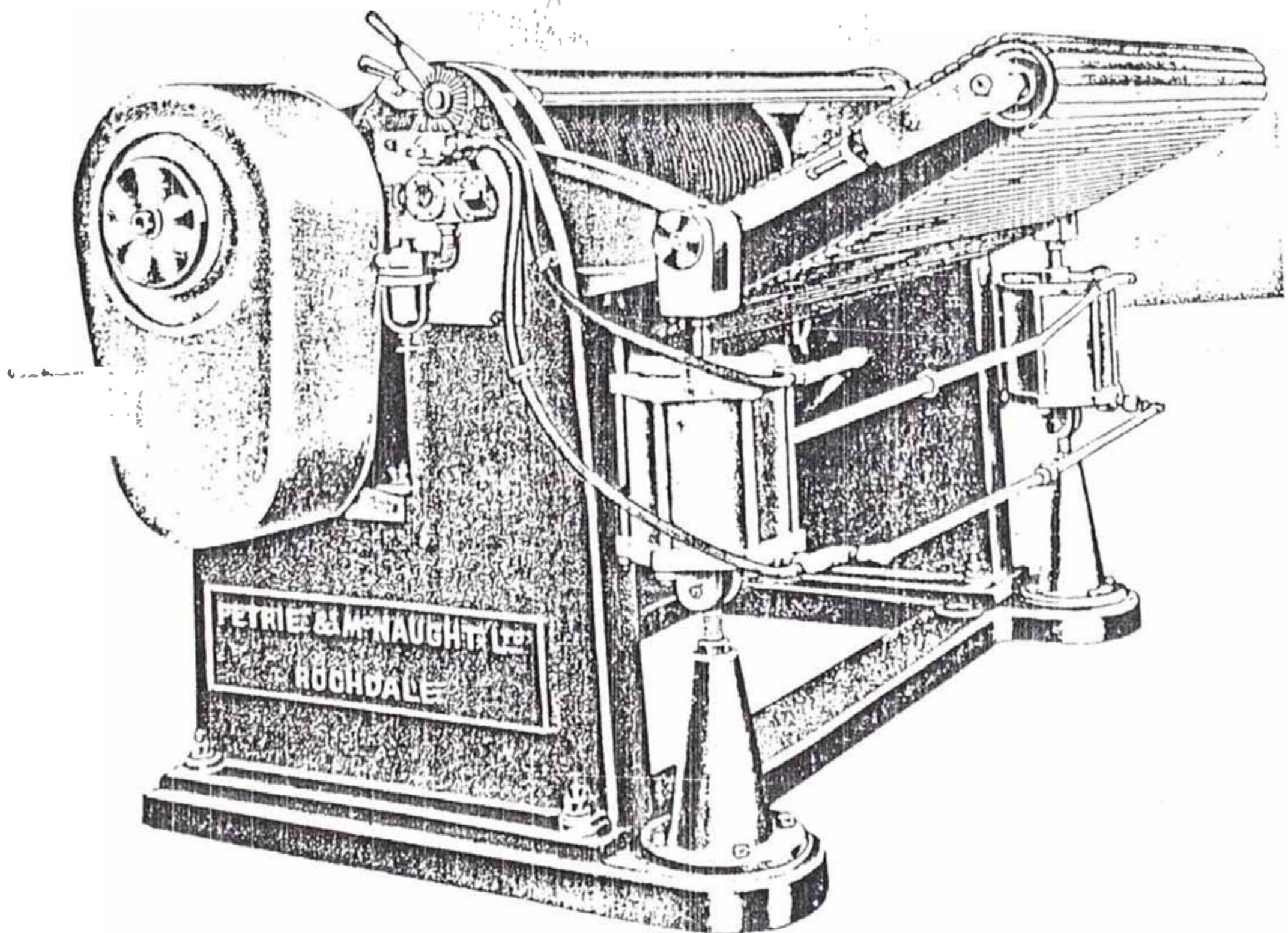


FIG.7



SISTEMA DE ARRASTRE  
DE UNA TINA DE LAVADO



RODILLOS EXPRIMIDORES

Serpentines de calentamiento de acero SCH 40 totalmente soldados con tubos con aletas en cada sección de secado para un mejor control de la temperatura del aire.

Filtros de tela metálica en todos los ventiladores de circulación para reducir la contaminación de la fibra en el secador. De fácil acceso para la limpieza.

Tablillas del transportador de acero suave con tratamiento para la oxidación o de acero inoxidable .

Fuertes paneles de aislamiento con revestimiento externo de planchas de fierro negro totalmente pintadas. En las máquinas de Michell & Cia. S.A. se les aumento paneles de aislamiento formando un falso piso.

Panel de aislamiento con bisagras para formar puertas , en cada sección de secado facilitando amplio acceso al interior del secador.

El secador funciona con un flujo de aire circulando con movimiento progresivo desde el extremo de salida del secador , por donde el aire limpio entra , hasta el extremo de entrada por donde sale el aire húmedo . Este movimiento del aire en contracorriente asegura la máxima evaporación del agua con un mínimo consumo de vapor.

El equipo motriz del transportador está completamente cubierto pero es fácilmente accesible para fines de mantenimiento.

#### **2.4. MAQUINARIA PARA EL EMPACADO**

Después del secado el material es trasladado por transporte neumático a unos casilleros , donde es almacenado , estos casilleros están dispuestos en forma de herraje , ubicando al medio a la prensa

El material es prensado en forma de fardos , los cuales son almacenados y ó trasladados para ser usados en los posteriores procesos como son el peinado cardado.

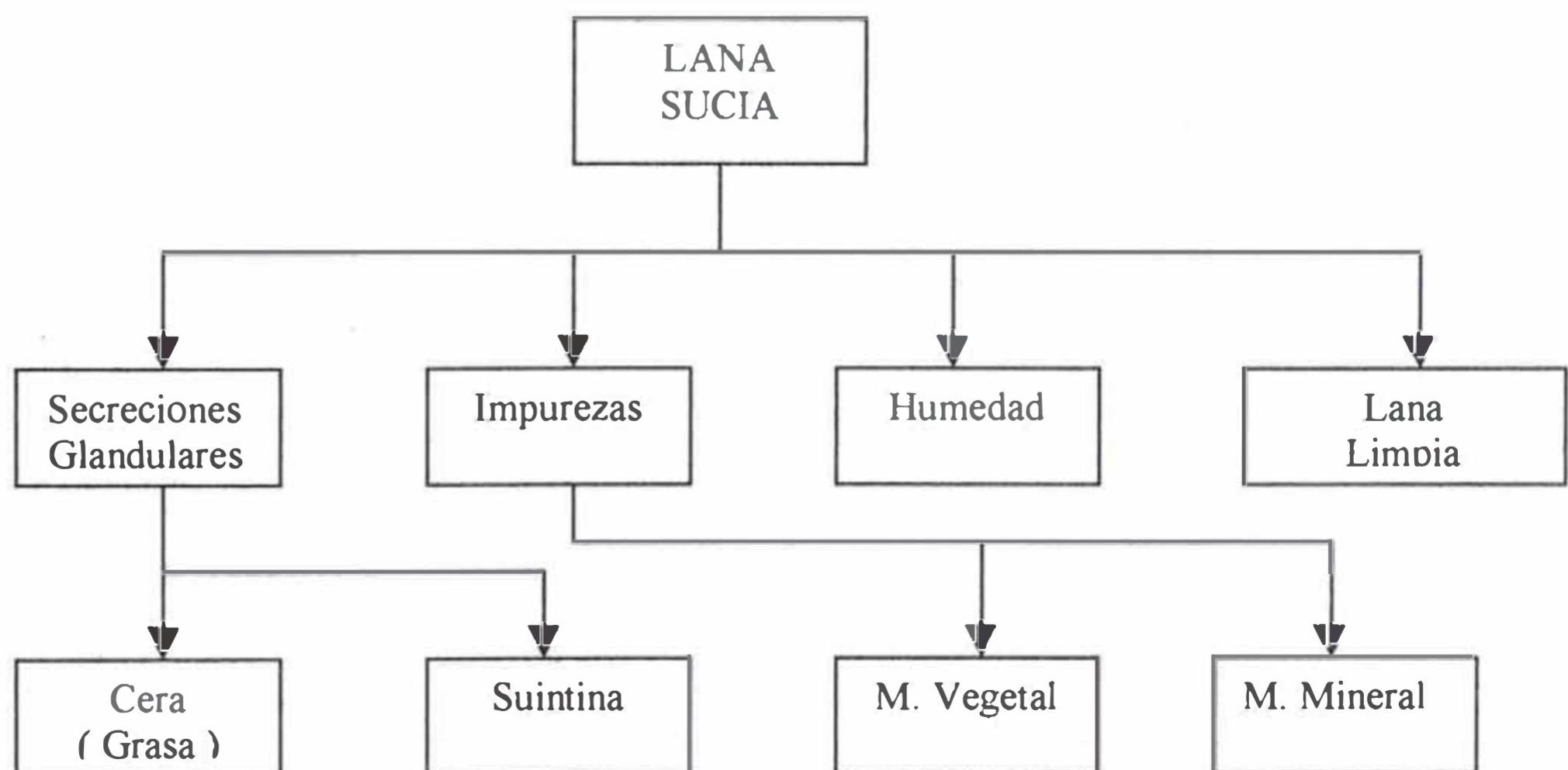
### 3. DESCRIPCION DEL PROCESO DE LAVADO

#### 3.1 DEFINICION DE LAVADO

Es un tratamiento físico – químico mediante el cual se eliminan gran parte de las impurezas que contienen la fibra de lana , con el fin de obtener una materia textil apta para su manufactura.

#### 3.2 IMPUREZAS QUE ACOMPAÑAN A LA LANA

En el diagrama siguiente se indican las impurezas contenidas en la lana antes del lavado.



El porcentaje de éstas impurezas varía de unas lanas a otras , ( según procedencias , razas , etc. ) . En nuestro país la lana hasta es contaminada con otros productos extraños para lograr mayor peso de la misma , el contenido de polvo mineral es alto.

Por término medio puede considerarse :

<b>COMPONENTE</b>	<b>PORCENTAJE</b>
Grasa	10 %
Suintina	10 %
Tierras	15 %
Material Vegetal	Variable
Humedad	65 %
Lana pura	

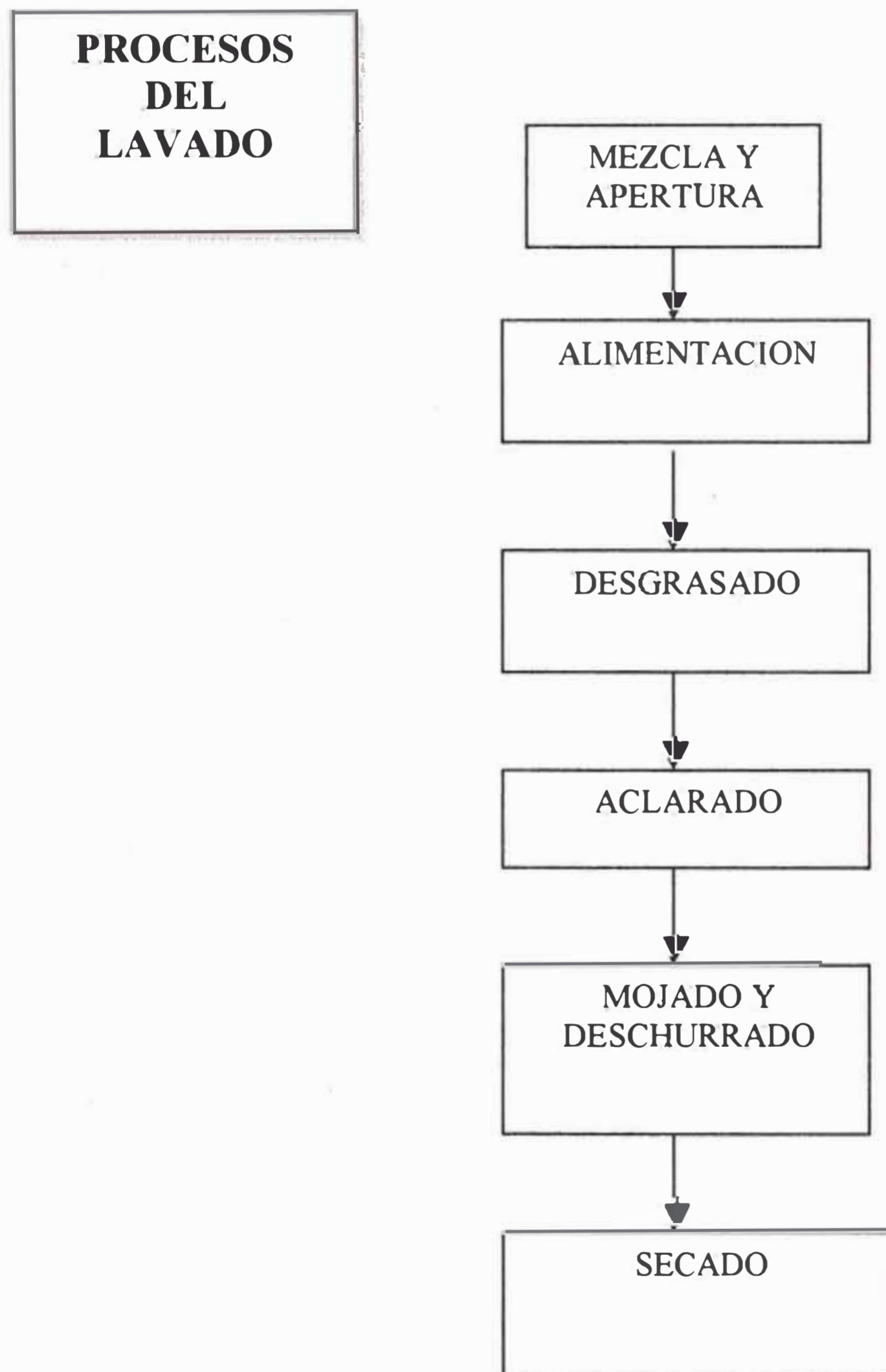
Las glándulas sebáceas del animal segregan la denominada “grasa de lana” , que en realidad , y atendiendo a su composición química , es una cera , ( ésteres de ácidos grasos y alcoholes grasos ) , la cual no es soluble en agua.

Las glándulas sudoríparas segregan la suintina , compuesta esencialmente por sales potásicas de ácidos grasos . La suintina es soluble en el agua.

Al conjunto de grasa y suintina se le acostumbra a denominar churre o suarda , aunque algunas veces con este nombre solo se designa a la suintina.

