

667.8
C 436

**ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL**

Departamento de Ingeniería Mecánica

“Diseño de un Horno Rotativo para Planta Procesadora de Harina de Pescado.”

**Tesis de Grado
Previa a la Obtención del Título de
INGENIERO MECANICO**

PRESENTADA POR:

Manuel Enrique Chalèn Angel

Guayaquil - Ecuador

1979

"DISEÑO DE UN HORNO ROTATIVO PARA UNA PLANTA
PROCESADORA DE HARINA DE PESCADO"

DIRECTOR DE TESIS



ING. MARCO A. PAZMINO BARRENO

A U T O R



MANUEL ENRIQUE CHALEN ANGEL

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL, Institución que me ha brindado su apoyo en cuyas aulas yo me desempeñé como Ayudante e Instructor de Física.

Al Departamento de INGENIERIA MECANICA, donde adquirí los conocimientos elementales que hoy me permiten indagar nuevas metas dentro del campo profesional.

Al INSTITUTO DE QUIMICA que sin objeción alguna se me permitió experimentar en los laboratorios de secado, para obtener el valor de los parámetros y características finales de esta tesis.

Al ING. MARCO PAZMINO B., que supo orientar el contenido de este trabajo y exigió la culminación del mismo.

C O N T E N I D O

	Pág.
1. INTRODUCCION	4
1.1. Antecedentes	4
1.2. El Mercado de Harina de pescado en Ecuador	7
1.2.1. Producción Industrial de Harinas	9
1.2.2. Producción Artesanal	11
1.3. Datos experimentales sobre la elaboración	12
1.4. Comparación de los métodos: industrial y artesanal.	17
1.5. Factibilidad	18
2. PROCESOS DE SECAMIENTO	22
2.1. Procesos directos	23
2.1.1. Secador a fuego directo	26
2.1.2. Secador de Plataforma (Solar)	29
2.1.3. Secador por lámparas infrarrojas	31
2.2. Procesos indirectos	33
2.2.1. Secador a vapor de agua	34
2.3. Ventajas y desventajas de los secadores	35
2.4. Selección del Proceso a fuego directo y su descripción.	36
2.4.1. Cocción	38
2.4.2. Prensado	41
2.4.3. Secamiento	41
2.4.4. Molienda	44
2.4.5. Diagrama de flujo	45
2.5. Consideraciones Técnicas de la Planta	46
2.5.1. Localización de la Planta	47
2.5.1a Consumidor, medios de transporte	48
2.5.1b Fuentes de abastecimiento	49
2.5.1c Fuentes de energía	50
2.5.1d Montaje y consideraciones futuras	51
2.5.2. Tamaño de la planta	53

	Pág.
2.5.3. Distribución de la Planta	56
3. INGENIERIA DEL PROYECTO	58
3.1. Cálculos Termodinámicos	61
3.1.1. Flujos másicos	63
3.1.1a Cantidad de materia prima a secar	71
3.1.1b Cantidad de aire requerido	73
3.1.1c Cantidad de combustible	78
3.1.2. Temperatura de secado	79
3.1.2a Influencia de la humedad y flujo másico.	84
3.1.3. Balances térmicos	88
3.1.4. Transferencia de calor y secado de gases calientes.	90
3.1.4a Determinación de la velocidad óptima de secado.	92
3.1.4b Radiación convección y estimación por pérdidas.	93
3.1.5. El proceso de la carta Psicométrica.	95
3.2. Cálculos de los elementos "mecánicos"	98
3.2.1. Dimensiones	99
3.2.1a Del horno estático (Cámara de combustión)	109
3.2.1b Del horno rotatorio (turbulencia)	114
3.2.2. Espesor del material refractario y tipo aislante.	118
3.2.3. Selección del inyector del combustible.	120
3.2.4. El control automático de temperatura	123
3.2.5. Transporte del producto por rotación	126
3.2.5a Selección de la velocidad óptima	127
3.2.5b Selección de engranajes y cojinetes	130
3.2.5c Selección de la fuerza motriz	139
3.2.6. Cálculo del ciclón y ducto de salida; Tolva	140
3.2.7. Potencia y selección del Ventilador extractor.	144
3.2.8. Transporte del producto final por tornillo Sin Fin.	146

4. EQUIPO Y MAQUINARIA ADICIONAL PARA LA PLANTA	147
4.1. Selección de un caldero de vapor	149
4.2. Selección de un intercambiador-cocina- dor de vapor	152
4.3. Selección de una prensa extractora de humedad	160
4.4. Selección de una centrífuga	161
4.5. Transportadores sinfin para materia pri- ma y derivados.	162
4.6. Bombas de agua, bomba de diesel y bom- bas de aceites (productos).	163
4.7. Miscelánea (soldadura, fundación y edi- ficio).	166
4.8. El Montaje.	174
5. EVALUACION DEL PROYECTO	180
5.1. Análisis económico	180
5.2. Costo del Horno	182
5.3. Costo de la Planta	184
5.4. Capital de operación.	185
5.5. Depreciación	186
5.6. Costo total y rentabilidad	191
6. APLICACIONES	195
6.1. Beneficio social	196
6.1a Descontaminación ambiental	198
6.1b Equipo para cooperativa pesquera	200
6.2. Recomendaciones para la instalación	203
6.3. Conclusiones	204
7. APENDICE	207
Tabla para vapor de agua, aire y gases	209
Gráficos y catálogos de equipos adicio- nales.	216
Referencias bibliográficas.	222

SIMBOLOGIA

a	conductividad térmica
d	coeficiente de transferencia
a	superficie de difusión
α	coeficiente de dilatación
A	área
CG	calor específico del pescado
C_p	calor específico del aire
C_w	Coficiente de rugosidad
dK	perimetro promedio de paquetes
D	diámetro
dm	diferencial de masa
e	espesor de lámina
e'	deflexión
Σ	Sumatoria de fuerzas
F	área de paquetes
F/A	relación combustible aire
ψ	porosidad
f	factor de forma
g	gravedad
G_f	cantidad de sustancia sólida
h	entalpía
h	coeficiente de convección
hT	entalpía a una temperatura

- j constante de transferencia
- k constante
- K conductividad térmica
- LMTD temperatura media logarítmica
- LHV poder calorífico nominal
- λ conductividad térmica del paquete
- γ peso específico
- L Longitud
- LV calor latente de evaporación del agua
- M momento
- M masa de pescado
- M Motor
- m_a masa de aire
- m_c masa de combustible
- Nt unidades de transferencia
- η rendimiento
- P peso
- p presión
- Pr número de Prandtl
- Q cantidad de calor
- q_F calor de llama
- r radio geométrico
- R resistencia térmica
- ρ densidad
- Re número de Reynolds
- Sc número de Schmidt
- τ esfuerzo al corte

ϵ	ángulo
σ	esfuerzo
σ	coeficiente de evaporación
t	tiempo
T	temperatura
T_{bs}	temperatura bulbo seco
T_{bh}	temperatura bulbo húmedo
v	volumen específico
u	velocidad
W	peso
W_n	humedad
X_n	humedad al peso de sólido
y	peso específico de pescado
z	cenizas

CAPITULO 1

INTRODUCCION

El notable incremento de la población mundial está exigiendo la búsqueda de otros tipos de alimentos en fuentes aún no desarrolladas por la tecnología del hombre, capaz de compensar la escasez producida por el agotamiento de otras fuentes sin ser onerosas en cuanto a técnica de obtención y a la misma composición natural del alimento.

Nuestro País no ha aprovechado metódicamente, talvez por carecer de tecnología, la fuente marina para la producción de harina de pescado a partir de especies piscícolas cuyo alto contenido de proteínas y minerales lo hacen ideal para la alimentación humana, y de esa manera contribuir a aliviar la escasez mundial de alimentos. Aunque no existe en la actualidad producción comercial para este propósito la tecnología a escala mundial está realizando investigaciones para adecuar la harina de pescado directamente al consumo humano, no sin antes, y aparte de aquello, resultará menester y de prioridad técnica determinar nuestra propia tecnología para la construcción de la maquinaria indispensable en la obtención de dicho producto. "

La presente tesis tiene el propósito de destacar las condiciones y soluciones a las serias dificultades artesanales e industriales a tan importante problema que además de favorecer la economía nacional nos dará la satisfacción y seguridad de disponer de la técnica para diseñar nuestras propias plantas y ofrecer al mercado internacional nuestro producto elaborado, contribuyendo de esta manera a solventar la existencia de alimentos a escala mundial.

1.1. ANTECEDENTES

La harina de pescado es elemento indispensable para la elaboración de alimentos balanceados en la moderna cría de animales en la avi-

cultura y para la producción de fertilizantes orgánico-nitrogenados necesarios en la agricultura. La cría de animales representa un importante renglón en el Ecuador ya que existen centros avícolas industriales que necesitan gran cantidad de harina de pescado sin prescindirlos.

Los expertos en alimentación estiman que la ración alimenticia adquiere un valor nutritivo si se le agrega un 7.5% de harina de pescado cuya aportación en breves rasgos es la siguiente: a) un factor de crecimiento; b) algunos aminoácidos indispensables que se encuentran en los vegetales en proporción insuficiente, y c) una gran cantidad de proteínas digeribles.

La harina de pescado es un producto que se obtiene por reducción del contenido de humedad y grasa del pescado entero mediante cocido, prensado y secado sin adición de sustancias extrañas, siempre que contenga el 90% de dicha especie.

El producto tal como lo demandan internacionalmente debe estar libre de materia descompuesta y tener un alto contenido de proteínas digeribles (más del 60%), un bajo contenido de aceite (menos del 9%); c) un reducido porcentaje de ceniza o material mineral (menos del 4%), y d) un bajo porcentaje de humedad (hasta un 8% a 10%).

Este producto se lo destinaría principalmente a la exportación, y en el mercado nacional, a la industria de alimentos balanceados, a parte del producto, se incluye además la recuperación del aceite de pescado como subproducto, destinado al mercado interno.

Es necesario destacar que en, Perú y Chile, la industria de harina de pescado se incrementó notablemente en los últimos años, habiéndose convertido en rubro importante como generador de divisas para esos países, debido a la creciente aceptación mundial. En la actualidad a nivel de gobierno, Ecuador deberá suministrar a Japón, la harina de pescado como cumplimiento de cláusulas estipuladas en

"convenio económico-comercial".

Finalmente la producción de esta industria proyectada tendría los siguientes efectos:

- a. Permitiría un significativo aprovechamiento propio de materia prima que no se utiliza.
- b. La industria nacional de alimentos balanceados contaría con adecuada materia prima, con la cual aumentaría su producción.
- c. Generaría un apreciable ingreso de divisas como consecuencia de la exportación de harina de pescado.
- d. La creciente demanda de pescado fresco para la planta inducirá a tecnificarse el actual sistema de pesca, con el consiguiente aumento de ingresos para las cooperativas pesqueras y centros mecánico-industriales (Ver Cuadro 1.1).

C U A D R O 1.1

CAPTURAS DE LAS PRINCIPALES ESPECIES PARA HARINA DE PESCADO EN ECUADOR

ANO	PECES, MACKARELLA, CHUHUECO Y SIMILARES	OTROS PESCADOS
1965	7.000 Ton.	25.000 Ton.
1967	8.500 Ton.	27.000 Ton.
1970	35.000 Ton.	29.800 Ton.
1972	55.200 Ton.	32.000 Ton.
1974	17.000 Ton.*	35.000 Ton. (**)
1975	110.000 Ton. (2)	40.000 Ton. (4)
1976	160.000 Ton. (2)	50.000 Ton.
1977	160.000 Ton. (5)	50.000 Ton. (5)

* FUENTE: I.N.P. Expresados en Toneladas cortas

** FUENTE: Estimado I.N.P.

(2) Estimado en función de la exportación de harina de pescado y enlatados de sardinas en 1975.

(4) Estimado proyecto, Estudio de Mercado ASTINAVE

(5) Solo primer semestre, dato proporcionado por INSTITUTO NACIONAL DE PESCA.

1.2. EL MERCADO DE LA HARINA DE PESCADO EN ECUADOR

La última disposición de los gobiernos Chileno y Peruano de limitar la producción de harina, ha puesto en Ecuador con cierta ventaja comercial, aún más, se estima que el consumo de harina de pescado por los ganaderos y avicultores podrían alcanzar en la actualidad de 4000 a 6000 toneladas anuales avaluados cada una de US\$ 250 a US\$ 300, 6000 toneladas de harina de pescado representarían un valor de 1.800.000 dólares. El precio en el mercado de Nueva York de la harina de anchoveta del Perú, con 65% de proteínas varía con la demanda, en Agosto de 1975 se pagó hasta US\$ 300 la tonelada. En la actualidad un convenio celebrado con el Ministerio de Industrias del Ecuador y el similar de Japón consta el suministro por parte de nuestro país de una gran cantidad de harina de pescado y banano. Si bien es cierto la ley de pesca prohíbe la instalación de nuevas fábricas, justifica la instalación junto a una procesadora de conservas y enlatados por las razones que se verán mas adelante.

En el siguiente cuadro se presenta la producción de harina tomados del Centro de Desarrollo CENDES.

C U A D R O 1.2
ECUADOR: PRODUCCION DE HARINA DE PESCADO

AÑOS	TONELAJE
1955	15.0
1957	234.5
1960	382.8
1964	169.3
1970	--
1973	--
1975	24.000*
1976	47.066*
1977 (1º semestre)	24.000*

* FUENTE: INSTITUTO NACIONAL DE PESCA

La producción anterior generalmente procede de 3 fuentes a saber:

- a. Plantas industriales localizadas en la ciudad de Manta, en la península de Santa Elena y en la zona de Posorja; todas, además de procesar pescado fresco, aprovechan los desperdicios de enlatados de atún, con una producción anual hasta de 10.000 toneladas.
- b. Núcleos de artesanos ubicados en San Pablo, Palmar, Anconcito (Provincia del Guayas) Puerto López (Provincia de Manabí), procesan algunas especies de pescado pequeño como son la pinchagua, chumumo, hojita, chueco (*Ophistonema libertate*, *Centegraulius mystecetus*, *Caranx caballus*, *Vomer declivipons*, *Chloroscombrus orqueta*) llegaron a producir mas o menos hasta 1000 toneladas al año.

Estos pescados secos lo obtienen exponiéndolo al sol en grandes plataformas o pampas de tierra, necesitándose un hombre que espante los pájaros y revuelva el producto para acelerar la desecación, garantizan por lo tanto al comprador que no hay mezcla de sustancia extraña, su precio varía según las circunstancias oscilando desde S/. 200 a S/. 480 el quintal de 100 libras, o sea de 176 dólares a 369 dólares la tonelada. Sin embargo, este producto es de baja calidad con 42 - 55% de proteínas y 24 - 39% de cenizas y muchas veces el pescado está un 50% putrefacto tal como lo analiza el Instituto Nacional de Pesca. Este pescado solo debiera ser utilizado como abono, pues los gastos de elaboración son muy reducidos aun pagando S/. 500 la tonelada de pescado fresco, resultará rentable cuando su precio de venta alcanza de 200 hasta 350 sucres el quintal.

- c. Existen pequeñas fábricas de escasa técnica y maquinaria rudimentaria y procesan desperdicios dejados por la industria de enlatados, congelación y salazón. Aunque no se conoce el volumen de producción y el número de esas instalaciones, la harina es de baja calidad. Según control de calidad realizado en el Instituto Nacional de Pesca, una harina producida perteneciente a una instala

ción de San Pablo presentó: 16,1% de proteínas y 34% de arena y otras hasta un 28% de proteínas, lo cual indica que es necesario mejorar la técnica de proceso.

Finalmente, para fomentar la cría de ganados y aves de corral que constituye una riqueza en el Ecuador, sería establecer el mercado con harina de buena calidad con un mínimo de 55% de proteínas y a precio aceptable.

Para esa elaboración se sugiere entonces producir harina de pescado utilizando la forma industrial, concretamente, secadores eficientes y baratos tema de análisis en la presente tesis.

1.2.1. Producción Industrial de Harinas

Una fábrica pequeña sin incluir la instalación, edificio y capital de operación para producir 24 toneladas diarias de pescado fresco necesita cuando menos una inversión de 2.000.000 sucres solamente construyendo el horno rotativo y adquiriendo una Caldera de 125 BHP.

Para que aquella fábrica funcione normalmente es de prioridad garantizar el suministro de materia prima, lo que es ideal para acoplarlo directamente a una empresa o cooperativa pesquera.

La demanda necesaria que debería cubrir deberá adaptarse a las exigencias que presenta CENDES en el Cuadro 1.3.

De los Datos recogidos por el Instituto Nacional de Pesca sobre la materia prima que existe en las aguas de la costa continental, señala que las especies explotables para elaborar la harina con carácter industrial son de 2 clases (también estipulada en la Ley de Pesca):

- a. Especies pelágicas.- Estas variedades, según el Instituto en su mayoría del grupo cupleoidos: pinchaguas, chumumo, chuecos, etc. aunque aparecen a veces en cardúmenes abundantes en la costa ecuatoria-

C U A D R O 1.3

ECUADOR: PRODUCCION DE ALIMENTOS BALANCEADOS Y ESTIMACION DE HARINA DE PESCADO

ANOS	PRODUCCION DE ALIMENTOS BALANCEADOS qq	CONSUMO DE HARINA DE PESCADO qq
1968	107.000 quintales	8,560 quintales
1970	145.000 quintales	11.600 quintales
1972	180.000 quintales	14.400 quintales
1974	----	2.100 toneladas
1977	----	4.800* toneladas

FUENTE: Instituto Nacional de pesca, * sólo primer semestre.

na, lo hacen en temporadas irregulares sobre todo cuando llueve. Además si la empresa o cooperativa pesquera cuenta con una capacidad limitada, es improbable que una planta industrial de harina de pescado pueda abastecerse con regularidad y en condiciones de precios utilizando esa especie pelágicas, como para pagar sus gastos de operación y la amortización de un equipo costoso.

- b. Especie bentónica.- Técnicos de la Escuela de Pesquería de la ESPOL demuestran que en zonas donde la temperatura fluctúa entre 13°C y 15°C (grados centígrados) mas o menos de 130 hasta 250 metros de profundidad, existen gran cantidad de peces medianos o sea de 10 a 15 centímetros. que muy bien pueden abastecer una industria de harina de pescado. La corriente de Humbolt presenta esas condiciones de temperatura y profundidad. Si las cooperativas pesqueras innovan el sistema de pesca por arrastre pueden asegurarse ya la materia prima a nivel industrial.
- c. La Ley de pesca no permite procesar pescado entero grande (atún, bacalao, etc.) para producir harina, ya que esa especie sirve directamente como alimento humano, si bien es cierto no lo incentiva, apoya a producir harina de las 2 especies mencionadas anteriormente.

2.2. Producción Artesanal

Este tipo de inversión generalmente no necesita un gran aporte económico, ni un abastecimiento regular. Las fábricas pequeñas que existen tan solo dispone de un cocedor (cocina a leña) y de una prensa que produce la torta y extrae el agua del pescado.

Una plataforma que aprovecha arcaicamente la energía solar y aire caliente movido por convección natural con la consiguiente desventaja para los días nublado y lluviosos donde resulta infructuoso secar el pescado.

La descripción de este método artesanal, la realizamos con el fin de introducir los procesos técnicos, e ir conociendo a lo que será la instalación que tendrá mejor rendimiento y perfomancia en su funcionamiento.

Por ejemplo: los artesanos obtienen la materia prima, los colocan en canastos de caña de unas 100 libras de capacidad (ver Figura 1); Estas disponen de 2 agarraderas de alambre donde las suspenden, luego la introducen en un tanque con agua en ebullición, manteniéndolo por lapso de 5 a 20 minutos según el tamaño y la especie piscícola estando a punto cuando ha desaparecido la coloración roja del pescado.

De inmediato, extraen el canasto, los dejan escurrir 2 a 3 minutos y lo introducen en una prensa. En la figura 1 muestra como se eliminan el agua con las mordazas manuales accionadas por medio de un tornillo sin fin; también se recoge el líquido que servirá para obtener el aceite; la torta separada inmediatamente pasa a secarse sobre plataformas de cemento o sacos de gute a fin de evitar revolverlo con arena o elementos extraños.

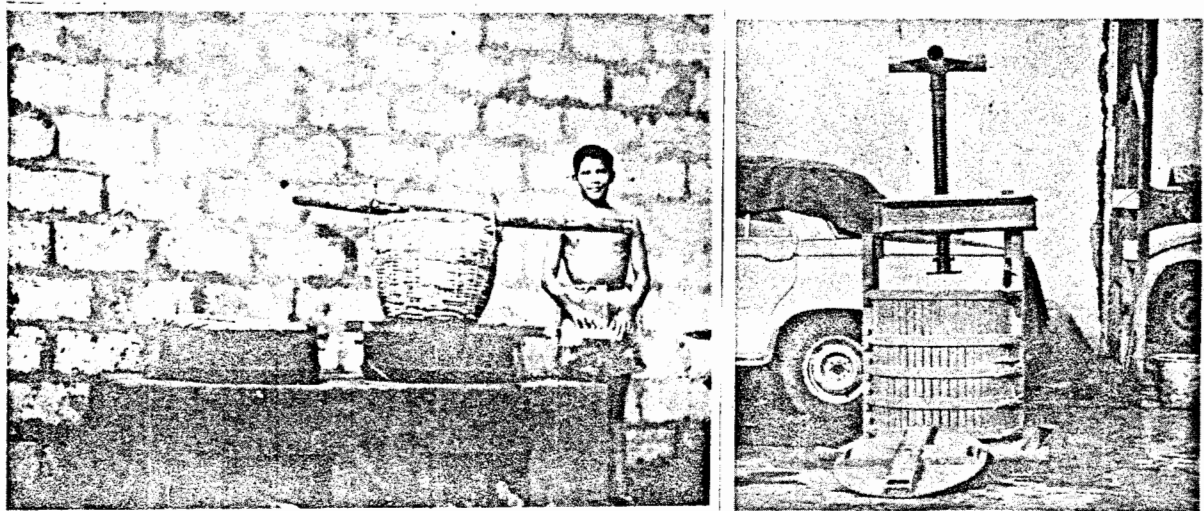


FIGURA 1.- Hornilla de ladrillo y tanques de hierro para la cocción del pescado, canasto con capacidad de 100 libras. (Prensa mecánica manual, construída en el país, para el prensado del pescado cocido).

El secado depende de las condiciones metereológicas y varía de 1,5 a 4 días. Este paso tiene mucha importancia en cuanto al aprovechamiento de radiación solar, se necesita una mayor área para distribuir el producto, además trae molestias como la contaminación ambiental debido al olor fuerte emanado por el proceso; entonces es necesario introducir una máquina que ocupe menos espacio físico y menos tiempo de secado. En el capítulo 2 se desglosan los tipos de secados aplicados, donde el horno rotativo resulta muy práctico por las ventajas allí expuestas. La etapa final abarca la molienda y el envase o reserva en los silos construídos para tal fin.

1.3. DATOS EXPERIMENTALES SOBRE LA ELABORACION

El control de calidad de este producto lo realiza el laboratorio del

Instituto Nacional de Pesca y ha normalizado a partir de varios ensayos las condiciones mínimas en cantidades alimenticias que deberá poseer la harina. De nuestras aguas territoriales podemos producir harina a partir de la *Ophistonema libertate* (pinchagua) *clolorcombrus orqueta* (hojita), *centegraulis mysticetus* (el chuhueco), *Caranx Caballus* (caballa), etc.

De las especies mencionadas, la *Ophistonema libertate* es una de las especies mas abundante y se la dispone durante casi todo el año.

El proceso de reducción de dicha especie es la siguiente:

<i>Ophistonema libertate</i> (materia prima fresca)	260 kilogramos
su peso cocida (intercambiador de calor)	235 kilogramos
su peso prensada (prensa hidráulica)	130 kilogramos
su peso secada (horno rotativo)	63 kilogramos

Nótese la cantidad de agua extraída por la prensa, después de la cocida es:

$$235 - 130 = 105 \text{ kilogramos}$$

que expuesta al secado

$$130 - 63 = 67 \text{ kilogramos}$$

La prensa también elimina una gran parte de grasa que contiene el pescado fresco; ésta grasa puede ser recuperada por decantación en una centrífuga. Una de las ventajas de cocer el pescado antes de secarlo es la de reducir el porcentaje de grasa lo que permite obtener una harina de óptima calidad; por ejemplo.

C U A D R O 1.4

PROCESO	CANTIDAD
Secado al sol directamente	24% de grasas
secado al horno rotativo	7% de grasas

desde luego el porcentaje de humedad en ambos casos debe bajar de 100% a 8% (libras masa de agua por libra masa de sólido).

El Instituto Nacional de Pesca señala el análisis para obtener harinas de otras especies mencionadas anteriormente.

Harina de *Ophistonema libertate* (pinchagua)

Nitrógeno	10,60 %
Proteínas	66,25 %
Grasas	9,00 %

Harina de *Chloroscombrus orqueta* (hojita)

Nitrógeno	10,36 %
Proteínas	65,80 %
Grasas	4,00 %

Harina de *Caranx Caballus* (caballa)

Nitrógeno	8,82 %
Proteínas	55,10 %
Grasas	6.80%

Harina de otras especies provenientes de la pesca de arrastre.

Nitrógeno	9,32%
Proteínas	58.25 %
Grasas	9,30 %

Como se vé, las especies mencionadas presentan un 120% de grasas promedio, que se lo puede aprovechar para producir aceites en el prensado.

COSTO DE PRODUCCIÓN ARTESANAL

Inversión: Los artesanos invierten para un pequeño taller con capacidad para 10 quintales por día, lo siguiente:

1 prensa tipo normal	24.000 sucres
1 cocina de 4 hornillas a kerosene	<u>6.000 sucres</u>
TOTAL:	30.000 sucres

Aquellos gastos lo amortizan por 2 años, lo que determina que cada año se reparta en:

$$\frac{\text{Monto}}{\text{Tiempo}} = \frac{30.000 \text{ sucres}}{2 \text{ años}} = 15.000 \text{ sucres/año}$$

Que sumado a un interés de 12% el capital invertido y recuperado por cada año será de:

$$15.000 + 0.12 (15.000) = 16.800 \text{ sucres/año}$$

La máxima cantidad que ellos pueden producir anualmente son de 500 quintales trabajando 50 días* al año lo que determinará un costo de producción en:

$$\text{Costo de producción} = \frac{16.800 \text{ sucres/año}}{500 \text{ quintales/año}} = 3.36 \text{ sucres/quintal}$$

Gastos de elaboración

Materia prima = 200 quintales pescado fresco/año o sea 40 qq diarios.
Material elaborada = 10 quintales aproximadamente 25%.

40	$\frac{\text{quintales p. fresco}}{\text{día}}$	x	50	$\frac{\text{sucres}}{\text{qq p. fresco}}$	=	2000	$\frac{\text{sucres}}{\text{día}}$
25	$\frac{\text{galones de kerex}}{\text{día}}$	x	3	$\frac{\text{sucres}}{\text{galón kerex}}$	=	75	$\frac{\text{sucres}}{\text{día}}$
1	$\frac{\text{jornal}}{\text{día}}$	x	300	$\frac{\text{sucres}}{\text{jornal}}$	=	300	$\frac{\text{sucres}}{\text{día}}$
	Imprevistos, otros gastos, etc.				=	200	$\frac{\text{sucres}}{\text{día}}$
				TOTAL	=	2575	$\frac{\text{sucres}}{\text{día}}$

(*) Porque de acuerdo a condiciones meteorológicas de acción gravitatoria (cuarto menguante, creciente, etc.) solo es posible que ellos pesquen 15 días al mes, es decir, cuando no hay luz nocturna, a esto se suma ciertos meses del año que el mar se muestra picado (aguaje) de manera que las embarcaciones pequeñas y sin instrumentación sólo es posible pescar 50 días al año como promedio.

seca y cálida. El método artesano necesita como mínimo 1,5 día para secar apenas 1/2 tonelada mientras que el horno rotativo en ese tiempo ha procesado 36 toneladas métricas de harina.

5. FACTIBILIDAD

En realidad, el primer paso para ejecutar una obra, son los motivos impulsados para diseñarlo, y desde ya en la construcción de máquinas se prevee el aporte de los sectores artesanales técnicos capaces de construir aún sin la ayuda foránea; pero eso no es todo, también deben considerarse el porqué de su construcción, circunstancias que se tratarán inmediatamente.

Justificación del Proyecto

Para determinar esta parte de la factibilidad analizaremos tres etapas y factores que estimularán la ejecución del proyecto y serán: Mercado, repercusión socio-económica y la disponibilidad de la materia prima.

Mercado: En la sección 1.2 se trató acerca de la producción interna y la demanda internacional, aquí tan solo resta añadir que los países como Alemania y Japón para el año 1978 exigirán de Ecuador alrededor de 50.000 toneladas anuales, y esa cifra fue corroborada como resultado de las conversaciones mantenidas entre una delegación económica de Ecuador integrada por el ministro de Comercio e Integración, con miembros de una delegación similar de las repúblicas de Japón y Corea.

Japón mantiene el interés para dar una asistencia tecnológica dentro de programas, petroquímicos, automotriz, naval, metal mecánico, agro-industria, etc. con el consiguiente beneficio a nuestro país, porque suministraremos harina de banano y harina de Pescado.. (ver diario "El Universo", Edición 5 de Noviembre de 1977).

$$\text{Gastos de elaboración} = \frac{2275 \frac{\text{sucres}}{\text{día}} \times 50 \text{ días}}{500 \text{ qq de harina}} = 227.5 \frac{\text{sucres}}{\text{qq de harina}}$$

Gastos por administración

Al desglose anterior debe agregársele gastos por molienda y personal administrativo de manera que se emplearán cuando menos:

1 ayudante	S/. 80,00 sucres/día
1 guardián molidor	<u>100,00 sucres/día</u>
T O T A L:	S/. 180,00 sucres/día

que en 50 días de trabajo repercutirán un gasto de:

$$\frac{180 \text{ sucres/día} \times 50 \text{ días}}{500 \text{ quintales de harina}} = 18,00 \text{ sucres/qq de harina}$$

Eso representará lo siguiente:

Gasto de producción	3,36 sucres/qq de harina*
Gasto de elaboración	227,50 sucres/qq de harina*
Gasto de administración	<u>18,00 sucres/qq de harina*</u>
TOTAL:	248,86 sucres/qq de harina

En la actualidad se expende en el mercado* a 480 sucres/qq lo que nos da una rentabilidad bruta de:

$$\text{Rentabilidad bruta} = \frac{480 - 248,86}{248,86} \times 100\% = 92.8\%$$

Producción Industrial

El horno que diseñaremos tendrá como mínimo una capacidad de 5 toneladas/hora; en el capítulo 5 analizaremos los diferentes desgloses a nivel de planta, pero es claro determinar las ventajas que se obtienen a más de introducir tecnología propia.

(*) En caso de comprobar datos o instalar este tipo de pequeña industria el lector deberá actualizar los datos para el futuro, ya que esta tesis solo proporciona datos hasta fines del año 1977.

El costo del aparato lo determina la capacidad del mismo y la maquinaria adicional, pero aún, estableciendo de antemano un costo elevado - por 40 toneladas diarios de producción se tendría como mínimo una alta rentabilidad.

La satisfacción de introducir esta técnica es dejar establecido un servicio a la comunidad pesquera y pequeña industria, la instalación de sus propios hornos aprovechando una fuente de materia prima barata y asegurar procesándola de inmediato para no depender únicamente de las circunstancias que aplican las grandes industrias.

1.4. COMPARACION DE LOS METODOS: INDUSTRIAL Y ARTESANAL

Ventajas del método artesanal

La inversión es mucho más limitada, ya que apenas se necesitan S/. 13.000 por cada instalación mientras que instalar una planta con horno rotativo se necesita por lo menos 2'000.000 de sucres para una capacidad de 25 toneladas.

Estas pequeñas fábricas se pueden instalar en algunos lugares de la costa, lo que facilita el abastecimiento del pescado.

Los gastos fijos son reducidos y permiten trabajar solo 50 días al año para obtener beneficios mientras que la planta industrial necesita trabajar 200 días al año.

Desventajas del método artesanal

- La performance de la planta industrial permite obtener harina de mejor calidad (7% grasa) mientras que el método artesano no permite recuperar sino una pequeña parte del aceite de pescado, lo que representa una pérdida cuando se procesa pescado grasoso.
- Se depende mucho del factor tiempo y condiciones meteorológicas, lo que obliga a trabajar solamente en zonas donde existe estación

seca y cálida. El método artesano necesita como mínimo 1,5 día para secar apenas 1/2 tonelada mientras que el horno rotativo en ese tiempo ha procesado 36 toneladas métricas de harina.

1.5. FACTIBILIDAD

En realidad, el primer paso para ejecutar una obra, son los motivos impulsados para diseñarlo, y desde ya en la construcción de máquinas se prevee el aporte de los sectores artesanales técnicos capaces de construir aún sin la ayuda foránea; pero eso no es todo, también deben considerarse el porqué de su construcción, circunstancias que se tratarán inmediatamente.

Justificación del Proyecto

Para determinar esta parte de la factibilidad analizaremos tres etapas y factores que estimularán la ejecución del proyecto y serán: Mercado, repercusión socio-económica y la disponibilidad de la materia prima.

Mercado: En la sección 1.2 se trató acerca de la producción interna y la demanda internacional, aquí tan solo resta añadir que los países como Alemania y Japón para el año 1978 exigirán de Ecuador alrededor de 50.000 toneladas anuales, y esa cifra fue corroborada como resultado de las conversaciones mantenidas entre una delegación económica de Ecuador integrada por el ministro de Comercio e Integración, con miembros de una delegación similar de las repúblicas de Japón y Corea.

Japón mantiene el interés para dar una asistencia tecnológica dentro de programas, petroquímicos, automotriz, naval, metal mecánico, agro-industria, etc. con el consiguiente beneficio a nuestro país, porque suministraremos harina de banano y harina de Pescado.. (ver diario "El Universo", Edición 5 de Noviembre de 1977).

Aparte de lo anterior, la instalación de la industria del pescado producirá resultados porque la exportación a esos país, ayudará a contrarrestar el desbalance comercial que actualmente existe en Ecuador frente al Japón.

En la actualidad, la República Federal Alemana es nuestro principal -comprador pues de la producción del año 1975 (24.000 ton.) exportó el 80% de aquella cantidad.