### 3.3 FASES DEL PROCESO DE LAVADO

El lavado clásico de la lana podemos dividirlo en distintas fases , como se muestra en el siguiente diagrama de flujo :



### **3.4 PROCEDIMIENTOS DE LAVADO**

Los procedimientos empleados en el lavado de la lana vienen influidos por las impurezas y por las características de la fibra , ya que ésta es atacada por los baños alcalinos y alterada por el uso de temperaturas elevadas , debiéndose evitar al mismo tiempo el enfieltado de las fibras , que sería la causa de su rotura posteriormente en la hilatura . Los procesos empleados se fundan en el emulsionamiento y la saponificación de la grasa o en su disolución en disolventes.

#### **a.- Procedimiento de emulsificación**

Emulsiona las grasas por medio de detergentes , empleándose corrientemente jabón y carbonato sódico , detergentes aniónicos y carbonato sódico .

#### **b.- Lavado con suintina**

Es el procedimiento llamado Duhamel . Disuelve la suintina con agua y elimina la grasa con las sales potásicas de la misma , el valor detergente de la suintina , se conoce desde muy antiguo , pero su aprovechamiento racional como tal , es bastante reciente.

#### **c.- Procedimiento por disolución**

Como su nombre lo indica la grasa se elimina con el empleo de disolventes.



En el lavado se utilizan generalmente 4 ó 5 tinas , con el objeto de lograr una desaparición gradual de las impurezas y no perjudicar a la fibra . Todas las tinas de características iguales , mas no en capacidad , reciben en su conjunto el nombre de leviatanes .

A continuación se expone una fórmula de lavado , que es producto de la experiencia :

<b>TINAS DE LAVADO</b>	<b>CONCENTRACION DE JABON</b>	<b>CONCENTRACION DE ALCALI</b>
Primera tina		0.50 %
Segunda tina	0.30 %	0.60 %
Tercera tina	0.50 %	0.6 %
Cuarta tina	0.30 %	0.4 %
Quinta tina	Agua solamente	Agua solamente

El primer baño no contiene jabón porque tiene por finalidad primordial eliminar la suintina . Las temperaturas que se emplean en éstos casos son :

<b>TINAS DE LAVADO</b>	<b>TEMPERATURA DEL AGUA</b>
Primera tina	De 40 a 50 °C
Segunda tina	De 50 a 60 °C
Tercera tina	De 50 a 60 °C
Cuarta tina	De 50 a 60 °C
Quinta tina	De 40 a 50 °C

En las tinajas , hay un doble fondo en forma de emparrillado ( a 60 – 80 cm. del verdadero fondo ) , en cuya parte superior se encuentra la lana que se trabaja y en la inferior las impurezas , que pueden fácilmente sedimentarse en el fondo . La longitud de las barcas disminuyen generalmente de la primera a la última.

La cantidad de agua empleada se acerca normalmente a los 40 – 60 litros por cada Kg. de producto tratado , el flujo de agua de reposición teórico deben ser de 15 litros por cada Kg. de lana sucia , este flujo ingresa por la quinta tina y luego de circular por rebose de ésta hasta la primera es eliminado como agua lodosa al desagüe. El calentamiento del agua es por medio de vapor en forma directa.

No es conveniente entretener mucho la lana en el leviatan . Como máximo ha de tardar unos 12 minutos en atravesar las cinco tinajas.

### **3.5 PROCEDIMIENTO DE SECADO**

El secado del pelo de alpaca y la lana de oveja se realiza en una secadora de cinta , como se indicó anteriormente , el proceso se realiza con aire caliente cuya temperatura máxima es de 95 °C.

Las condiciones del secado se realizan , con una humedad inicial promedio de 40 % y se logra una humedad final del 15 % . Es decir que por cada 100 gr. de material húmedo este debe contener 40 gr. de agua y 60 gr. de material.

Según especificaciones del fabricante de secadores de éste tipo , el consumo de vapor debe ser de 1,6 Kgs. de vapor por cada Kg. de agua evaporada.

## **4. EVALUACION ENERGETICA**

### **BALANCE DE ENERGIA EN LA LINEA DE LAVADO NRO. 3**

#### **4.1. DATOS OBTENIDOS PARA PODER REALIZAR LOS CALCULOS .**

##### **4.1.1 TEMPERATURAS DE TRABAJO DE LAS TINAS**

TINA 1 = 50 °C

TINA 2 = 60 °C

TINA 3 = 60 °C

TINA 4 = 55 °C

TINA 5 = 45°C

##### **4.1.2. VOLUMEN DE AGUA ADMITIDO POR LAS TINAS.**

TINA 1 = 3800 Lts. ( 3.80m<sup>3</sup> )

TINA 2 = 4660 Lts. ( 4.66m<sup>3</sup> )

TINA 3 = 3150 Lts. ( 3.15m<sup>3</sup> )

TINA 4 = 2360 Lts. ( 2.36m<sup>3</sup> )

TINA 5 = 2360 Lts. ( 2.36m<sup>3</sup> )

#### 4.1.3. HUMEDADES PROMEDIO DEL PELO DE ALPACA A LO LARGO DE LA LINEA DE LAVADO.

$H_0$  = Humedad de la fibra de alpaca sucia = 11.07 %

$H_1$  = Humedad después del primer rodillo = 40.25 %

$H_2$  = Humedad después del segundo rodillo = 38.83 %

$H_3$  = Humedad después del tercer rodillo = 43.47 %

$H_4$  = Humedad después del cuarto rodillo = 38.57 %

$H_5$  = Humedad a la entrada de la secadora = 39.23 %

$H_6$  = Humedad a la salida de la secadora = 15.34%

#### 4.1.4 TEMPERATURAS PROMEDIO DEL AIRE A LA ENTRADA Y SALIDA DE LA SECADORA

- Entrada del aire: T. de bulbo seco = 23.0° C

T. de bulbo húmedo = 14.5° C

- Salida del aire: T. de bulbo seco = 75.15° C

T. de bulbo húmedo = 34.42° C

#### 4.1.5 AREAS DE LAS SUPERFICIES VERTICALES DE LAS TINAS DE LAVADO

NUMERO DE TINA	AREA DE LA SUPERFICIE ( m <sup>2</sup> )	ALTURA DE LA PLACA ( m )
1	6.24	0.62
2	7.63	0.62
3	5.92	0.62
4	2.50	0.46
5	2.50	0.46

#### 4.1.6 AREAS DE LAS SUPERFICIES HORIZONTALES DE LAS TINAS DE LAVADO

NUMERO DE TINA	AREA DE LA SUPERFICIE ( m <sup>2</sup> )	LONGITUD EQUIVALENTE DE LA PLACA ( m )
1	1.40	1.1832
2	1.28	1.1314
3	4.61	2.1471
4	0.174	0.4171
5	0.174	0.4171

#### 4.1.7. AREAS DE LAS SUPERFICIES INCLINADAS DE LAS TINAS DE LAVADO

NUMERO DE TINA	AREA DE LA SUPERFICIE ( m <sup>2</sup> )	COSENO DEL ANGULO DE INCLINACION ( cos $\alpha$ )	LONGITUD EQUIVALENTE DE LA PLACA ( m )
1	0.76	0.3614	0.62
	0.76	0.2024	0.31
	0.76	0.3517	0.62
2	0.76	0.2407	0.62
	0.38	0.2010	0.31
	0.38	0.1402	0.31
	0.76	0.2772	0.62
3	0.76	0.6271	0.62
4	0.55	0.7226	0.46
	1.64	0.8155	0.56
	0.55	0.6280	0.46
	1.60	0.7727	0.56
5	0.55	0.7226	0.46
	1.64	0.8155	0.56
	0.55	0.6280	0.46
	1.60	0.7727	0.56

#### 4.1.8. AREAS DE LAS SUPERFICIES LIBRES DEL AGUA EN LAS TINAS DE LAVADO

NUMERO DE TINA	AREA DE LA SUPERFICIE ( m <sup>2</sup> )	LONGITUD EQUIVALENTE DE LA PLACA ( m )
1	9.08	3.005
2	11.47	3.39
3	5.55	2.361
4	3.86	1.97
5	3.86	1.97

#### 4.1.9 CARACTERISTICAS DE CONSTRUCCION DE LAS TINAS DE LAVADO

- Material : Fe. Fundido
- Espesor de las planchas = 12.7 mm
- Coeficiente de conductividad = 53.6 W/m.°K

## 4.2 CALCULOS PARA EL BALANCE DE ENERGIA

### 4.2.1. REQUERIMIENTO DE CALOR PARA PONER EN OPERACIÓN LA LINEA DE LAVADO

Tenemos que la cantidad de Kilogramos de agua a calentar en cada tina, serían:

$$\text{Tina 1} = 3800 \text{ lts.} \times 1 \text{ kg/lit} = 3800 \text{ Kg de agua}$$

$$\text{Tina 2} = 4660 \text{ lts.} \times 1 \text{ kg/lit} = 4660 \text{ Kg de agua}$$

$$\text{Tina 3} = 3150 \text{ lts.} \times 1 \text{ kg/lit} = 3150 \text{ Kg de agua}$$

$$\text{Tina 4} = 2360 \text{ lts.} \times 1 \text{ kg/lit} = 2360 \text{ Kg de agua}$$

$$\text{Tina 5} = 2360 \text{ lts.} \times 1 \text{ kg/lit} = 2360 \text{ Kg de agua}$$

Entonces los requerimientos de calor para cada tina serían :

$$q'_1 = 3800 \text{ Kg} \times 4.176 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (50-10)^\circ\text{C} = 634\,752 \text{ KJ}$$

$$q'_2 = 4660 \text{ Kg} \times 4.176 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (60-10)^\circ\text{C} = 972\,775 \text{ KJ}$$

$$q'_3 = 3150 \text{ Kg} \times 4.176 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (60-10)^\circ\text{C} = 657\,562.5 \text{ KJ}$$

$$q'_4 = 2360 \text{ Kg} \times 4.176 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (55-10)^\circ\text{C} = 443\,491.2 \text{ KJ}$$

$$q'_5 = 2360 \text{ Kg} \times 4.176 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} (45-10)^\circ\text{C} = 345\,020.2 \text{ KJ}$$



El calor empleado para una semana de trabajo, vendría dado por:

$$q_1 = q'_1 + q'_2 + q'_3 + q'_4 + q'_5 = 3'053600.9 \text{ KJ}$$

Tomando 6 días trabajados durante la semana, podríamos repartir el calor diariamente.

$$Q_{1d} = \frac{3'053600.9}{6} = 508933.5 \text{ KJ/día}$$

#### 4.2.2 REQUERIMIENTO DE CALOR PARA CALENTAR EL AGUA DE REPOSICION

Tendríamos que:

$$Q_2 = m_r \text{ Ce } (T_1 - T_2)$$

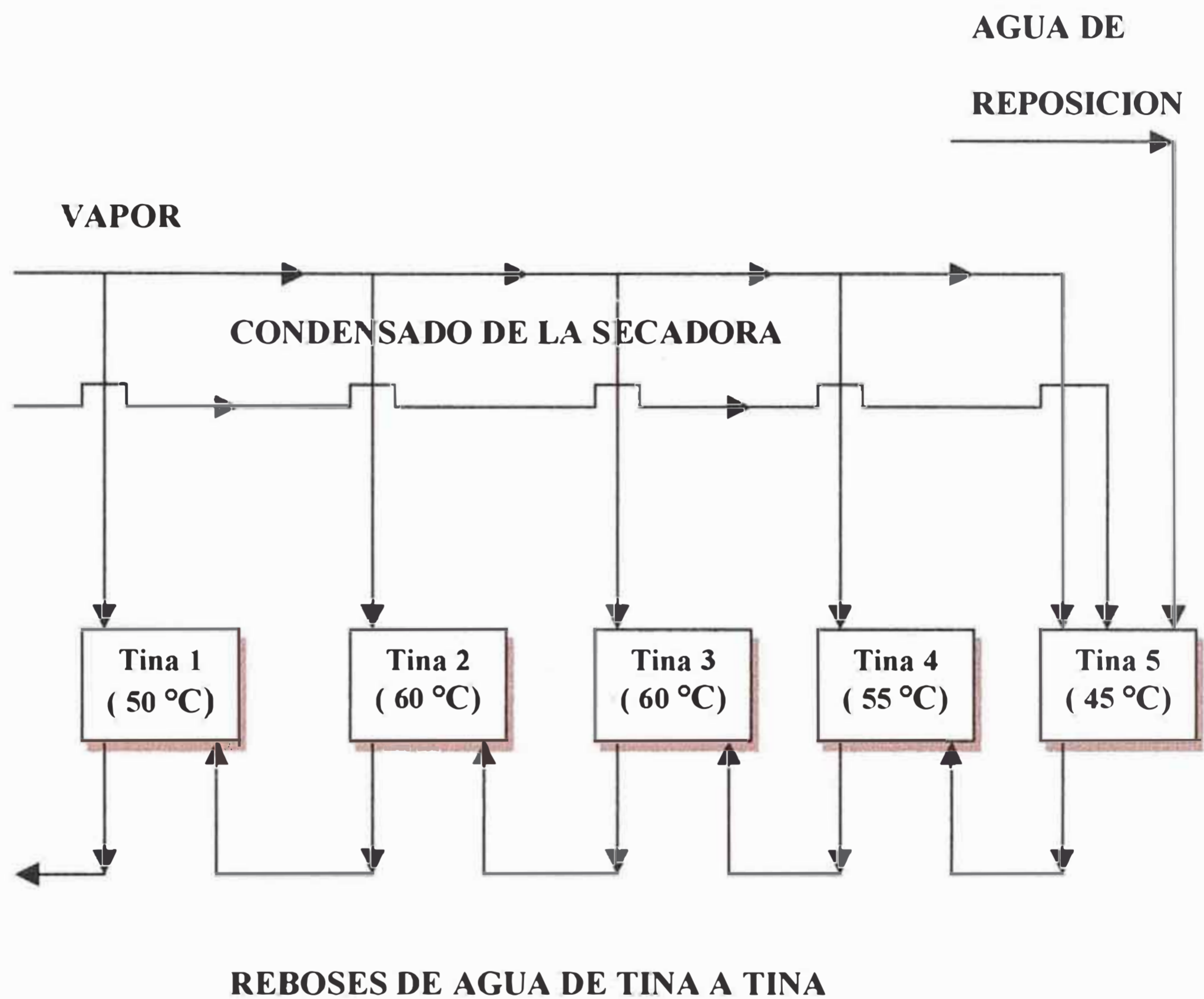
$T_1$  = Temperatura de salida del agua de leviathan (°C)