Repercusión Socio-Económica: Consecuencias inmediatas que ofrecerá -esta instalación serán ventajosas por los siguientes factores:

- i) Se tecnificarán los métodos de obtención de harina, desapareciendo los métodos arcaicos de producción.
- ii) Ofrecerá un desarrollo económico mediante aportes que generará mayor nivel ocupacional del poblador de la costa.
- iii) Habrá la posibilidad de incrementar la educación técnica, pues se justificará la creación de escuelas donde se dictarían cursos a los operarios de las máquinas ingiriendo de esa manera una preparación intelectual para el poblador de la costa.
- iv) La rentabilidad propia de la producción ofrecerá mejor perspectiva económica, medida que repercutirá en el mejoramiento de ciertas condiciones de vida y actividades sociales.
- v) Procura un aumento de producción pesquera, evitando de esa manera que barcos piratas extranjeros realicen capturas dentro de las 200 millas, salvaguardando así los intereses nacionales.

Disponibilidad de materia prima: Si en verdad es cierto se han descrito los factores que no obstaculizan el desarrollo de este tipo de Industrias, también existen los factores que las obstaculizan, como son: la falta de instalaciones portuarias y los servicios adecuados, por lo que es menester que los gobiernos ejecuten algunos proyectos y se ha-

gan realidades puertos pesqueros de Posorja, Palmar, etc. como también incrementando la flota pesquera nacional.

El pescado capturado en su mayoría lo realizan flotas de empresas privadas y otras conformadas por cooperativas de pequeños pescadores.

De todas maneras, nuestro mar territorial dispone de abundante riqueza ictiológica que explotada racionalmente y por flotas nacionales asegurarían el suministro continuo y constante de la materia prima, a la vez que daría ingentes beneficios para la población pesquera ecuatoriana.

En la sección 1.2 se describió el tipo de pescado que se seleccionará para producir harina, de manera, que solamente bastaría contratos expresos o tácitos para que las flotas pesqueras dispongan la materia prima en la propia planta de proceso.

Financiación

Según la Ley de pesca, el instalar una empresa de este tipo deberá acogerse a normas legales, y es el Ministerio de Recursos Naturales quien deberá aprobar la solicitud de funcionamiento, pero previo a eso, la Dirección Nacional de Pesca es la Institución que revisa el contenido de la solicitud para comprobar si está dentro de los límites exigidos por la ley.

Los permisos anteriores serán las garantías necesarias para financiar el proyecto en cuanto a recursos económicos se refiere, ya que los Bancos nacionales y extranjeros aceptarían esa aprobación. El Capítulo 5 de esta Tesis presenta un valor exacto del costo y desglose económico al importe de la planta.

En cuanto a mano de obra calificada, en la Península existen colegios técnicos de mecánica y pesca que sumado a los talleres de construcciones Industriales-navales es muy posible contar con el personal apropiado para la ejecución de la obra.

Los hornos que dispone la compañía INPECA de Monteverde han sido construídos en Ecuador pero con diseños peruanos, la compañía INPROMAR de Anconcito utiliza hornos construídos por artesanos ecuatorianos; de igual manera los hay en CHANDUY, DATA, etc. pero todos ellos carecen de una tecnología optimizada que repercuten en mal funcionamiento e inclusive la obtención de harina de baja calidad.

El contenido de esta tesis vislumbra ya el cálculo de los parámetros para hornos de diversas capacidades y dá los planos, es decir, se dispondrá del conocimiento teórico que unido al conocimiento práctico de los artesanos serán los factores que justificarán y harán factible diseñar un horno rotativo con tecnología 100% nacional.



BIBLIOTECA

CAPITULO 2

PROCESOS DE SECAMIENTO

Para entender el término secamiento nos referimos a la extracción de humedad de los sólidos por medios térmicos y mecánicos, aunque existen otros autores que diferencian dos conceptos, como son la desecación y la evaporación que se caracterizan por el aparato empleado para realizar la operación de secado; sin embargo, ambos procesos eliminan cantidades de líquido. Se aplica también el concepto de deshidratación a los procesos de secado cuando se refiere a la eliminación de agua en la desecación de los alimentos.

Las razones fundamentales para secar alimentos y en nuestro caso, preparar harina de pescado, son múltiples por los fines consiguientes, - así como, por la exigencia del consumidor, pero, disponer de pescado seco trae las siguientes ventajas:

1. Facilita la manipulación en algún tratamiento posterior.
2. Permite satisfactoriamente almacenarlas en silos y conservarlas por largo tiempo sin descomponerse.
3. Reduce por lo consiguiente en gastos de otras instalaciones y transportes; frigoríficos, barcos, etc. teniendo las mismas proteínas.
4. Aumenta el valor y la utilidad de los desperdicios y los subproductos obtenidos, eliminando en parte cierta contaminación ambiental.
5. Aumenta la capacidad de otros aparatos o instalaciones de proceso; industrias de alimentos.

Además, cabe añadir a lo anterior, las siguientes propiedades y exigencias del producto, razones elementales para seleccionar un proceso de secado apropiado.

1. Debe reducirse la humedad hasta un 8% ó 10%.

2. El secado debe ser rápido preferible con aire caliente calentado por vapor o productos de la combustión para descartar cualquier actuación de microorganismos que puedan producir una descomposición.
3. Las temperaturas de secado deben llegar hasta los 160°C^* límite para que no se transformen las grasas y se pierdan las proteínas animales, sin considerar que a temperaturas mas altas la radiación es una fuente de calor importante.
4. Para aumentar la eficiencia de producción es necesario que la materia prima antes de entrar al secador vaya con la humedad mas -baja posible; Ésta generalmente va precedido por un escurrimien-to mecánico del agua, es menos costoso y mas fácil es separar un líquido de un sólido por métodos mecánicos que por procedimien-tos térmicos.

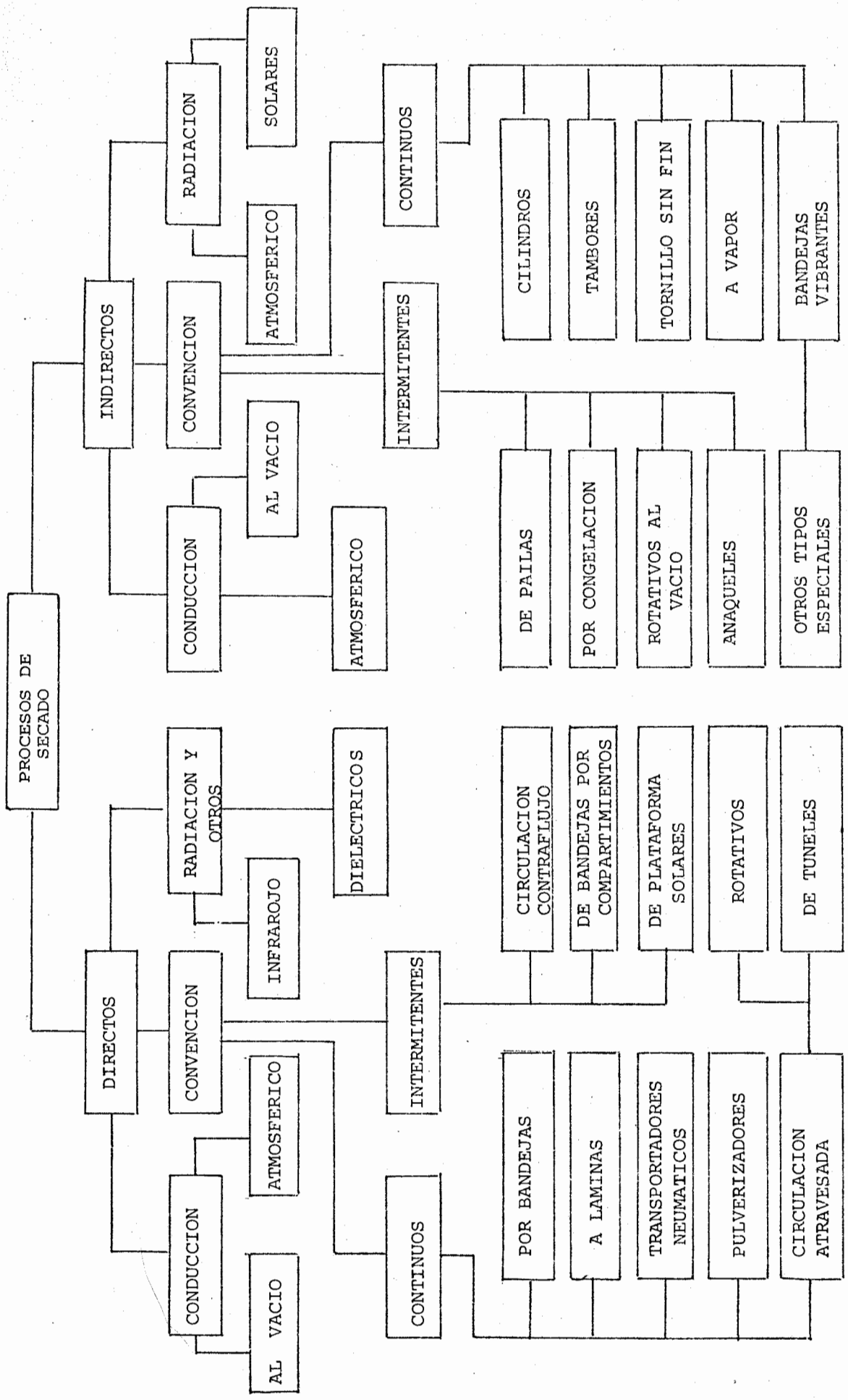
Quando se deseca un sólido se produce 2 procesos simultáneos que son la transferencia de masa o sea la humedad interna o líquido evaporado y la transmisión de calor, que a su vez puede ser de tipo convección, conducción, radiación o la combinación de cualquiera de esos mecanismos.

Industrialmente hablando, sin desmerecer factores químicos-físicos, variables externas-internas, etc., se selecciona los secadores mas eficientes, menos costosos y de fácil manejo pero antes de entrar a seleccionar un proceso de secado, el cuadro N^o 2.1 presenta una clasificación de los procesos de secado según el autor Marshall - (Heating, piping Air conditioning, 18,71 (mayo 1946)) pero reformada por el autor en cuanto a transmisión de calor se refiere.

2.1. PROCESOS DIRECTOS

Los secadores para pescados en procesos directos generalmente utilizan transmisión de calor por convección, es decir gases calientes

(*) Ver sección 3. Temperatura máxima de secado, en esta misma tesis.



CUADRO 2.1. Clasificación de los diversos procesos y secadores por el procedimiento de transmisión de calor reformada por el autor. [Marshall, Heating Piping, Air Conditioning 18,71 (1946)]

que provienen de la combustión de bunker, kerex o gas metano, calentando un flujo de aire que circula en contacto directo a favor o en contracorriente con el sólido húmedo. El líquido vaporizado es arrastrado y desalojado fuera del secador con ayuda de extractores (ciclones). Ver figura 2.1.

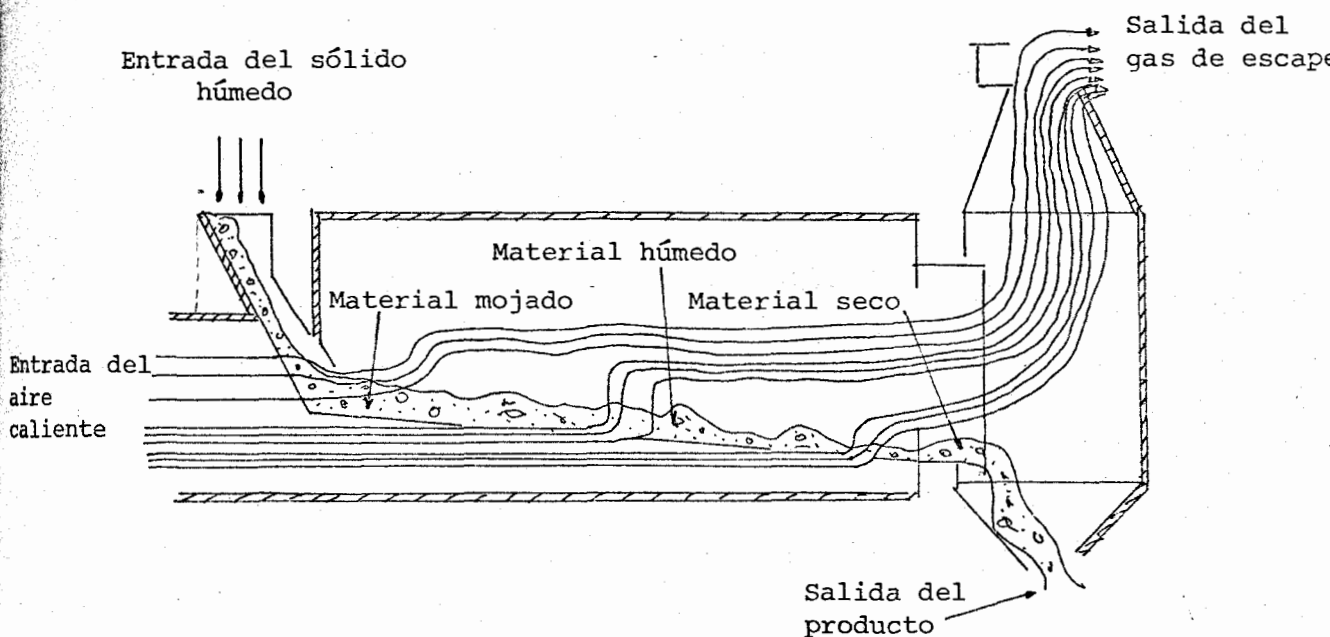


FIGURA 2.1.- Un secador para procesos directos. Nótese la circulación del aire y del gas a través del secador.

El funcionamiento puede ser continuo o intermitente; se dice que es continuo cuando se trabaja sin interrupción mientras se suministra material húmedo, es evidente que un secador continuo puede funcionar intermitentemente si así se lo desea.

Las temperaturas pueden llegar hasta los 760°C sin peligro de fundirse el material del que está construido un secador, las temperaturas máximas generalmente limitan la construcción de estos secadores; en

nuestro caso necesitaremos $150 \pm 10^\circ\text{C}$ que es la temperatura ideal de secado para producir harina de pescado. En las industrias existentes los secadores mas empleados son los de fuego directo que producen calor por radiación y por convección; el horno rotativo también llamado secador rotativo de Louvre, el secador de plataforma o solar que a proveche radiación y convección natural y los secadores o lámparas infrarrojas son los mas apropiados para secar el pescado y se han considerado en nuestra clasificación como procesos directos.

2.1.1. Secador a Fuego Directo

Estos secadores son los tipos mas empleados en procesos de la industria pesada, ya que se lo utilizan para producir cemento, fabricar cal, dolomita, para tostar y calcinar materiales como bauxita, alúmina, minerales de hierro, etc. desde luego que lleven un revestimiento refractario en su interior para soportar altas temperaturas (1650°C). En la industria liviana se los ha adoptado para secar acetato de celulosa, sílice gelatinosa, fibras de lana, almidón de maíz, etc. razón por la que se emplean temperaturas bajas (180°C) y casi no llevan revestimiento refractario.

Un secador rotativo a fuego directo consiste en un cilindro metálico acerado ligeramente inclinado respecto a la horizontal y que gira al rededor de su eje. Ver Figura 2.2. Las dimensiones de este secador son por lo general tales que su longitud al cuadrado del diámetro de la envoltura o cilindro suele estar comprendida entre 1.5 y 5, pero todo aquello es relativo ya que cálculos posteriores (sección 3.2.1), determinarán para ciertas condiciones necesarias y exigidas por la capacidad del secador las dimensiones optimizadas con el fin de mejorar la calidad de los productos.

La rotación se consigue por un engranaje circunferencial o de banda que comunica a la envoltura velocidades tangenciales del orden de 7.5 a 12 metros por minuto. La inclinación del horno con respecto a la horizontal varía entre 1.5 mm/m y 62.5 mm/m de longitud del horno. El

material húmedo se lo introduce por la parte superior del horno estático mediante procedimientos como rampas inclinadas, transportadores de tornillo sin fin que van a la tolva respectiva de alimentación.

El producto viaja por el interior en virtud a la rotación del cilindro y a la disposición de las aletas que producen las respectivas turbulencias de manera que el producto ofrezca mayor área de intercambio de calor. Ver figura 2.3.

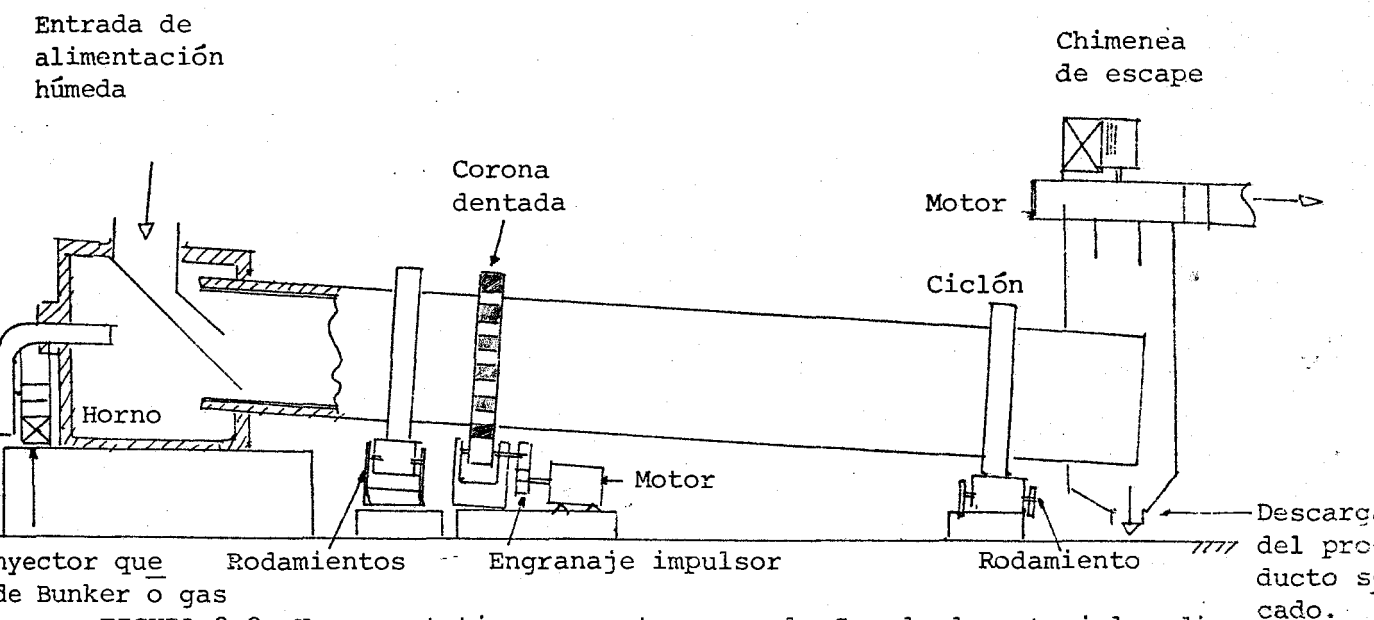


FIGURA 2.2. Horno rotativo, aspecto general. Secado de materiales directos por gases calientes, también conocido como secador de Louvre.

La carga y encendido del combustible puede realizarse en el extremo del horno estático de manera que los gases y aire caliente fluyan paralelo con respecto al desplazamiento del material. En la sección 2.4 se da la descripción exacta de las ventajas termodinámicas que se obtienen al diseñarlo de esa manera.

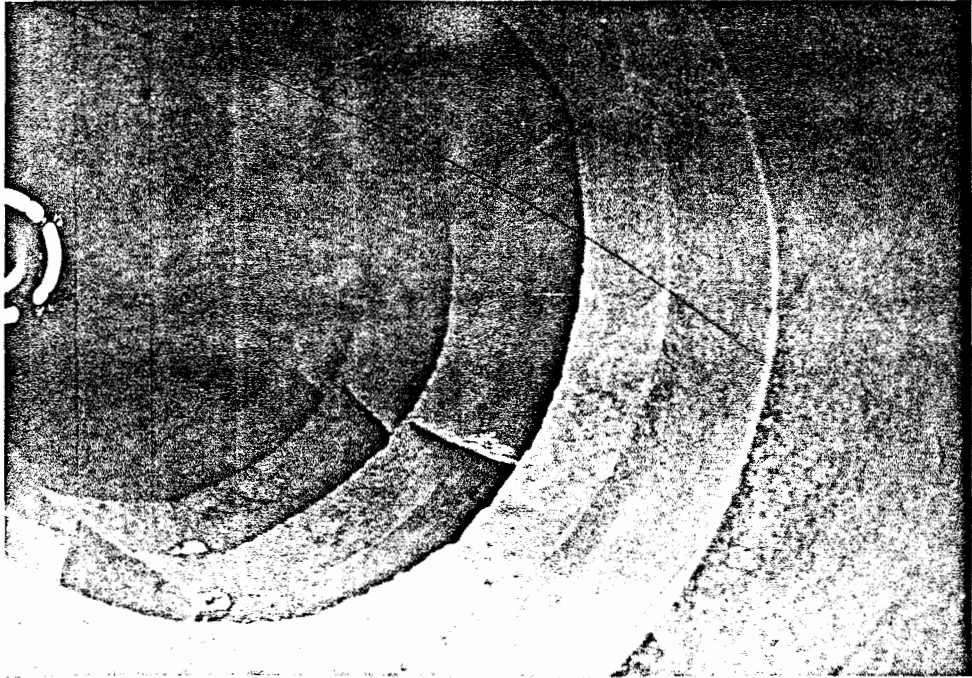


FIGURA 2.3.- Aspecto real y el diagrama pictórico de la distribución de aletas en el horno rotativo (secador directo) para producir la turbulencia.

En instalaciones mucho más complicadas se aprovechan los gases cabientes de la chimenea para precalentar agua o aire con intercambiador de manera que se aumente la eficiencia de la máquina, otros en cambio añaden filtros, cámaras de retención o sedimentación, ciclones, torres lavadoras y precipitadores electrostáticos, que justifican su empleo - porque eliminan en parte partículas, nubes de polvo (caso de la Cemento Nacional), gases cuya concentración es perjudicial para la salud humana, etc., sin embargo, en el desarrollo de esta tesis se determinan la optimización de los diversos parámetros que darán buena calidad de la harina de pescado, es decir instalando controles rigurosos de temperatura de horno como son los controles automáticos neumáticos (Ver sección 3.2.4).



2.1.2. Secador de plataforma (solar)

Este secador directo es el más utilizado por pequeñas cooperativas de agricultores y pescadores, la manera rudimentaria de aprovechar energía solar y energía eólica, podríamos subclasificar este secador como del tipo radiación convección porque la energía luminosa-térmica y el aire de vientos calientes secan el producto que está extendido en una plataforma de área muy grande.

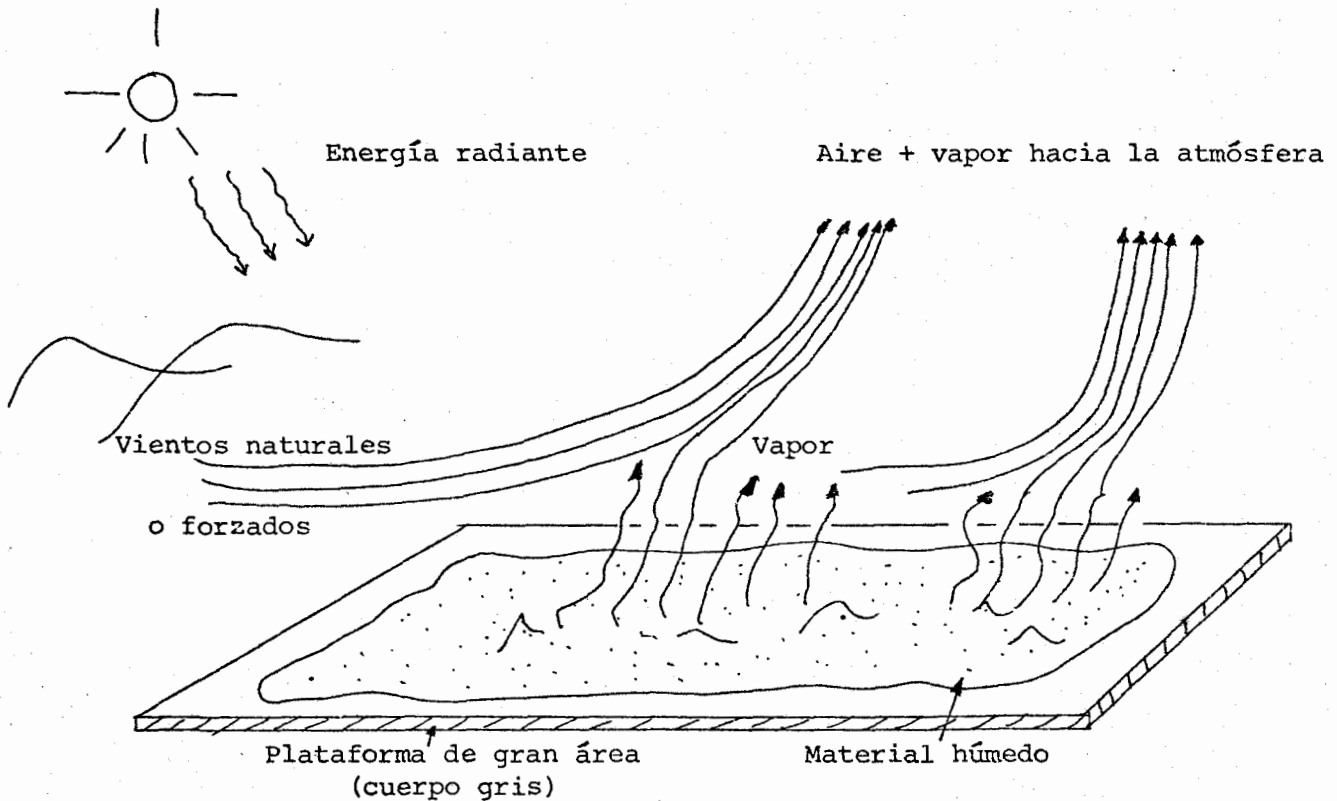


FIGURA 2.4.- Diagrama pictórico del proceso de secado por plataforma. El viento forzado puede ser producido por ventiladores.

el viento caliente (también frío) remueve el vapor extraído del material húmedo por convección natural o forzada, el calor de radiación es el que vaporiza la humedad del material (Ver figura 2.4 y 2.5).

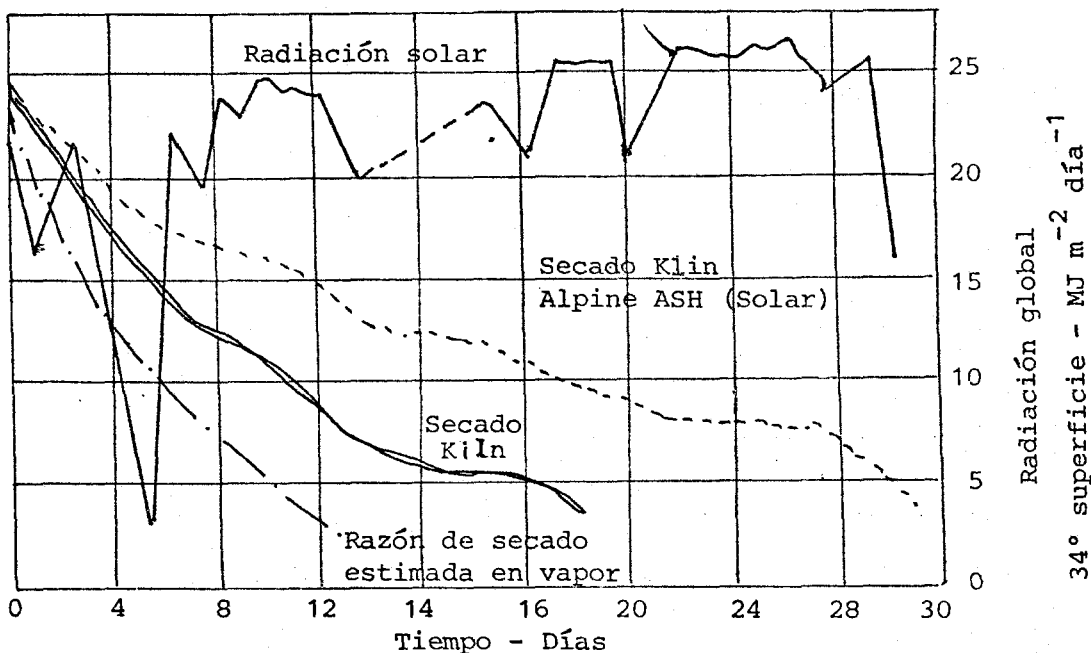


FIGURA 2.5. Razón de secado por radiación solar durante un mes de verano (tomado de Technical note (A solar Timber Kiln por W.R. Read, A. Choda, and P.I. Copper Received 20 October 1973).

El rendimiento de aquel secador depende específicamente de las condiciones meteorológicas como pudo verse en el gráfico anterior. En el país, en realidad se ha hecho muy poco, pero el agricultor de la zona de Quevedo ha desarrollado un método rudimentario para secar el cacao, café, etc. Ellos instalan ventiladores y forzan el aire a través del producto de manera que aumenta la razón de secado, otros en cambio han añadido serpentines que llevan vapor o aguacaliente y producen el intercambio de calor necesario entre el aire y la materia a secarse. A pesar de carecer de perfeccionamiento nuestro campesino y pescador de las costas utiliza este procedimiento, como puede verse en el gráfico 2.6.

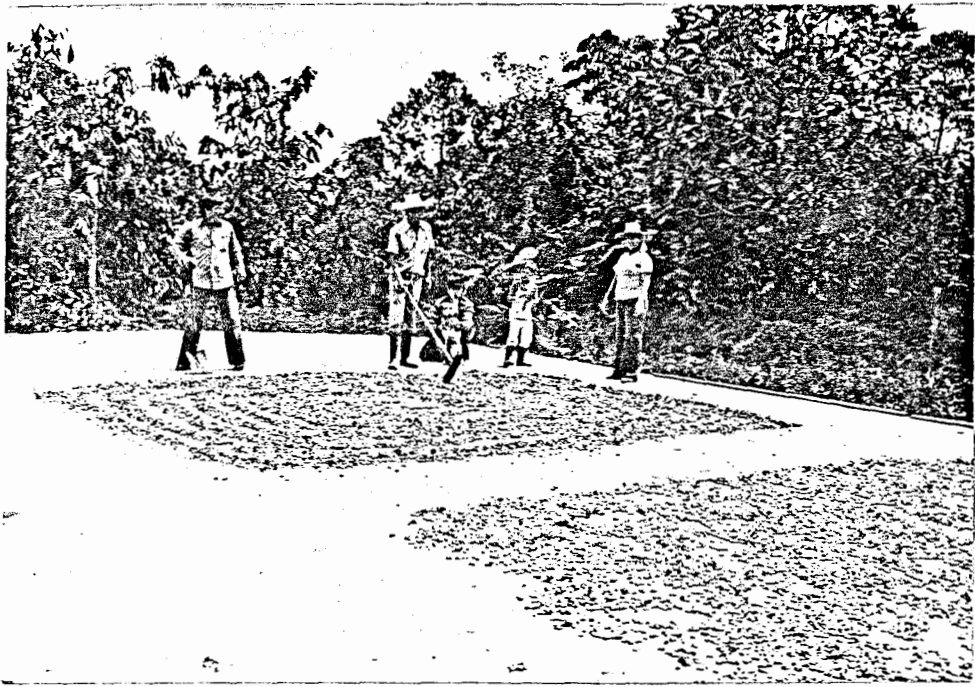


FIGURA 2.6.- Ejemplo típico de un secador de plataforma aprovechando energía solar y energía de viento.

2.1.3. Secadores a lámparas infra-rojas

Este proceso es utilizado para secar pescado "salado", es decir, aquel preparado con cloruro de sodio (Cl Na) y dispuesto con una área máxima (producto) de manera que presente espesores finos y toda la radiación del calor incidente en el material húmeo sea distribuida con mayor ventaja. La empresa pesquera nacional ha diseñado un tipo de este secador pero ayudado con ventiladores para producir aire forzado. Un gráfico del espectro electromagnético nos indicará la manera general - que tipo de onda o radiación es la que produce la vaporización de humedad, cabe indicar que este procedimiento tiene limitaciones en cuanto a la potencia de radiación para el secado y el consumo excesivo de energía eléctrica que son factores influyentes en sus costos. De todas maneras el Cuadro 2.2 presenta donde estaría ubicado el secamiento de pescado por este método.

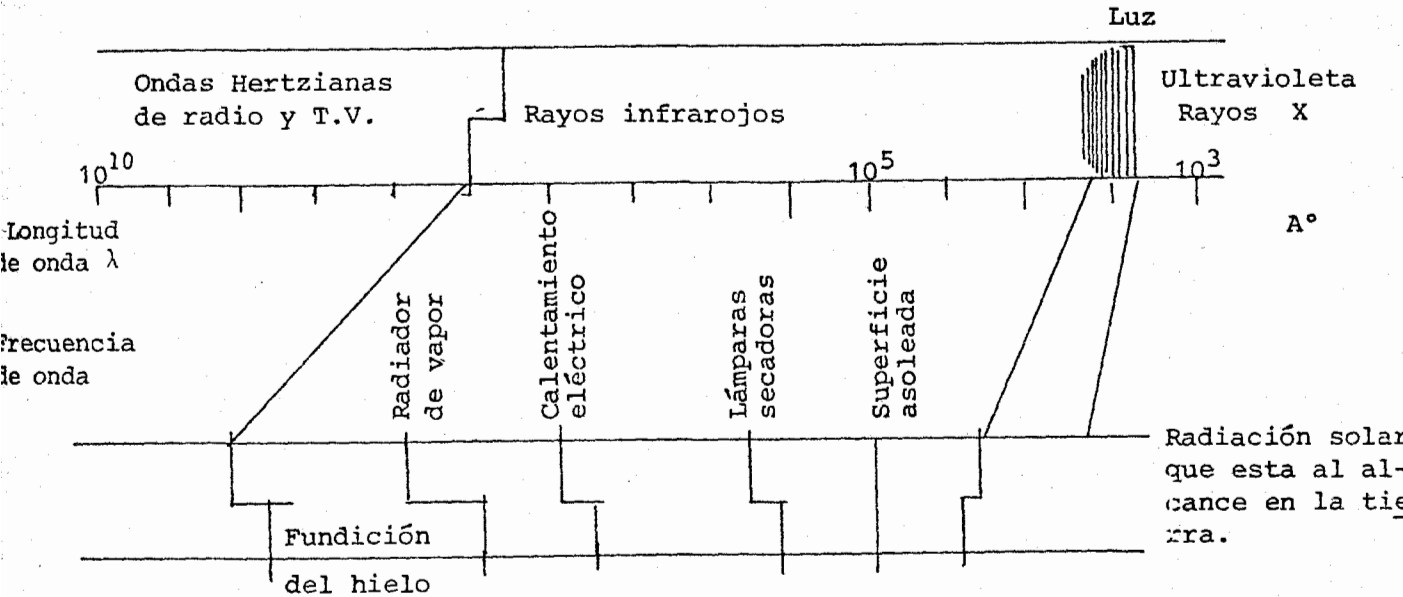


FIG. 2.7. Ondas electromagnéticas, espectro infrarrojo (tomado de Física, Tomo II, Enciclopedia SALVAT, Edición 1971).