$T_2$  = Temperatura de salida del agua del tanque elevado (°C)

$m_r$  = Flujo de masa de agua de reposición al leviathan (kg./ hr)

- Capacidad promedio diario de lavado = 5360 kgs de lana sucia.
- Agua de Reposición por Kg. de lana = ( 8-9 ) Lts./ kgs de lana sucia
- Temperatura del agua en el tanque = 10 °C

## ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE FLUIDOS EN LA LINEA DE LAVADO



Los requerimientos de calor estarían dados por :

$$q_2 = \frac{5360 \text{ Kg} (9 \text{ Lts} / \text{Kg})}{24 \text{ Hrs}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{\text{Lt}} \times 4.186 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ \text{K}} (50 - 10)^\circ \text{K}$$

$$q_2 = 336554.40 \text{ KJ} / \text{hr}$$

### 4.2.3. REQUERIMIENTO DE CALOR PARA CALENTAR LA MATERIA PRIMA

Este requerimiento se evalúa por la siguiente expresión :

$$q_3 = m_L \times C_{PL} \times \Delta T = m_L \times C_{PL} \times (T_{LS} - T_{LE})$$

donde:

$$m_L = \text{Flujo de materia prima} = 5360 \text{ Kg / día}$$

$$C_{PL} = \text{Calor específico de la lana} = 1.63 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K}$$

$$T_{LS} = \text{Temperatura promedio de la lana a la salida} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{LE} = \text{Temperatura promedio de la lana a la entrada} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Reemplazando en la fórmula tendríamos :

$$q_3 = \frac{5360 \text{ kg / día} \times 1.63 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K}}{24 \text{ hr}} (45 - 15) \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$q_3 = 10921 \text{ KJ / hr}$$

#### 4.2.4. CALOR PERDIDO POR LAS PAREDES DE LAS TINAS

##### 4.2.4.1. POR LAS SUPERFICIES VERTICALES

Se ha empleado las siguientes fórmulas par calcular el número de Nusselt:

Para régimen turbulento :  $\mathbf{Gr Pr. > 10^9}$

$$\mathbf{Nu} = \frac{hcL}{K_f} = \mathbf{0.13} [ (L^3 \rho_f^2 g \beta_f \Delta T) / \mu_f^2 ]^{1/3} [ (C_p \mu) / K ]_f^{1/3}$$

$$\mathbf{Gr} = [ (L^3 \rho_f^2 g \beta_f \Delta T) / \mu_f^2 ]$$

$$\mathbf{Pr} = (C_p \mu / K)_f$$

Para régimen laminar :  $(10^4 < \mathbf{GrPr} < 10^9)$

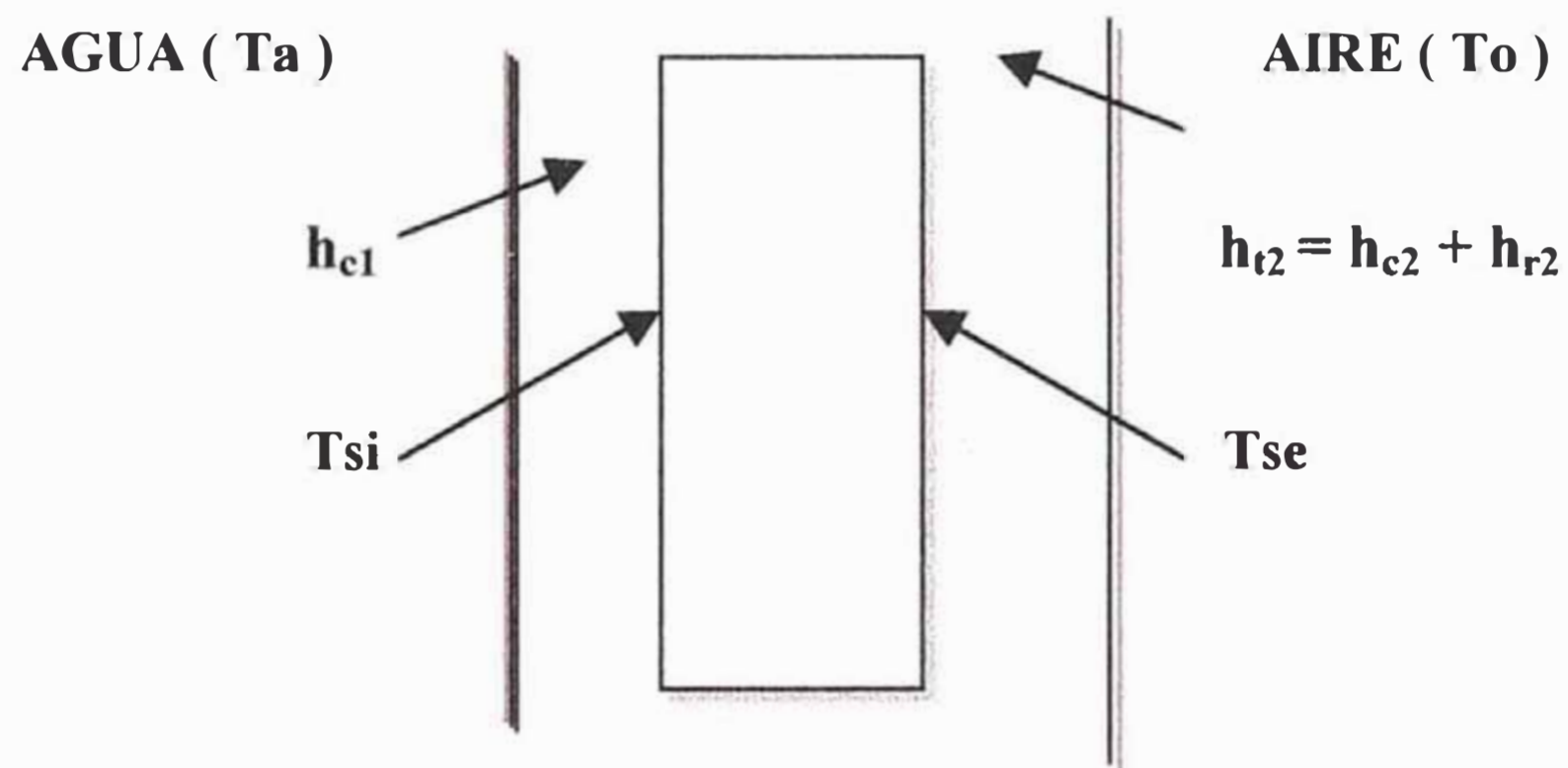
$$\mathbf{Nu} = \frac{hcL}{K_f} = \mathbf{0.59} [ (L^3 \rho_f^2 g \beta_f \Delta T) / \mu_f^2 ]^{0.25} [ (C_p \mu) / K ]_f^{0.25}$$

$L$  = Altura de la placa

$\Delta T$  =  $T_{se} - T_{aire}$  ( para el caso del aire )

$\Delta T$  =  $T_{agua} - T_{si}$  ( para el caso del agua )

La energía calorífica perdida se ha calculado por un programa en lenguaje BASIC, siguiendo el siguiente procedimiento :



$$q = U A_v (T_a - T_o)$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{t2} A_v} + \frac{L_i}{K_i A_v} + \frac{1}{h_{c1} A_v}}$$

$h_c$  = Coeficiente por convección

$h_r$  = Coeficiente por radiación

Para efectos de cálculo , se considera que las temperaturas de superficie son iguales ya que la placa no está aislada , para este caso se emplea un método de error y tanteo para la determinación de las temperaturas superficiales.

El Programa confeccionado contiene, subprogramas que evalúan las propiedades físicas del aire y agua a la temperatura deseada , los resultados de esta evaluación para las cinco tinas se muestran posteriormente.

#### 4.2.4.2 POR LAS SUPERFICIES INCLINADAS

Para evaluar las pérdidas de calor se puede emplear las ecuaciones de las superficies verticales , con la condición de usar la siguiente expresión para evaluar el número de Nusselt :

$$\mathbf{Gr' Pr' = GrPr \cos \alpha}$$

$\alpha$  = Angulo que forma superficie inclinada con la vertical

#### 4.2.4.3 POR LAS SUPERFICIES HORIZONTALES

Para calcular los números de Nusselt se usó las siguientes expresiones:

- **Para superficies calientes con la cara para arriba o superficies frías con la cara para abajo.**

$$\mathbf{GrPr > 2 \times 10^7}$$

$$\mathbf{Nu = \frac{h_c L}{K_f} = 0.14 [ (L^3 \rho_f^2 g \beta_f \Delta T) / \mu_f^2 ]^{1/3} [ (C_p \mu / K)_f ]^{1/3}}$$

$$10^5 < \text{GrPr} < 2 \times 10^7$$

$$\text{Nu} = \frac{hcL}{K_f} = 0.54 \left[ \frac{(L^3 \rho_f^2 g \beta_f \Delta T)}{\mu_f^2} \right]^{0.25} \left[ \frac{(C_p \mu)}{K} \right]_f^{0.25}$$

- Para superficies calientes con la cara hacia abajo o superficies frías con la cara hacia arriba.

$$3 \times 10^5 < \text{GrPr} < 3 \times 10^{10}$$

$$\text{Nu} = \frac{hcL}{K_f} = 0.27 \left[ \frac{(L^3 \rho_f^2 g \beta_f \Delta T)}{\mu_f^2} \right]^{0.25} \left[ \frac{(C_p \mu)}{K} \right]_f^{0.25}$$

El método de cálculo es similar al que se usó para evaluar las pérdidas por las superficies verticales.

#### 4.2.4.4 PERDIDAS TOTALES POR LAS PAREDES DE LAS TINAS

##### SUPERFICIES VERTICALES

TINAS	1	2	3	4	5
CALOR ( W )	1961.76	3263.28	2531.93	956.06	675.13

**SUPERFICIE INCLINADAS**

<b>TINAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>CALOR ( W )</b>	213.75	279.28	308.35	202.37	142.93
	213.40	145.01		599.21	423.28
	213.15	139.84		199.12	140.64
		283.18		580.99	410.42
<b>TOTAL ( W )</b>	<b>640.30</b>	<b>847.31</b>	<b>308.35</b>	<b>1,581.69</b>	<b>1,117.27</b>

**SUPERFICIES HORIZONTALES**

<b>TINAS</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
<b>CALOR ( W )</b>	483.19	606.67	1,644.09	73.19	51.18

Las pérdidas totales por las paredes de las tinas serían:

$$\text{Tina 1} = 1961.76 + 640.30 + 483.19 = 3,085.25 \text{ W}$$

$$\text{Tina 2} = 3263.28 + 847.29 - 606.67 = 4,717.24 \text{ W}$$

$$\text{Tina 3} = 2531.93 + 308.35 + 1644.09 = 4,484.37 \text{ W}$$

$$\text{Tina 4} = 956.06 + 1581.69 + 73.19 = 2,610.94 \text{ W}$$

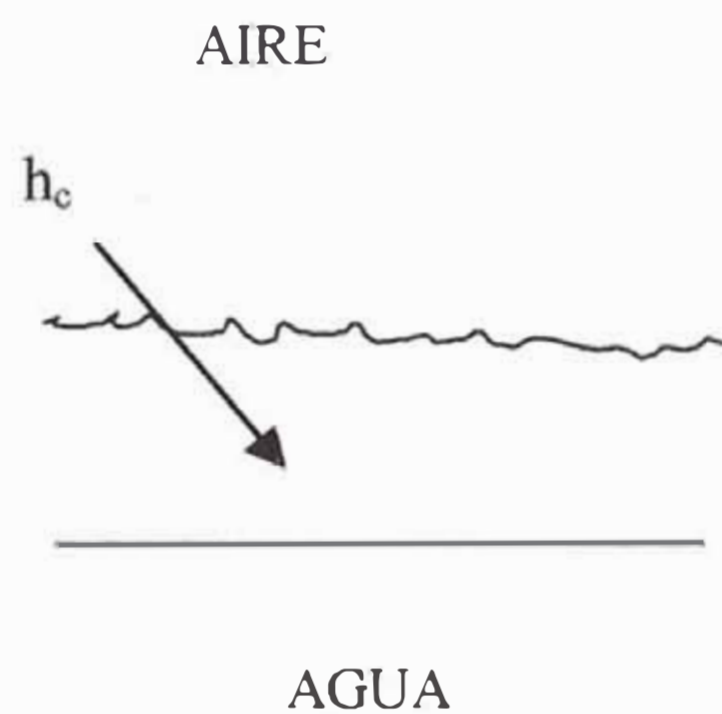
$$\text{Tina 5} = 675.13 + 1,127.27 + 51.18 = 1,853.58 \text{ W}$$



#### 4.2.5. CALOR PERDIDO POR LAS SUPERFICIES LIBRES DEL AGUA EN LAS TINAS

En este caso existe una transmisión simultánea de calor y masa desde la superficie libre del agua al aire.

La ecuación que nos permite calcular la pérdida de calor es la siguiente :



La ecuación que nos permite calcular la pérdida de calor es la siguiente:

$$q_s = \frac{h_c}{C_a + WC_v} (h_s - h) A$$

donde:

$h_c$  = Coeficiente de convección natural desde una superficie horizontal al aire, para el caso de superficie caliente hacia arriba.

$h_s$  = Entalpia del aire saturado KJ / kg. aire seco , a temperatura de la superficie del agua.

$h$  = Entalpia del aire no saturado en KJ / kg. aire seco.

$w$  = Humedad absoluta del aire no saturado en , kg. de  $H_2O$  / kg. Aire seco.

La entalpia del aire húmedo se calcula por:

$$h = (C_a + C_v W) t + r_o W$$

$C_a = 1.01 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K}$ , calor específico medio del aire seco (a presión constante).

$C_v = 1.97 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K}$ , calor específico medio del vapor de agua.

$t$  = Temperatura del aire (Termómetro seco), en  $^\circ\text{C}$ .