CUADRO 2.2.

INTENSIDADES DE RADIACION DE LA NATURALEZA Y EN LA TECNICA

	W/cm ²
Secado de lacas de auto	0.5 a 1.5
Secado de papel de cartón	3.0
Secado de pescado salado	de 1.0 a 4.0
Vaporización del agua	de 1.0 a 4.0
Tostado de pan, etc.	de 1.0 a 4.0
Radiación solar medida al máximo en pleno día de verano	0.05

Las ondas infra-rojas son producidas por lámparas, resistencias eléctricas o material refractario incandescente, cuya longitud de onda se aproxima a la emitida por rayos infrarrojos del sol. A pesar de todo lo anterior este tipo de secador no ha encontrado mucha aplicación en la industria para eliminar humedad, salvo para el mantenimiento frecuente de devanados eléctricos o secamiento de pinturas y calentamiento de capas delgadas. Las lámparas van dispuestas directamente enci-

ma del material a secarse (fig. 2.8). La justificación apreciable de este tipo de secador para los alimentos es netamente químico, ya que destruyen bacterias y paralizan procesos de fermentación en ciertos procesos industriales.

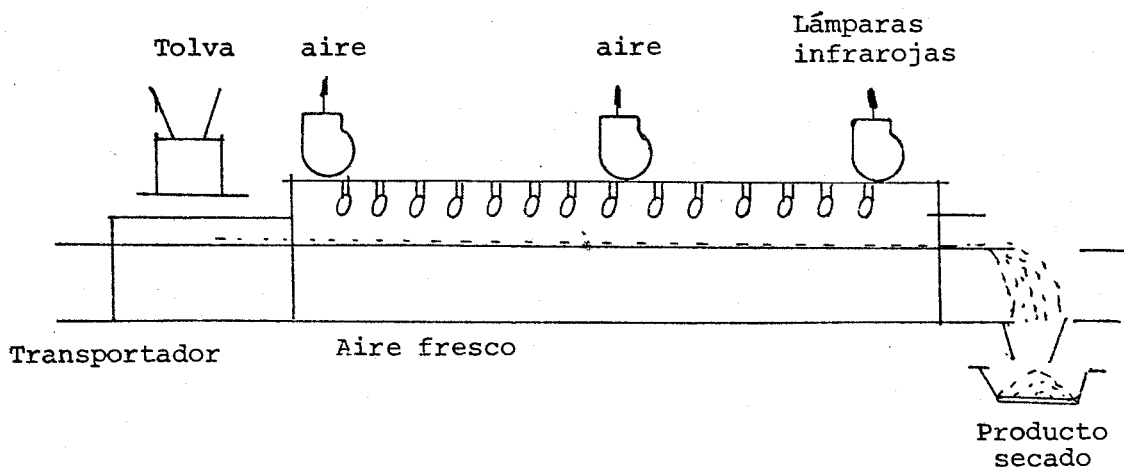


FIGURA 2.8. Secador Infrarojo (Método de Bandas)

El costo de energía necesaria para este método es de dos a cuatro veces mayor que el costo del combustible en los secadores descrito anteriormente.

2.2. PROCESOS INDIRECTOS

En la industria del secado los procesos indirectos extraen la humedad del producto sin el contacto con gases y vapores calientes, es decir, éstos procesos se diferencian del secado directo, pues la transmisión de calor es debida solo a la conducción, por ejemplo a través de ladrillos refractarios o paredes metálicas.

La fuente de calor puede ser vapor que se condensa, agua caliente, gases de combustión, sales derretidas transmisoras de calor, aceite caliente, electricidad inclusive, etc.

Las temperaturas T_w en la superficie pueden variar hasta 540°C en caso de los secadores relativos indirectos calentados por combustión directa. Estos a su vez pueden trabajar o bajar presiones con buenos cierres en los puntos de carga y descarga manteniendo presiones de 680 a 710 mm.Hg en funcionamiento continuo llamándose secadores de vacío o alto vacío donde se desecan, soluciones, pastas, granos vegetales, etc.

2.2.1. Secador a Vapor de agua

Este secador se asemeja al descrito en el numeral 2.4, sin embargo la desecación se realiza por completo indirectamente conduciéndose el calor a través de la envoltura metálica o de tubos, o a través de cilindros colocados dentro de la envoltura rotativa.

Los vapores de agua generados por una caldera van directamente por un cilindro concéntrico rotativo colocado en el interior de la envoltura para conseguir un aprovechamiento completo del calor, Ver Fig. 2.9.

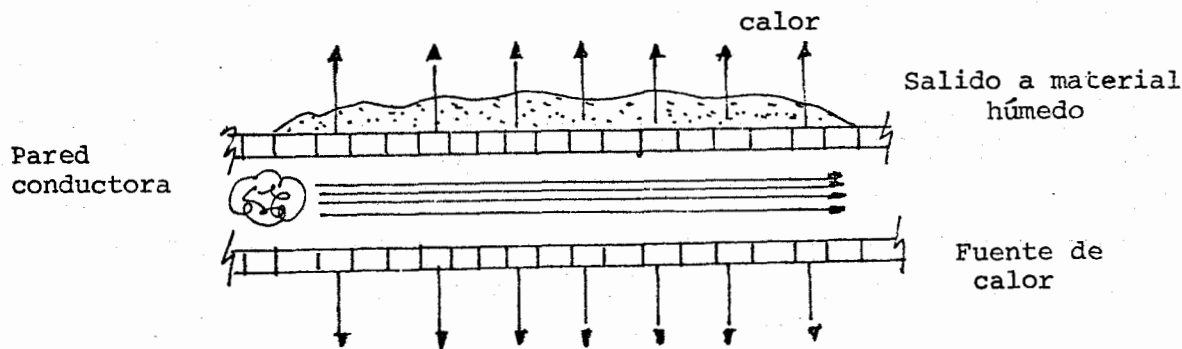


FIGURA 2.9. Procesos Indirectos

La alimentación húmeda se introduce por medio de tornillos sin fin, luego pasa y se esparce por el secador en virtud de la rotación e inclinación, saliendo por aberturas de la envoltura que también conec-

ta a otro tornillo sin fin para su debida recolección.

El vapor pasa a los tubos por un casquillo giratorio de prensa estopa con buena empaquetadura para posibles escapes y baja de presión y se recolecta el condensado por colectores herméticamente sellados que van alrededor del tornillo sin fin que transporta al producto.

Los tubos conductores se desahogan o ventilan continuamente para evitar la acumulación de gases no condensables. Los vapores precedentes de la desecación salen por el extremo de la alimentación del secado y son expulsados a la atmósfera por la chimenea de tiro natural.

Estos procesos de secamiento a vapor de agua se lo utilizan para materiales granulares o pulvurentos que pueden secarse a temperaturas elevadas, pero que no deben contaminarse por productos de combustión. En caso del pescado seco, en el mercado internacional el precio de la harina es el doble obteniéndose por este método de vapor ya que es libre de impurezas.

2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SECADORES

Antes de realizar la elección final del tipo de secadores y procesos apropiados para esta aplicación es necesario hacer un estudio minucioso de muchos factores. La elección se complica por las ventajas que ofrecen unas y las desventajas que presentan otros, sin embargo recurriendo al criterio técnico-económico y factibilidad de construcción hemos creído suficientemente razonable la elección del horno rotativo directo para este proyecto. Cabe mencionar que su justificación origina al considerar datos pertinentes y experimentales en base a los siguientes factores que analizamos.

Los factores importantes que tomamos fueron:

1. Las propiedades del material a secarse y las características de la desecación.

- a. Procesar el pescado ya cocinado a vapor con 60 a 70% de humedad final.
 - b. Deseamos obtener pescado seco con 7 a 10% de humedad.
 - c. La presencia de Cl Na (Cloruro sódico) en el pescado hace elegir proceso y material del horno para un trabajo donde se tiene corrosión. ✓
 - d. El pescado seco final es inflamable.
 - e. Las partículas varían desde 5 mm. hasta 200 mm. ✓
 - f. La temperatura de desecación admisible es de $150 \pm 10^{\circ}\text{C}$. ✓
2. La disposición y circulación del material
- a. El tiempo de secado 5 toneladas por hora.
 - b. El trabajo debe ser preferiblemente continuo.
 - c. Una vez secado el pescado debe molerse para obtener harina.
 - d. La harina puede descomponerse si no es puesta en silos o bodegas donde la humedad relativa sea baja.

3. Problemas de Recuperación

- a. Deben recuperarse los polvos que lleva consigo los gases de escape.

2.4. SELECCION DEL PROCESO A FUEGO DIRECTO Y SU DESCRIPCION

Con todas las descripciones anteriores podremos concluir que existen - algunas técnicas para el secado de pescado, y van desde los métodos arcaicos hasta los métodos mas complejos. En el campo práctico siempre se escogen los factores mas convenientes y directos para el diseño de una maquinaria que ofrezca las ventajas técnicas, facilidad de construcción y bajos costos de fabricación.

El proceso a fuego directo ha sido seleccionado por su sencillez, rendimiento y perfomancia, además por la recomendación de autores conocedores de los procesos de alimentos (*The Fundamentals of Food Engineering*, by Stanley E. Charm Sc. D. Second Edition, Westport, Conneticut, 1971) y las razones fundamentales presentadas en la sección 2.1 de esta tesis.

Previamente a la selección de este proceso existen procedimientos adicionales que complementan la elaboración del producto, de allí que es necesario describir en que consisten los pasos importantes para obtener la harina de pescado, y luego justificar esta selección. Un pequeño diagrama nos dará una visión general acerca de estos subprocesos.

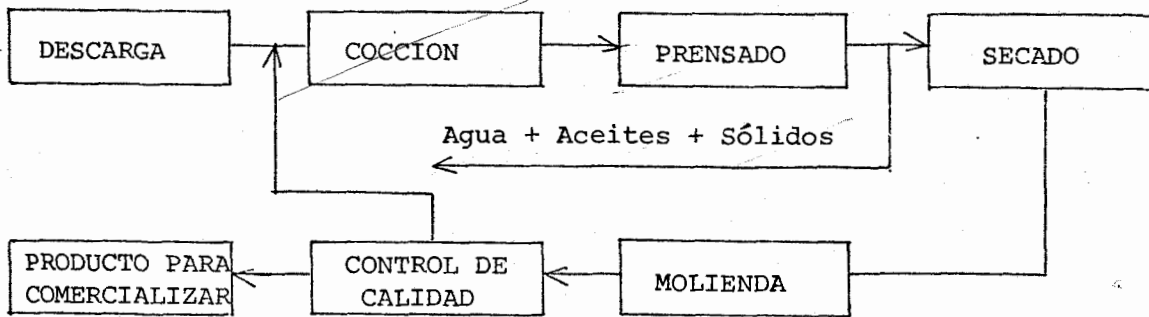


FIGURA 2.10.- Diagrama del proceso para la producción de harina de pescado.

La materia prima se la obtiene por compra directa, si la empresa no dispone de sus propios barcos pesqueros, entonces ingresa a la planta y se la somete al flujo serie-paralelo. En realidad el subproceso de descarga consiste en depositar el pescado crudo en fosas de concreto que poseen un fondo inclinado, para escurrir el agua y para alimentar por gravedad el tornillo sin fin que las vacía. (Ver esquema Fig. 2.11).

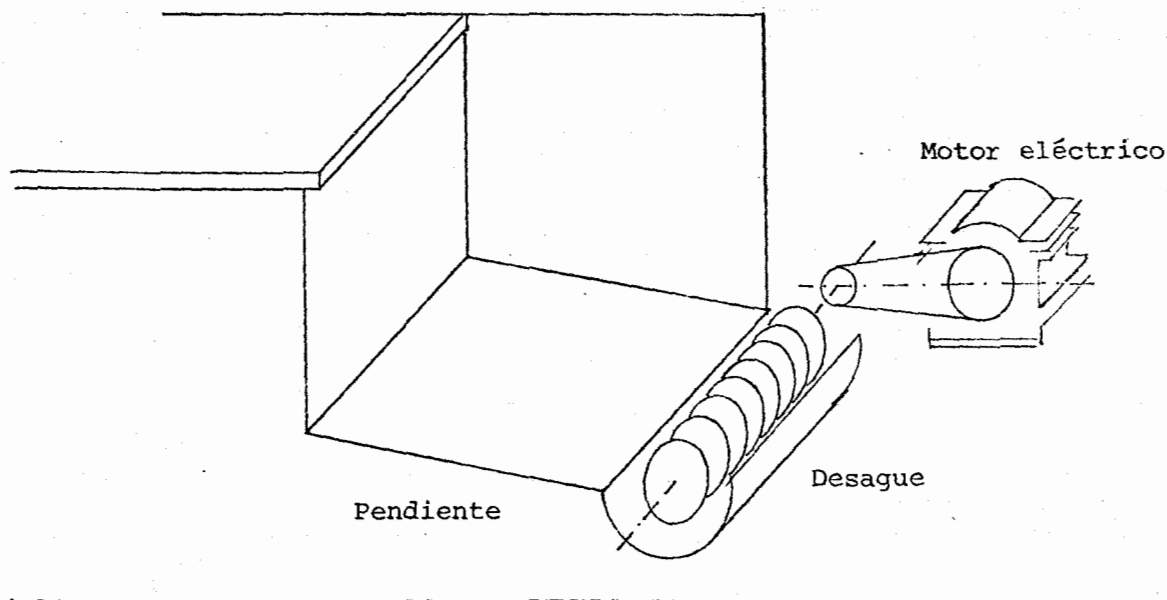
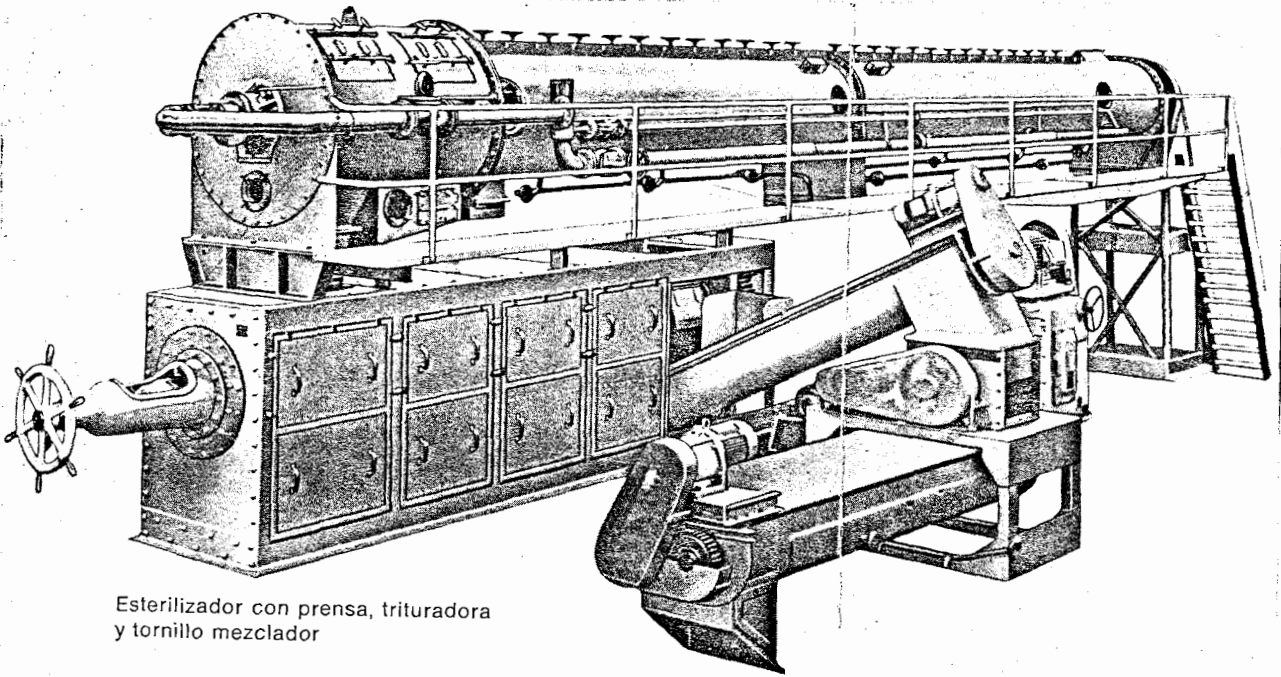


FIGURA 2.11. Fosa de Descarga con plano inclinado y tornillo Sin Fin para transporte de la materia prima.

Las fosas deben estar provistas de una escala que permita medir fácil y rápidamente un volumen y su equivalencia en peso del pescado fresco descargado, con una capacidad hasta de 50 toneladas métricas, o a su vez una báscula que indicaría directamente el peso del mismo. El tiempo que el pescado fresco puede permanecer en estas fosas no debe exceder mas de 24 horas; la limitación de este tiempo de almacenamiento es importante en la costa ecuatoriana porque en climas cálidos, especialmente Invierno, la temperatura alta causa una rápida deterioración si es que no se dispone de instalaciones frigoríficas apropiadas. El transportador de tornillo SIN FIN lleva el pescado a un elevador - escurridor que ayudará a eliminar el agua residual, y levante el material hasta la altura necesaria para descargarlo en la tolva de alimentación del cocinador.

2.4.1. Cocción

El alimentador es así mismo un tornillo SIN FIN de velocidad variable



Esterilizador con prensa, trituradora
y tornillo mezclador

FIG. 2.12. Cocedor directo a boquilla o cocedor indirecto. Los
2 trabajan a vapor producido por las calderas.

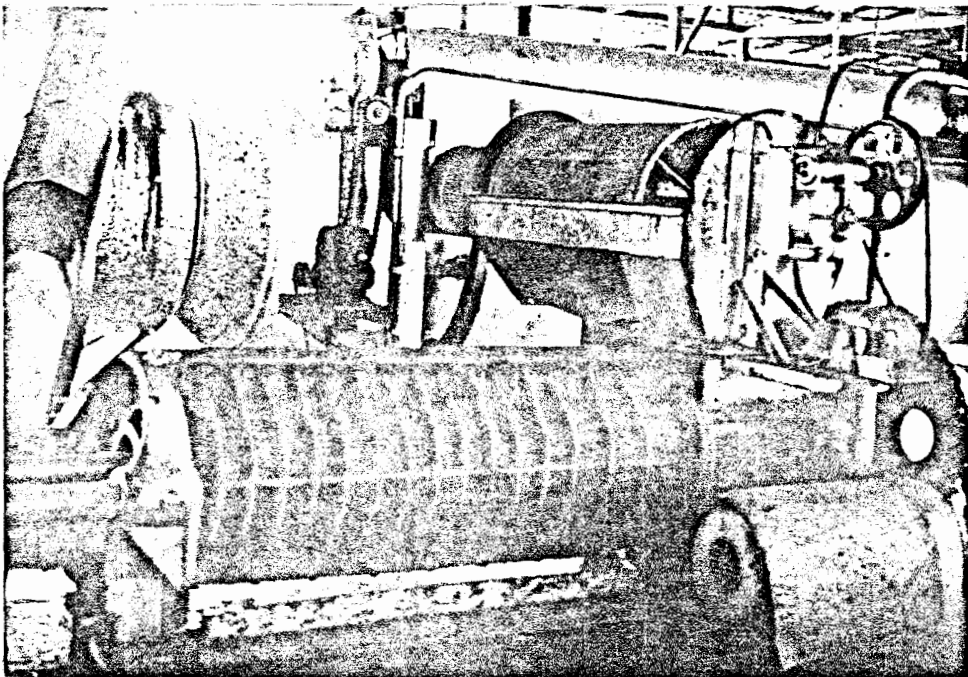


FIGURA 2.13. En primer plano puede apreciarse (1) 1 prensa o émbolo
accionado indirectamente por un motor eléctrico, y en
los planos sucesivos, el tamiz drenador de agua, (2)
la cocina de vapor directo, (3) y el horno (4) rotati
vo a fuego directo.

que descarga el pescado en cantidades uniformes por unidad de tiempo. El cocinador en sí es un recipiente similar a un intercambiador de calor donde el pescado estará de 5 a 20 minutos. (eso depende del tamaño) y la cocción estará determinada cuando haya desaparecido la coloración roja de la sangre. El cocinador continuo por medio de vapor causa la coagulación de la sangre, fuente muy valiosa de proteína y rompe las paredes celulares liberando los materiales líquidos de manera que puedan ser eliminados fácilmente por compresión.

Un cocimiento adecuado es muy importante, ya que las operaciones siguientes del proceso, pueden ser insuficientes y la no rotura de la estructura celular pueden ocasionar bajo rendimiento tanto en la prensa como en el horno rotativo, ya que no se podrán separar las fracciones líquidas en forma eficiente y la torta resultante, tendrá un alto contenido de humedad y de aceite residual. Además un cocido excesivo ablanda el pescado de tal manera que dificulta mantenerlo dentro de la prensa mientras aumenta la presión hasta el límite adecuado lo que causa una pérdida considerable del material sólido fino y que la torta contenga demasiada humedad.

El cocimiento puede hacerse con vapor directo, es decir, inyectándolo directamente a la masa del pescado, a través de boquillas localizadas en las paredes del cocinador; o con vapor indirecto, al hacerlo circular por la doble camisa y el eje hueco del cocinador, en este último caso, la cocción tiene lugar por contacto de la masa con las superficies calientes (ver figura N° 2.12 y 4.8).

El tiempo de cocido se regula por medio de un control de velocidad variable del transportador y la temperatura en función de la presión por medio de válvulas de control de vapor.

Es aconsejable escurrir los líquidos libres que se acumulan durante el proceso, lo cual se logra por medio de un tamiz de drenaje colocado a la salida del cocinador, o por la utilización de un tornillo SIN FIN para alimentar la prensa con el material que sale del cocinador (Ver figura 2.13 y 4.9).

2.4.2. Prensado

La función principal de la prensa es separar los líquidos (aceite, agua, proteína soluble, sales, etc...) y las partículas sólidas muy finas, de la masa sólida (torta, ver figura 2 y figura 2.13). El pescado que entra a la prensa contiene aproximadamente 75 a 78% de humedad según datos experimentales (ver sección 3.1), dependiendo de la especie y la época del año, la temperatura del agua del mar, etc.) y la torta deberá tener aproximadamente 50% de humedad.

En números redondos de cada tonelada métrica de pescado se extrae por medio de la prensa, unos 600 kilos de agua promedio (ver también sección 1.3.1). La torta en forma de pedazos densos y compactos es reducida a fracciones más apropiadas para el secado, por medio de un desmenuzador que puede ser el mismo tornillo SIN FIN que lleva el material al SECADOR.

2.4.3. Secamiento

La función del secado es reducir el contenido de la torta de 50% aproximadamente, hasta un 8 a 10%. Nuestro secador seleccionado para el diseño es rotativo y funciona a fuego directo, es decir se calienta -aire hasta 160°C y operado convenientemente producirá la harina de primera calidad.

Según normas del INEN "la harina de pescado debe procesarse, almacenarse y transportarse en condiciones adecuadas que permitan reducir al mínimo su contaminación con microorganismos patógenos, que pudieran causar la descomposición del producto". Sin embargo, en el proceso de secado debe tenerse en cuenta el control de calidad del producto, es decir, la harina de pescado debe presentar un aspecto uniforme, sabor y olor típicos del producto fresco bien procesado, sin indicio de rancidez, mohos, infestación de insectos, ni huellas de roedores o algún olor extraño objetable; finalmente debe estar libre

de materias terrosas. Esta fuera de nuestro alcance analizar detalladamente la calidad del producto, pues son temas concernientes a Ingeniería Química o Industrial, de todas formas el secado y la producción deben cumplir los siguientes requisitos establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización, o el lector que desee mayor información puede obtenerla directamente del INEN.

La función del secador, a pesar de estar diseñado con los controles - automáticos, una mala calibración en la producción de calor puede - traer errores, ya que hay tendencia a sobrecargarlo y desde luego aumentar la temperatura del fuego, lo que podría producir sobrecalentamiento, quemazón y pérdida de la proteína en la harina final.

C U A D R O 2.3

REQUISITOS DE LA HARINA DE PESCADO*

REQUISITO	MIN.	MAX.	METODO DE CONTROL
Pérdida por calentamiento.	-	11	Al 06.01-302
Materia grasa con antioxidante	-		Al 06.01-304
Sal (cloruros) y arena.	-		Al 06.01-306
Arena	-		Al 06 - 307

* Tomado del Proyecto de Norma Ecuatoriana Al 06.01-402 publicada por el INEN y sometida a consulta pública. Febrero 1978.

La desecación de un secador rotativo continuo o directo se expresa mejor, aplicando directamente la ecuación elemental de transferencia de calor (Ver sección 3.11):

$$q_t = U_a V (\Delta t) m^*$$

3-20

(*) Fórmula que aplican para procesos de secado a horno continuo los autores Friedman y Marshall {Chem. Eng. Progress, 45,482, 575 (1949)} Tomado del Manual del Ing. Químico de John Perry.

en la cual

q_t = calor total transmitido Kcal/hr

U_a = coeficiente volumétrico total de calor expresado en Kcal/hr
(m^3 de volumen del secador) ($^{\circ}C$)

ΔV = Volumen del secador en m^3

$(\Delta t)_m$ = diferencia media de temperatura real entre gases calientes y el material en $^{\circ}C$ (logarítmica).

Tal como está expresada la ecuación anterior es tan solo un indicio de lo que consiste en realidad el proceso de secado, vale decir, que esto es muy complejo y la fórmula anterior no nos dice información ni bastaría asentar un cálculo en transferencia de calor ya que existe por lo menos tres formas de acción de transferencia que son el calor por conducción, radiación y convección, analizadas en el capítulo 3 de esta tesis.

El secado en el horno rotativo se efectúa por lo general de 3 a 12% de su volumen lleno de material, aunque en las fábricas como INPECA de Monteverde, agregan hasta un 20% considerando otros factores que analizaremos mas adelante. En esas condiciones puede lograrse que el secador retenga el material el tiempo suficiente para eliminar la humedad interna. Si la cantidad de material retenido no es suficientemente grande, el tiempo que pasa el material por el horno rotativo quizá sea demasiado corto para alcanzar el grado de humedad deseado y su capacidad será menor de las que predicen las ecuaciones establecidas.

El tiempo de secado que permanecerá el material en el horno rotativo, puede predecirse por medio de la siguiente ecuación basado en estudios realizados por los autores Sullivan, Maier y Rolston (U.S. Bur. Mines, Tech. Paper 384, 1967).

$$\theta = \frac{0.79 L}{N D S} \quad (5-3)$$

en la cual θ = tiempo que permanece el material en el horno (minutos)

L = Longitud del horno, metros

N = velocidad de rotación, rpm

S = inclinación del horno m/m

La temperatura, la cantidad de polvo producida durante la operación es una función del tipo de pescado a secarse, su estado físico, la velocidad del aire caliente empleada, la cantidad de material a retenerse en el secador, el número de aletas, la velocidad de rotación y la construcción total de las recámaras han sido averiguados experimentalmente.

La harina seca y caliente es enfriada y conducida a un ciclón por medio de un transportador neumático, en donde las partículas secas y a temperatura ambiente son atrapadas y llevadas hacia la parte interior del aparato mientras que los gases de combustión salen por la chimenea.

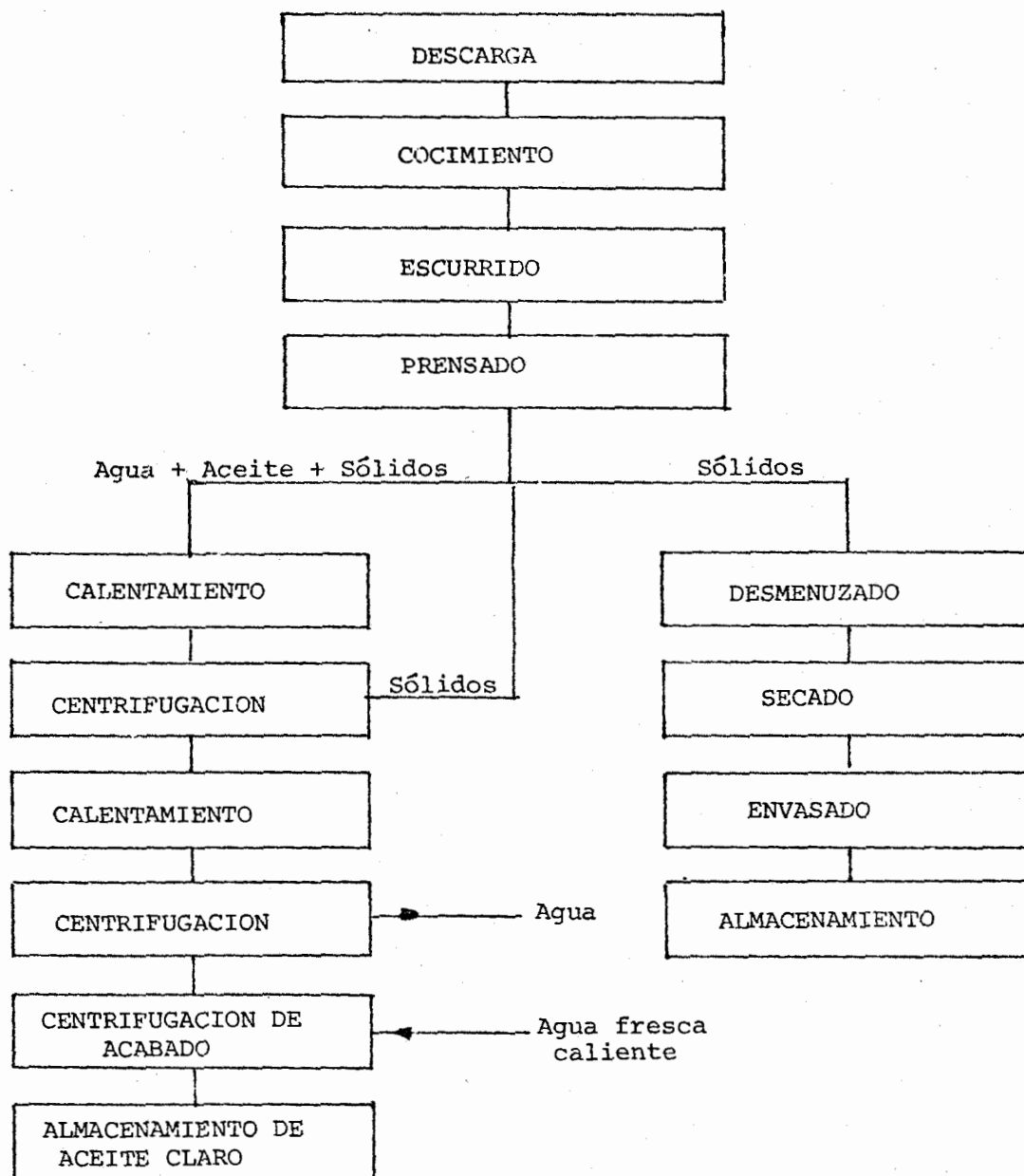
2.4.4. Molienda

El producto seco puede ser molido para obtener la harina. Pero sería mejor que esta última etapa sea hecha por el productor de alimentos balanceados. Sin embargo, para completar la instalación de este proceso cabe añadir que el producto así mismo transportado por tornillo sin fin y luego a un molino de ^{partes} martillos para que el producto se lo transporte a una tolva donde están situadas las aberturas del envasado que permitan llenar los sacos de papel kraft o similar hasta que la báscula sobre la que estos descansan marque el peso correcto. Se cierra la boca de los sacos con una máquina portátil de cocido y el producto quedará listo para el almacenamiento y la venta.

El siguiente diagrama de flujo es para una planta procesadora de harina de pescado como se ve existe recuperación de los líquidos obtenidos en el prensado de la torta y aún más aquello también es pro-

2.4.5.

DIAGRAMA DE FLUJO



CUADRO 2.4.- PLANTA PROCESADORA. DIAGRAMA DE FLUJO PARA PRODUCCION DE HARINA DE PESCADO.

cesado. Los líquidos obtenidos se recuperan y se bombean a tanques de reserva que pueden ser equipados con serpentines de vapor para temperar adecuadamente y no haya reacciones químicas o fermentación.

El aceite obtenido es bombeado para alimentar centrífugas que ejecutarán el acabado, inclusive se lo somete a lavado con agua fresca caliente obteniéndose la separación y la clasificación finales; éste se lo almacena en tanques para su posterior distribución a los consumidores (ver fig. 4.12).

Finalmente cabe indicar que aunque el diagrama presenta procesos para tratar el aceite de pescado obtenido del prensado no es objeto de esta tesis detallarlos o diseñar una maquinaria, más aún, en el capítulo 4, se recomienda la adquisición de aquellos equipos adicionales que complementarían el funcionamiento del secado de pescado en caso de llegar a instalarse una planta procesadora de este tipo.

2.5. CONSIDERACIONES TECNICAS DE LA PLANTA

El diseño del horno rotativo y la instalación de la planta que contempla este proyecto se destinará a elaborar la ^{SAL} ^{RETINIDA} harina de pescado de prima calidad de acuerdo a las exigencias internacionales, es decir, - con un alto contenido ^{de proteína} proteínico, un bajo porcentaje de aceite y ceniza o material mineral. Se considerará también la posibilidad de recuperar el aceite resultante del proceso.

El equipo y maquinaria contemplado en el presente estudio tiene capacidad para procesar ^{60 A 80 SACOS} cinco toneladas métricas de pescado prensado) por hora, con un rendimiento del 20% en harina y 5% en aceite. Al trabajar solamente 8 horas promedio al año, la capacidad de procesamiento sería de 12.000 toneladas anuales de pescado fresco que rendirán 2.400 toneladas de harina y 1800 toneladas de aceite.

Para una mayor flexibilidad en la operación de acuerdo al flujo de pro

ceso (sección 2.45) servicio y mantenimiento, la función del horno rotativo deberá complementarse con 2 ó 3 calderos de la misma capacidad (125 BHP cada una aproximadamente) que se usarán de acuerdo a las exigencias de vapor y en forma rotativa (stand by), es decir, dos funcionarán en forma simultánea y el tercero, luego de revisión y mantenimiento, servirá como unidad de emergencia. En esta forma se garantiza el suministro ininterrumpido del vapor necesario para los diferentes procesos de la planta.

Los calderos serán alimentados con agua abalanzada por medio de los equipos industriales conocidos (preferible de intercambio iónico). Las características de un ablandador de agua depende de las impurezas, sales y propiedades químicas del agua del pozo o río que suministrarán lo indispensable para justificar la adquisición de este equipo. Además cabe señalar que básicamente depende del lugar donde estará localizada la planta.

La fábrica deberá contar con equipo de bombeo y los tanques de almacenamiento para agua de mar, la que se utiliza en las operaciones de limpieza y lavado general; y para agua dulce, necesaria para los calderos, refrigeración de motores y máquinas y en el proceso de acabado del aceite.

Además de las instalaciones y selección de bombas de agua la fábrica deberá contar con un sistema de aire comprimido para el funcionamiento de los controles neumáticos; tanques para el almacenamiento de aceites, bodegas y el edificio apropiado tal como se lo describirá más adelante.

2.5.1. Localización de la Planta

En el capítulo 1 se analizaron las circunstancias referentes a la pesca en el Ecuador y se consideró la posibilidad de instalar la planta donde existe la materia prima en cantidades apreciables y durante la mayor parte del año. Con el fin de establecer en forma práctica el lugar escogido hemos considerado los siguientes factores importantes pa

ra instalar la planta en un lugar de la costa ecuatoriana.

1. Características del subsuelo
2. Facilidades actuales
3. El consumidor
4. Los medios de transporte
5. Fuentes de abastecimientos naturales
6. Fuentes de Energía
7. Consideraciones futuras
8. Facilidad del montaje.

Características del subsuelo: Un análisis del subsuelo determinará la selección de un terreno firme donde la instalación resulte más cómoda y económica, pues en el caso de suelos pantanosos y fangosos requerirán rellenos y pilotaje para resistir las vibraciones de las máquinas a instalar. En las costas ecuatorianas las zonas más indicadas son aquellas donde están ubicadas las cordilleras de Chongón-Colonche, o en las Cordilleras de Manabí, o a 2 kilómetros de distancia del mar, pues existe mayor contextura en el suelo no así las costas de la provincia de El Oro, donde existen suelos poco firmes pese a que existen los recursos naturales.

Facilidades Actuales: La Península de Santa Elena ofrece muchas ventajas y posibilidad de utilizar fuentes o instalaciones viejas así como vías de acceso a nuestra planta tanto como para transportar y economizar en cuanto a instalaciones nuevas que se realicen. Una localización segura exige tomar en consideración las condiciones naturales no controlables, es decir, donde se instalará la planta no habrá inundaciones, derrumbes, erupciones, maremotos ni excesiva humedad.

- 2.5.1a. Consumidor y Medios de transporte: Cuando nos referimos al consumidor, se entienden las personas y sus factores necesarios para instalar la planta. Nosotros hemos considerado las siguientes ventajas y desventajas:

a) Ventajas

1. Facilidad para el personal
2. Economía en las instalaciones
3. Economía en el transporte de equipos

b) Desventajas

1. Contaminación del ambiente. Fábrica cercana a poblados
2. Ruidos
3. Peligro de incendio y explosiones

Entre los medios de transporte que influyen sobre la localización de la planta están:

a) Ventajas

1. Facilidad de abastecimiento de pertrechos y respuestas necesarias para la instalación de la planta (conseguir aceites, limpieza).
2. Fácil desplazamiento del personal de la fábrica; si es posible la empresa deberá aportar un transporte para los obreros.

2.5.1b. Fuentes de abastecimientos

Durante la construcción de la obra civil, el montaje de las máquinas la construcción mecánica de alguna maquinaria y durante la fase de funcionamiento normal de la planta se requerirán muchos insumos que deberán estar disponibles cuanto mas cerca sea necesario a la planta. Con esto nos referimos, al uso de un medio de enfriamiento para evacuar calor que desprenden las máquinas durante el trabajo.

El agua, la grava, arena, etc. son necesarios, de allí que la planta debe instalarse en las cercanías del mar en la proximidad de la desembocadura de un río, para poder aprovechar en forma natural el a-

gua para las necesidades de las instalaciones, La zona de Manglaralto hasta la zona de Valdivia ofrecen condiciones aproximadas a este análisis.

Durante un año de actividad de planta necesitará aproximadamente 6000 metros cúbicos de agua potable.

2.5.1c. Fuente de energía

Es conveniente realizar la instalación de la planta o fábrica tomando en cuenta la facilidad o accesibilidad para el aprovisionamiento de las fuentes de energías que va a movilizar la fábrica; estos insumos son: los combustibles y la electricidad.

Debido a que en la provincia del Guayas la poca posibilidad actual de comprar energía a precios razonables se requerirá cuando menos de una planta a Diesel de 100 kilowatios, capacidad que es suficiente para obtener toda la fuerza motriz y la iluminación necesarias. En un futuro cercano la península podrá disponer del sistema de red interconectado a nivel nacional, y la Empresa Eléctrica Península de Santa Elena (EMEPE) podrá dotar de energía suficiente.

Así mismo, en cuanto a combustibles, la refinería Estatal de La Libertad proveerá de Bunker, aceites para poner en funcionamiento la maquinaria como son las calderas, inclusive el horno rotativo que necesitará gas natural o kerosene.

En la actualidad y sin desmerecer los planes del gobierno han considerado el puerto de Posorja zona de desarrollo industrial y un importante puerto pesquero de la costa ecuatoriana, justificando entre unas y otras razones como la explotación del Gas del Golfo de Guayaquil que será el suministro de energía y tiene las condiciones naturales apropiadas para construcción de muelles, transporte por vía marítima y facilidad para admitir Barcos pesqueros de gran calado.

En un futuro cercano y con la ampliación de este proyecto nuestra instalación necesitará 32 MgW de Energía 20 mil galones anuales de Bunker, grasas y aceite lubricantes y otros productos derivados del pe-tróleo.

2.5.1d. Montaje y Consideraciones futuras

Es importante tener presente la facilidad para el transporte de mate-riales y equipos necesarios para realizar la instalación. Si se de-sea importar equipos extranjeros destinado a la fábrica se deberá a-provechar la distancia mas cerca al puerto de Guayaquil y esto no de-berá acarrear problemas ni gastos extras.

La instalación del horno rotatorio requiere de grúas y transporte ne-cesario para un fácil manejo así mismo para los otros tipos de maqui-naria pesada.

Nosotros hemos considerado estos factores , pues son importantes para la localización de la planta.

1. Transportes: vía terrestre
vía marítima
distancia de puertos
2. Recepción de equipos
3. Establecimiento de las instrucciones y programa de trabajo
4. Plan de trabajo y factores adicionales para el montaje

En el primer inciso, la carretera Guayaquil-Santa Elena-Puerto López en la Costa será la utilizada por los medios de transportes terrestre; se planifica en la actualidad el diseño de una autopista que dará las suficientes facilidades. La Libertad es un puerto internacional donde calan buques que podrían llevar cualquier equipo pesado. De todas mane-ras las distancias son cortas y esto beneficiaría en factor tiempo y trabajo.

Cuando se instalen los equipos, la construcción civil deberá tener un 80% terminado de manera que se coordinen el montaje cuando se adapten y fundan las bases para soportar la maquinaria, esto beneficiará en el factor económico.

Durante la recepción de los equipos adquiridos estos deberán ser inmediatamente revisados en forma general de acuerdo a la lista de pedido en el embarque, en caso de existir fallas, deberá comunicarse de inmediato el reclamo respectivo a la compañía. El capítulo 6 (inciso 6.2) establece un contenido de realización sobre el montaje acerca del Horno Rotativo y la planta.

El programa de trabajo deberá contener:

1. Relación de obras a efectuarse: Un libro donde estará resumido y descritos los diferentes métodos, alternativas que se llevan a cabo.
2. Listas de planos: Civiles: Galpón, bodegas, plintos pilotes, etc.
Mecánicas: circuitos neumáticos, hidráulicos, flujogramas y distribución de la planta.
Otros: circuitos eléctricos, etc.
3. Programa detallado de obras:

Se necesitarán cuando menos un plazo límite para poner en funcionamiento el Horno y la planta; entonces se necesitará para aquello, los siguientes elementos:

- a. Personal necesario para el montaje: 1 ingeniero civil
1 ingeniero mecánico
2 contratistas
20 obreros
- b. Duración del trabajo de cada parte: 3 meses para construcción
5 meses para obras mecánicas.

c. Método de trabajo: jornadas de 8 horas (Lunes a sábado*)

Incluye la construcción del horno rotatorio y adaptación de los sistemas complementarios.

d. Misceláneos: herramientas y equipos indispensables (ver sección 4.7).

Materiales, equipos; e insumos por instalarse.

Dentro de las consideraciones futuras, la compañía Rendel, Palmer & Tritton Consulting Engineering de Inglaterra conjuntamente con la Consultora Paute Cía. Ltda. de Ecuador recomiendan la facilidad de ampliación para el futuro, al puerto de Posorja. Estas dos compañías - han trabajado desde el 12 de Diciembre de 1977 para el estado Ecuatoriano y deberán entregar un proyecto de diseño sobre la construcción del complejo pesquero en Posorja a fines de Septiembre del año 1978.

Es importante tener presente la facilidad para el transporte de materiales y equipos necesarios para la instalación, es decir la cercanía de las ciudades de desembarco que no acarrearán problemas adicionales y ocasionen gastos extras, lo mismo puede decirse que es necesario disponer de guías y transportes para facilitar el manejo de materiales y que mas tarde servirán a la fábrica.

2.5.2. Tamaño de la planta

La empresa proyectada en esta tesis tiene como fin resolver un problema de carácter social-económico, es decir, tal como se afirmó en la sección 1.3 servirá como base de indicaciones prácticas con justificación teórica, a las necesidades que tienen las cooperativas de barcos pesqueros en las costas de la Península. Es de esperarse que en la determinación del tamaño de la planta influya mucho el factor económico del pescador de nuestras costas, a pesar de disponer de créditos en los bancos nacionales y los beneficios de la ley de Fomento industrial, tiene que afrontar la competencia del mercado nacional por

(*) Sábado sólo 4 horas.

parte de dos empresas muy grandes; sin embargo, se ha dado ya el primer paso para aprovechar algo que pertenece auténticamente al pescador de las costas, la riqueza ictiológica y su aprovechamiento directo.

Con el análisis anterior y clasificando la industria en una categoría intermedia establecida por la ley de Fomento industrial vigente se gozaría de los siguientes beneficios:

- i. Exoneración de impuestos a las ventas
- ii. Exoneración del impuesto a la renta
- iii. Exoneración del impuesto a la importación de maquinaria, equipos auxiliares, materias primas y repuestos.

Desde el punto de vista de la producción de harina de pescado nuestra producción tendrá asegurado el mercado interno ó externo por lo que la planta deberá implementarse con la capacidad en equipos a continuación detallados.

Anexo A-1

TERRENO Y CONSTRUCCIONES

1. Terreno	2.500 metros cuadrados
2. Construcciones	
Para fábrica	300 metros cuadrados
para bodegas	300 metros cuadrados
para oficinas y laboratorio	100 metros cuadrados

Anexo A-2

LISTA DE MAQUINARIA Y EQUIPOS

- 1 Transportador de tornillo sin fin inclinado con tolva de acumulación y motor de 3HP, de velocidad variable.

La planta básica de harina de pescado compuesta por las siguientes partes:

- 1 cocinador continuo de vapor indirecto, con motor de 2 HP de velocidad variable.
- 1 prensa continua de tornillo, de tres etapas, con motor de 10 HP de velocidad variable.
- 1 molino desintegrador en húmedo, con motor de 10 HP.
- 1 transportador de tornillo sin fin para torta, con motor de 1 HP.
- 1 diseño del horno rotativo para harina de pescado, con ventilador de tiro de 2 HP, motor para girar el horno de 7,5 HP y transportador de tornillo sin fin para descarga de motor de 1 HP.
- 1 transportador neumático de harina seca con motor de 7,3 HP.
- 1 ciclón para recuperación de harinas y bocas de ensacado, con canales de interconexión
- 1 báscula de plataforma
- 1 máquina cerradora de sacos, portátil.

Si la planta desea ampliarse con perspectiva de obtención de aceite para la venta ó almacenamiento deberá adquirirse:

Sistema de Recuperación de Aceite

- 1 Bomba para agua de colas, con motor de 1 HP
- 1 tamiz vibratorio para recuperación de sólidos, con motor de 1 HP
- 3 tanques para agua de prensa, aceite con capacidad de 1000 m³ c/u con serpentines de calentamiento y controles de temperatura.
- 1 centrífuga para separar el aceite, con motor de 7,5 HP
- 1 bomba de aceite con motor de 1/2 HP
- 1 centrífuga para acabado del aceite con motor de 1,5 HP
- 1 tanque para almacenamiento de aceite.

Equipos accesorios

- 3 calderas automáticas de 125 BHP c/u ✓
- 1 equipo ablandador de agua ✓
- 1 bomba e instalación para el agua de mar
- 1 bomba para agua potable, etc.

La lista de equipos descrita anteriormente determina la envergadura de la planta que sin desmerecer otros factores adicionales que son el costo, el tiempo y la calidad muy bien pueden ser instalados por técnicos nacionales; sin embargo esta tesis dará la iniciativa para el primer paso que fácilmente se puede llevar a la realidad disponiendo del capital y asumiendo responsabilidades técnicas y administrativas.

2.5.3. Distribución de la Planta

El equipo seleccionado anteriormente determina una distribución de la maquinaria y sectores o secciones en la planta. La base de selección está fijada en el organigrama establecido por el proceso de secado. La planta también cuenta con sistemas adicionales que exigen las instalaciones modernas. Las secciones y los sistemas de la planta serán:

- Secciones:
1. Recepción de materia prima
 2. Hornos y calderas
 3. Producción
 4. Mantenimiento

Sistemas: Mecánicos: aire comprimido (neumático)
 red de agua (hidráulico)
 maquinaria y lubricación
 instrumentación neumática e hidráulica

Eléctricos: red e instalaciones (luminosos y energéticos)
 motores eléctricos
 instrumentación eléctrica

Sistema de protección

Entiéndese por secciones o sectores un grupo de personas que tomarán el manejo y la conducción del proceso y maquinaria establecida en el Cuadro sinóptico.

Mientras que los sistemas son aquellas instalaciones necesarias de identificar con código de colores (preferible cañerías y ductos) para facilitar la localización de algún desperfecto o cerrar el paso (condenar) de cierto circuito.

Finalmente queremos dejar establecido una distribución teórica de lo que será la planta, basados en aprovechamiento de superficie disponible, ventilación, luminosidad y fácil acceso por parte de personal - hacia las máquinas. En la sección 7 del apéndice el lector encontrará los planos de cada sistema y un plano general de la planta con sus respectivas vistas e instalaciones, de seguridad industrial.

CAPITULO 3

INGENIERIA DEL PROYECTO

El desarrollo de este capítulo presentará las condiciones iniciales y establece las ecuaciones necesarias para dimensionar el horno rotativo complemento de la maquinaria para elaborar este proyecto.

Al comienzo se deducen teóricamente los fundamentos de los diversos conceptos de secado planteando las ecuaciones, luego mediante un trabajo experimental se calcularán ciertas constantes físicas para ser utilizadas con las fórmulas; finalmente se determinarán las cantidades de diseño, como el flujo de calor, de aire caliente (transferencia de calor y termodinámica) para luego dimensionar mecánicamente el horno rotativo.

Cada fenómeno de secado está caracterizado por una transferencia de calor y una transferencia de materia, ambos se producen simultáneamente. El secado muestra reacciones físicas y termodinámicas que se complican debido a que en cada instante de extracción de humedad, varían continuamente los coeficientes de transferencia de calor y masa, si bien es cierto el contenido de esta tesis no explica detalladamente cada concepto de los fenómenos que ocurren, sin embargo explicaremos con ciertas muestras de una especie piscícola representativa considerada una sustancia higroscópica que el contacto con aire caliente (aire o gas) se produce la evaporación del agua, existiendo cierta velocidad de secado a cierta cantidad de calor suministrada y cierto flujo de aire.

Partiendo de la interpretación pictórica de las curvas tomadas del catálogo de las ASHRAE, nos indicarán en forma general las variaciones de humedad, cambios de temperatura versus el tiempo de secado (Fig. 3.1).

aún más para determinar que el calor y temperatura respectivas serán las mínimas que deben limitarse al horno rotativo.

El problema a solucionar estará basado en las siguientes condiciones iniciales que se exponen en el cuadro 3.1. Los cálculos numéricos se realizarán conforme se desarrolle el temario utilizando el sistema de unidades métrico, haciendo las conversiones respectivas para el caso de otros sistemas.

C U A D R O 3.1**

PRODUCTO

Humedad inicial w_1	50% |Kgw/Kg sol|	δ |lbw/lb sol|
Humedad final w_2	10%	"
Temperatura máxima de aire	160°C	| 320°F|
Flujo másico del producto	5 ton/hora	|11.000 lb/hora|

COEFICIENTES

Conductividad calórica	$\lambda = 0.42$ |Kcal/mh°C|
Conductividad térmica	$a = \lambda/S$ |Kcal/m ² /h°C|
Calor específico inicial (a 20°C)	$C_G = 0.88$ |Kcal/Kgm°C|
Peso específico inicial (a 20°C)	$y = 0.987$ |Kgr/litro|
Entalpía inicial (20°C)	$h_1 = 1.072$ |Kcal/litro|
Porosidad	$\psi = 0.77$

PRODUCTO FINAL, CONTENIDO

Proteínas	$w_1 = 60\% = 0.6$ |Kgw/Kg sólido|
Aceites	$w_2 = 9\%$ 0.09 |Kgw/Kg sólido|
Cenizas	$Z = 4\%$

* Ver sección 3.1.2 temperatura óptima para el aire caliente durante el secado, Esta temperatura es normalizada para mantener la calidad del producto seco.

** Datos obtenidos del Libro "El Frío en las industrias de alimentación P.R. Jorbin, Madrid 1971.

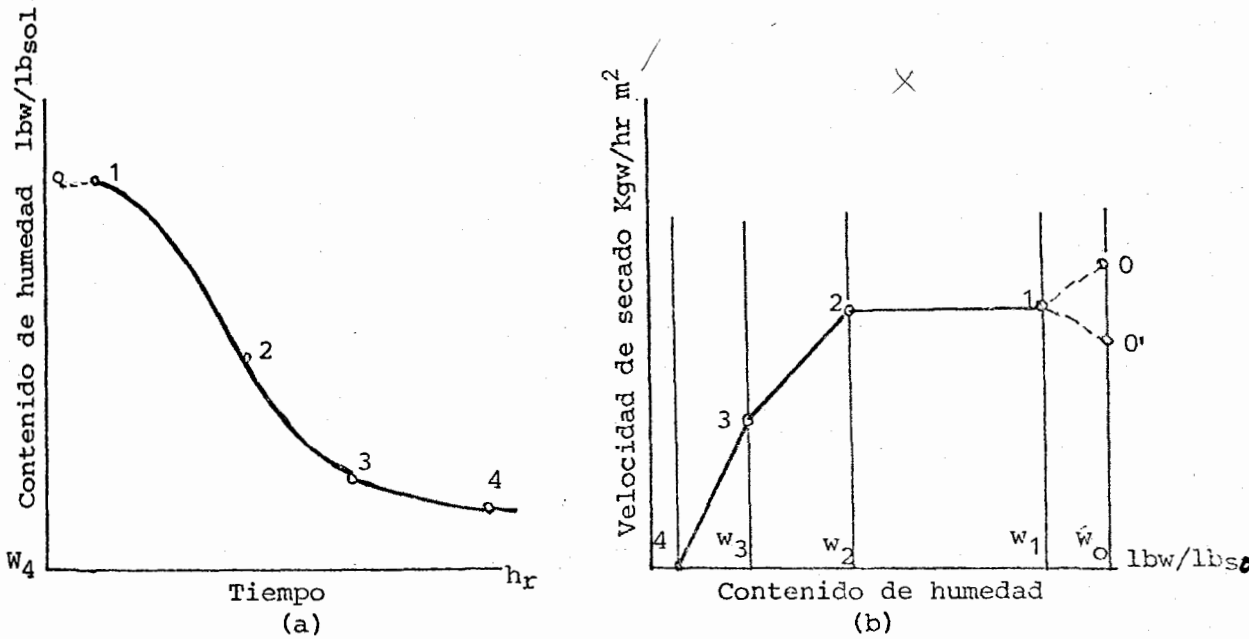


FIG. 3.1. Curvas para el secado de un sólido higroscópico (a) en condiciones fijas constantes de aire, (b) velocidad esquemática aproximada.

Las figuras 3.1a,b muestran como la pendiente decrece rápidamente conforme el contenido de humedad disminuye, eso se interpreta que no es necesario seguir suministrando calor, como se vé, existen varias velocidades de secado. La zona 0-1 es de ajuste de humedad que ordinariamente la realiza la prensa, es una zona de operación no estacionaria para entrar al horno, mientras que de 1-2 la pendiente permanece casi constante, el producto está en contacto con aire caliente y el suministro de masa y calor es casi constante, aquí se lleva a cabo la evaporación de agua, es decir se suministra calor latente de evaporación, la velocidad permanecerá constante; los períodos subsiguientes tienen inclinación mas pronunciada y dependen del calor específico, conductividad térmica del producto a secar, como se demostrará mas adelante. El secado en el horno rotativo es garantizado porque el fenómeno descrito anteriormente se lleva a cabo por rotación y turbulencia del producto y del aire, de manera que exista una transferencia máxima de humedad y calor. Si bien es cierto las constantes medidas experimentalmente son realizadas en forma estacionaria solamente, nos servirán como deducción básica acerca de lo que ocurriría en el secado,

1.1. Cálculo termodinámico

El producto (pescado cocido) lo consideraremos un material higroscópico porque sostiene cierta cantidad de agua cuya presión de vapor es menor que la del agua libre a la misma temperatura.

Consideremos ahora un elemento donde la temperatura está determinada por la difusión simultánea de calor y materia, recordando que cuando se somete el producto a una corriente de aire ocurre lo siguiente:

Secado

1. Transferencia de calor: por convección
por conducción
por radiación
2. Transferencia de materia: líquido más vapor dentro del sólido
vapor en la superficie húmeda

Q_t calor total

w humedad

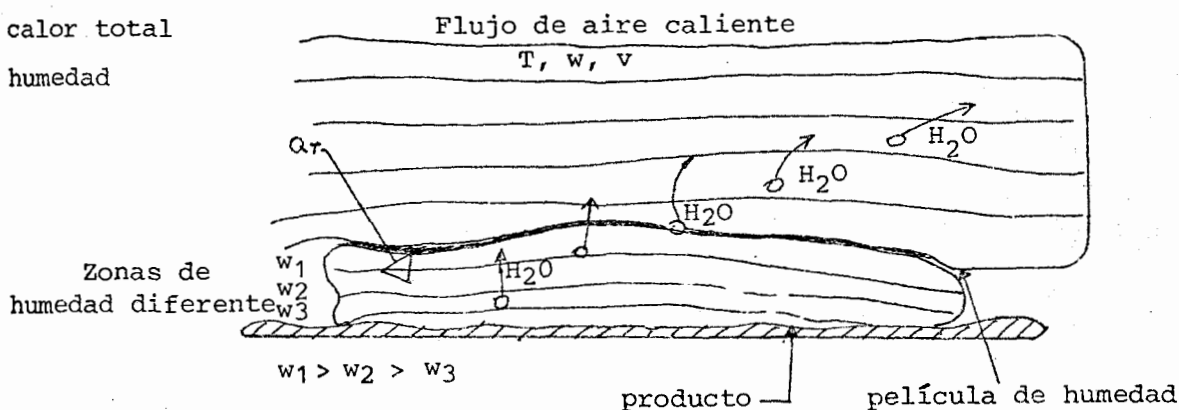


FIGURA 3-2. Elemento de producto sometido al secado nótese la transferencia de materia y transferencia de calor (Difusión) (paquete).

Debido al movimiento del agua, en el interior de la sustancia se producen diferencias de humedad, capas que viajarán hacia donde hay mas energía (calor) para disminuir la humedad de la superficie.

Es necesario aclarar que las fuerzas provocadas por capilaridad ejercen succión cuando mas estrechos son los poros de las sustancias, es decir, cuando se contrae el producto debido a la evaporación del agua; conforme avanzan las capas de humedad aparecen cada vez mas poros o capilares estrechos, conocidos como difusión de espacios, capaces de servir como vía para el traslado de agua. Esta es la razón para que los químicos manifiesten que el secado debe llegar a un límite, ^{el g'} el producto contendrá alguna cantidad de humedad que será el crítico, De seguir el secado se crearía condiciones para combustionar el producto.

El producto $(M + W_1)$ se lo introduce por un transportador sin fin a una entalpia h_1 y sale del dispositivo de secado después de haber cedido su humedad ΔW . M representa la cantidad de pescado que abandona el horno rotativo con un porcentaje de humedad muy pequeño W_2 ; debido a la transferencia de energía y masa W_L que se evapora por el aire caliente con capacidad de absorber humedad; puede llegar a saturarse según las condiciones y balances energéticos que estableceremos en el diseño.

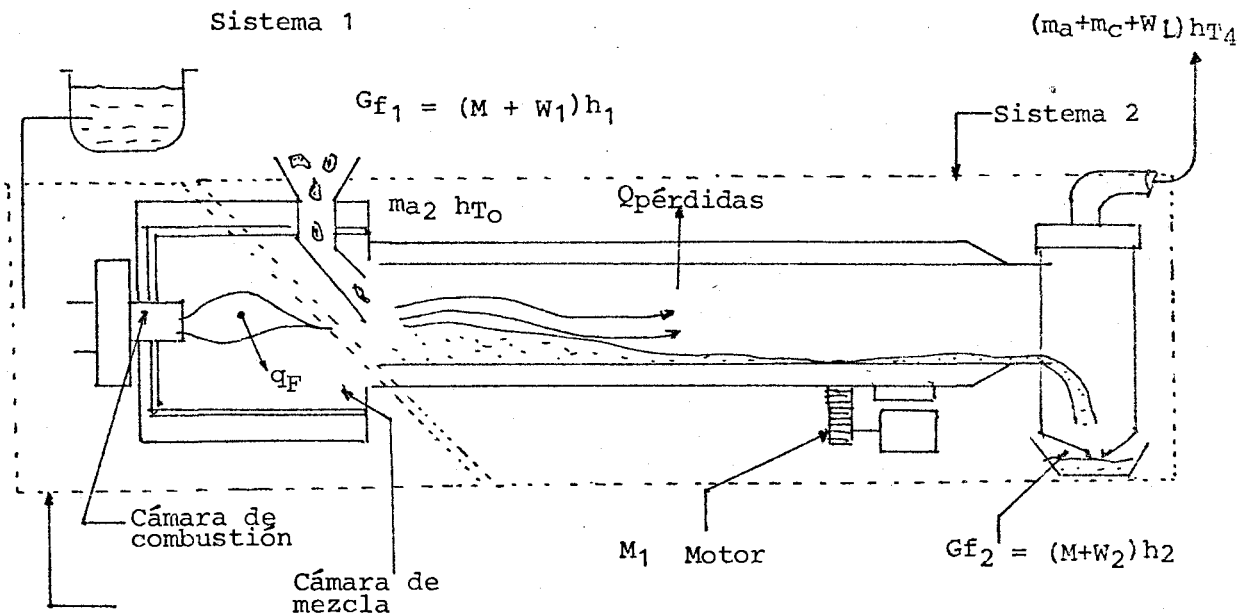


FIGURA 3-3. Diagrama esquemático para realizar un balance calorífico y balance másico en un secador de explotación continua.

Los siguientes análisis serán teóricos y las respuestas numéricas las obtendremos a base de ecuaciones conocidas en transferencia de calor a partir de datos experimentales. En el diagrama de la figura 3.3 consideraremos dos análisis para 2 sistemas diferentes, es decir, tomaremos el horno donde se lleve a cabo la combustión y calentado de aire (gases) como sistema 1, y el horno rotativo donde se efectúa el secado como el sistema 2, entonces planteamos lo siguiente:

$$\left| \begin{array}{l} \text{masas que} \\ \text{entran 2} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} \text{masa en estado} \\ \text{estacionario} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{l} \text{masas que} \\ \text{salen 2} \end{array} \right| \quad (3-1A)$$

$$\left| \begin{array}{l} \text{masas que entran} \\ \text{al sistema 1} \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} \text{masa que salen} \\ \text{del sistema 1} \end{array} \right| \quad (3.1B)$$

La Energía proporcionada por el motor 1 es explícita dentro de la consideración energética del sistema 2, es decir, el motor producirá la rotación sin ser energía interna adicional.

3.1.1. Flujos máxicos $\cdot 050 \rightarrow 15-08-94$

Para analizar nuestro proceso, lo iniciaremos por el sistema 2 donde se lleva a ejecución el proceso de secado.

Tal como se vio en la figura 3.1 existen básicamente 2 períodos de secado:

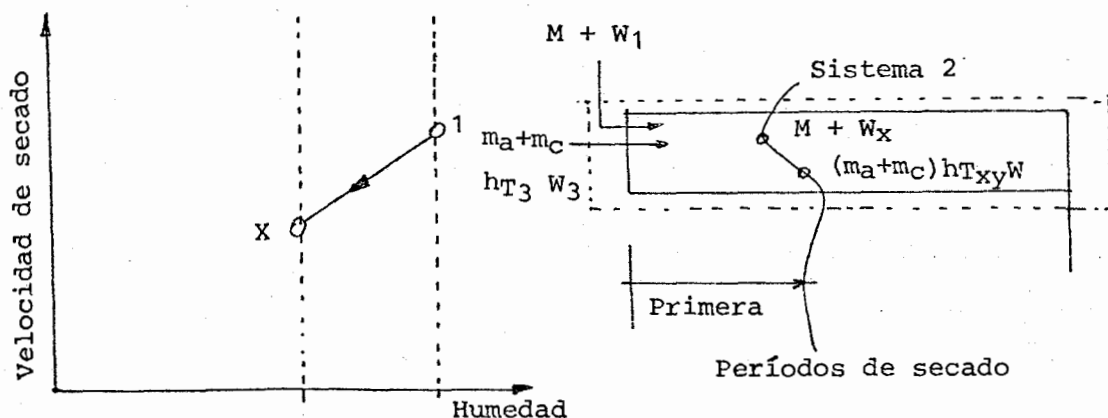


FIGURA 3-4A.- Curva y diagrama de la primera fase de secado en el horno rotativo de explotación continua, para el producto a secarse.

Primer período de secado

Transferencia de masa

Al tratarse de una sustancia higroscópica que tiene 50% de humedad, el cálculo de las cantidades másicas durante el primer período obedecen a la ecuación de Krischer:

$$\Delta X = X_1 - X = \frac{1}{G_s} \int_0^0 g_{vp1} dO = \frac{1}{G_s} \int_0^H g_{vp1} \cdot a F dH \quad (3-2A)$$

es decir

$$\Delta W = W_1 - W = \frac{F \mu \bar{\rho} \text{ aire } \bar{C}_p \text{ aire}}{\alpha} (g_{vpia} - g_{vpi}) \quad (3-2B)$$

donde:

ΔX = es el cambio o disminución de humedad en el producto KgW/Kg sólido

F = sección transversal de los paquetes de pescado desmenuzado, en estado compacto supuestamente vacío $|m^2|$

μ = velocidad lineal relativa del gas caliente con referencia a F $|m/seg|$

ρ = densidad del aire caliente o gas a la temperatura media Kg_{aire}/m^3

\bar{C}_p = calor específico del aire caliente a la temperatura media $\frac{Kcal}{Kg_{\text{aire}} \text{ } ^\circ C}$

g_{vpia} = velocidad de secado a la entrada del secador $|KgW/m^2h|$

g_{vpi} = velocidad de secado durante el primer período $|KgW/m^2h|$

α = coeficiente de transferencia de calor $\frac{Kcal}{m^2 h \text{ } ^\circ C}$

G_s = cantidad de sustancia sólida en el producto (Kg sólido)

W = cantidad de agua a evaporarse (Kg)

$$\Delta W = \Delta X \Delta G_s \quad \text{Ec. 3.2C}$$

Transferencia de calor

Conforme el aire va transfiriendo calor así mismo va ganando humedad, es decir entregará calor sensible y latente para vaporizar el agua. La transferencia de calor a las partículas de pescado, y la transferencia de materia al aire (agua) se puede determinar utilizando el coeficiente de transferencia α y los gradientes de temperatura correspondientes, así tenemos

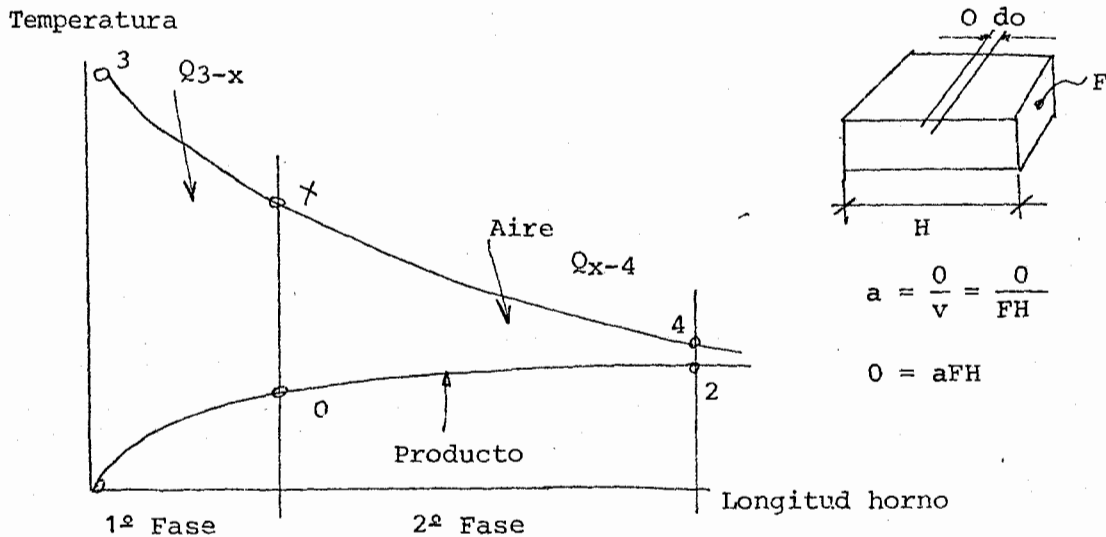


FIGURA 3-4.B.- Temperatura, tensión de vapor y contenido de vapor en el aire para el secado de conglomerados en bruto por una corriente según KRISCHER.