$r_o = 2493 \text{ KJ / Kg}$ , calor específico de vaporización del agua a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$$h = (1.01 + 1.97 w) t + 2493 w$$

Los cálculos a efectuar para la tina 1 serían:

Condiciones del aire :  $t = 23$

$$\phi = 38.35 \%$$

$$p_{vs}(23^\circ\text{C}) = 21,068 \text{ mmHg}$$

Condición de la tina :  $t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

$$p_{vs}(50^\circ\text{C}) = 92.51 \text{ mmHg}$$

- Cálculo de la humedad específica ; la presión atmosférica en Arequipa es de 580 mmHg,

con lo cual obtenemos:

$$w = 0.622 \left( \frac{p_v}{p - p_v} \right) = 0.622 \left( \frac{\phi p_{vs}}{p - \phi p_{vs}} \right)$$

$$w = 0.622 \left( \frac{0.3835 \times 21.068}{580 - 0.3865 \times 21.068} \right) = 0.00879 \text{ Kg. de agua / Kg. de aire seco.}$$

$$W_s = 0.622 \left( \frac{92.51}{580 - 92.51} \right) = 0.11804 \text{ Kg. de agua / Kg. de aire seco.}$$

- Cálculo de las entalpias de aire no saturado y saturado.

$$h = (1.01 + 1.97 w) t + 2493 w$$

$$h = (1.01 + 1.97 \times 0.00879) 23 + 2493 \times 0.00879 = 45.54 \text{ KJ / Kg.}$$

$$h_s = (1.01 + 1.97 W_s) T + 2493 W_s$$

$$h_s = (1.01 + 1.97 \times 0.11804) 50 + 2493 \times 0.11804 = 356.40 \text{ Kg.}$$

El coeficiente de convección del aire, calculado por programa, es igual a:

$$h_c = 5.3926 \text{ W / m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

El flujo de calor por unidad de área sería :

$$q'_{s1} = \frac{5.3926}{(1.01 + 1.97 \times 0.00879)} (356.4 - 45.54) = 1631.77 \text{ W / m}^2$$

El área total es de 9.03 m<sup>2</sup>

$$q_{s1} = 1631.77 \times 9.03 = 14734.9 \text{ W}$$

Los resultados de las pérdidas por la superficie libre del agua para las cinco tinajas se muestran en la siguiente tabla:

#### PERDIDAS POR LA SUPERFICIE LIBRE DEL AGUA

TINA	1	2	3	4	5
.hc (W/m <sup>2</sup> °K)	5.3926	5.7905	5.7905	5.6029	5.1542
.w (Kg agua / kg aire)	0.00879	0.00879	0.00879	0.00879	0.00879
.ws (kg agua / kg aire)	0.11804	0.21577	0.21577	0.15893	0.08799
.h (KJ / Kg. )	45.54	45.54	45.54	45.54	45.54
.hs (KJ / Kg.)	356.40	624.02	624.02	468.98	272.61
.q's (W / m <sup>2</sup> )	1631.7	3260.6	3260.6	2309.4	1139.2
Area ( m <sup>2</sup> )	9.03	11.47	5.55	3.86	3.86
.qs (w)	14734.9	37399.3	18096.4	8914.3	4397.5

### 4.3 DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA EN LA LÍNEA DE LAVADO N°3

El calor total proporcionado por el vapor diariamente, se reparte de la siguiente manera, en el leviathan:

• Por las paredes de las tinas	: 1'447 319.23	KJ / día
• Por la superficie libre del agua	: 7'218 063.36	KJ / día
• Para calentar la lana	: 262 104	KJ / día
• Para calentar el agua de reposición	: 8'077 305.60	KJ / día
• Para poner en operación la zona de lavado	: 508 933.5	KJ / día
• Otras pérdidas (5% del total anterior)	: 875 686.69	KJ / día
• TOTAL	: 18'389 412.38	KJ / día

### 4.4 BALANCE DE ENERGIA PARA LA SECADORA N°3

#### 4.4.1 METODO DE CALCULO EMPLEADO

Para determinar la cantidad de materia de los diferentes flujos de la secadora de tipo continuo, se ha adoptado el siguiente diagrama de bloques.

### DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA SECADORA



En donde se tiene que:

$A$  = Cantidad de aire seco

$b$  = Contenido de agua en el aire

$s$  = Peso de la materia a secar (base seca)

$a_1$  = Humedad inicial de la materia a secar

$a_2$  = Humedad final de la materia a secar.

$m$  = Cantidad de materia húmeda a secar

Cálculo de la cantidad de aire seco

$$A = \frac{a_2 - a_1}{H_i - H_s}$$

Cálculo de la humedad específica al ingreso y salida del secador.

Para el cálculo de las humedades se recurrió a los valores tomados de temperatura de bulbo seco y húmedo tanto a la entrada como a la salida del aire en el secador.

$$H = 0.622 \frac{p}{B - p}$$

Donde las características son :

P = Presión parcial del vapor de agua

B = Presión barométrica del lugar

La presión parcial del vapor se calcula por la siguiente fórmula de correlación del investigador Carrier.

$$P = P_w \frac{(B - p_w)(T_d - T_w)}{(1532.44 - 1.3T_w)} \quad (\text{pulg. Hg})$$

P<sub>w</sub> = Presión del vapor de agua

B = Presión barométrica del lugar (pulg Hg)

T<sub>d</sub> = Temperatura de termómetro seco (°C)

T<sub>w</sub> = Temperatura de termómetro húmedo (°C)

La presión del vapor de agua se halló por la siguiente fórmula de correlación (Harlacher)

$$\ln P_w = 55,3360 - \frac{6869.5}{T} - 5.115 \ln T + 1.05 \frac{p_w}{T^2}$$

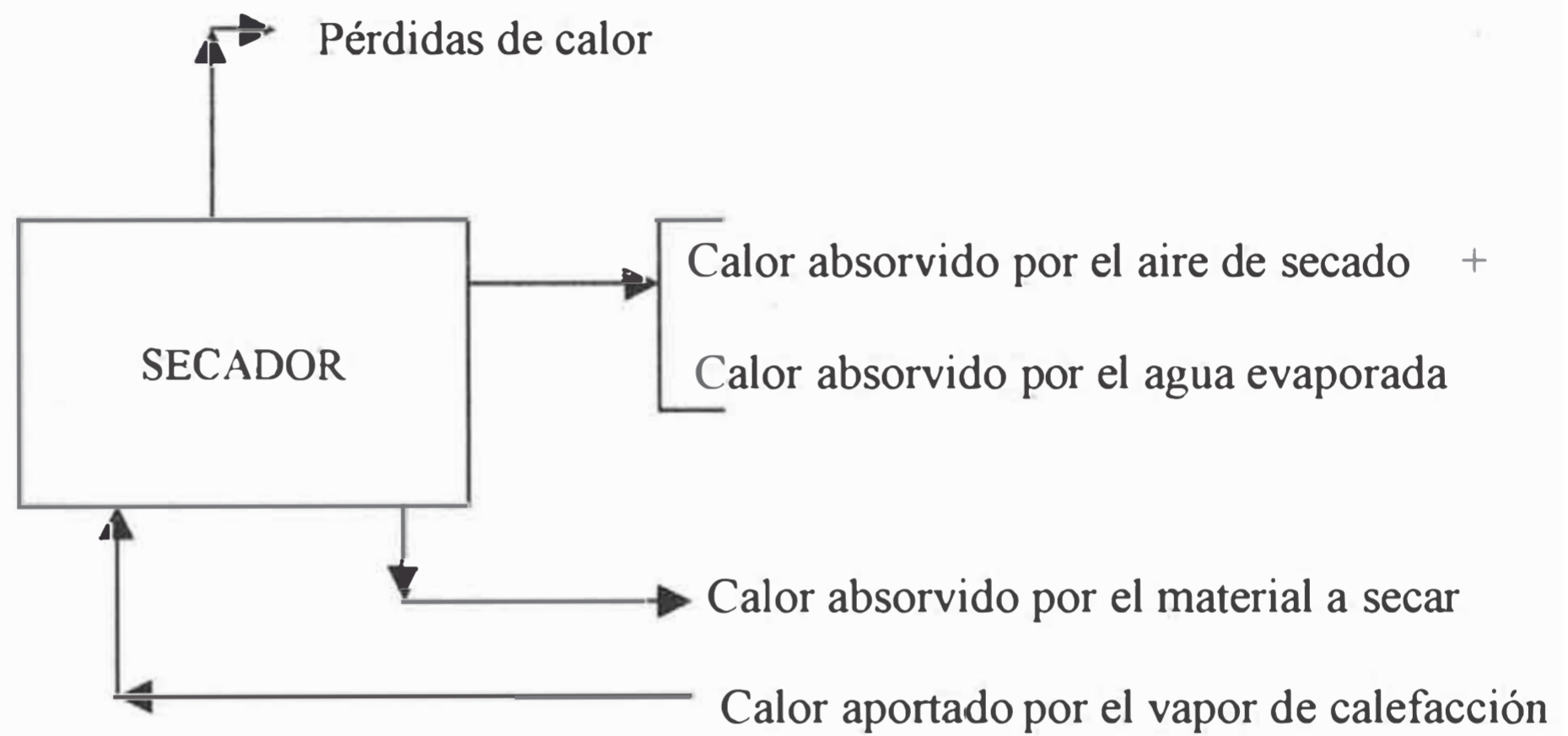
T = Temperatura absoluta en °R

P<sub>w</sub> = Presión del vapor de agua en mm Hg

Cálculo de la humedad relativa : (  $\phi$  )

$$\phi = \frac{p}{p_w} \times 100 \%$$

El balance de energía se basó en el siguiente diagrama de bloques



Calor absorbido por el aire de secado

$$Q_1 = A n \int_{t_i}^{t_s} C_p dt$$

El calor específico del aire seco se calcula por la siguiente fórmula

$$C_p = 6.765 + 1.016 \times 10^{-3} T - \frac{8400}{T^2}$$



Quedaría entonces :

$$Q_1 = \left( \frac{A}{28.97} \right) \left( 6.765 + \frac{0.001016(T_s - T_i)}{2} - \frac{8400}{T_s T_i} \right) (T_s - T_i)$$

Calor absorbido por la humedad del aire de secado

$$Q_2 = \left( \frac{b}{18.01} \right) \left( 7.17 + \frac{0.00256(T_s + T_i)}{2} + \frac{8000}{T_s T_i} \right) (T_s - T_i)$$

Calor absorbido por el agua evaporada

$$Q_3 = \left( \frac{a_1 - a_2}{18.01} \right) \left\{ 10507.7 + \left[ \frac{2.56 \times 10^{-3}(T_s + 298)}{2} + \frac{8000}{298 T_s} \right] (T_s - 298) \right\}$$

Calor absorbido por la humedad remanente del material

$$Q_4 = a_2 C_p (T_s - 298) - A_1 C_p (T_i - 298)$$

Calor absorbido por el material seco.

$$Q_5 = S \times C_{pl} (T_s - T_i)$$

$$C_{pl} = 1.63 \text{ KJ / Kg } ^\circ\text{K}$$

Calor absorbido por los dispositivos de transporte

$$Q_6 = M_{tr} C_{ptr} (T_i - T_s)$$

$M_{tr}$  = Masa de los dispositivos de transporte

$C_{ptr}$  = Calor específico de los dispositivos de transporte

$T_i$  = Temperatura de los dispositivos de transporte en el interior de la secadora

$T_s$  = Temperatura de los dispositivos de transporte en el exterior de la secadora

Calculo de las pérdidas de calor por convección natural y por radiación

Coefficiente por convección natural :

$$h_c = (0.013 \times PAH + 0.0113 \times PAV) (TP - TI)^{1/3} \quad (\text{Kcal / hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Coefficiente de radiación:

$$h_r = \frac{4.925 \times E \left[ \left( \frac{TP + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{TI - 273}{4} \right)^4 \right]}{TP - TI} \quad (\text{Kcal / hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Las pérdidas de calor estarían dadas por :

$$Q_7 = A_t (h_c + h_r) (TP - TI)$$

donde:

- At = Area total en m<sup>2</sup>
- PAH – % de área horizontal expuesta al ambiente
- PAV – % de área vertical expuesta al ambiente
- TP Temperatura de la pared que pierde calor (°C)
- TI – Temperatura del ambiente del aire (°C)
- E – Emisividad de la superficie que emite calor.

El calor total empleado sería:

$$QT = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7$$

El balance de la secadora ha sido evaluado por computadora y los resultados se muestran en el **anexo 1**.

#### **4.4.2 REQUERIMIENTO DE CALOR EN LA SECADORA N° 3**

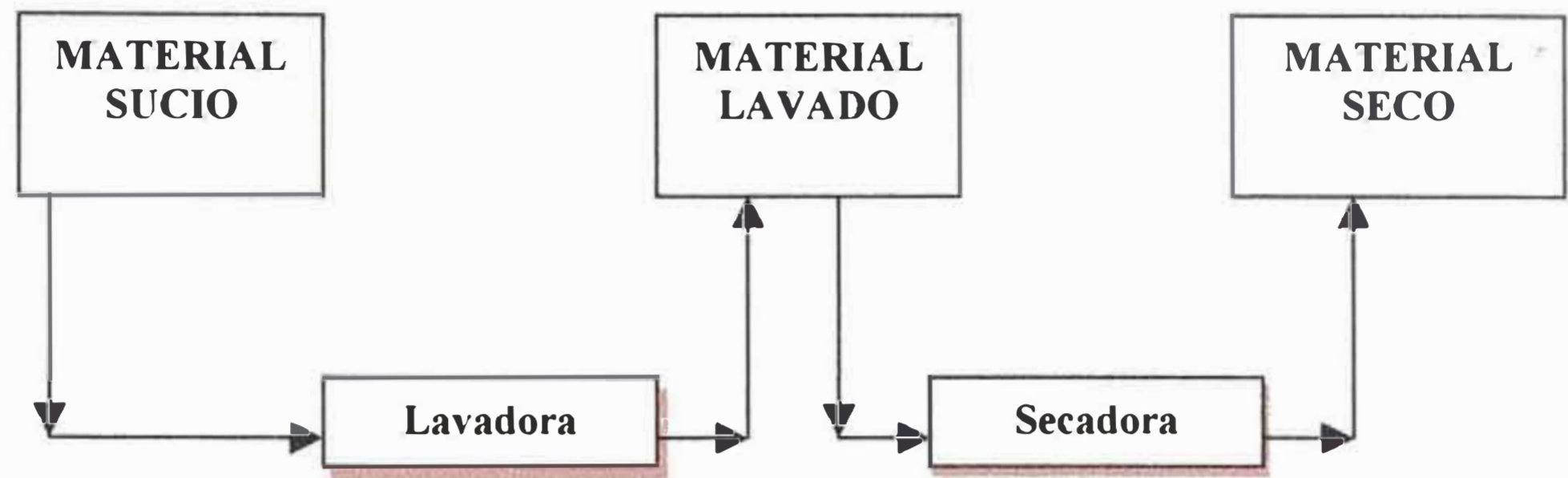
El balance realizado fue hecho para temperaturas promedio tomadas durante el transcurso del día por lo que consideramos un 15% más para el consumo de noche

El flujo de materia a secar fue hallado en base al flujo promedio diario de la lavadora N° 3 y del rendimiento en peso de lana sucia a lana lavada, que se ha considerado de 87% , este rendimiento es para el pelo de alpaca , en la siguiente tabla se muestra la producción de anual de lavado.