La cantidad de calor recibida por el pescado en unidades respectivas

$$d\dot{Q} = \alpha(T_0 - T_1)dO \quad (3.3A)$$

La cantidad de calor entregada por el aire caliente

$$d\dot{Q} = (m_a + m_c) C_p dT \quad (3.3B)$$

igualando:

$$\alpha(T_0 - T_1)dO = (m_a + m_c) C_p dT$$

Integrando la última expresión

$$\alpha \int_0^H dO = C_p \int_{T_3}^{T_x} \frac{(m_a + m_c) dT}{T_0 - T_1}$$

$$\alpha dFH = (m_a + m_c) C_p \ln \frac{T_3 - T_x}{T_0 - T_1}$$

El término $\ln \frac{T_3 - T_x}{T_0 - T_1}$ algunos autores lo conocen como (LMTD) la temperatura logarítmica media de transferencia.

Reordenando se tiene:

$$(T_0 - T_1) e^{\frac{\alpha a FH}{(m_a + m_c) C_p}} = (T_3 - T_x) \quad 3.3C$$

Si el coeficiente $\alpha \rightarrow 0$ $\boxed{T_3 - T_x = T_0 - T_1}$ la temperatura para secado $T_0 \leq 160^\circ\text{C}$ no sobrepasándola pues existe el peligro de quemar las pro teínas.

Escribiendo la Ec. 3.3C como su similar energética

$$\boxed{w(h_0 - h_1)e^K = (m_a + m_c)(h_3 - h_x)}$$

donde K es la constante que depende de transferencia de calor y mate- ria.

Como podrá notarse, esta ecuación es de carácter exponencial, es decir, las temperaturas suben casi bruscamente para producir la evapora ción de la cantidad de agua contenida en el producto; esta fase deman da la mayor energía de secado, teniendo el aire toda la capacidad pa- ra absorber el agua, es decir, baja humedad inicial.

La velocidad de secado durante esta fase disminuye notablemente, el aire caliente ya no dispone de mayor capacidad para absorber humedad y tanto el producto como el aire comienza a enfriarse sensiblemente.

SEGUNDA FASE DE SECADO

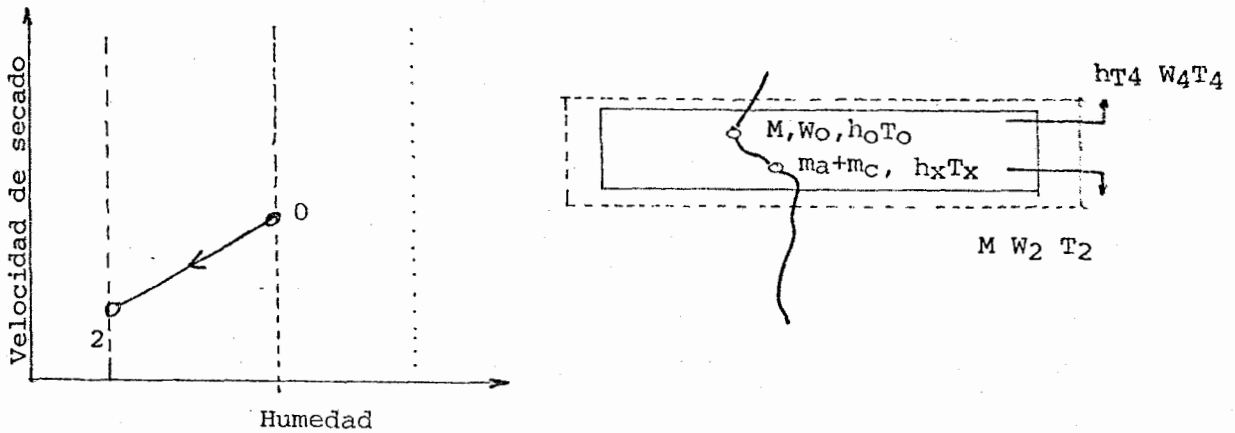


FIGURA 3.4.c. Curva y diagrama de la segunda fase de secado en el horno rotativo para el producto.

$$W_0 - W_4 \approx 0 \quad \text{casi no existe absorción de humedad } W_x \approx W_2$$

La velocidad de secado será

$$g_{vpm} = \frac{\alpha}{L_v} \Delta t_{ms} \quad \Delta T_{ms} \rightarrow 0 \quad \alpha \rightarrow 0 \quad (3.3D)$$

La transferencia de calor será casi lineal por las siguientes ecuaciones.

$$C_p (m_a + m_c) (T_x - T_4) = G_s C_G (T_0 - T_2) + (W_x T_x C_{px} - W_2 T_2 C_p)$$

$$(m_a + m_c) (T_x - h T_4) = G_s C_G (T_0 - T_2) + W_x h T_x - W_2 h T_2 \quad (3.3E)$$

Luego el calor parcial que cederá el aire caliente para este proceso.

$$\sum Q_p = (m_a + m_c) (h T_4 - T_4) = \boxed{W(h_0 - h_1)e^K + G_s C_G (T_0 - T_2) + W_x h T_x - W_2 h T_2}$$

$$\sum Q_T = Q_p + Q \text{ pérdidas} \quad (3.4A)$$

Con estas consideraciones podremos determinar los balances térmicos debido a que nuestro proceso de extracción de humedad son conocidas, de manera que podremos establecer los valores del estado del aire y la cantidad de energía para desecar el pescado prensado.

Otras consideraciones para flujo másico

Como se manifestó a un inicio, el proceso de secado, está acompañado de una transferencia de materia y calor simultáneamente; para diseñar el horno rotativo, los parámetros que asignen las ecuaciones 3.3D y 3.3C, serán determinados experimentalmente, cabe añadir que el producto prensado y desmenuzado entre el horno rotativo, esparcido y cada capa del producto (paquete) tiene su factor de forma f característica para determinar la velocidad de secado, difusión del vapor, etc.

El flujo de aire caliente es turbulento con el fin de garantizar la máxima transferencia de masa y calor según las ecuaciones siguientes:

Para la transmisión de calor:

$$j = \frac{a}{\mu \rho C_p} p_r^{1-n} = C Re^{m-1} \quad (3.5A)$$

Para la transferencia de materia:

$$j' = \frac{\beta}{\mu} S_c^{1-n} = c' Re^{m-1} \quad (3.5B)$$

Las ecuaciones anteriores basadas en investigaciones experimentales por los autores Chilton y Colbuen para materiales con factor de forma $f = \partial/G$ y valores del coeficiente de Reynolds $Re > 350$ establecen que:

$$j = 1.064 Re^{-0.41} \quad (3.5C)$$

$$j' = 0.984 Re^{-0.41} \quad (3.5D)$$

Valores de las constantes C , n y f , según las ecuaciones (175) y (171a)

	C	n	f	Campo de validez	Autores
Esferas apiladas irregularmente	94	0,16	1,0	$300 < Re < 10\ 000$	KING
Esferas apiladas regularmente	57,2	0,15	1,0	$250 < Re < 10\ 000$	LUDERSEN
Sillas de Berl	101	0,16	3,2	$100 < Re < 3\ 000$	MACH
Anillos de Raschig	198	0,16	2,4	$100 < Re < 3\ 000$	MACH
Minerales y coke	210	0,16	1,3	$500 < Re < 2\ 000$	WAGNER, HOHLSCHUH, BARTH ¹

¹ A. WAGNER, A. HOHLSCHUH Y W. BARTH, Gasdurchlässigkeit von Schüttstoffen besonders von Hochtemperaturmüllerstoffen, Z. Arch. Eisenhüttenwes., 6 (1932), pág. 129.

FIGURA 3.5. Factores de forma para diversos productos a secarse.

Los autores citados anteriormente analizan la transferencia de calor y masa suponiendo que en la zona de turbulencia existen unidades de transferencia N_t (similar a los tubos o paredes en intercambiadores) que determinan las condiciones para la transmisión.

$$N_t = \frac{H_{total} \cdot S_f^a}{Sc^{2/3} \cdot C_p} \quad (3.6)$$

El autor Friedman establece experimentalmente una ecuación empírica que relaciona el número de unidades de transferencia como

$$N_t = \frac{T_3 - T_4}{\Delta T_m} = \frac{38L}{C_p (ma_1)^{0.84D}} \quad (3.6A)$$

donde:

a = superficie específica de difusión

σ = coeficiente de evaporización

$Sc^{2/3}$ = número de Schmidt

L = longitud del secador

D = Diámetro del horno rotativo de forma cilíndrica

T_3, T_4 = Temperaturas de entrada y salida respectivamente.

m_a = masa de aire fresco seco (Kg/hrm^2) por sección transversal.

CAIDA DE PRESION

Para empujar el aire caliente con cierta cantidad de movimiento y producir el choque con los paquetes de productos desmenuzados necesitamos cierta potencia del ventilador inyector y del extractor de gases, la potencia de los equipos estarán determinados por la caída de presión estática y dinámica a través del horno rotativo. Las pérdidas serán establecidas para reducir las al mínimo, sin embargo, la ecuación de caída de presión total a través del ducto circular (horno rotativo) viene dada por:

$$P = C_w^* \frac{16}{150} \frac{\mu^2}{x \cdot 9.81} \rho_M \frac{1 - \psi}{\psi^3} \cdot \frac{l \delta}{dK} \quad (3.7)$$

dK perímetro promedio aproximado de los paquetes

δ factor de forma del paquete (ver fig. 3.5)

C_w^* coeficiente de resistencia en función del número de Reynolds (ver figura 3.5).

ψ = porosidad (volumen de los espacios intermedios del pescado desmenuzado a la unidad de volumen).

ρ_M = densidad del paquete

l = longitud del amontonamiento

μ = velocidad medio del aire caliente a la sección transversal supuestamente libre en el horno rotativo.

Mientras dominen las condiciones de evaporización en el sistema 2 el cálculo de la velocidad de secado se efectúa mediante la relación.

$$g_{vp1} = g_{vpia} \cdot e^{-aH} \frac{\alpha}{\mu \rho_{\text{aire}} C_p} \quad (3.8A)$$

$$g_{vpia} = \frac{\alpha}{L_v} (T_{\text{aire}} - T_{\text{producto}}) = \frac{\alpha}{L_v} \Delta T_m \quad (3.8B)$$

donde:

L_v = calor de vaporización del agua contenida

a = superficie específica del paquete $\frac{S}{V} = \frac{1}{m}$

ΔT_m = temperatura promedio de la superficie y el aire circundante en un paquete de factor de forma f .

La velocidad de secado para la zona de calentamiento sensible, es de cir después de la vaporización quedará determinada por:

$$g_{vpm} = \frac{\alpha}{L_v} \Delta T_{ms} \quad (3.3D)$$

α = coeficiente de transferencia de calor

$$\alpha = \frac{\lambda}{S} \quad (3.3E)$$

donde λ = conductividad térmica

Este último varía conforme el producto o paquete que vaya perdiendo humedad pero con fines de cálculo λ debe ser conocido en su condi ción inicial; α será determinada mediante experimentación con paque tes de pescado prensado similares (ver secciones 3.1.2 y 3.1.4).

1.1.a. Cantidad de materia prima a secar

El siguiente diagrama nos dará una explicación para determinar con bastante exactitud la cantidad de materia prima que debemos procesar y obtener 5 toneladas de pescado seco por hora.

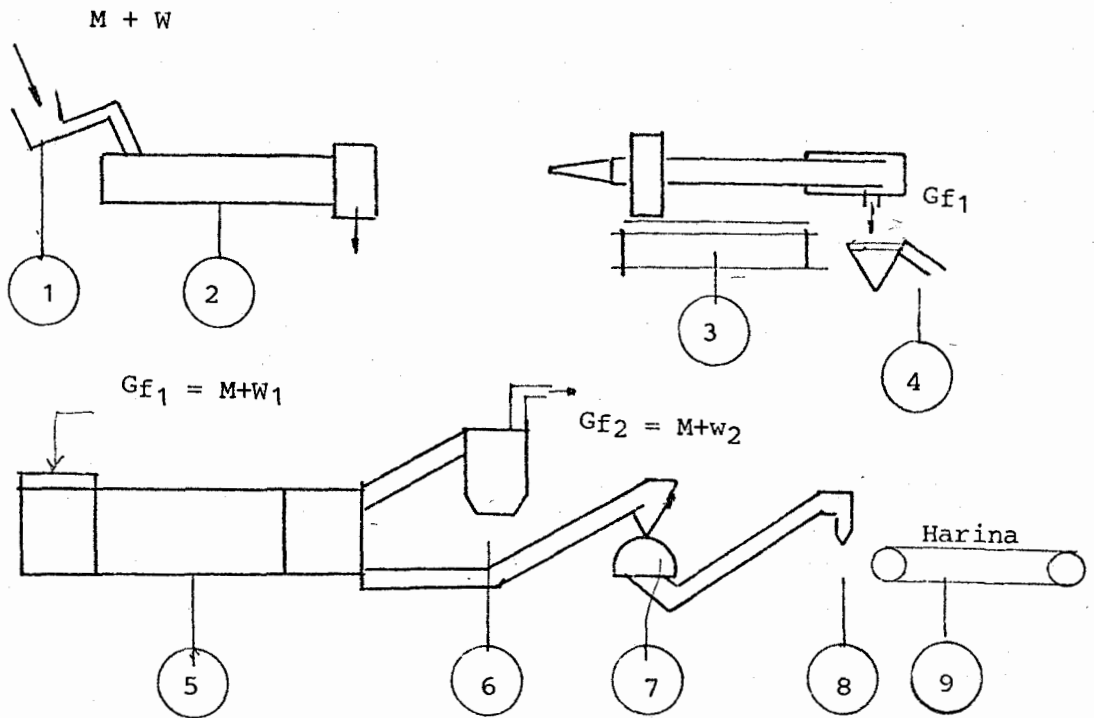


FIGURA 3.6. Diagrama ilustrativo para procesar la materia prima

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. Tornillo alimentación | 5. Horno rotativo |
| 2. Cocinador | 6. Tornillo transportador |
| 3. Prensa con trituradora | 7. Molino |
| 4. Centrifuga decantación | 8. Balanza ensacadora |
| | 9. Transporte a bodegas |

FIGURA 3-6.- Diagrama ilustrativo para procesar la materia prima
 nótese que entra a (5) la cantidad G_{f1} y sale G_{f2} .

La cantidad de materia prima viene determinada por la cantidad de producto que deseamos secar; según el cuadro 3.6 deberemos obtener $G_{f2} = M + W_2 = 5$ toneladas entonces según tabla 3.4.A.

$$M + W_1 = G_{f2} \times A \times B$$

(3.9)

En la prensa trituradora (3)

La cantidad de humedad a extraer será 50% + un porcentaje de aceite que tomarán las centrifugas, según datos experimentales 3.4. A.

$G_{f1} = 9.76$ toneladas /hora de pescado prensado, en el horno rotativo se llevará a cabo lo siguiente:

$$\text{pescado entra } X_1 = \frac{G_{f1} - G_{\Delta 1}}{G_{\Delta 1}} = \frac{9.76 - 4.59}{4.54} = 1.13 \text{ Kg W/Kgsólido}$$

$$\text{pescado sale } X_2 = \frac{G_{f2} - G_{\Delta 2}}{G_{\Delta 2}} = \frac{5.00 - 4.60}{4.60} = 0.09 \text{ KgW/sólido}$$

donde X_1 y X_2 son las cantidades de humedad referida al sólido seco respectivamente.

La humedad a extraer será $W = G_{\Delta} (X_1 - X_2)$

$$W = 4.54 (1.13 - 0.09) = 4.77 \text{ toneladas de agua/hora}$$

El aire seco tendrá la suficiente capacidad para absorber esa cantidad de agua.

1.1.1.b. Cantidad de aire requerido

En la carta psicométrica de la sección 3.1.5. se establece que al aire debe entrar con un contenido de humedad lo más bajo posible (o humedad relativa baja) y salir casi saturado.

Para garantizar una absorción de humedad por parte del aire las temperaturas de entrada y salida según la ecuación 3.6 donde el horno funciona de manera óptima será:

$$N_t = 2 = \frac{T_3 - T_4}{\Delta T_m} \quad (3-6A)$$

$$T_3 = 2 \Delta T_m + T_4$$

$\Delta Tm_E =$ Temperatura promedio experimental

$T_4 =$ temperatura de saturación del aire a w_4

En la carta psicrométrica siguiente se aprecia el proceso de obtención de la masa de aire caliente, (1) es la cantidad de aire fresco que entra a la mezcla para modular el proceso de secado, y (2) son las condiciones de los gases de combustión a 400% de aire teórico. El proceso de mezcla teóricamente se realiza a humedad constante, es decir $w_1 = w_2 = w_3$. El punto (3) es la condición inicial para iniciar el secado y (4) es la "salida de aire variable en cuanto a humedad se refiere pero nunca a una temperatura menor a la establecida en el diseño."

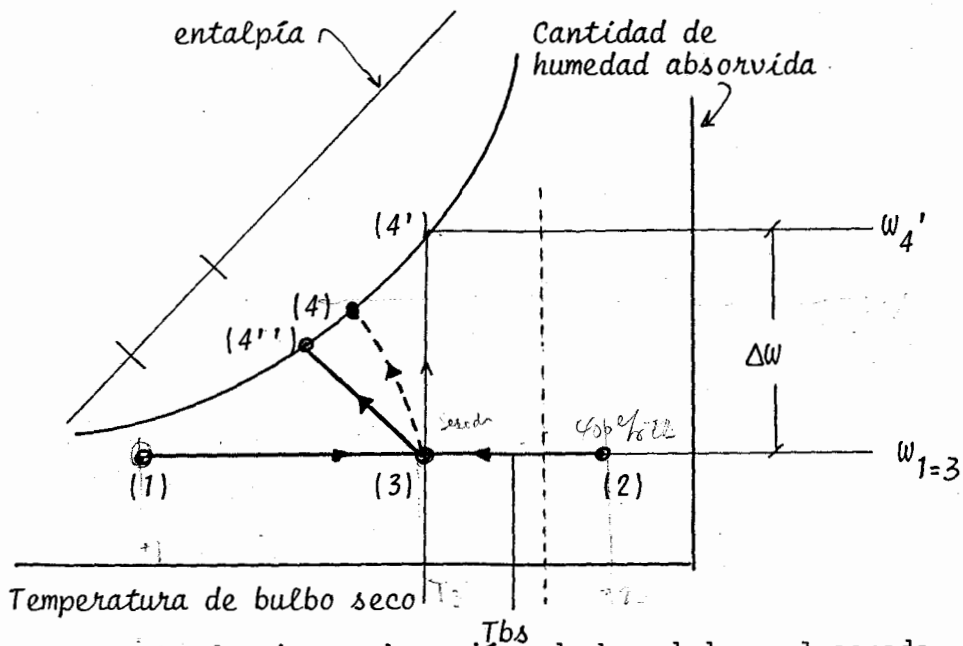


FIGURA 3.7 Mezcla de aire y absorción de humedad en el secado.

El proceso (3) (4') es a bulbo seco constante la humidificación del aire solo se realiza si $h_w = h_g$, es decir si la entalpía del agua a extraerse es la misma de la de vapor saturado a esa temperatura del aire. El proceso (3) (4'') es a enfriamiento isentálpico sensible y sucede si la temperatura del aire es menor que la del vapor saturado a 1 atm. El proceso de este diseño es una combinación de los dos de ahí el calentamiento del aire; la masa de aire caliente ($>100^\circ\text{C}$) para extraer la humedad es:

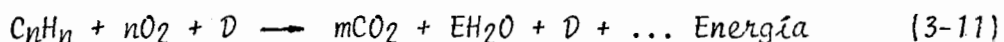
$$m_{\text{agua}} = m_{\text{aire}} (w_4 - w_3)$$

Ec 3.10

En el sistema 1 de la cámara de combustión es similar al que poseen la turbina a gas con una particularidad, ya que este horno es sobre dimensionado para atenuar la transferencia de calor a la gran cantidad de aire que calentaremos. No todo el aire que entra má es com bustionado con mc la masa de combustible ya que para producir una cantidad de calor solo es necesario una relación estequiométrica F/A , razón combustible-aire.

En el sistema 2 horno rotativo, el aire caliente debe tener una humedad tan baja para que recepte la humedad vaporizada del producto a secarse. Nótese que las ecuaciones 3.13 y 3.14 son establecidas para garantizar la evaporización del agua, es decir, la temperatura de entrada debe ser más alta que la de salida.

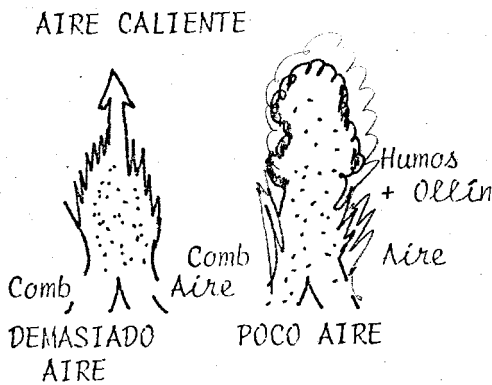
Para determinar la cantidad de aire, en esta sección, describiremos lo que ocurre en un proceso de combustión y absorción de humedad en el sistema 1 la reacción típica que sigue el desprendimiento de calor debe ser de la siguiente forma.



Como emplearemos combustible residual (Fuel oil o Bunker) las propiedades de este hidrocarburo son las de un enlace C_8H_8 a $C_{10}H_{22}$. El proceso de balanceo visto desde el punto químico resulta muy com plejo y casi es imposible predecir que exista una reacción pareja de mol a mol limitado desde luego por la eficiencia del inyector (η) sin embargo podemos afirmar que una cantidad reducida de aire produ ce una combustión pobre dando como resultado elevada dosis de CO que es muy perjudicial así mismo, una alta cantidad de aire garantiza u na combustión que para nuestros objetivos resulta beneficioso ya que todo el desprendimiento de calor en la Ec. 3.4A lo absorbe el aire excesivo reduciendo CO y CO₂.

En la figura 3.7 y 3.8 tomados de los catálogos de la casa comercial

TRAVE presentan análisis para los diversos productos de varios combustibles, relacionándolos con desprendimiento de calor que se obtienen mediante la reacción química. Nótese que solo es necesario 2.47 lbm de oxígeno para reaccionar con 1 lb de carbón y liberar 14600 BTU así mismo 1.33 lb de oxígeno es insuficiente para la reacción y libera tan solo 4.400 BTU con una alta dosis de CO que es nocivo.



MATERIAL COMBUSTIBLE	Reacción Química	Cantidad de Combustible				Calor Específic. BTU/lb
		O LB	N LB	AIRE LB	PRODUCTOS LB	
CARBON (C)	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	2.67	8.85	11.52	12.52	14,600
CARBON (C)	$2C + O_2 \rightarrow 2CO$	1.33	4.43	5.76	6.76	4,440
Carbón Monóxido (CO)	$2CO + O_2 \rightarrow$	.57	1.90	2.47	3.47	10,160
Hidrog. (H)	$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$	8.0	26.56	34.56	35.56	62,000
Sulfur. (S)	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	1.0	3.32	4.32	5.32	4,050

(b)

FIGURA 3.8.- (a) representa en forma pictórica la influencia de la cantidad de aire para combustionar combustible residual (fuel oil), (b) muestra la reacción teórica y los subproductos que se obtienen mas el calor liberado por el hidrocarburo.

La reacción química sintetizada para lograr eficientemente la reacción es.

1 lb. de carbón + 2.67 lb de oxígeno \rightarrow 3.67 lb. de CO_2 + 14.600 BTU

La cantidad de aire a determinarse estará dada por la suma del aire primario (combustión) mas el aire secundario (excesivo) que se calienta. El aire que entra en reacción es pequeño comparado con el aire excesivo, sin embargo la suma de aire es optimizada por la limitación del sistema (ventilador, temperatura y costos). La Fig. 3.8 detalla la cantidad de aire por galón de combustible de fuel oil y el porcentaje de aire en exceso para garantizar una buena combustión.

Combustible	% POR PESO					Capacidad calorífica BTU/lb	Peso específico lb/ft ³	Aire para Combustion
	C	H	S	O	N			
NAT. GAS	76.1	23.0		0.0	0.9	22,800	.044	9.74t /lt.
MFD. GAS	43.0	10.4	0.0	41.6	5.0	11,850	.088	4.34t /lt.
BUNKER	85.6	12.0	0.35	0.60	0.50	18,500	55.6	1365t /gal.

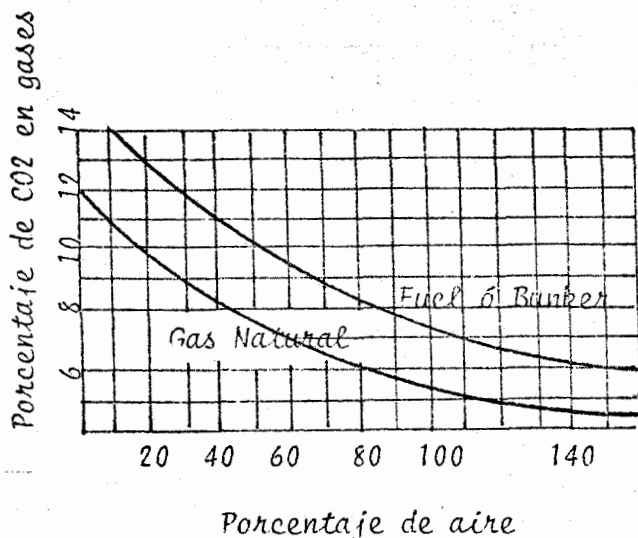


FIGURA 3-9.- Propiedades de diversos combustibles y porcentajes excesivos de aire para la reacción y liberación calorífica de los combustibles.

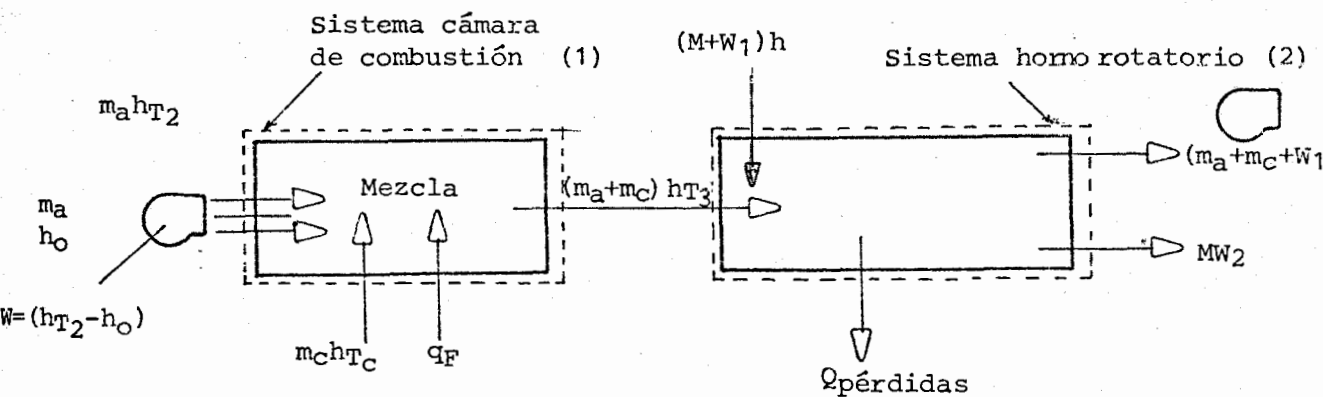


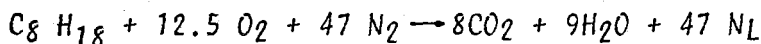
FIGURA 3-3 (Repetida). Diagrama esquemático para determinar la cantidad de aire y combustible en el secado de harina de pescado.

En los sistemas de la figura 3.3, las cantidades h_{T_3} , m_a , m_c son desconocidas y dependen directamente de la capacidad del horno. h_{T_3} y h_{T_4} son entalpías a la entrada y salida en el horno rotativo respectivamente, su valor se determinará conforme la relación F/A.

De datos figura

$$\frac{m_c}{m_a} = \frac{F}{A} \ll \frac{1 \text{ galón de combustible} \times (55.6 \text{ lbm/pt}^3) \times 1 \text{ pt}^3}{1.365 \text{ pt}^3 \times (0.075 \text{ lbm/pt}^3) \times 7.481 \text{ galones}} = 0.07^*$$

*Este valor es máximo para la reacción química; otros autores lo obtienen mediante un análisis teórico a partir de la ecuación



$$\text{donde } \frac{F}{A} = \frac{\text{peso molecular combustible}}{\text{peso molecular aire}} = \frac{96 + 18}{12.5(32) + 47(28)} = 0.0667$$

para 100% de aire teórico. En nuestro diseño suministraremos un exceso de aire (aprox. 400%) según figura 3.9 para garantizar la combustión y eliminar cantidades de CO_2 CO reduciéndolas a un porcentaje mínimo. La sección 3.1.3 de Balances térmicos muestra los requerimientos numéricos de aire y combustible hallados mediante una interpolación lineal de la Ecuación 3.19.

1.1.c. Cantidad de combustible

De la relación estequiométrica F/A se determinará la cantidad de combustible residual (Bunker o fuel oil).

$$F/A = \frac{m_c}{m_a} \quad (3.12)$$

una vez obtenida la masa de aire necesitado para producir gas caliente, la masa de combustible expresado en galones es:

$$m_c = m_a \left(\frac{F}{A} \right) \frac{7.481}{\gamma} = X \text{ (galones)} \quad \gamma = \frac{\text{lb/pt}^3}{7481 \frac{\text{lbs}}{\text{pt}^3}} \quad (3.13)$$

El combustible residual rinde $10256 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$ (18.500 BTU/lbm) con 100% de aire teórico siempre que la eficiencia η del quemador sea 1.0, pero eso no sucede generalmente:

$$\eta_{cc} = \frac{q_F}{LHV} \quad (3.14)$$

donde η_{cc} es la eficiencia

q_F calor desarrollado por combustible

L.H.V. valor nominal de calorías desprendido del combustible.

De la interpolación lineal de la ecuación 3.14 con F/A utilizando $q_F = \eta_{cc} \text{ LHV}$ se tendrá el valor verdadero de combustible para calentar la masa de aire m_a .

Temperatura de secado

La determinación de la temperatura de secado reviste ^{de singular} ~~de tal~~ importancia en la calidad del producto. La ecuación 3.15 sintetiza to do el fenómeno de secado dentro del horno rotativo y pide las tem peraturas que accionarán dentro del mismo, sin embargo un proceso puede ser rápido si elevamos la temperatura pero produce una limi tación, la misma que no debe exceder de 160°C en la superficie del paquete. Para garantizar el secado y la transferencia de humedad el gradiente de temperatura debe ser lo mínimo para que garantice un secado uniforme.

Tal como se manifestó en la sección 3.1.1 el pescado es cocido, lue go prensado al máximo y quedará con 50% de humedad respectivamente, luego entrará desmenuzado (paquetes) al horno rotativo, donde pro- cederá a secarse mediante gases calientes y en turbulencia.

Mediante el siguiente trabajo experimental, hemos tomados los datos de mediciones directas de los factores necesitados en las ecuaciones descritas anteriormente. El cuadro 3.3 presenta los factores de for ma para las 4 muestras de producto prensado y el coeficiente de su- perficie específica. Los factores de area y longitud para hallar el volumen supuestamente vacío, de la muestra se lo asemejó a un para le- lepípedo cuya superficie de transferencia de calor y materia es mu- cho mayor que las otras 4 caras (ver figura 3.10).

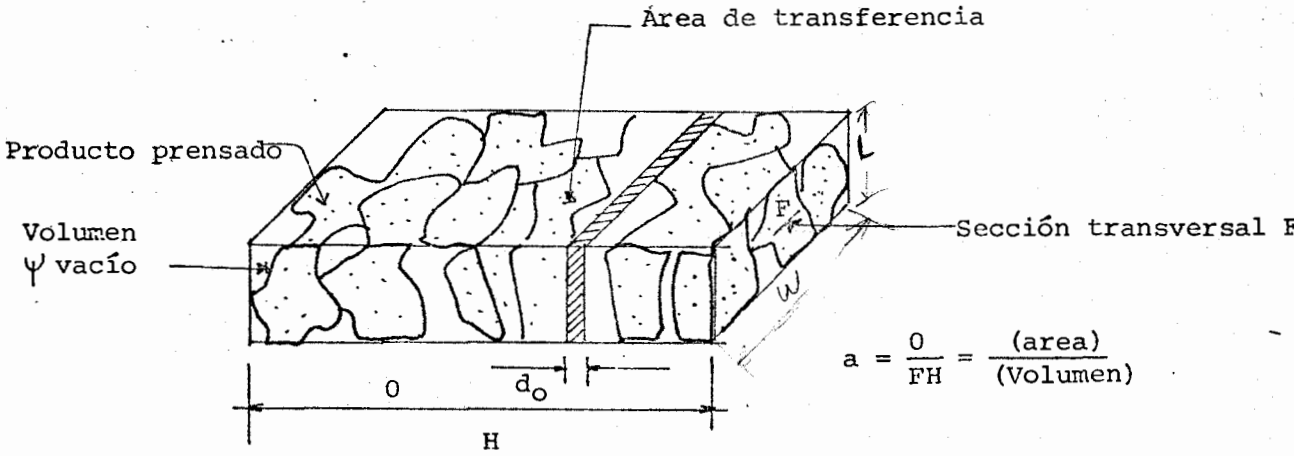


FIGURA 3.10. Área de transferencia y factor de forma determinados experimentalmente.

El Cuadro 3A presenta la masa inicial a tratarse y la masa final obtenida mediante el secado dentro de un horno conveccional a gas. La diferencia de peso durante un tiempo determinado es la humedad extraída. Graficar la humedad extraída W por el calor latente de evaporación del agua L_v versus el área de transferencia, hora y temperatura de secado se obtiene una curva cuyo fundamental teórico debe ser el coeficiente de transferencia de calor en función del coeficiente de difusión de masa.

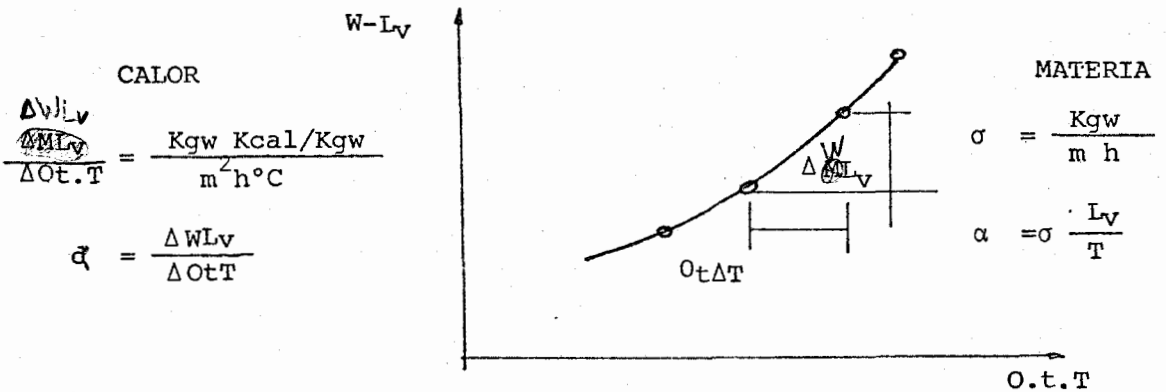
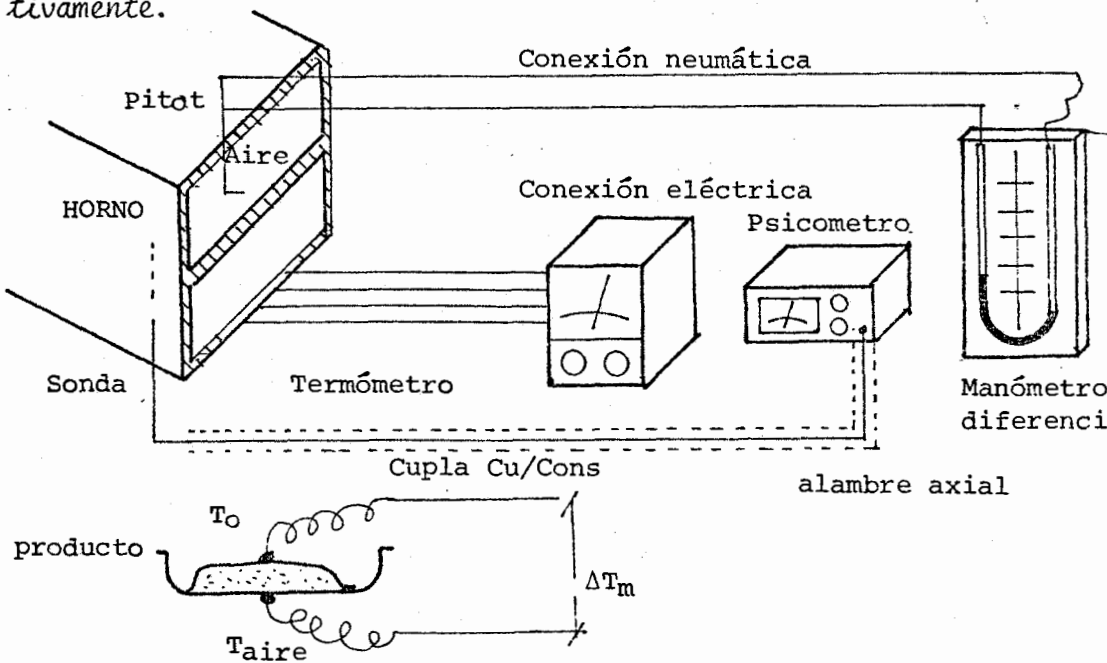


FIGURA 3-11. Determinación del coeficiente de transferencia de calor

CUADRO 3.3.

MUESTRA	W_{cm}	L_{mm}	DIMENSIONES			$\alpha = 0/FH$ m^{-1}
			H_{cm}	O_{m^2}	F_{m^2}	
A	8.5	9.5	13.0	1.10×10^{-2}	8.07×10^{-4}	104.85
B	7.9	8.0	12.5	0.98×10^{-2}	6.32×10^{-4}	124.05
C	8.3	9.0	12.5	1.03×10^{-2}	7.47×10^{-4}	110.31
D	8.7	8.5	12.0	1.04×10^{-2}	7.39×10^{-4}	117.28
Promedios	8.35	8.7	12.5	1.04×10^{-2}	7.31×10^{-4}	114.12

El siguiente diagrama pictórico revela el equipo utilizado donde se produjo el secado de 4 muestras de pescado. Mediante una balanza común se determinaron los pesos finales e iniciales en Kg de agua evaporada por diferencias de masa. Se empleó un equipo para medir las diferencias de temperatura entre el aire y el paquete, así mismo para una velocidad de aire se registraron temperaturas de bulbo seco y húmedo con un tubo de pitot-manómetro y un psicrométrico, respectivamente.



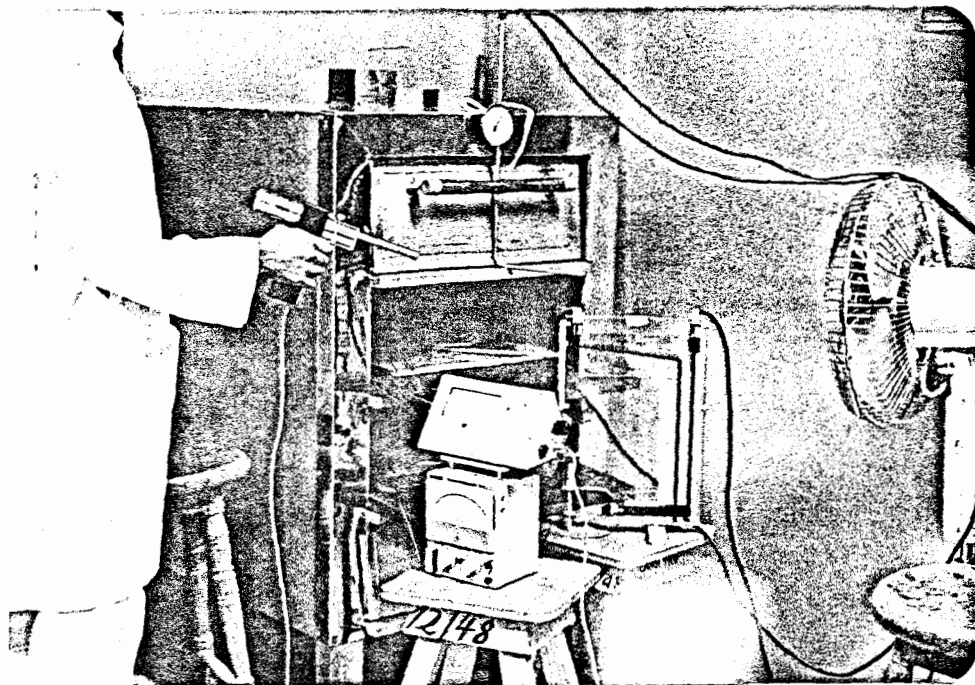


FIGURA 3-12.- Disposición experimental y diagrama pictórico para la toma de lecturas en la temperatura de secado.

CUADRO 3.4.A

MUESTRA	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Humedad (gr)	$L_v W$ (K cal)	tiempo (h)
1	29.5	9.5	20.0	10.8	1.00
2	27.8	9.2	18.6	10.0	0.75
3	31.1	10.8	20.3	10.9	0.75
4	23.2	7.10	16.1	8.7	1.00

$$L_v = 540 \text{ Kcal/Kg}$$

Así mismo las temperaturas registradas durante el proceso para cada muestra utilizando un termómetro electrónico con 10 termopares cobre-constantón pudimos obtener las gradientes de temperatura ΔT_{mE} inicial y final ΔT_{mS} . Cabe anotar que estas temperaturas son las que actuarán en el diseño razón suficiente para hallar los coeficientes ya que el factor de forma, dimensiones del paquete serán casi las mismas. En el horno rotativo la temperatura del aire a la entrada y salida serán reguladas mediante controles y sensores neu-

c. 42
60
2.570
10.20

máticos.

CUADRO 3.4.B

TIEMPO [h]	TEMPERATURAS AIRE-PRODUCTO [° C]				ΔTm
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	
0.17	90.0	92.5	87.3	92.3	90.5
0.42	23.0	29.0	24.5	34.5	27.7
0.50	22.7	28.5	24.0	34.2	27.3
0.58	21.2	30.2	25.6	32.9	27.5
0.75	13.3	28.8	23.3	25.7	22.7
1.00	10.5	---	---	16.5	13.5

T aire caliente = 160° C; T_{bH} = 149.3° C ΔT_{mE} = 57.12

T producto T₀ = 30° C; T_f = T_{aire} - T_{0s}

los datos para graficar la anterior curva están en el Cuadro 3.5, así mismo el coeficiente de conducción o transferencia α experimental.

EXPLICACION DE LAS CURVAS

Con los datos obtenidos en el laboratorio de Química, se ha tratado de comprobar cuanta cantidad de humedad debe evaporarse cuidadosamente bajo las condiciones a las que está sujeta la muestra de pescado. Si bien es cierto las curvas no representan la razón de incrementos de lo que sucede a cada instante con los coeficientes de Difusión, y calor, se ha tratado de obtener un valor mas real y cercano de lo que podría suceder en un horno secador de este tipo, esto unido a la falta de un equipo apropiado donde se pueda determinar la variación de humedad en cada instante, sería lo ideal para establecer tablas y coeficientes de productos alimenticios; sin embargo la determinación de esas constantes queda fuera de nuestro alcance siendo mas bien métodos de investigación para la ingeniería de procesos industriales.

El Cuadro 3.5 presenta un coeficiente de transferencia promedio máximo, escogido con el fin de garantizar el dimensionamiento del horno,

cuando se utilicen las fórmulas de secado.

CUADRO 3.5

MUESTRA	COEFICIENTE		α^*
*	$0 \pm T |m^2 h^\circ C|$	LW |Kcal|	$\alpha = |Kcal/m^2 h^\circ C|$
1	10.60×10^{-2}	10.8	101.84
2	21.17×10^{-2}	10.0	47.24
3	18.00×10^{-2}	10.9	60.56
4	17.16×10^{-2}	8.7	50.70

$\bar{\alpha} = 65.10$
Kcal
m²h^oC

* para la velocidad de aire caliente $\mu = \frac{m}{h}$ y $T_{bs} = 160^\circ C$ $\Delta T_m =$

3.1.2.a. Influencia de la humedad y flujo másico

Como debe ser obvio deducir, mientras exista mayor cantidad de agua en el material a secarse, mayor debe ser la energía a emplearse y el flujo de aire debe tener la capacidad de absorber el calor y la humedad. La sección 3.1.5. presenta el proceso en la carta psicrométrica donde se puede apreciar las condiciones del aire caliente a la entrada y salida.

La entrega de humedad del producto al aire provoca un aumento local de temperatura (difusión) pero es muy pequeño comparado con el $\Delta T_m = T_{aire} - T_0$ donde $T_{aire} = 160^\circ C$. El aire debe tener la capacidad de absorber 4.77 toneladas de vapor de agua durante una hora, luego el flujo másico ($m_a + m_c$) debe estar relacionado con la ecuación empírica de Friedman.

$$N_t = \frac{T_3 - T_4}{\Delta T_m} = \frac{C_p T_3 - C_p T_4}{C_p T_{aire} - C_p T_0} = \quad (3.6A)$$

$$N_t = \frac{h_{T3} - h_{T4}}{h_{Taire} - h_{T0}}$$

Donde $h_{T4} = h_{Taire} + h_{vapor}$

Empíricamente el mismo autor ha establecido que

$$N_t = \frac{38 L}{C_p (m_a + m_c)^{0.84} D} \quad (3.15)$$

Conociendo el valor de N_t y predimensionando el horno se determinará la cantidad de aire caliente necesitado. A este punto puede tomarse los valores para aplicarlos a cualquier otro medio de secado conociendo aparte del secado por fuego directo.

En lo que respecta al flujo másico del producto hemos podido establecer la cantidad de humedad que tiene el producto en cada etapa del proceso de planta. En el Cuadro 3.6 podremos establecer cualquier cantidad de producto siendo las masas en función de sus similares. El cuadro puede reemplazar a una tabla de conversión para harina de pescado.

C U A D R O 3.6

CANTIDAD	1 lb. pescado fresco	1 lb. sólido	1 lb. de humedad	1 lb. de aceite
1 lb. pescado fresco	1	0.20	0.75	≈0.05
1 lb. pesc. prensado	0.47	0.47	0.44	≈0.09
1 lb. de harina.	≈0.20	0.92	0.08	≈0.002

Elaborado con la especie *muytecetus* (picudo) elegida como la especie más representativa.

La especie fue sometida a cocido, prensado, desmenuzado y puesta en forma de paquete cuya forma oscilaba 12 cm. x 8 x 0.9 cm. El agua escurrida se la sometió a decantación obteniendo el porcentaje de aceite que aparece en la tabla. Los valores son aproximados pues las especies durante cierta fase del año presentan mas o menos cantidad apreciable de aceite.

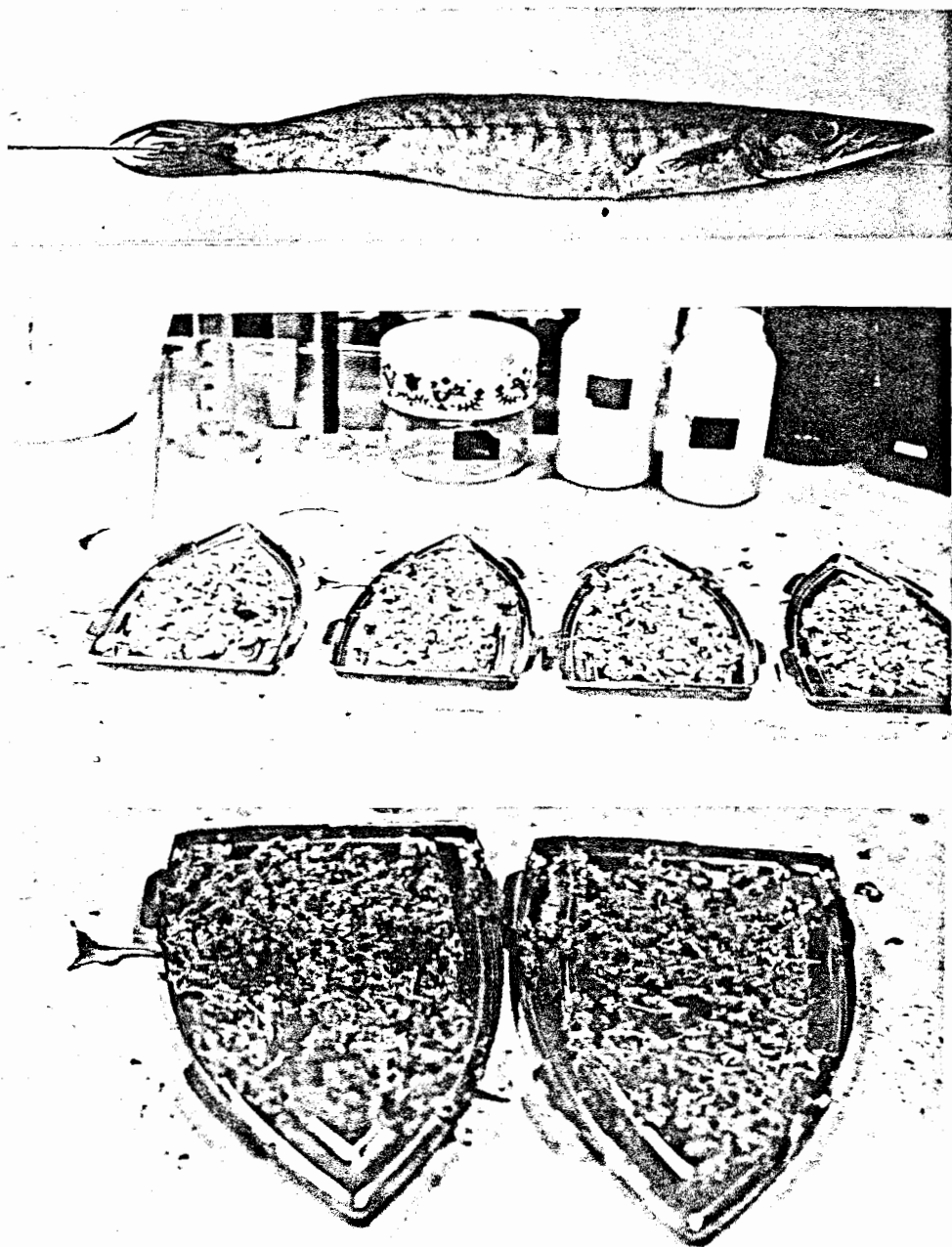
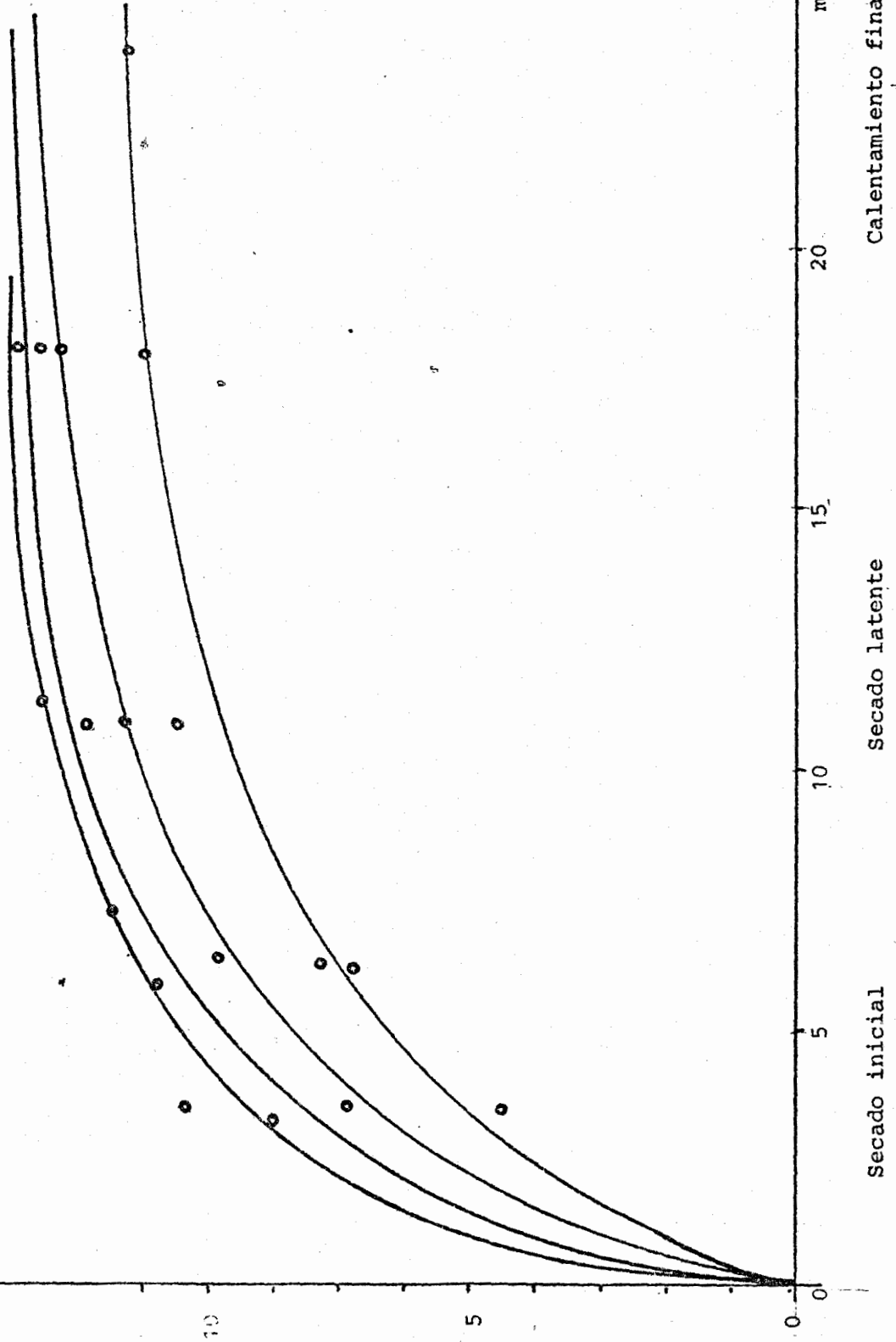


FIGURA 3-11.- Arriba representa la especie seleccionada para producir harina de pescado perteneciente a la familia mystecetus (picuda); al medio, 4 muestras listas a ser sometidas a secado en un horno estático a gas para determinar las constantes de humedad tiempo y calor para una velocidad fija de aire caliente, abajo, muestras finales de secado, nótese la coloración amarilla indicación para limitar temperaturas máxima

I_v W
Kcal



$Ot T$

$m^2 h^{\circ}C$

Hora

Calentamiento final

Secado latente

Secado inicial

FIG. 3.11. - DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR (pescado - airc)

3.1.3. Balances térmicos

Como se ha podido establecer teóricamente el fundamento de secado, en esta sección determinaremos los valores numéricos de las diversas cantidades necesarias en el diseño del horno rotativo.

En el sistema 2

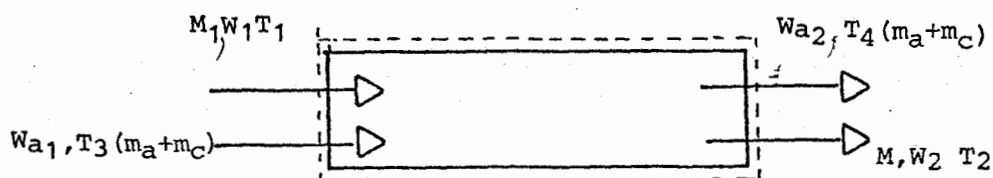


FIGURA 3.12. Diagrama correspondiente al proceso de secado.

Las temperaturas de diseño serán:

$$T_{\text{aire atmosférico}} = 30^{\circ} \text{C} \quad \text{HR} = 60\% \quad (\text{aire})$$

$$T_4 = 80^{\circ} \text{C} = 180^{\circ} \text{F} \quad (\text{aire húmedo})$$

$$W_{a2} = 0.6 \text{ Kgw/Kg aire seco} \quad W_{a1} = 0.016 \text{ Kgw/Kg aire seco}$$

$$\Delta T_{mE} = 57.12^{\circ} \text{C} \quad (\text{aire-producto})$$

$$\Delta T_{mS} = 23.74^{\circ} \text{C} \quad (\text{aire-producto})$$

$$T_0 \text{ max} = 160^{\circ} \text{C} \quad T_{\text{min}} = 100^{\circ} \text{C} \quad (\text{producto})$$

$$\alpha = 65.10 \text{ Kcal/hm}^{\circ} \text{C}$$

$$K = 7.31 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$H = 0.125 \text{ m}$$

$$a = 114.12 \text{ m}^{-1}$$

$$C_G = 0.88 \text{ Kcal/Kg}^{\circ} \text{C} \quad (\text{pescado fresco})$$

$$h_0 = 539.09 \text{ Kcal/Kgw}$$

$$h_1 = (30^{\circ} \text{C}) = 30.02 \text{ Kcal/Kgw}$$

$$T_0 = 100^{\circ} \text{C}$$

$$T_2 = 56.26^{\circ} \text{C}$$

$$K = aFH \frac{\alpha}{m_a C_p} = 114.12 \text{ m}^{-1} \times 7.31 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 0.125 \text{ m} \frac{65.16 \text{ Kcal/hm}^2 \text{ }^{\circ} \text{C}}{\text{Kg/h} (8167.81) \times 0.242}$$

$$K = 3.42 \times 10^{-4} \quad (\text{adimensional})$$

El calor necesario para desecar el ~~pesado~~ ^{seco} será:

$$Q_{\text{secado}} = W(h_0 - h_1) e^k + G_g C_g (T_0 - T_2) + W_x h_x - W_2 h_2 \quad \text{Ec 3.4}$$

$$Q_{\text{secado}} = 4770 \text{ Kg}_w (539.09 - 30.02) e^{3.42 \times 10^{-4}} \text{ Kcal/kg}_w + 5000 \text{ Kg}_s 0.88 \text{ Kcal/Kg} \\ (100 - 56.26)^\circ\text{C} + W_x \overset{\circ}{W}_2$$

$$Q_{\text{secado}} = 2.62 \times 10^6 \text{ Kcal/hora}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{secado}} + Q_{\text{pérdidas}} \quad \text{Ec 3.4 A}$$

$$Q_{\text{total}} = 2.62 \times 10^6 \text{ Kcal/hora} + (1500 + 1\% Q_{\text{secado}}) \text{ Kcal/hora} =$$

$$Q_{\text{total}} = 2.65 \times 10^6 \text{ Kcal/hora}$$

La Energía que debe proporcionar la mezcla de gases calientes y aire fresco debe ser igual o mayor a la energía exigida en la sección 3.1.2 y 3.1.5, bajo la limitación de la temperatura de secado.

En resumen la cantidad mínima de energía y masa será:

$$\underline{ma_3 h_3 = ma_1 h_1 + ma_2 h_2 = Q_{\text{total}}}$$

$$\underline{ma_3 = ma_1 + ma_2}$$

la temperatura de entrada del aire en función de la temperatura de secado ha sido determinada experimentalmente y de acuerdo a la Ecuación de Friedman es:

$$\underline{T_3 = T_4 + N_t T_{mE} = 80^\circ\text{C} + 2 (57.12)^\circ\text{C} = 195^\circ\text{C}}$$

A esa temperatura el aire a baja presión (1 atm) según las tablas de Keenan y Kaye la entalpía de mezcla de los gases y aire caliente es:

$$h_{T_3} = 113.5 \text{ Kcal/kg}$$

la masa de la mezcla de aire caliente será:

$$ma_3 = ma_1 + ma_2 = \frac{Q_{\text{total}}}{h_{T_3}} = \frac{2.65 \times 10^6 \text{ Kcal/hora}}{113.5 \text{ kcal/Kg}} = 23350 \text{ Kg/h}$$

Continúa la extracción de gases calientes despejando:

3. 1.4. Transferencia de calor y secado de gases calientes

Hasta aquí hemos determinado la cantidad de calor para evaporar 4770 kilogramos de agua/hora. La Energía total que deben entregar los productos de combustión para desecar, será la energía para desecar y las energías perdidas a través de las paredes del horno rotativo. Un diagrama nos dará más información acerca de este balance térmico.

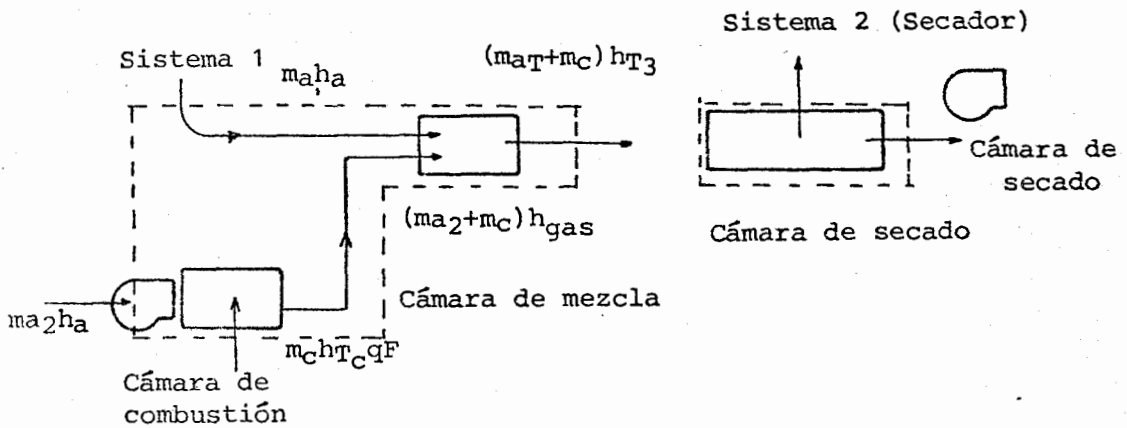


FIGURA 3-13. Balance y transferencia de calor y masa

en cámara de mezcla

$$m_{a_1} h_a + (m_{a_2} + m_c) h_{T_{gas}} = (m_{a_T} + m_c) h_{T_3} \quad (3.16)$$

en cámara de combustión

$$(m_{a_2} h_a + m_c) h_{T_{gas}} = m_{a_2} h_a + m_c (h_{T_c} + q_F) \quad (3.17)$$

Reemplazando

$$m_{a_1} h_a + m_{a_2} h_a + m_c (h_{T_c} + q_F) = (m_{a_T} + m_c) h_{T_3} \quad (3.18)$$

$$\text{pero } \frac{m_c}{m_{a_2}} = F/A$$

$$\frac{m_{a_1}}{m_{a_2}} h_a + h_a + \frac{F}{A} (h_{T_c} + q_F) = \frac{m_{a_T} + m_c}{m_{a_2}} h_{T_3} \quad (3.19)$$

nosotros queremos averiguar la cantidad m_{a_T} para calcular la potencia del ventilador de extracción de gases calientes despejando:

La ecuación 3.19 combinada con el resultado final de la sección 3.1 nos permite averiguar cual será el valor individual de ma_1 y ma_2 para relacionar el inyector y los gases respectivamente.

$$\frac{ma_1}{ma_2} h_a + h_a + \frac{mc}{mc_2} (h_{tc} + qF) = \frac{2.65 \times 10^6}{ma_2} \text{ Kcal/Kg}$$

$$ma_1 + ma_2 = 23350 \text{ Kg/hora}$$

$$mc/ma_2 = F/A = 0.0167 \text{ a } 400\% \text{ aire fresco}$$

$$h_a = 21.01 \text{ Kcal/kg (temperatura prom} = T_{bs}=26^\circ\text{C; } T_{bh}=24^\circ\text{C)}$$

$$h_{tc} = 66.53 \text{ Kcal/hora (combustible residual a } T = 26^\circ\text{C)}$$

$$qF = \eta_{cc} \text{ LHV} = 8720 \text{ Kcal/kg}$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores por simultáneas se obtiene que

$$ma_1 = 8630 \text{ Kg/hora (5080 SCFM)*}$$

$$ma_2 = 14720 \text{ Kg/hora (8660 SCFM)*}$$

$$mc = 235.5 \text{ Kg/hora (1.15 GPM)}$$

El rendimiento térmico de este horno, cuando $ma_1 = 0$ es decir se quita todo el combustible para calentar ma_3 será:

$$\text{para } mc = 0.0167 \times 23350 \text{ Kgr /hora} = 390 \text{ Kg/hora}$$

$$e = \frac{2.65 \times 10^6 \text{ Kcal/hora}}{390 \times 8720 \text{ Kcal/hora}} = 0.78$$

el rendimiento de todo el sistema será determinado de acuerdo a la cantidad de calor para extraerla humedad dividida para la cantidad de energía entregada al horno rotativo.

$$e_t = \frac{Q \text{ del proceso}}{Q \text{ entregado al horno}}$$

la energía de comprobación es mayor, ligeramente a la exigida

$$\text{Error} = \frac{2.75 - 2.62}{2.75} = 3.59\%$$

3.1.4.a. Determinación de la velocidad óptima de secado

Tal como se manifestó anteriormente la velocidad de secado puede calcularse según la igualdad Ec. 3.19A referente a la transferencia de materia, la temperatura de superficie del producto sube bruscamente y luego permanecerá constante, es decir el coeficiente de intercambio de calor seca constante y máximo en esta etapa, considerándose que aquí se evaporará casi toda la cantidad de agua.

La velocidad de secado máxima para nuestras condiciones será:

$$g_{vpi} = g_{vpia} e^{aH \frac{\alpha}{\mu \rho \text{aire } C_p}} \quad (3.8.A)$$

$$g_{vpia} = \frac{\alpha}{L_v} (T_{\text{aire}} - T_{\text{producto}}) \quad (3.8.B)$$

La velocidad de secado durante la primera fase será:

$$e^{aH \frac{\alpha}{\mu \rho C_p}}$$

$$K = aH \frac{\alpha}{\mu \rho C_p} = 114.12 \text{ m}^{-1} \times 0.125 \text{ m} \frac{65.10 \text{ Kcal/hrm}^2\text{°C}}{14765.27 \text{ m/h} \cdot 4.87 \text{ Kg/m}^3 \times 0.582 \text{ Kcal/Kg}} \cdot \text{m}^2$$

$$K = 0.19 ; e^K = 1.02$$

Luego

$$g_{vpia} = \frac{\alpha}{L_v} \Delta T_{ME} = \frac{65.10 \text{ Kcal/hr m}^2\text{°C}}{539 \text{ Kcal/Kg}} \cdot 57.12\text{°C}$$

$$g_{vpia} = 6.90 \text{ Kg/hrm}^2$$

$$g_{vpi} = 6.90 e^{0.19} = (6.90 \times 1.02) \text{ Kg/hrm}^2 = 7.04 \text{ Kg/hr m}^2$$

La velocidad durante la segunda fase de secado será:

$$g_{vpm} = \frac{\alpha}{h_v} \Delta T_{ms} = \frac{65.10 \text{ Kal/hr m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{539 \text{ Kcal/Kg}} 23.74^\circ\text{C} =$$

$$g_{vpm} = 2.87 \text{ Kg/hr.m}^2$$

$\bar{\alpha}$ lo utilizamos en las 2 ecuaciones pues es un promedio.

1.4.b. Radiación, convección y estimación por pérdidas

Para establecer las ecuaciones anteriores determinadas a fijar las temperaturas y calor de transferencia del gas al producto, se admitió que la transmisión de calor se efectúa por convección pura, es decir, a través de la capa límite, de ello se considera que el coeficiente de transferencia de calor se juega un papel predominante.

Las temperaturas de secado determinada puede estar influenciada por la influencia de la conducción, mas no de radiación, porque las temperaturas son muy bajas para que exista emisividad de igual valor numérico como el de la convección.

Sin embargo, para considerar estas influencias adicionales se ha introducido un coeficiente de transmisión total de calor U_a que tiene en cuenta el intercambio total de calor con el medio desecado, Ec. 3.21.A. Esta igualdad es mas bien de carácter experimental determinada por numerosos ensayos en estos tipos de hornos rotativos.

$$Q_{total} = U_a V \text{IMTD} \quad (3.20)$$

donde

$$U_a = f(K, \alpha, E) \quad (3.21.A)$$

Dimensionando

$$U_a = 38 G^{0.16} / D \quad (3.21.B)$$

donde:

K, α, E coeficiente de conducción, convección y radiación respectivamente.

LMTD temperatura media logarítmica dentro del horno.

$G = m_a$, masa de aire fresco (Kg/hr m^2)

$D =$ Diámetro del horno (nominal). [m]

Las pérdidas computadas a través del horno (pared-aire) son bajas comparadas con el horno estático donde se desarrolla la llama; sin embargo son aprovechadas para precalentar el aire de combustión y aire fresco de secado.