**PRODUCCION ANUAL DE LAVADO**

<b>Mes</b>	<b>Lavadora N°1 (Kg/día)</b>	<b>Lavadora N° 2 (Kg/día)</b>	<b>Lavadora N°3 (Kg/día)</b>	<b>Total (Kg/día)</b>	<b>Cantidad de días trabajados</b>
1	2921	4415	5102	12438	25.0
2	3101	4687	5506	13294	24.0
3	2850	4462	4795	12107	26.3
4	2745	4126	5226	12097	25.0
5	2680	3886	4838	11404	26.0
6	2731	4094	5415	12240	23.67
7	3068	4087	5863	13017	24
8	2811	3754	5632	12197	24.5
9	2741	3775	5676	12192	26.0
10	2870	3644	5649	12163	24.5
11	2750	3927	5370	12048	25.0
12	2537	3878	5259	11673	25.5
Promedio	2817	4061	5360	12239	299.47(*)

(\*) Este valor representa el número de días trabajados durante el año



El rendimiento de toda la operación viene dado por :

$$\text{RENDIMIENTO} = \frac{\text{MATERIAL SECO}}{\text{MATERIAL SUCIO}} = 87 \%$$

En el consumo de energía calculado para el secado se ha considerado un incremento de éste durante la noche, basándonos en que el consumo de combustible se incrementa durante esas horas. En base a reportes del calderero es que se pudo obtener la siguientes relaciones:

- Consumo durante el día : 40 % del total
- Consumo durante la noche : 60 % del total

Se puede deducir claramente que el consumo de la noche es 50% más que el consumo del día, condición que aplicaremos para hallar el consumo total de energía por parte de las secadoras, ya que el cálculo del balance en éstas se ha hecho en base a datos promedio, obtenidos durante el transcurso del día.

Quedaría entonces que el balance de la secadora N° 3 estaría dado por :

- Consumo del día	: 89824.41 Kcal/hr x 12hr	= 1'077892.92
- Consumo de la Noche	: 89824.41 Kcal/hr x 1.5x 12	= 1'616839.38
<b>TOTAL DIARIO</b>		<b>= 2'694732.3 Kcal/día</b>

El balance total en la línea N° 3 sería

- Lavadora	: 18'389412.38 KJ / día (4'393075.1 Kcal/día)
- Secadora	: 11'280149.41 KJ / día (2'694732.3 Kcal/día)
<b>TOTAL</b>	<b>: 29'669561.79 KJ / día (7'087 807.4 Kcal/día)</b>

En porcentaje tendríamos que en el lavado, la energía se distribuye de la siguiente manera para ésta línea:

- Por las paredes de las tinas	: 7.9 %
- Por la superficie libre del agua	: 39.2 %
- Para calentar la lana	: 1.4 %
- Para calentar el agua de reposición	: 43.9 %
- Para poner en operación la zona de lavado	: 2.8 %
- Otras pérdidas	: 4.8 %

La energía total usada por la línea de lavado N° 3 se distribuye de la siguiente forma:

- Lavadora	: 62 %
- Secadora	: 38 %

Estas distribuciones se pueden apreciar claramente en el diagrama de barras que se muestra a continuación.

Los resultados evaluados por computadora usados para la confección de este balance se muestran en el **anexo N° 3**, incluye pérdidas por las paredes de las tinas, tanto verticales, inclinadas y horizontales, coeficientes de convección usados para evaluar las pérdidas por la superficie libre del agua y los balances de las 3 secadoras del área de lavado.

El Anexo 1 contiene el balance general de toda el área de lavado, en el se puede apreciar los resultados de los balances de las líneas N° 1 y 2.

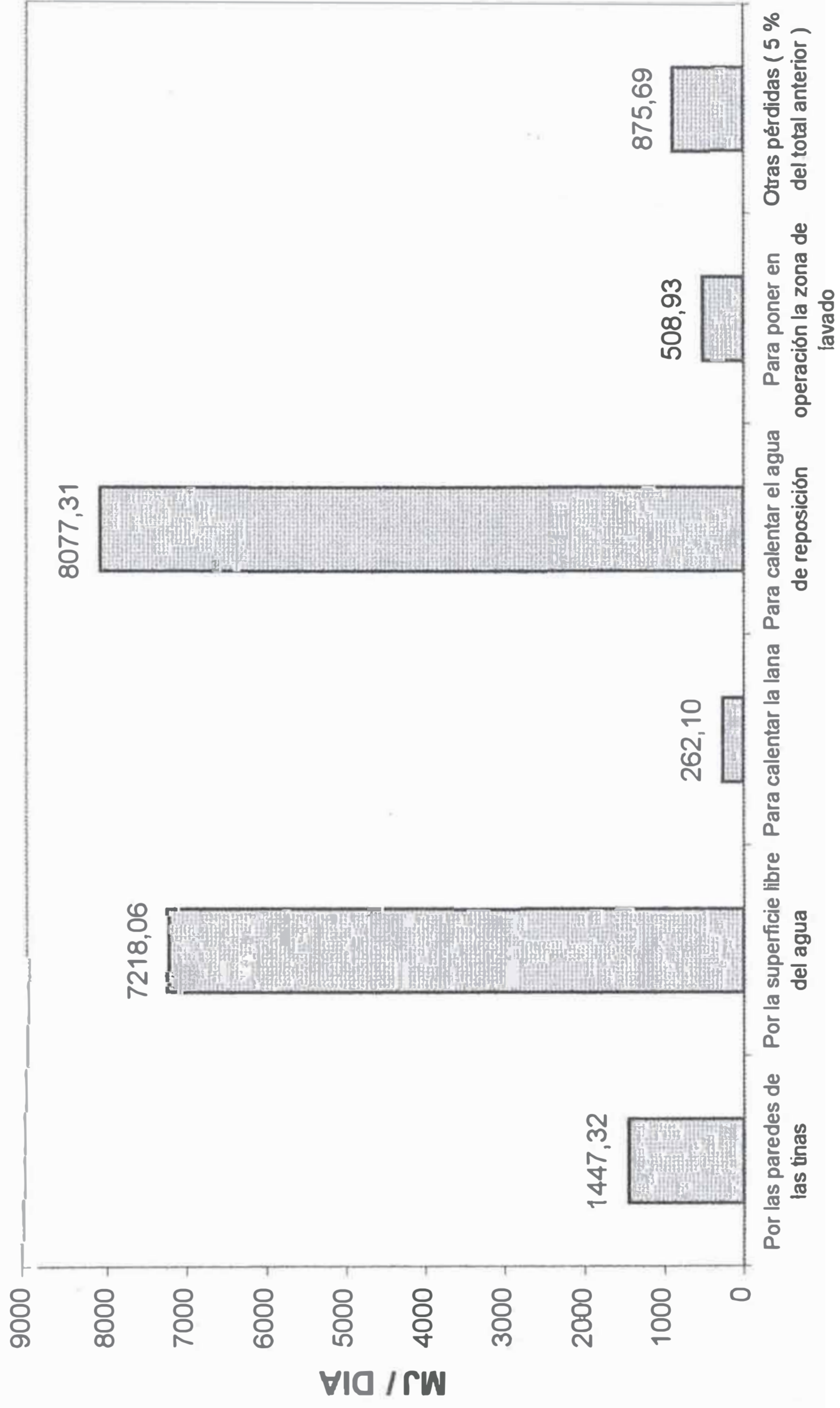
#### **4.5. RESULTADOS DEL BALANCE DE ENERGIA**

a) La energía en las lavadoras de las tres líneas se distribuye de la siguiente manera

<b>Descripción</b>	<b>Línea N° 1</b>	<b>Línea N° 2</b>	<b>Línea N° 3</b>
Por las paredes de las tinas	6.0%	5.5%	7.9%
Por la superficie libre del agua	23.9%	21.9%	39.2%
Para calentar la lana	0.7%	0.8%	1.4%
Para calentar el agua de reposición	62.3%	64.4%	43.9%
Para poner en operación la zona de lavado	2.3%	2.6%	2.8%
Otras pérdidas	4.8%	4.8%	4.8%

Gráfico 1

### DISTRIBUCION DEL CONSUMO DE ENERGIA EN LA LINEA DE LAVADO NRO.3

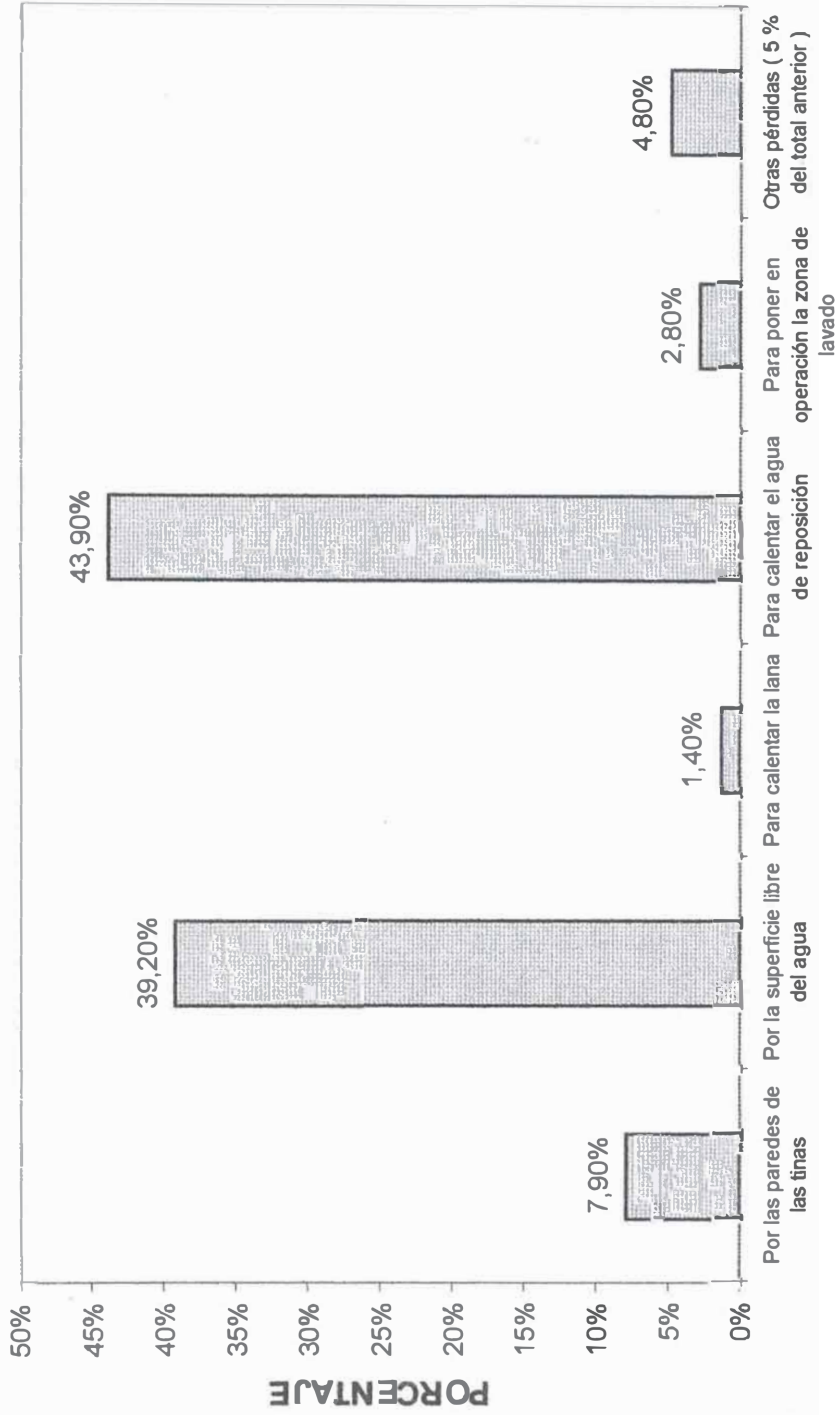


### CONSUMOS DE ENERGIA



Gráfico 2

**DISTRIBUCION EN PORCENTAJE DEL CONSUMO DE ENERGIA EN LA LINEA DE LAVADO NRO. 3**



**CONSUMOS DE ENERGIA**

b) Por los cálculos realizados, los consumos de energía en las tres líneas de lavado son:

<b>CONSUMO</b>	<b>Línea N° 1</b> <b>( KJ / día )</b>	<b>Línea N° 2</b> <b>( KJ / día )</b>	<b>Línea N° 3</b> <b>( KJ / día )</b>
Lavado	19'598926.3	21'068838.37	18'389412.38
Secado	10'183773.22	10'693862.85	11280149.41
<b>TOTAL</b>	<b>29'782699.52</b>	<b>31762701.22</b>	<b>29'669561.79</b>

En porcentaje para cada línea tendríamos:

<b>Descripción</b>	<b>Línea N° 1</b>	<b>Línea N° 2</b>	<b>Línea N° 3</b>
Lavado (%)	33.2	35.7	31.1
Secado (%)	31.7	33.3	35.1
<b>Total (%)</b>	<b>32.7</b>	<b>34.8</b>	<b>32.5</b>

c) La energía en cada línea se reparte de la siguiente manera :

<b>Descripción</b>	<b>Línea N° 1</b>	<b>Línea N° 2</b>	<b>Línea N° 3</b>
Lavado	66%	66.3%	62%
Secado	34%	33.7%	38%

d) Según recomendaciones de la compañía Petrie –Mc. Naught Limited, en el lavado de pelo de alpaca, se debe usar un flujo de agua de reposición de 15 lt / kg de pelo de alpaca limpio, esta claro que estos flujos deben adecuarse a las condiciones de trabajo propios de cada máquina y obtener un lavado eficiente. Los flujos usados actualmente son:

Línea N° 1      26.44 Lts / Kg de pelo de alpaca

Línea N° 2      18.34 Lts / Kg de pelo de alpaca

Línea N° 3      10.34 Lts / Kg de pelo de alpaca

Se nota que la lavadora N° 1, pese a procesar una cantidad menor de Kg. de pelo de alpaca, usa una mayor cantidad de flujo de agua de reposición. La lavadora N° 3 procesa mayormente oveja cuyo rendimiento en el lavado es de 60% aproximadamente, lo que nos daría un flujo de agua de reposición usado de 15 Lts / Kg de oveja lavada . Este flujo es el recomendado por el fabricante de este tipo de maquinaria.

e ) Del cálculo de la eficiencia del caldero, se deduce que para las condiciones de trabajo de los calderos, que son: presión de 80 psig y una temperatura de ingreso del agua de alimentación de 40°C obtuvimos que los 942 galones usados diariamente nos producen 102'815653 KJ / día , por lo que el costo de 1Kj, en cuanto a combustible se refiere es:

El precio de 1 galón actualmente es de : US\$ 1.13 ( Cambio de 1US\$ = 0.79 soles )

$$CU = \frac{942 \text{ gls} / \text{dia} \times 1.13 \text{ US\$} / \text{gal}}{102815653 \text{ KJ} / \text{dia}} = \frac{1064.46 \text{ US\$} / \text{dia}}{102815653 \text{ KJ} / \text{dia}}$$

$$CU = 0.00001035 \text{ US\$ / KJ}$$

f) Los costos, en cuanto a combustible se refiere, para cada línea son lo siguientes

<b>Descripción</b>	<b>Línea N° 1</b> <b>(US\$/día)</b>	<b>Línea N° 2</b> <b>(US\$/día)</b>	<b>Línea N° 3</b> <b>(US\$/día)</b>
Lavado	202.85	218.06	190.33
Secado	105.40	110.68	116.75
<b>Total</b>	<b>308.25</b>	<b>328.74</b>	<b>307.08</b>

g) Con los costos anteriores podemos hallar los costos específicos de cada línea respecto a cada Kg de alpaca sucia procesada por éstas, obteniendo los siguientes resultados.