El horno se lo aislará de acuerdo al radio o espesor crítico de aislamiento optimizado para economizar material aislante (ver sección 3.2.2).

Con la Ecuación 3.22 reemplazando valores se tienen unas pérdidas aproximadas de:

$r_0 = 0.96$ pulgadas de asbesto (espesor crítico)

$h_0 = 1.5$ BTU/hora $pie^2 \text{ } ^\circ F$ (aire a $68^\circ F$ ambiente)

$K = 0.12$ BTU/hora $pie \text{ } ^\circ F$

$T_0 = 68^\circ F$; $T_i = 383^\circ F$

Las pérdidas serán

$$q = \frac{2\pi K L (T_i - T_0)}{\ln \left(\frac{r_0}{r_i} \right) + K/h_0 r_0} \quad (3.22)$$

$$q = \frac{2 \times 3.14 \times 0.12 \text{ BTU/hora } pie^\circ F \times 65.6 \text{ pie } (383-68)^\circ F}{\ln \left(\frac{0.96/12}{3.28} \right) + \left(\frac{0.12}{1.5 \oplus 0.96/12} \right)}$$

$$q_{p\acute{e}rdida} = 5.738 \text{ BTU/hora} = 1446 \text{ Kcal/hora} = 1.6 \text{ Kw}$$

$$q_{p\acute{e}rdida} = 1.500 \text{ Kcal/hora}$$

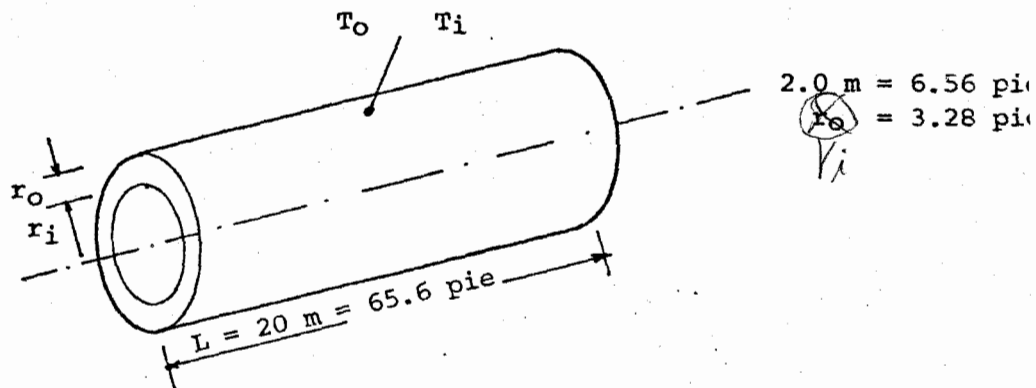


FIGURA 3-14.- Espesor crítico de aislamiento

El lector podrá determinar otras pérdidas de acuerdo al radio crítico de aislamiento utilizando las curvas de la figura 3.15. En nuestro caso tomamos una temperatura máxima de 383°F (195°C) la pérdida es ≈ 1.6 Kw para una área de transferencia de 1350 pies².

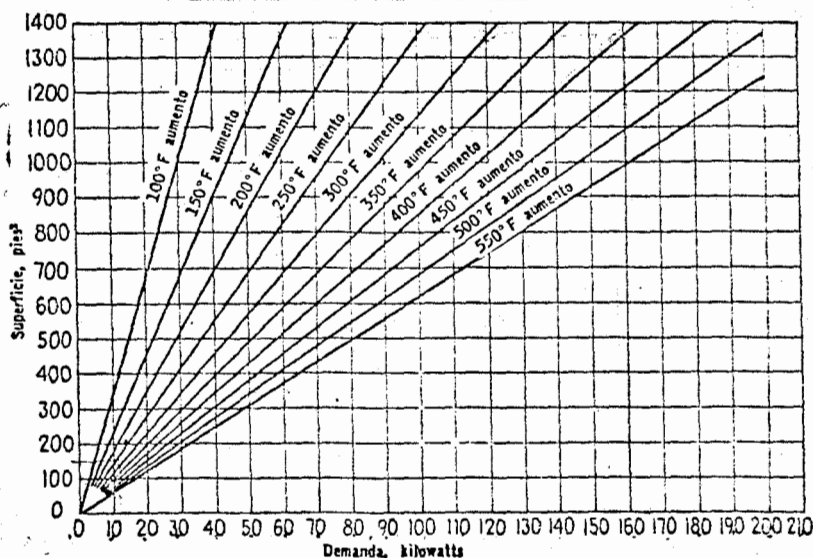


FIGURA 3-15. Pérdida de calor a través de paredes aisladas de hornos. Las curvas se basan en un aislamiento de 1 plg. de grueso de materiales con alto poder de aislamiento, tales como magnesia al 85%, lana mineral, Filinsul, etc. Si el aislante tiene 2plg de grueso divide el valor de las curvas por 2; si tiene 4 divide por 4, etc.

3.1.5. El proceso en la carta psicrométrica

Como se analizó detenidamente en las secciones anteriores, el aire fresco de secado será m_{a1} mientras que m_{a2} es el aire que entra en

combustión para entregar su energía a m_{a1} y esta a su vez a la evaporación de la humedad. La entalpía de los gases de entrada al horno rotativo (195°C) ha sido establecida por la ecuación de Friedman y comprobada experimentalmente, de manera que nos garantice una evaporación efectiva del agua contenida en el producto a la presión atmosférica normal. La razón para elegir aire caliente radica en lo siguiente. Tal como se explicó en la sección 31.2 la entalpía específica del vapor agregado (agua a extraerse) para este proceso debe ser la misma entalpía del vapor saturado a la temperatura con que se está secando ($h_w = h_g$) Temperatura de bulbo seco, de lo contrario el aire podría enfriarse sensiblemente a temperatura de bulbo húmedo constante, reduciéndose la capacidad de absorción de humedad ($T < 100^{\circ}\text{C}$)

Sin embargo, nuestro proceso es real y puede ser el resultado de los procesos analizados así las condiciones mínimas o límites de secado serán:

La temperatura de salida no debe ser menor $T_4 = 80^{\circ}\text{C}$

EL punto de saturación mínimo debe ser $W_4 = 0.22 \text{ Kg}_w/\text{Kg}_a$

$$M_{\text{agua}} = M_{\text{aire}} (W_4 - W_3)$$

$$W_4 = \frac{m_w + m_{\text{aire}} W_1}{m_{\text{aire}}} = \frac{4770 + 23350 \times .016}{23350} = \underline{\underline{0.22}} \text{ Kg/Kg aire}$$

Según las condiciones de nuestro problema $T_4 = 80^{\circ}\text{C}$ eso implica limitar la temperatura con un sensor a la salida del horno rotativo. La carta psicrométrica de la figura 3.16 nos da una idea clara al respecto.

$$W_4 = \frac{4770 \frac{\text{Kg}_w}{\text{Kg}_a} + 23350 \frac{\text{Kg}_w}{\text{Kg}_a} (0.016)}{23350 \frac{\text{Kg}_a}{\text{Kg}_a}}$$

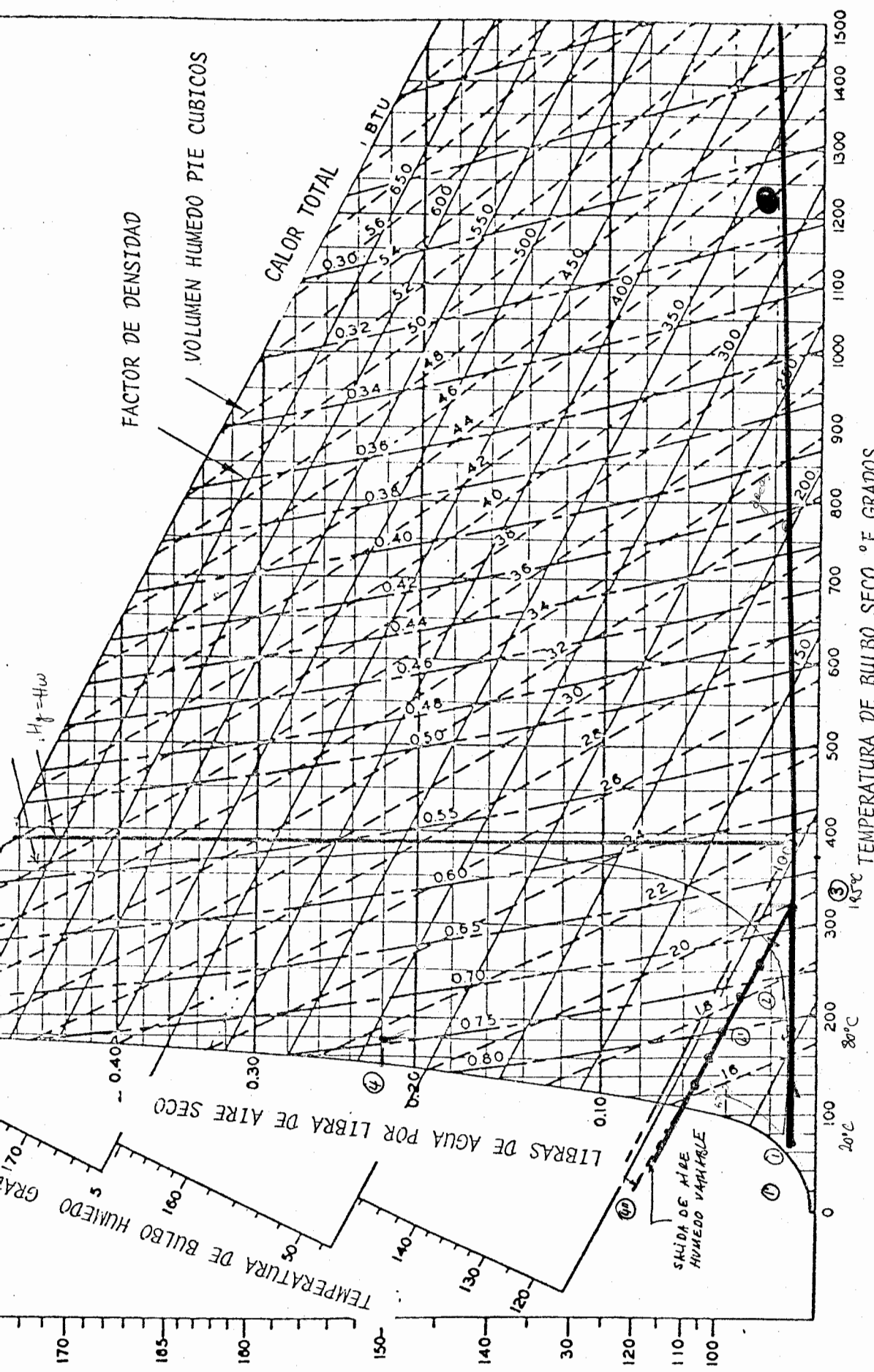


FIG. 3.16.- CALENTAMIENTO DEL AIRE Y ABSORCION DE HUMEDAD DURANTE EL SECADO

3.2. CALCULOS DE ELEMENTOS MECANICOS

En esta sección estableceremos los cálculos estructurales: estáticos y dinámicos, para determinar la cantidad y tipo de material.

Como se verá, el horno de este diseño tendrá una forma cilíndrica tal como se puede apreciar en la figura 3.17 (de uno similar) cuya estructura es de un acero comercial seleccionado convenientemente, estará aislado térmicamente por ladrillos refractarios y material no conductor de calor. El ladrillo debe tener propiedades anticorrosivas y antiabrasivas, el espesor del mismo se lo calculará con las mínimas pérdidas que pueden presentarse. El horno estático o cámara de mezcla estará apoyado sobre una base firme de concreto, mientras que el horno rotativo o secador debe rotar sobre 4 rodamientos también calculados para soportar las cargas de secado.

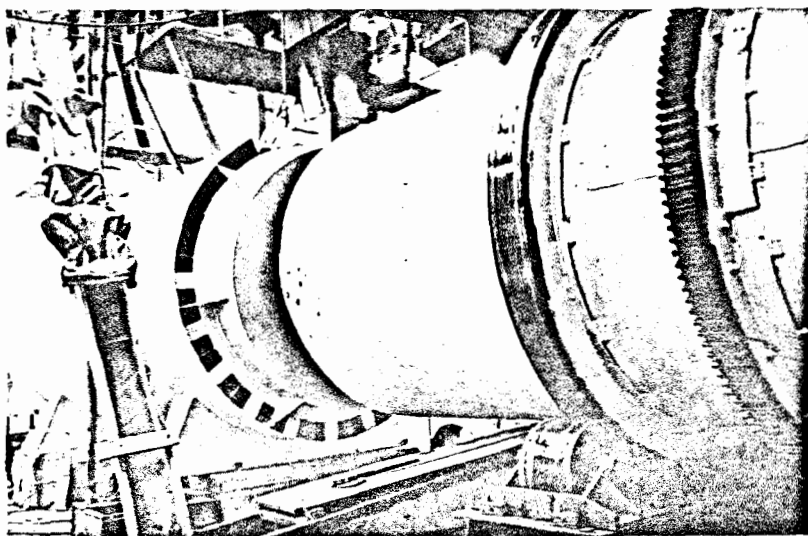


FIGURA 3-17.- Horno rotativo para producir 5,0 toneladas/hora de harina de pescado. Nótese la estructura de apoyo, los rodamientos y engranajes impulsador.

Para dimensionar el horno, primero determinamos las ecuaciones teóricas que utilizaremos para los cálculos, luego mediante análisis prácticos estableceremos la selección de material.

Para establecer el diseño del horno se considerarán catálogos comerciales de productos que existan en nuestro mercado, por decir, aceros, refractarios motores, y la facilidad que puedan construirse al entregar los planos debidamente confeccionados a los talleres artesanales.

En el apéndice aparece el plano de construcción con las especificaciones de soldadura, acero y material refractario.

2.1. Dimensiones

Diámetro del horno secador

De acuerdo a datos de fábrica los hornos rotativos hacen circular aire con la velocidad de 185 m/min. (600 FPM) pudiendo elevar la velocidad variando las dimensiones del ducto circular.

Para dimensionar nuestro horno comenzaremos con determinar el diámetro del cilindro.

aflujo = 25764.8 Kg/h de aire caliente

$$Q = \pi r^2$$

$$v = 185 \text{ m/min.}$$

$$\rho = 0.74 \text{ Kg/m}^3 \text{ (ver figura apéndice)}$$

entonces:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{25764.8 \text{ Kg/h} \times 1/60 \text{ h/min.}}{0.74 \text{ Kg/m}^3} = 580.3 \text{ m}^3/\text{min.}$$

luego el diámetro del ducto circular

$$\text{Area} = \frac{Q}{v} = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{580.3 \text{ m}^3/\text{min}}{3.14 \times 185 \text{ m}/\text{min.}}} = 1.0 \text{ m}$$

luego el diámetro $D = 2.00$ metros

Longitud del horno secador

De la Ecuación 3.15 en la sección 3.1.1. obtuvimos que para determinar la longitud del horno unida a su balance calorífico sobre el gas caliente era:

$$\frac{N_t}{NA} = \frac{38L}{C_p G^{0.84} D} \quad (3.15)$$

para un

$$C_p = 0.26 \text{ Kcal/Kg}^\circ\text{C}$$

$$G_0 = Q/A \text{ | Kg/hr. m}^2 \text{ |}$$

$$D = 2.0 \text{ m}$$

$$N_t = 2$$

$$G = \frac{25764.8 \text{ Kg/h}}{\pi \cdot 4 \text{ m}^2} = 2050.3 \text{ Kg/hr m}^2$$

entonces la longitud del horno será:

$$L = \frac{N_t C_p G^{0.84} D}{38} = 16.56 \text{ m} \quad 36.A.$$

Comprobación:

Para que el horno trabaje eficientemente, los expertos señalan que L/D debe estar comprendido entre 4 y 10, nuestra comprobación radica si estamos trabajando dentro de esos límites.

$$L/D = \frac{16.56 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 8.28$$

La longitud L del cálculo es distribuida entre la cámara de mezcla y el secador en la relación de 1/5 y 4/5 respectivamente.

Así tenemos:

$$\text{Horno estático (cámara de mezcla)} = \frac{1}{5} L = \frac{1}{5} 16.56 = 3.0 \text{ m.}$$

$$\text{Horno rotativo (secador)} \frac{4}{5} L = \frac{4}{5} 16.56 = 13.0 \text{ metros}$$

Zona para el inyector 0.56 m.

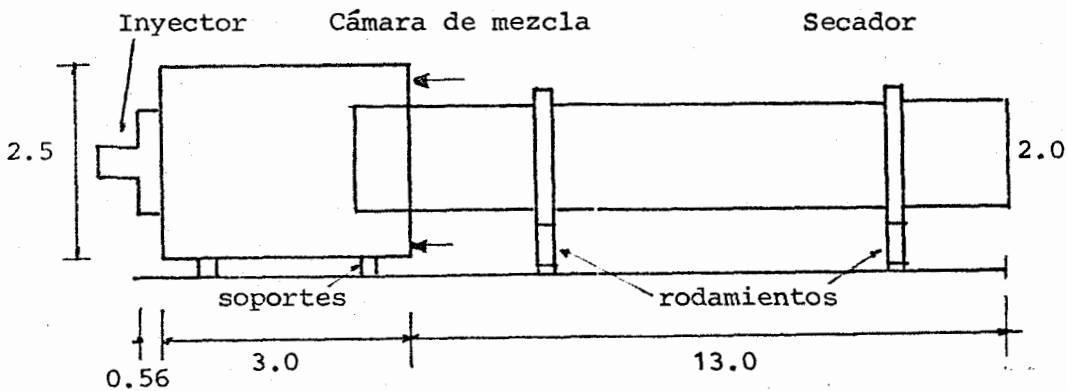


FIGURA 3-18.- Dimensiones del horno secador

El horno estático tendrá 2 estructuras cilíndricas para permitir el paso de aire fresco (coaxiales). El ducto tiene un espacio cilíndrico de 0.50 m. el cilindro interior soportará el refractario y el exterior formará un cascarón que soportará al primer cilindro y hará las veces de ducto (ver Fig. 3.17).

El inyector se ubicará fuera del horno sobre un soporte independiente, razón que no se lo considerará en el peso de la estructura. Toda la estructura se soportará sobre soportes fijos y móviles. El horno rotativo se hará sobre rodamientos y su movimiento será impulsado por un engranaje activado por un motor eléctrico que tendrá un diámetro interior mayor que el secador. La dilatación térmica juega un papel importante y se lo analizará mas adelante, aunque no producirá tensiones por cambios de temperatura, si se permitirá un grado de libertad para la dilatación del material.

Cálculo del espesor del material

Las fuerzas que actúan sobre el material a calcularse son exclusivamente de 3 tipos:

Estáticos (para ladrillos, aislante y material a secarse)

dinámicos (solo material a secarse en turbulencia)

térmicos (tensiones ocasionadas por gradientes de temperatura)

Para seleccionar el acero del que estará hecha la estructura, estableceremos los respectivos diagrama de fuerzas y comprobaremos sus características relacionándolos con material de otros hornos.

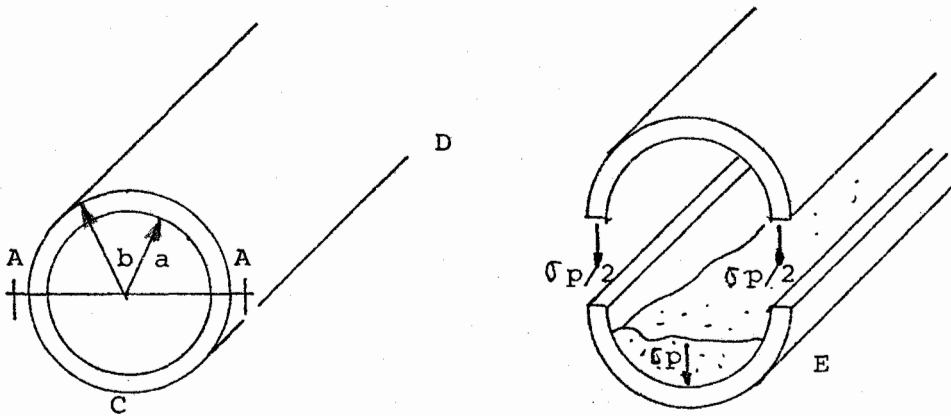


FIGURA 3-19.- Diagramas de Fuerzas para el secador

Un elemento pequeño de la estructura que soporta mas esfuerzo es a-quel en que actuan, los esfuerzos debido al peso del producto, al peso de la estructura misma y los esfuerzos dinámicos.

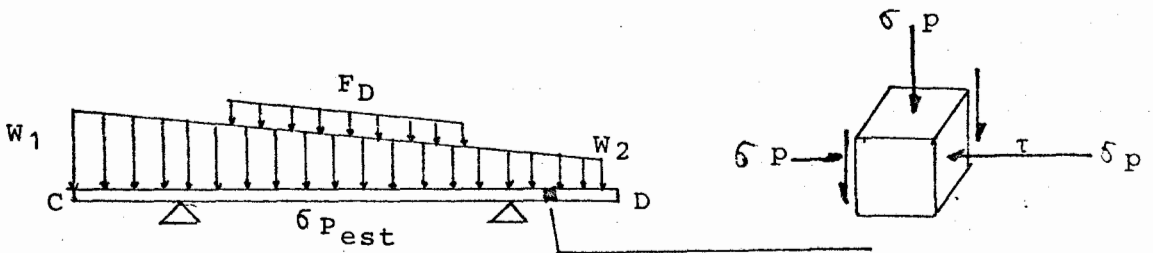


FIGURA 3-20.- Repartición de cargas a lo largo del horno rotativo (carga lineal)

Las tensiones que actúan estáticamente son:

El peso distribuido a lo largo del ducto: entran 9.76 toneladas por hora y salen 5 toneladas por hora de harina. Las fuerzas de inercia que inicialmente pueden tener intensidad apreciable y que luego establecido un movimiento uniforme de rotación disminuyen notablemente.

Las fuerzas térmicas que en realidad dilatan el material a construirse, y de no considerarlas pueden originar tensiones que provocan roturas o deformaciones permanentes.

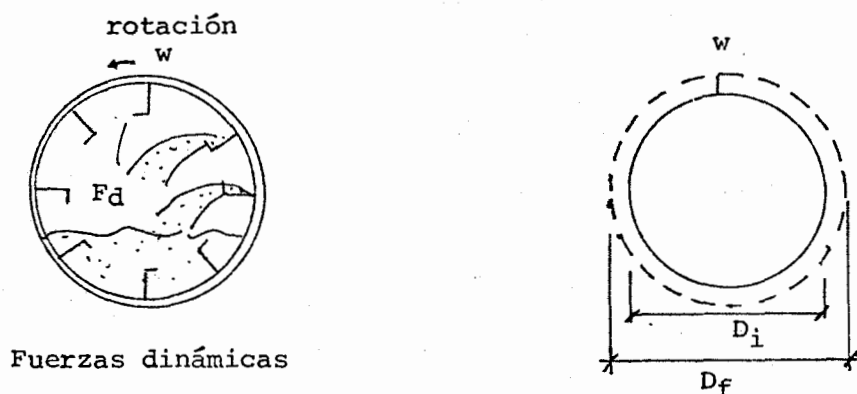


FIGURA 3.21. Distribución de cargas dinámicas y dilatación originadas por tensiones térmicas.

Entonces el espesor del material estará dado de acuerdo a las propiedades, características físicas y mecánicas del material.

Las fuerzas a considerarse en el cálculo del espesor de las planchas del horno rotativo son las externas. Las tensiones térmicas no las consideraremos ya que son intrínsecas, y se originan por la cantidad de energía calorífica del proceso.

Realizando un análisis de las tensiones tendremos:

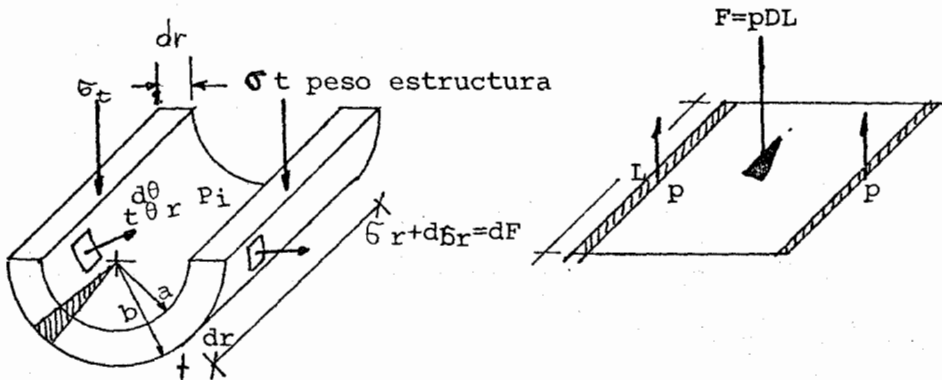


FIGURA 3-22.- Diagrama de fuerzas de las tensiones estáticas ocasionados por peso del producto a secarse y peso de la estructura.

Integrando las expresiones que no den el espesor del material.

$$dF = p dA = p L \frac{D}{2} d\theta \quad (3.23)$$

Por simetría respecto del plano vertical que pasa por el cilindro a cada dF le corresponde otra (no dibujada) cuya componente horizontal será igual, pero de sentido contrario, por lo que todos los pares componentes horizontales se anulan y la fuerza total que soporta el cilindro apoyado horizontalmente dependerá del peso del material sometido a secado, el peso de la estructura, y algo de la inercia inicial.

$$\int dF = p \int dA = \int_0^{\pi} \left(p L \frac{D}{2} d\theta \right) \sin \theta = p L \frac{D}{2} (-\cos \theta) \Big|_0^{\pi} \quad (3.23.A)$$

que se reduce a $F = pDL = 2 p$

Luego la tensión dividida

$$\sigma_t = \frac{pDL}{2el} = \sigma_t = \frac{Dp}{2e} \quad (3.24)$$

En realidad esta ecuación sencilla tiene su base a partir de la deducción de los esfuerzos que ocurren en un elemento de material. Gabriel Lamé obtiene que para determinar el esfuerzo máximo de corte de un material grueso o ecuación:

$$\tau_{\max} = \frac{b^2}{b^2 - a^2} p \quad (3.25.A)$$

peso para cilindros donde $e = \frac{D}{20}$ siendo $(b-a)$ espesor e se obtiene la expresión deducida anteriormente.

$$\text{límite } \tau_{\max} = \frac{b^2}{(b-a)(b+a)} p \quad (3.25)$$

$$b-a = e$$

$$b = a$$

$$\tau_{\max} = \frac{D}{2e} p \quad (3.26)$$

siendo D el diámetro del cilindro |cm|

e = espesor |cm|

p = todas las fuerzas apoyadas sin anularse (Kg/cm^2)

p = fuerzas dinámicas + peso del producto + peso de la estructura.

Esta ecuación nos servirá para calcular, tanto, el espesor de la cámara de mezcla y del horno rotativo.

Las Fuerzas dinámicas son

Mientras el cilindro tenga una velocidad angular casi constante las fuerzas inerciales casi no tendrán efecto, pero para disponer seguridad recurrimos a la consideración de una Fuerza adicional.

Lqs ~~datos~~ ^{aletas} llevan consigo un material de retención que esparce el producto tal como se puede ver en la figura

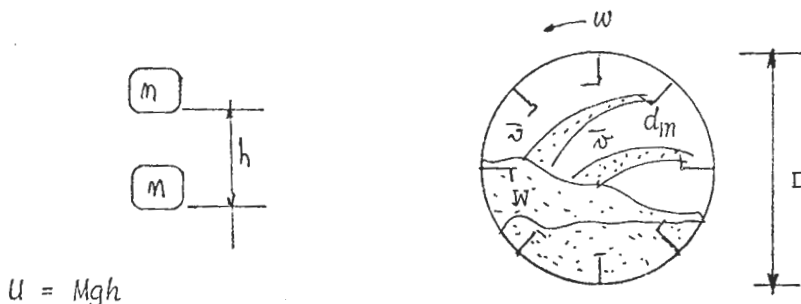


FIGURA 3-23.- Distribución aproximada de los esfuerzos dinámicos medios.

La Energía potencial U media en esparcir el producto retenido durante cierto tiempo produce una fuerza que se acumula con las fuerzas estáticas produciendo la fuerza total que reportará el cascarón cilíndrico, integrando la expresión

$$\bar{u} = \int dv = \int_0^D hmg dh = \bar{w}_{\text{retenido}} \frac{D}{2} \quad (3-27)$$

$$\bar{w} = \frac{2\bar{u}}{D} = \frac{2(1/2 mv^2)}{D} = \frac{m(Wr)^2}{D} = \frac{m\omega^2 D^2}{4D}$$

$$\sigma_D = \frac{\bar{w}}{A} = \frac{\bar{w}}{DL} = \frac{m\omega^2}{4Lg_0}$$

\bar{w} = peso medio retenido |Kg_f|

W = velocidad angular |1/seg|

r = radio del cilindro

D = diámetro = $\frac{r}{2}$ |m|

σ_D = Esfuerzos dinámicos |Kg/cm²|

Los valores de \bar{w} , m y \bar{W} son medios

Las fuerzas estáticas serán

a) El peso del material a secarse retenido que ejerce una presión sobre la superficie del cilindro + el peso del refractario.

$$\sigma_{\text{sustancia}} + \sigma_{\text{refractario}} = W_{s+R}/DL$$

b) Peso del cascarón cilíndrico que se soportará

$$\sigma_c = \frac{(V_E - V_i) \gamma}{2eL} = \frac{\pi L(b^2 - a^2) \gamma}{2eL}$$

$$\sigma_c = \pi \gamma \text{ Kg/m}^2$$

El horno rotativo no tendrá esfuerzos dinámicos, y su esfuerzo estático se verá reducido pues no soporta material a secarse.

Finalmente, la ecuación para calcular el espesor quedará de la siguiente forma:

$$e = \frac{D(mre \cdot wL/4 + m/DL + \pi r)}{2\sigma}$$

$$e = \frac{D(ma/DL + \pi r)}{2\sigma}$$

Esfuerzos térmicos

Con el fin de dar flexibilidad térmica y no crear condiciones que puedan afectar a la estructura, los soportes del horno tendrán una particularidad en el diseño, el cilindro se apoyará sobre bases metálicas dispuestas en tal forma que permitan la libre expansión del material sin crear tensiones deformadoras (ver figura 3.17) así mismo las "bases" transmitirán el peso a un anillo que no estará soldado a la estructura, sino simplemente apoyado, éste a su vez transmitirá la carga a los rodillos de soporte.

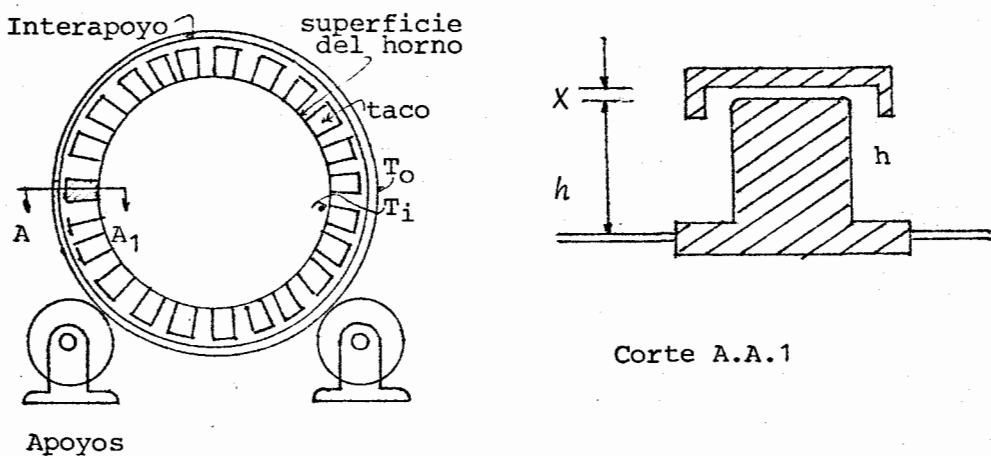


FIGURA 3-24.- Sección transversal de soportes para permitir la dilatación lineal se deja un claro x debido al gradiente de temperatura en el horno (Ver figura 3.30)

El material se dilatará de acuerdo a la ecuación

$$\Delta l = L \alpha \Delta T \quad (3-30)$$

donde L es la longitud inicial en cualquier sentido

ΔT el gradiente de temperatura existente $^{\circ}\text{C}$

α = el coeficiente de dilatación $\frac{\text{cm}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$

Como las "bases" o soportes radiales se expandieron debe quedar un huelgo por entre éstos y el aro soportado. La tolerancia permitida al diámetro de este anillo con respecto a una circunferencia primitiva (a_{T0}) será:

$$D_{\text{aro}} = D_{\text{cilindro}} + 2h + 2x$$

donde x es el ΔL expandido

h la altura del soporte radial

La plancha en el cual se sueldan los "bases" o soportes radiales debe ser mas resistente, pues allí habrá concentración de esfuerzos.

Si e no es lo suficientemente grueso para elegir un material donde $\sigma_r > \sigma_{r'}$ el cilindro se deformará.

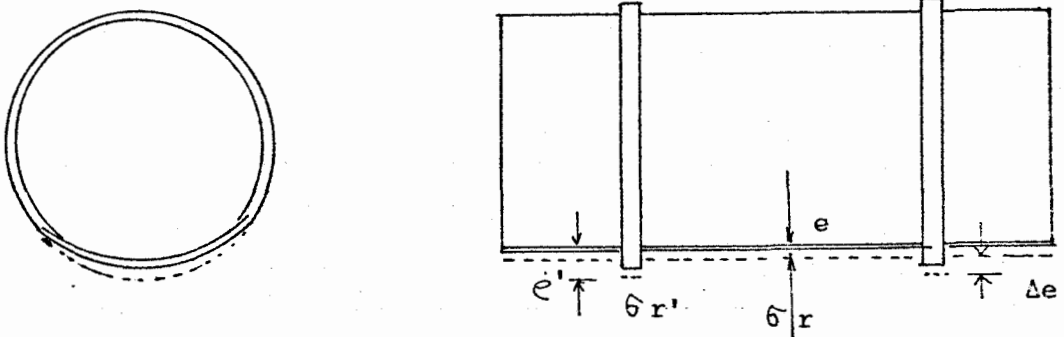


FIGURA 3-25.- Espesor de la estructura cilíndrica y espesor de apoyos donde se concentrará la carga mecánica.