<b>Descripción</b>	<b>Línea N° 1</b> <b>(US\$/Kg. alpaca)</b>	<b>Línea N° 2</b> <b>(US\$/Kg. alpaca)</b>	<b>Línea N° 3</b> <b>(US\$/Kg. alpaca)</b>
Lavado	0.07201	0.05370	0.03551
Secado	0.03742	0.02725	0.02178
<b>Total</b>	<b>0.10943</b>	<b>0.08095</b>	<b>0.05729</b>

h) En el anexo N° 2, se cálculo las eficiencias térmicas de los calderos, obteniéndose los siguientes resultados:

**Caldero Preferred = 66.7 %**

**Caldero Eclipse = 72.8 %**

**Promedio (ambos) = 70.0 %**

En cuanto al rendimiento, que viene a ser la comparación entre la producción real y la producción nominal , obtuvimos un resultado promedio de 31%, esta relación está en función del año de fabricación , el tiempo de uso de las calderas , del tipo de quemador , tipo de controles , de la regulación de éstas y del diseño de construcción , por lo que habría que analizar cada uno de éstos factores para poder especificar si el valor obtenido está dentro de lo normal , pero aparentemente se muestra muy bajo.

## **5. CALCULO Y SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS**

El objetivo principal es reducir el consumo de energía en la planta de lavado , para lo cual será necesario la implementación de algunos equipos , para poder recuperar energía.

Los puntos a atacar inicialmente , que son los que representan el mayor consumo son

- En la línea de lavado , el calentamiento del agua de reposición.
- En el proceso de secado.

## 5.1 AHORRO DE ENERGIA EN EL CALENTAMIENTO DEL AGUA DE REPOSICION

Como se observa en los resultados del balance térmico , el mayor consumo de energía en la lavadora , es para calentar el agua de reposición , este flujo de ingreso de agua a la quinta o cuarta tina , es igual al flujo que se va al desagüe que sale de la primera tina.

La energía total usada en éste item , se resume en el siguiente cuadro

### CONSUMO DE ENERGIA PARA CALENTAR EL AGUA DE REPOSICION

DESCRIPCION	FLUJO DE AGUA DE REPOSICION ( Its / Kg. lana )	PRODUCCION DIARIA ( Kg / día )	CONSUMO DE ENERGIA ( KJ / día )	PORCENTAJE DE SU LINEA ( % )
Línea 1	26.44	2817	12206376.00	62.30
Línea 2	18.34	4061	13562640.00	64.40
Línea 3	10.34	5360	8077305.60	43.90
<b>TOTAL</b>		<b>12239</b>	<b>33846321.60</b>	

La temperatura del flujo de agua que sale al desagüe es de 50 °C.

La forma de recuperar energía es vía un intercambio indirecto entre el agua limpia de reposición con el agua caliente que sale de la línea de lavado.

Según fabricantes de intercambiadores de calor , para éste uso , garantizan el ahorro hasta un 60 % de la energía utilizada.

### **5.1.1 SELECCIÓN DEL EQUIPO INTERCAMBIADOR DE CALOR**

Las características básicas de éste intercambiador son

De fácil acceso para limpieza.

De construcción en acero inoxidable.

La característica de facilidad para limpieza , nos hicieron descartar el uso de un intercambiador clásico de tubos . Se consiguió el dato de un fabricante en Europa , de intercambiadores de diseño especial para éste tipo de aplicaciones.

Este fabricante es POZZI LEOPOLDO y su equipo , que puede observarse en la figura 9 , tiene las siguientes características

### **RECUPERADOR DE CALOR “ RCR “ , ROTATORIO , AUTOLIMPIADOR**

“ RCR “ , es un sistema para la recuperación de calor de las aguas de descarga , expresamente creado para la industria textil.



RECUPERADOR DE CALOR "RCR" ROTATORIO, AUTOLIMPIADOR

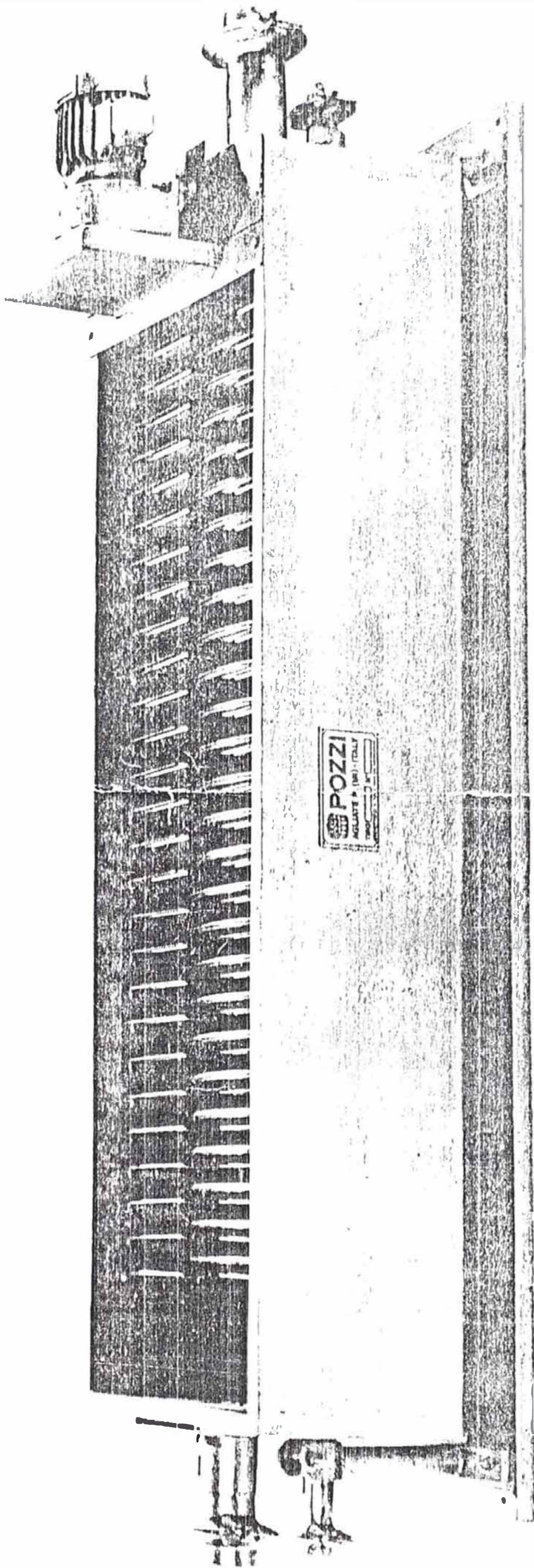


FIG. 9

Las características termodinámicas y constructivas de este aparato hacen muy conveniente su empleo en todos aquellos casos en los que una cantidad de aguas sucias es descargada a una temperatura de por lo menos 50 – 60 °C.

Esta unidad de recuperación , con armazón rotatoria , es de tipo modular pudiéndose por lo tanto aplicar a cualquier equipo preexistente.

Un ejemplo típico de aplicación es la recuperación del calor a circuito cerrado de máquinas para lavar , depurar o de tratamiento continuo y con oportunos dispositivos opcionales , puede ser utilizado con muchas ventajas sobre máquinas con tratamiento discontinuos.

El aparato , patentado , tiene como característica principal y muy importante para la industria textil , la de ser autolimpiador y es construido en acero inoxidable.

Gracias a ésta particularidad quedan eliminados todos los problemas producidos por las incrustaciones con la consecuente pérdida de eficiencia de los intercambiadores normales.

Su acción autolimpiadora permite utilizar los baños que contienen escorias y residuos de hilos.

La utilización de la unidad “ RCR “ , no modifica en lo mas mínimo el trabajo de la máquina a la cual a sido aplicada , permitiendo por el contrario , ahorro de vapor de hasta un 60 % de la energía normalmente empleada.

Siendo la unidad del tipo modular , sus dimensiones termodinámicas pueden ser ajustadas ( y optimizadas ) a cada potencial hídrico , desde un mínimo de 20 litros / minuto hasta un máximo de 500 litros / minuto y por cada tipo de temperatura de funcionamiento.

Las características de catalogo son :

TIPO	A mm	B mm	C mm	D mm	Q max Lt/min.	$\Delta p$ Max	$\Delta p$ Max	Press. Max	Potencia
						Primario Bar	Secundario Bar	Rotor Bar	Instalada Watt
RCR-1U	2400	720	485	455	100	0.004	0.5	2.5	250
RCR-2U	2635	1015	745	740	200	0.005	0.4	2.5	750
RCR-3U	3525	1015	745	740	300	0.007	0.6	2.5	1100

A = Largo total del equipo.

B = Altura total del equipo ( Intercambiador mas motorreductor )

C = Altura del intercambiador.

D = Ancho del intercambiador.

El esquema del equipo se puede apreciar en la figura 10 , y un ejemplo de su aplicación en la figura 11.

Las características termodinámicas de éstos equipos son :

DESCRIPCION	NRO. DE ELEMENTOS MODULARES	SUPERFICIE DE INTERCAMBIO ( m <sup>2</sup> )	POTENCIA INSTALADA ( HP )
RCR – 1U	26	6	0.33
RCR – 2U	24	12	1.00
RCR – 3U	35	18	1.50

La selección del tipo de intercambiador , la realizamos en base al caudal de agua de reposición que son los siguientes :

<b>DESCRIPCION</b>	<b>FLUJO DE AGUA DE REPOSICION ( Its / min. )</b>
Línea 1	51.72
Línea 2	51.72
Línea 2	38.49

Se usará el tipo **RCR – 1U** , que se adapta bien para cada línea de lavado , se usará uno por cada línea . Otro esquema de éste equipo puede verse en la figura 12.

El aparato consta de :

Intercambiador a elementos rotatorios , en acero inoxidable.

La acción autolimpiante es obtenida por medio del movimiento de rotación de los elementos.

Máxima presión admitida en el interior del intercambiador : 2.5 bar.

Caja contenedora del intercambiador , en acero inoxidable , montada sobre robusto zócalo , con empaquetadura para evitar la fuga de vapor de agua , válvula de bola para el vaciado.

Conducto de entrada y salida por gravedad de las aguas de descarga.

Conducto de entrada y salida del agua fría , con bridas de conexión rápida con la red de alimentación.

Motorreductor para el movimiento de los elementos rotatorios del intercambiador , potencia instalada 0.33 HP.

ESQUEMA DEL RECUPERADOR DE CALOR "RCR"

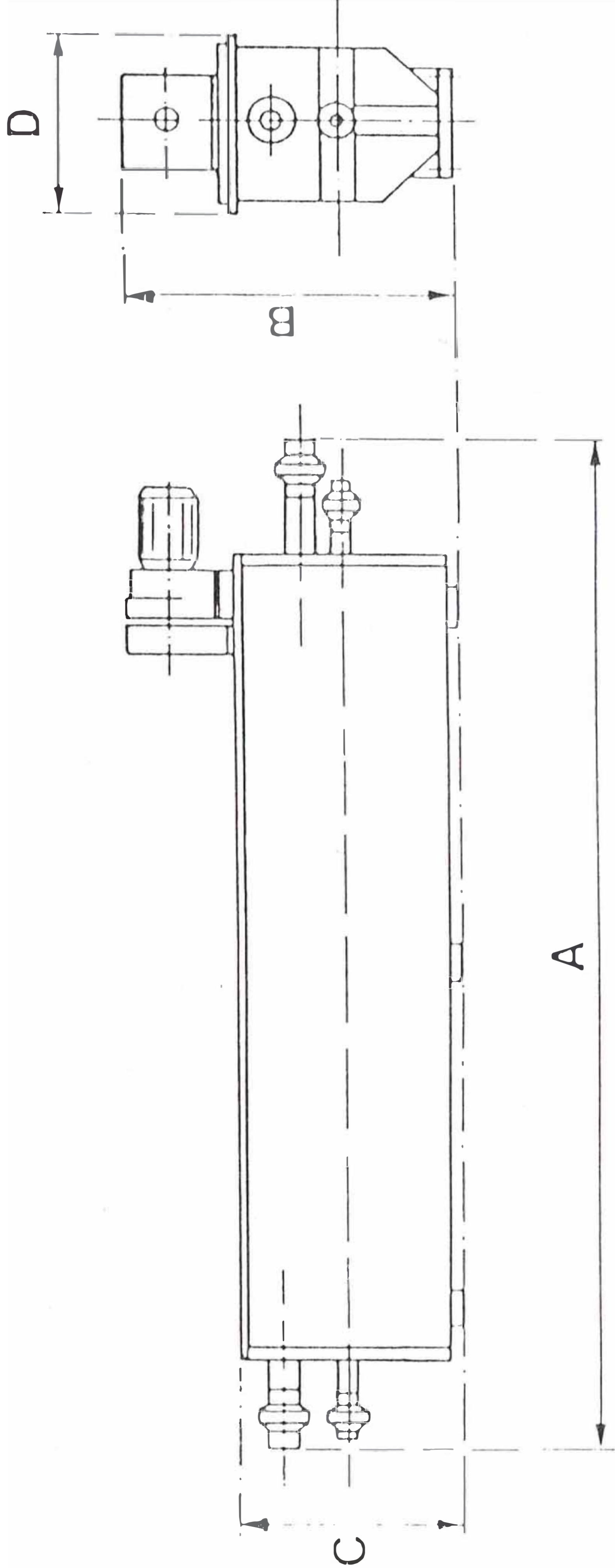
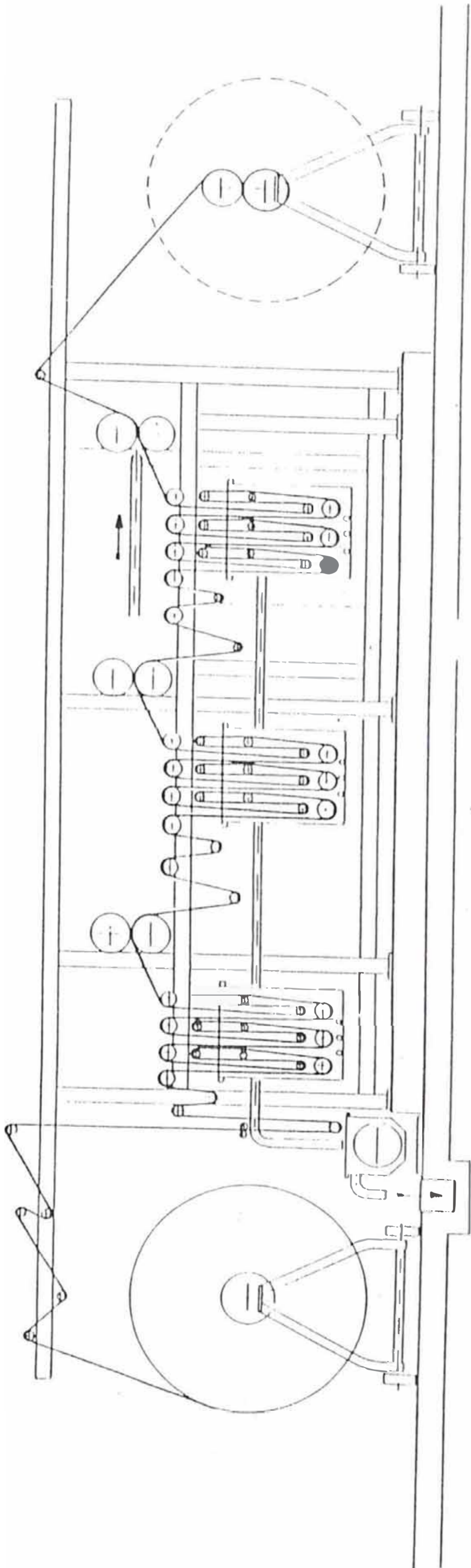
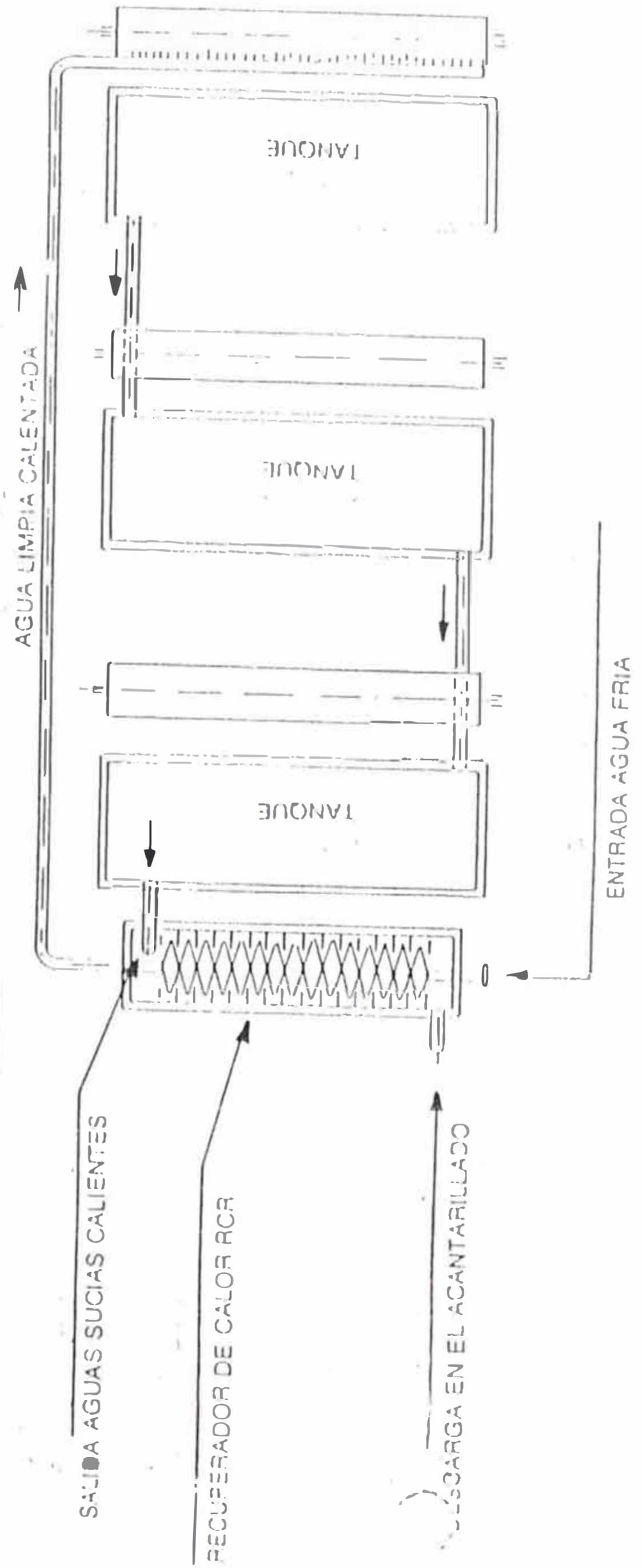


FIG. 10



EJEMPLO DE APLICACION

FIG. 11



Todas las partes en contacto con las aguas son de acero inoxidable.

El ahorro de energía esperado es del 60 % , con lo que obtendríamos que el ahorro total sería de 20307792.60 KJ / día.

<b>DESCRIPCION</b>	<b>CONSUMO DE ENERGIA ( KJ / día )</b>	<b>AHORRO DE ENERGIA ( KJ / día )</b>
Línea 1	12206376.00	7323825.60
Línea 2	13562640.00	8137584.00
Línea 3	8077305.60	4846383.00
<b>TOTAL</b>	<b>33846321.60</b>	<b>20307792.60</b>

El ahorro reflejado en combustible estaría dado por :

$$m_c = \frac{Q}{n \cdot PC \cdot \rho_c}$$

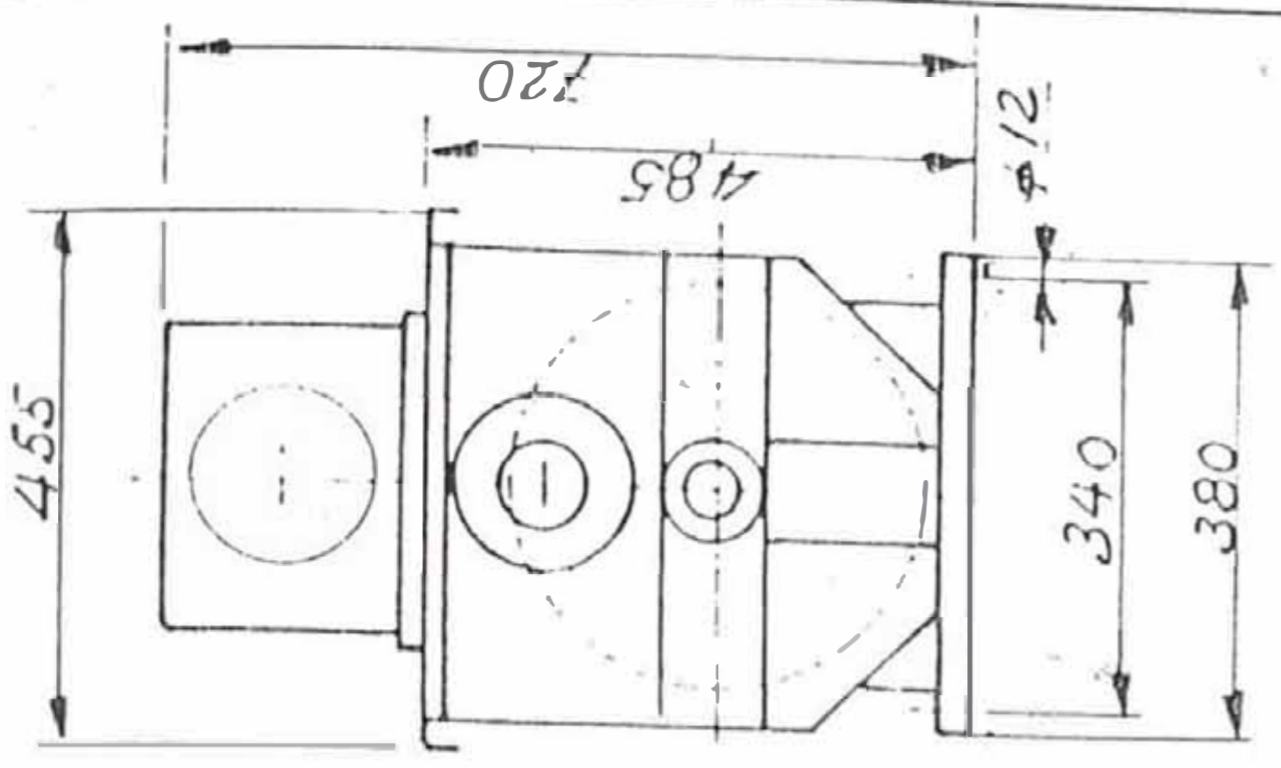
$m_c$  = Masa de combustible

$Q$  = Calor ahorrado

$n$  = Eficiencia de las calderas

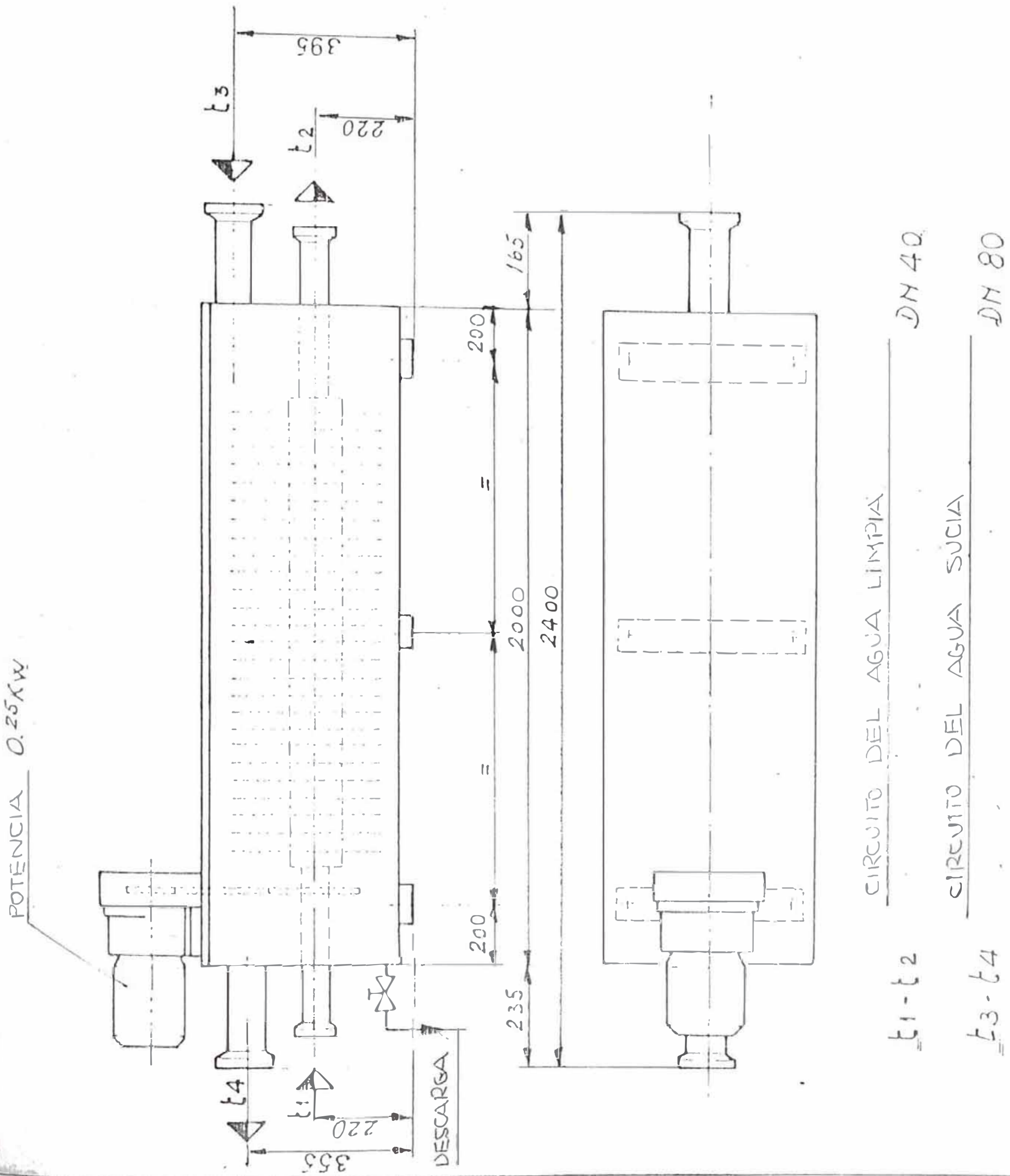
$PC$  = Poder calorífico del combustible bunker 6 = 42836 KJ / Kg.

$\rho_c$  = Densidad del combustible = 3.64 Kg. / gal



ESQUEMA DEL INTERCAMBIADOR

FIG. 12





reemplazando tendríamos :

$$m_{cal} = \frac{20307792.60 \text{ KJ / dia}}{0.70 \times 42836 \text{ KJ / Kg} \times 3.64 \text{ Kg / gal}}$$

$$m_{cal} = 186.06 \text{ gal / día}$$

El ahorro de combustible en un año sería :

$$M_{cal} = 186.06 \text{ gal / día} \times 360 \text{ días / año}$$

$$M_{cal} = 66981.60 \text{ gal / año}$$

## 5.2 AHORRO DE ENERGIA EN EL SECADO

En el secado según el libro “ Woolscouring and Allied Technology “ por R. G. Stewart , en el secado se puede ahorrar 15 % de energía , con el esquema de la figura 13 , donde se aprecia el uso de un intercambiador de calor Aire húmedo – Aire nuevo.

Esto nos permitiría ahorrar :

DESCRIPCION	CONSUMO DE ENERGIA EN EL SECADO ( KJ / día )	AHORRO DE ENERGIA EN EL SECADO ( 15 % ) ( KJ / día )
Línea 1	10183773.22	1527565.98
Línea 2	10693862.85	1604079.43
Línea 3	11280149.41	1692022.41
<b>TOTAL</b>	<b>32157785.48</b>	<b>4823667.82</b>

Lo que nos da un ahorro en combustible de :

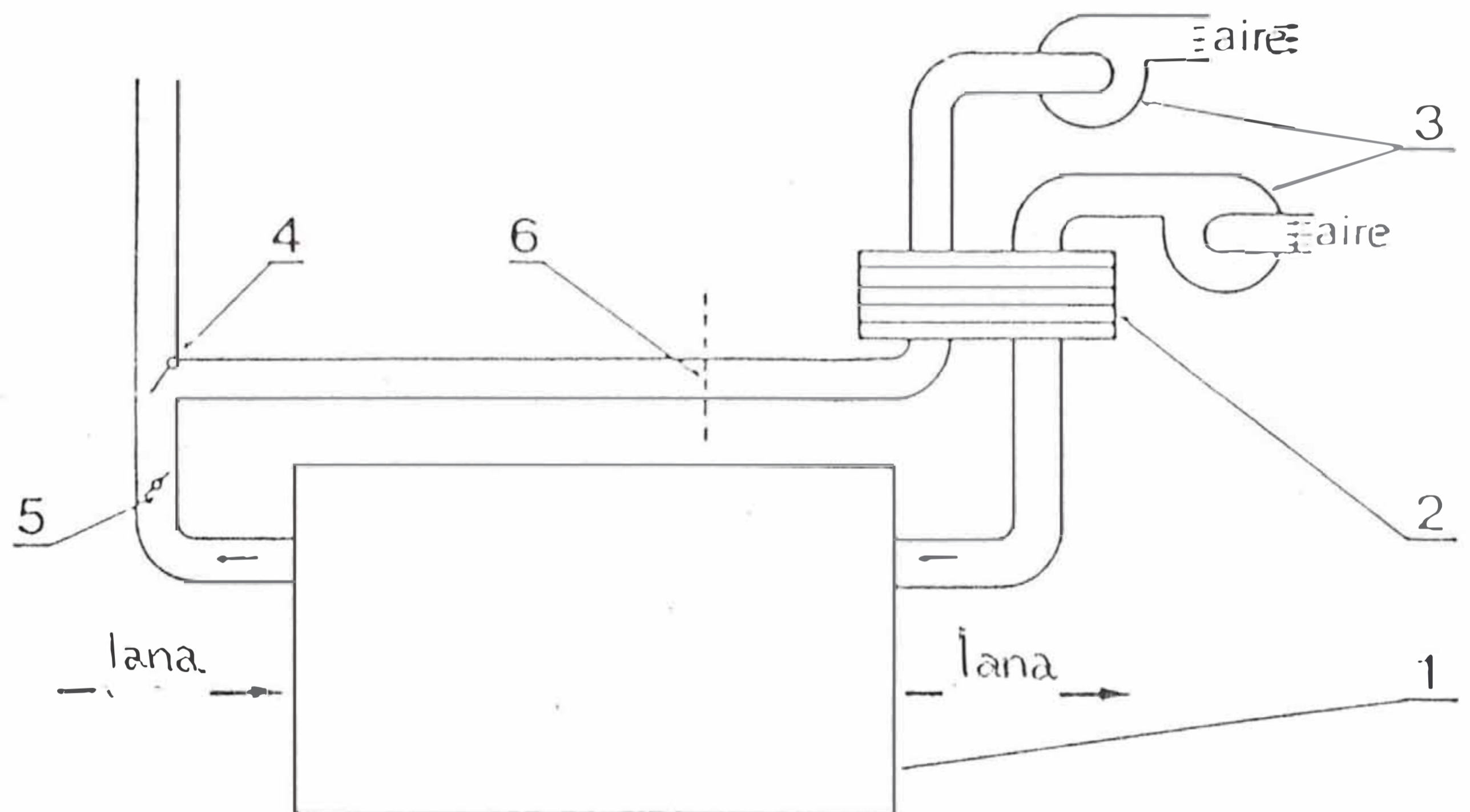
$$m_{ca2} = \frac{4823667.82 \text{ KJ} / \text{día}}{0.7 \times 42836 \text{ KJ} / \text{Kg} \times 3.64 \text{ Kg} / \text{gal}}$$

$$m_{ca2} = 44.19 \text{ gal} / \text{día}$$

$$M_{ca2} = 15908.40 \text{ gal} / \text{año}$$

En el alcance de éste proyecto no se seleccionó el equipo a usar , dejándose para un nuevo periodo de inversión.

ESQUEMA DE INSTALACION DE UN SISTEMA DE  
AHORRO DE ENERGI A EN UNA SECADORA



- 1.- Secadora
- 2.- Intercambiador de calor
- 3.- Ventiladores centrífugos
- 4.- Compuerta de regulación
- 5.- Control de humedad del aire
- 6.- Filtro

FIG. 13

## **6. ANALISIS ECONOMICO DEL PROYECTO**

El análisis económico solo se realizará para la primera inversión que sería :

- Las modificaciones realizadas en los equipos de generación de vapor , como son cambio de programadores mas modernos , mantenimiento completo de éstas máquinas , cambio de los controles de temperatura para los precalentadores eléctricos y de vapor del combustible , acondicionamiento de un presostato para aumentar el tiempo de funcionamiento de operación entre parada y parada. El objetivo de esta inversión era la de elevar la eficiencia térmica de las calderas lo que repercutiría en un ahorro de combustible y por ende en un ahorro económico.

- Modificaciones y acondicionamiento de las líneas de lavado , para lograr que éstas se encuentren preparadas para realizar en forma mas eficiente el ahorro de energía propuesto.

Estas modificaciones fueron la implementación de controles de temperatura para las tinas de lavado y las secadoras , (un control por cada tina y tres por cada secadora).

Construcción de tinas auxiliares de decantación despues del exprimido , bomba centrífufas para la recirculación de éstas tinas auxiliares a las tinas principales.

Rediseño de los sistemas de tuberías de vapor para la alimentación de las líneas de lavado , se corrigió todos los defectos de aislamientos de éstas, también se construyó un distribuidor , para independizar el suministro de vapor , y a la vez agilizar las labores de mantenimiento y optimizar el tiempo de uso de la maquinaria por parte del sector de producción.

Se implementó el sistema de tuberías de retorno de condensado de las secadoras y un tanque de almacenamiento para dicho condensado , tanque que alimentaba a los tanques de suministro de agua de las calderas. Se logró elevar la temperatura de ingreso del agua a 85 °C.

- La implementación de los sistemas de recuperación de energía para el agua de reposición de las lavadoras.

Entonces se analizará la viabilidad de realizar dicha inversión.

### **6.1 INVERSION A REALIZAR EN LA ADQUISICION DE LOS EQUIPOS**

La inversión a realizar en primer término para ahorro de energía , sería la adquisición e instalación de los intercambiadores de calor. Se tendría que adquirir 3 equipos , el costo de los equipos estarían dados por

- Costo unitario de adquisición del equipo FOB	– 6550 US\$ / equipo
- Costo total de adquisición de los tres equipos FOB	– 19650 US\$
- Costos de flete mas derechos ( 40% del FOB )	7860 US\$
- Costo de instalación de los equipos	6000 US\$
<b>- Costo total de los equipos</b>	<b>– 33510 US\$</b>

El monto total de la inversión a realizar sería :

DESCRIPCION DE LA INVERSION	MONTO ( US\$ )
Modificaciones realizadas en los equipos de generación de vapor.	7200.00
Modificaciones y acondicionamiento de las líneas de lavado.	19500.00
Sistema de recuperación de energía para el agua de reposición.	33510.00
<b>TOTAL INVERSION</b>	<b>60210.00</b>

## 6.2 AHORRO QUE SE OBTENDRIA DE LA INSTALACION DE LOS EQUIPOS

Para calcular el ahorro que se obtendría con la instalación de los sistemas de recuperación de energía para el agua de reposición , usamos el precio unitario por galón del combustible.

- Precio unitario del combustible bunker 6 = 1.13 US\$ / galón
- Volumen de ahorro anual de combustible = 66981.60 galones / año
- **Ahorro que se obtendría anualmente = 75689.21 US\$ / año**

El ahorro total que se obtendría sería :

<b>AHORRO ECONOMICO</b>	<b>MONTO ( US\$ / AÑO )</b>
Modificaciones realizadas en los equipos de generación de vapor.	40608.13
Sistema de recuperación de energía para el agua de reposición.	75689.21
<b>AHORRO TOTAL</b>	<b>116297.34</b>

### 6.3 TIEMPO DE RECUPERACION DEL CAPITAL

El tiempo de recuperación de capital lo calculamos de la siguiente manera :

$$TIR = \frac{INVERSION}{AHORRO}$$

$$TIR = \frac{60210.00US\$}{116297.34US\$ / \text{ano}} = 0.51 \text{ años}$$

El tiempo en que recuperaríamos la inversión sería de 6.21 meses , es decir 7 meses , lo que hace que este proyecto sea muy viable.

## CONCLUSIONES

- 1.- Paralelamente al desarrollo del presente estudio , se fueron realizando trabajos de acondicionamiento y mejoras en las diferentes máquinas desde el aspecto térmico.

Se instaló controles de temperatura en todas las tinas de lavado y en los diferentes cuerpos de las secadoras , para que el control de consumo de acuerdo a las necesidades sea automático.

- 2.- Se instaló todo el sistema de retorno de condensado de las secadoras a un tanque de condensado , el cual alimentaba a los tanques de agua de alimentación de las calderas , con esto se consiguió disminuir el costo de ablandamiento y tratamiento químico del agua de ingreso a las calderas.

Con la recuperación del condensado se logró aumentar , la temperatura de ingreso de agua a las calderas , a 85 °C , lo cual permite eliminar en gran proporción el oxígeno disuelto en el agua y lograr una disminución en la energía total necesaria para convertir el agua en vapor saturado a las condiciones de trabajo.



Se revistieron con material aislante tanto el tanque de recepción del condensado como los tanques de alimentación de agua a las calderas , el revestimiento se realizó con lana de vidrio y un espesor de 4 pulg.

- 3.- Se realizaron todas las modificaciones en las calderas , como son programadores nuevos , sistemas de control de temperatura en los precalentadores de petróleo tanto a vapor como eléctrico para tener una temperatura mas uniforme del combustible al llegar éste al quemador. Se adquirió un analizador de CO<sub>2</sub> , capacitándose al personal para el chequeo constante de la eficiencia de combustión. Con todo esto se logró elevar la eficiencia térmica de las calderas de 70% a 81% , esto nos permitió ahorrar 120 galones / día , ó 35936.40 galones / año , lo que es equivalente a un ahorro económico de 40608.13 US\$ / año.
- 4.- Se construyó e instaló un distribuidor de vapor , en el cual ingresaba el vapor de las calderas en forma independiente y salían 4 suministros , una para cada línea de lavado y la cuarta para otros consumos , como son : precalentadores de petróleo en los tanques de almacenamiento , precalentadores de combustible en las propias calderas , calentamiento del agua de alimentación a las calderas y otros.

Se corrigió defectos de instalación de las tuberías de vapor y además se revistió con material aislante , lana de vidrio en cañas, los tramos de tuberías de vapor que no estaban aislados.

- 5.- En las secadoras se corrigió todos los defectos de aislamiento y además se fabricó e instaló paneles aislantes formando un falso piso.

Se cambió y realizó mantenimiento general a todos los serpentines de calentamiento de éstas , cambiando y aumentando tubería aleteada.

- 6.- Luego de instalado el sistema de recuperación de energía para el agua de reposición en las líneas de lavado , se continuaría con la evaluación e implementación del sistema de recuperación de energía en las secadoras.

- 7.- Realizada la implementación del sistema de recuperación de energía en las secadoras , se pasaría a la segunda etapa que involucra la sustitución parcial del uso del vapor para el calentamiento del agua de reposición , esto se lograría usando los recursos naturales de las energías no convencionales , como es el uso de la Energía Solar. La estrategia a seguir sería la implementación de éste sistema en la línea de lavado de mayor capacidad para luego continuar con las siguientes.

Para esto se usaría colectores planos , y el número de estos estaría determinado por el cálculo del área económica , para el cálculo de ésta intervendrían el costo anual del sistema solar y el costo anual de la energía convencional suministrada , la suma de éstos costos nos da el costo total cuyo punto mínimo nos representa los requerimientos del área necesaria para el sistema solar.

Es necesario recalcar que este proyecto es muy viable en una ciudad como Arequipa , en donde los niveles de radiación son muy altos.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Título : Woolscouring and Allied Technology  
 Autor : R. G. Stewart  
 Editorial : WRONZ  
 Wool research organisation of New Zealand ( INC ) - 1988
  
- 2.- Título : Principios de Transferencia de Calor  
 Autor : Frank Kreith  
 Editorial : Herrero Hermanos Sucesores S.A. - México  
 International Texbook Company - 1968  
 Scranton , Pennsylvania , EEUU
  
- 3.- Título : Transferencia de Calor  
 Autor : B.V. Karlekar - R.M. Desmond  
 Editorial : Mc. Graw Hill - Interamericana de México S.A. de C.V.- 1994
  
- 4.- Título : Manual del Ingeniero Mecánico  
 Autor : Marks  
 Editorial : Mc. Graw Hill de Mexico S.A. de C.V.- 1984
  
- 5.- Título : Biblioteca del Ingeniero Químico  
 Autor : Robert H. Perry  
 Editorial : Mc. Graw Hill de México S.A. de C.V. - 1986
  
- 6.- Título : Manual Práctico de Cálculos de Ingeniería  
 Autor : Tyler G. Hicks  
 Editorial : Editorial Reverté S.A. – España - 1983
  
- 7.- Título : Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en  
 Tecnología Química.  
 Autor : K.F. Pávlov  
 P.G. Romankov  
 A.A. Noskov  
 Editorial : Editorial Mir – Moscu - 1981
  
- 8.- Información de Fabricante  
 Petrie & Mc. Naught Ltd.  
 Makers of Washing & Drying plant for Textile Fibres and others materials  
 Crawford Street – Rochdale - England
  
- 9.- Título : Controles en el Proceso de Lavado  
 Autor : Daniel Paler Alsina  
 ( Tenería Industrial S.A. , Terrasa )  
 Trabajo personal – no ha sido publicado