Con el fin de optimizar el gasto de planchas, económicamente, asumiendo que todo el cilindro disponga del mismo espesor, es lógico que en las zonas de apoyos el espesor $e' > e$. La experiencia indica que e' es ligeramente mayor que e , ya que en los soportes rodantes según el análisis de una viga apoyada el esfuerzo es mayor (ver figura) (es más fácil rolar plancha de menor espesor).

El horno rotativo estará apoyado sobre cuatro rodamientos suficientes para soportar todo el esfuerzo desplegado por el horno en movimiento (ver cálculo de rodamientos sección 3.2.5.a).

Nosotros hemos seleccionado el acero comercial ASTM 529 cuyas propiedades la exponemos a continuación para calcular lo siguiente:

espesor del material e

espesor de las zonas de apoyo

dilatación térmica $\Delta l = L \alpha \Delta T$

$$T_i = 195^\circ \text{ C}$$

$$T_o = 20^\circ \text{ C}$$

$$L = 18 \text{ metros}$$

$$D = 2.0 \text{ metros}$$

Propiedades del acero al 0.5% de carbono laminado en caliente.

ρ gr/cm ³	Resistencia Kg/cm ² última			Resistencia Kg/cm ²		Módulo de elasticidad x10 ⁶ Kg/cm ²	Cof. de dilatación cm/cm°C
	Tensión	Comp.	Corte	Tensión	corte		
7.83	4.500	---	3.000	2.520	1.680	----	12.1x10 ⁻⁶

1.a. Cálculo de las dimensiones del horno estático

Hemos llamado con este nombre a la cámara de mezcla de aire-frío y caliente, en este lugar solo existirá instalado el quemador y el peso del ladrillo refractario de manera que el análisis mecánico de esfuerzo es el mismo de la Ecuación

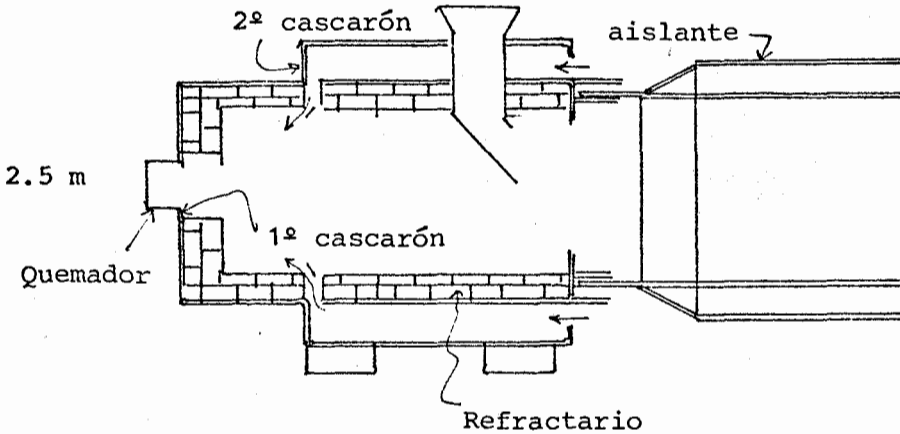


FIGURA 3-26.- Disposición completa de las cámaras de succión de aire y la ubicación del ladrillo refractario.

El refractario a utilizarse será aquel que garantice librar de efectos abrasivos y corrosivos de los gases de combustión del pescado a cocinarse, y en función de las pérdidas de calor establecidas en la sección (Kaolin, Firellay o High alumina) Ver Apéndice.

$$* \text{Volumen} = V_E - V_i = \frac{\pi L}{4} (D_E^2 - D_i^2) + \frac{\pi D_E^2}{4} X$$

Numéricamente, el refractario ejercerá la siguiente tensión:

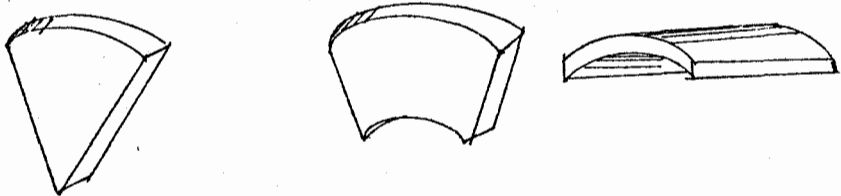


FIGURA 3-27.- Tipo de ladrillo comercial

El volumen del cascarón refractario será de

$$V_c = V_E - V_i = \pi L (D_E^2 - D_i^2)$$

Para $D_E = 2.00$ m y $D_i = 1.95$ ya que el espesor según el radio crítico de aislamiento que podrá ser calculado de acuerdo a la siguiente expresión (ver sección 3.2.2).

Para un cilindro: usando ladrillo refractario aislante, caolín

$$r_{oc} = \frac{K}{h_o} = \frac{0.20 \text{ BTU/hr pie}^\circ\text{F}}{1.5 \text{ BTU/hpie}^\circ\text{F}} = 0.13 \text{ pie}$$

$$r_{oc} = 4 \text{ cm.}$$

se utilizó caolín pues en las cámaras de combustión y mezcla la temperatura de llama es alta, según el apéndice, el caolín refractario soporta hasta un uso de 2.102°F .

Comercialmente se expande caolín en ladrillos de 2 pulgadas que equivalen a 5 cm.

$$V_c = HL (2.0^2 - 1.95^2) = \pi L 0.2 \text{ m}^3$$

$$p = 433 \text{ Kg/m}^3 \text{ (Kaolín)}$$

$$p_L = \frac{4.33 \text{ Kg/m}^3 \times 10^2 \pi L 0.2 \text{ m}^3}{\pi 1 \text{ m}^2 L} = 85.5 \text{ Kg/m}^2$$

todo este esfuerzo soportará el cascarón cilíndrico inferior además el peso de la mitad del cilindro metálico cuyo peso ejercerá un esfuerzo sobre el área fina y larga del cascarón.

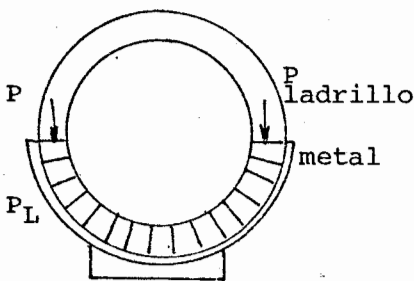


FIGURA 3-27

$$p_c = \gamma V_c = \gamma (\pi L) (D_E^2 - D_i^2)$$

pone un $D_E - D_i = \frac{1}{4}$ asumido por el momento plancha de acero ASTM.

Si $D_i = 2.0$ m.

$$D_E = 2.0 + \frac{1}{4} \text{ pulg.} \times \frac{2.54}{100} = 2.0064 \text{ m.}$$

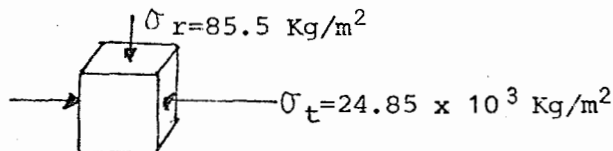
$$\gamma_{\text{acero}} = 7.830 \text{ Kg/m}^3$$

$$P_c = 7830 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \pi L (2.0064^2 - 2.0^2) = 631 \text{ L Kg/m}^2$$

Luego el esfuerzo sobre el área pequeña es:

$$p_c = \frac{pc/2}{2eL} = \frac{631 \text{ L}/2}{2 \times 6.4 \times 10^{-3} \text{ m L}} = 24.85 \times 10^3 \text{ Kg/m}^2$$

analizando los esfuerzos sobre el elemento



todos son de compresión, aplicando la Ecuación de Gabriel Lamé para cilindros de pared delgada cuyo espesor es $\frac{1}{20}$ el diámetro se tiene que el espesor verdadero del cilindro deberá ser:

$$e = \frac{P_{\text{total}} D}{2 \sigma_{\text{acero}}}$$

donde $\sigma_{\text{acero}} = 1.600 \text{ Kg/cm}^2$ tensión al corte

$$e = \frac{24.85 \times 10^3 \text{ Kg/m} \cdot 2\text{m}}{2 \times 1600 \text{ Kg/cm}^2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{cm}^2} = 1480 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$e = 0.15 \text{ cm.}$$

Nosotros asumimos 0.64 cm., es decir le hemos dado un factor de seguridad de 4 veces contra cualquier tensión de carácter dinámico térmica, y otro peso adicional.

Número de planchas

En el comercio se puede adquirir planchas de acero de acuerdo a las necesidades en área, pero para talleres artesanales, las dimensiones vienen de 2.40 m. x 1.20 m. El número de planchas a utilizarse en la construcción del horno estático o cámara de combustión será considerando un 25% de desperdicio:

1º cascarón

$$\text{Area total} = \pi D L = 3.14 \times 2.0 \times 3 \text{ m.} \times 1.25 = 23.55 \text{ m}^2$$

$$\text{Area} = 23.56 \text{ m}^2 \approx 8.5 \text{ planchas}$$

2º cascarón

Entre el primero y 2º cascarón quedará un espacio para hacer circular aire que va a la cámara de mezcla. El espacio oscila entre 25 cm. es decir el diámetro de este cascarón será de 2.5 metros, luego tenemos:

$$\text{Area lateral} = \pi D L = 3.14 \times 2.5 \text{ m.} \times 3.0 \times 1.25$$

$$\text{Area} = 29.45 \text{ m}^2 \approx 10.5 \text{ planchas}$$

$$\text{Total N}^\circ \text{ planchas} = 19$$

El soporte de la estructura es diseñado para admitir el peso total de l horno estático.

El peso de la estructura metálica y refractario es:

$$p = \gamma_{\text{acero}} V + \gamma V_{\text{refractario}}$$

$$p = 7830 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \pi 3 \text{ m} (2.0064^2 - 2.0^2) + (2.5064^2 - 2.5^2) \text{ m}^2 + \dots$$

$$\dots + 433 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} H \times 3 (20^2 - 5.95^2) \text{ m}^2$$

$$\text{Peso estructura} = 5.063 \text{ kilogramos} \approx 5 \text{ ton.}$$

En la figura 3-29. puede apreciarse un apoyo en su forma física.

La forma ha sido tomada de modelos similares de soportes circulares.

Ver figura 3-1.

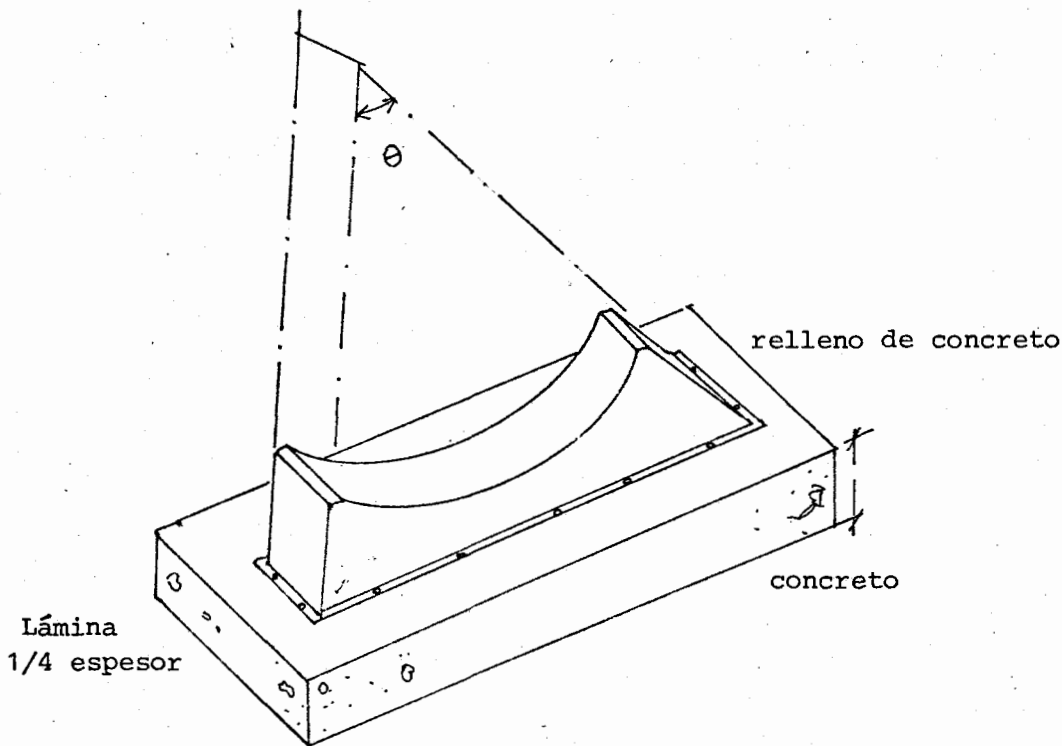


FIGURA 3-29.- Soporte de acero y concreto para el horno estático.

1.b. Cálculo de dimensiones para el horno rotatorio (Cámara de Turbulencia)

Tal como se analizó en la sección 3.2 el peso que soportará la estructura cilíndrica del horno rotativo estará determinada por las fuerzas estáticas (materia prima, ladrillos refractarios y peso mismo del acero) y fuerzas dinámicas, revolver y producir turbulencia al pescado. LA SAL EN SAL

Tomando datos de la sección 3.2.5. se tiene que:

masa de ^{LA SAL} pescado promedio ^{7000 lb/hora} 7380 kilogramos/hora
 tiempo de paso en el horno 43 minutos
 número de revoluciones $N = 4.5$ r.p.m.
 longitud del horno $L = 13$ metros
 diámetro $D = 2$ metros

espesor aislante refractario $D_1 = 2.0$; $D_2 = 1.9672$ m.

densidad de refractario $\gamma = 27 \text{ lb/pie}^3 = 433 \text{ Kg/m}^3$

entonces la carga estática será:

por harina de pescado:

$$\sigma_H = \frac{\text{peso}}{\text{área}} = \frac{\dot{m} t}{D_L} = \frac{7380 \times 43/60 \text{ Kg}}{200 \times 1.300}$$

$$\sigma_H = 203.42 \text{ Kg/m}^2$$

por ladrillos refractarios:

$$\sigma_L = \frac{V_p}{\text{Área}} = \frac{V L \gamma (D_1^2 - D_2^2)}{4 D_e L}$$

$$\sigma_L = 3.14 \times 27 \text{ lb/pie}^3 \times \frac{1 \text{ Kg} \cdot 35.3 \text{ pie}^3}{2.2 \text{ lb m}^3} \times \frac{(2.00^2 \text{ m}^2 - 1.9672^2 \text{ m}^2)}{4 \times 2.0 \text{ m}}$$

$$\sigma_L = 22.13 \text{ Kg/m}^2$$

Cálculo del peso de la estructura de acero

$$\sigma_a = \frac{\gamma V_{\text{acero}}}{e L} = \frac{\gamma \pi L (D_1^2 - D_2^2) / 2}{4 e L}$$

$$\sigma_a = \frac{7830 \text{ Kg/m}^3 \times 3.14 [(2.0095)^2 \text{ m}^2 - (2.00)^2 \text{ m}^2]}{8 \times 0.95 \times 10^{-2} \text{ m}} = 13.328,55 \text{ Kg/m}^2$$

Fuerzas dinámicas

Según la ecuación 3.27.A si todas las partículas se agitan.

El esfuerzo medio será:

$$\bar{\sigma}_o = \frac{m \omega^2}{4 L g_o} = \frac{m (2\pi N/60)^2}{4 L g_o} \quad (3.27.A)$$

donde N es el número de vueltas del horno rotativo calculado en la sección 3.2.5.

Reemplazando valores obtenemos:

$$\sigma_D = \frac{7380 \text{ Kg} \times 43/60 (2 \times 3.14 \times 4.5/60)^2 \text{ 1/seg}^2}{4 \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times 13 \text{ m}}$$

$$\sigma_D = 230 \text{ Kg/m}^2$$

espesor aislante refractario $D_1 = 2.0$; $D_2 = 1.9672$ m.

densidad de refractario $\gamma = 27 \text{ lb/pie}^3 = 433 \text{ Kg/m}^3$

entonces la carga estática será:

por harina de pescado:

$$\sigma_H = \frac{\text{peso}}{\text{área}} = \frac{\dot{m} t}{D_L} = \frac{7380 \times 43/60 \text{ Kg}}{200 \times 1.300}$$

$$\sigma_H = 203.42 \text{ Kg/m}^2$$

por ladrillos refractarios:

$$\sigma_L = \frac{V \gamma}{\text{Area}} = \frac{V L \gamma (D_1^2 - D_2^2)}{4 D_e L}$$

$$\sigma_L = 3.14 \times 27 \text{ lb/pie}^3 \times \frac{1 \text{ Kg} \cdot 35.3 \text{ pie}^3}{2.2 \text{ lb m}^3} \times \frac{(2.00^2 \text{ m}^2 - 1.9672^2 \text{ m}^2)}{4 \times 2.0 \text{ m}}$$

$$\sigma_L = 22.13 \text{ Kg/m}^2$$

Cálculo del peso de la estructura de acero

$$\sigma_a = \frac{\gamma V_{\text{acero}}}{e L} = \frac{\gamma \pi L (D_1^2 - D_2^2) / 2}{4 e L}$$

$$\sigma_a = \frac{7830 \text{ Kg/m}^3 \times 3.14 [(2.0095)^2 \text{ m}^2 - (2.00)^2 \text{ m}^2]}{8 \times 0.95 \times 10^{-2} \text{ m}} = 13.328,55 \text{ Kg/m}^2$$

Fuerzas dinámicas

Según la ecuación 3.27.A si todas las partículas se agitan.

El esfuerzo medio será:

$$\bar{\sigma}_o = \frac{m \omega^2}{4 L g_o} = \frac{m (2\pi N/60)^2}{4 L g_o} \quad (3.27.A)$$

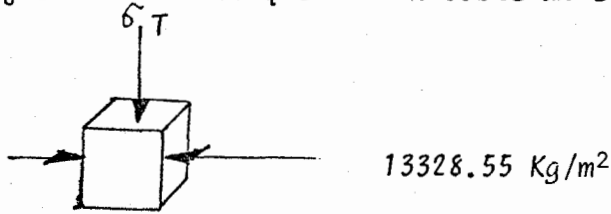
donde N es el número de vueltas del horno rotativo calculado en la sección 3.2.5.

Reemplazando valores obtenemos:

$$\sigma_D = \frac{7380 \text{ Kg} \times 43/60 (2 \times 3.14 \times 4.5/60)^2 \text{ 1/seg}^2}{4 \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{seg}^2} \times 13 \text{ m}}$$

$$\sigma_D = 230 \text{ Kg/m}^2$$

Entonces los esfuerzos totales que actúan sobre un elemento serán:



$\sigma_T = 2.30 \text{ Kg/m}^2 + 22.13 \text{ Kg/m}^2 = 24.42 \text{ Kg/m}^2$ es la fuerza crítica que se puede producir como un esfuerzo de corte en el elemento descrito. La fuerza 13328.55 Kg/m^2 es de compresión y no fallará la estructura por ese lado.

Aplicando así mismo la ecuación de Gabriel Lamé para cilindros de espesor $\frac{1}{20}$ diámetro se comprueba que el espesor debe ser:

$$e = \frac{P_{\text{total}} D}{2 \sigma_{\text{acero}}}$$

$$e = \frac{13328.55 \text{ Kg/m}^2 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{cm}^2} \cdot 2.0 \text{ m}}{2 \cdot 1600 \text{ Kg/cm}^2} = 0.083 \text{ cm.}$$

Asumimos 0.64 cm. (1/4") luego el coeficiente de seguridad es aproximadamente 8 veces el valor teórico.

Número de planchas

Tratándose de un cilindro que se apoyará sobre 2 rodamientos, según la concentración de esfuerzos, la zona de apoyo deberá ser de un espesor mayor, la experiencia indica sumar un espesor medio al espesor circundante. Nosotros hemos elegido un espesor de 0.15 cm. (3/8"), el lector puede comprobarlo realizando un cálculo similar a los anteriores. Igualmente el taco de apoyo debe estar distanciado una longitud mínima que permita la dilatación térmica, tal como pudo apreciarse en la figura 3.24.

a) Cilindro (horno rotativo)

$$\text{Area lateral} = \frac{\pi D}{4} L = \frac{3.14 \times 2.0 \times 13.0 \text{ m}^2}{4} = 20.42 \text{ m}^2$$

$$N^{\circ} = \frac{20.42 \text{ m}^2}{1.2 \times 2.4} = 7 \text{ planchas}$$

Bases de apoyo

Según la dilatación térmica del acero a la temperatura normal de funcionamiento del horno (200°C) este se dilatará, de manera que hay que dejar un espacio para no producir tensiones térmicas.

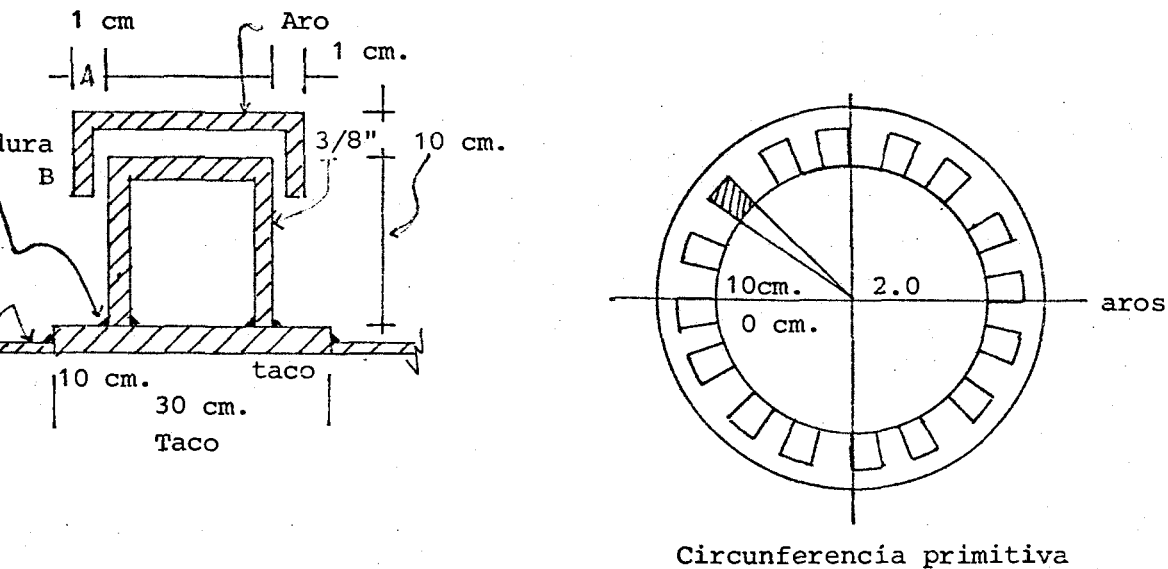


FIGURA 3-30. Dimensionamiento y posición de los soportes tacos soldados en el primer cilindro, del horno rotativo.

La dilatación térmica que determinará la mínima distancia de separación será:

$$A = 2 E y = 2 E x = 2 E z = L \alpha d T \quad (3-30B)$$

$$A = B = 2 \times 11.7 \times 10^{-6} \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \times 10 \text{ cm} \times 200^{\circ}\text{C} = 0.05 \text{ cm.}$$

Nosotros hemos diseñado un número determinado de apoyo distanciados en por lo menos 10 cm. sobre la circunferencia primitiva del horno, luego el número de tacos será:

$$N^{\circ} = \frac{\pi P}{0.10 \text{ m} \times 2} = \frac{\pi 2.0}{0.10 \times 2} \approx 32 \text{ tacos}$$

Las planchas de acero serán:

Area de los tacos = N° tacos x ancho x circunferencia primitiva

$$5 \text{ aros} \times 0.10 \text{ m} + \pi \times 2.0 \times 0.3 \text{ m.} = 2.38 \text{ m.}$$

para 2 apoyos rodantes + aros

$$2 \times 2.38 + 2 (\pi \times 2.11 \text{ m.} \times 0.12) = 6.35 \text{ m.}$$

$$N^{\circ} \frac{6.35}{1.2 \times 2.4} = 2 \frac{1}{2} \text{ planchas de } 3/8''$$

3.2.2. Espesor del material refractario y tipo de aislante

Tratándose de un cilindro que contiene capas concéntricas de ladrillo refractario y acero, la fuga de calor por conducción desde el interior del horno hacia la superficie externa, debe ser calculada para minimizar las pérdidas de calor. El mayor escape de energía térmica se producirá por un flujo radial de calor, según Kreith la ecuación que rige el flujo de calor desde el lugar mas caliente al mas frío, es la siguiente.

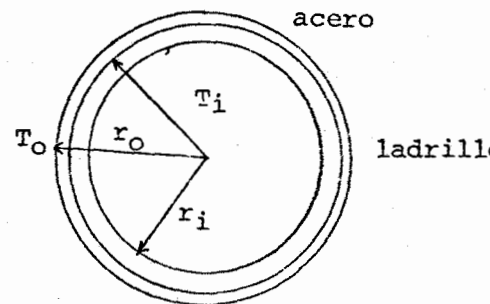
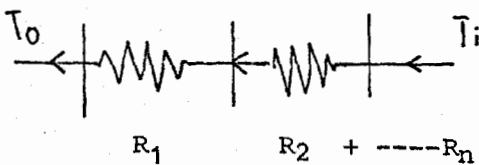


FIGURA 3-31.- Pérdidas y flujo de calor a través de cilindro, determinado un espesor de aislamiento.

El flujo de calor será:

$$q = \frac{T_i - T_o}{\sum_{n=1} R_n}$$

Como disponemos de 2 conductividades térmicas, la verdadera fuga de

calor será determinada por la capacidad de no permitir transferencia de calor del aislante.

$$v = \frac{1}{\sum R_n}$$

Según Kreith para un cilindro concéntrico

$$q = \frac{2\pi K L (T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + K/\bar{h}_o r_o}$$

donde r_o es el radio exterior, r_i , interior y K la conductividad térmica del aislante.

Para un valor fijo r_i , la rapidez del flujo de calor es una función de r_o , es decir $q = q(r_o)$ y será de un valor tal que podemos hallar un máximo espesor de aislante y una transferencia mínima.

Derivando la expresión

$$\frac{dq}{dr_o} = \frac{-2\pi K L (T_i - T_o) \left[1/r_o - (K/\bar{h}_o r_o^2)\right]}{\left[\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + K/\bar{h}_o r_o\right]^2}$$

Si $\frac{dq}{dr_o} = 0$ existirá un máximo de espesor y una transferencia mínima.

finalmente se tiene que:

$$r_{oc} = \frac{K}{h_o}$$

Conocida como el radio o espesor crítico de aislamiento.

En las secciones 3.1.4.b., y 3.2.1.a y 3.2.1.b se utilizó esta ecuación para determinar la cantidad de refractario y aislante.

En nuestro diseño hemos seleccionado el material caolín cuya conductividad K es bastante baja y permite trabajar dentro del rango de temperatura del horno. (Si el lector desea calcular en otros materiales aislante en el apéndice se presentan otros valores); \bar{h}_o es casi

constante pues el aire es una condición inicial y para nuestro cálculo se lo ha escogido para la temperatura mas baja. El cuadro 3.7 presenta las características y propiedades de este material seleccionado.

CUADRO 3.7

Material Caolín	Densidad aparente ρ en lb/pie ³ a T_0	Rango de temperatura °F	K
ladrillo aislante	27	932	0.15
ladrillo refractario	27	2102	0.26

K BTU/h pie² (°F/pie)

3.2.3. Selección del inyector de combustible

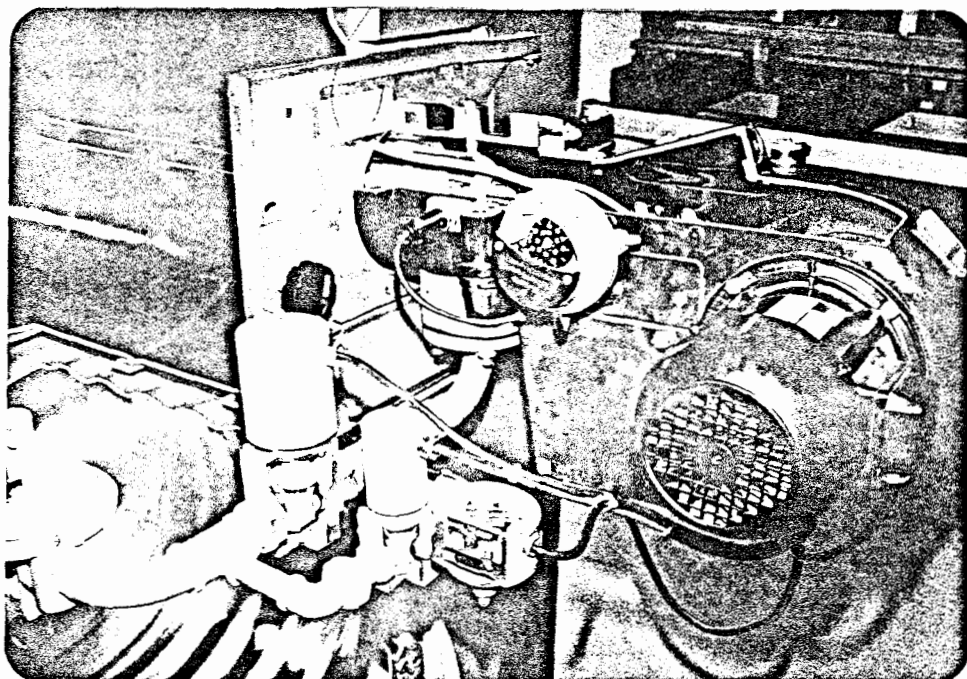


FIGURA 3-32.- Inyector quemador de Fuel Oil donde puede apreciarse la entrada de combustible y aire, nótese los controles y válvula de peso accionado por circuitos neumáticos.

El inyector es el equipo importante para combustionar el combustible residual, y donde prácticamente se lleva a cabo la producción de energía (aire-primario), luego en la cámara de combustión el calentamiento del aire secundario. Tal como se determinó en el análisis teórico del consumo de aire y combustible, el quemador debe disponer un rendimiento alrededor del 90%, sin embargo los quemadores optimizados no llegan a superar el 97%. Las características del inyector-quemador deben ser los que empujen.

Presión del soplador = 3/4 pulg. H₂O

$m_{a_2} = 17.308 \text{ Kg/hr} = 8485 \text{ CFM}$ aire a 21°C nivel del mar

y combustionar

$m_c = 4.81 \text{ Kg/min.} = 1.42 \text{ GPM}$ (de bunker)

La curva de la figura 3.33 presenta la eficiencia aproximada de la que puede llegar un quemador comercial de gas y combustible residual.

Para un porcentaje de aire teórico de 400% aproximado, la cantidad de aire necesario para quemar 1.5 galones por minuto de combustible residual (ver figura 3.32) es aproximadamente.

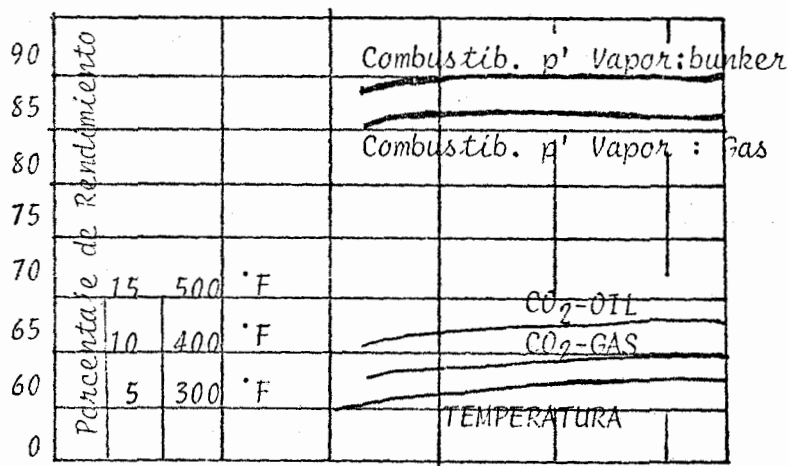


FIGURA 3-33.- Curvas de rendimiento de un quemador comercial. La producción CO₂ es reducida utilizando Fuel Oil. El máximo rendimiento es 85%.

$$Ma_2 = 1365 \frac{\text{pie}^3}{\text{galón}} 1.5 \text{ GPM} = 2048 \text{ CFM} \quad (N_{vu} = 100\%) \quad F/A = 0.067$$

pero en realidad los inyectores comerciales presentan su rendimiento. El caso nuestro es seleccionar un óptimo sin caer en lo oneroso del equipo. En el apéndice (sección 7) hemos tomado el quemador cuyas características importantes son:

$$m_c = 1.5 \text{ GPM}$$

$$m_a = 8500 \text{ CFM}$$

$$\text{motor ventilador} = 1800 \text{ RPM}$$

$$\text{bomba de combustible} \quad 1/2 \text{ HP}$$

con fuente de poder 3 fases, 230 VAC, 60 ciclos

encendido eléctrico (alto voltaje) 6000 Voltios.

Como se habrá notado en diseño del horno, el aire secundario entra por ductos coaxiales precalentándose y luego se mezcla con los gases combustionados (aire primario 1 en la cámara de mezcla. Este aire es absorbido conjuntamente con los paquetes de pescado en aire turbulento caliente por el extractor ubicado en el ciclón (salida del producto) con este procedimiento se garantiza que no ~~haya~~ escape de gases calientes por la tolva de alimentación del pescado cocido. El extractor es diseñado para extraer los gases calientes y la diferencia de aire (secundario) que entra en el secado del producto.

En la sección 3.26. mediante curvas (equipos comerciales) para un caudal y presión estática determinada se seleccionará las características del ciclón y ventilador extractor.

Finalmente, una selección rigurosa del inyector básicamente depende de 2 casos: a) técnica, que disponga de la seguridad apropiada, válvulas y controles contra incendio, aparte de las especificaciones de caudal, flujo de combustible y rendimiento; b) el trabajo a temperaturas elevadas, costo y duración del equipo. Sin desmerecer que un equipo de alta calidad desembolse un gasto oneroso.

así mismo como elemento de seguridad una de las características de diseño es la instalación de una tubería de vapor en caso de que los controles de temperatura pudieran fallar para un caso de incendio.

La caída de presión ocasionada por la turbulencia del pescado dentro del horno cuando pasa aire caliente (≈ 12500 CFM) a la velocidad de 1.87 m/seg. ($\phi = 2$ m) se la obtiene aplicando la ecuación 3.7 y reemplazando los valores conocidos en el cuadro 3.1 y Fig. 3.5.

$$\Delta P = 101 \times \frac{16}{150} \frac{(1.87 \text{ m/seg})^2 238.98 \text{ Kg/m}^3}{2 \times 9.8} \times \frac{1-0.77}{0.773} \times \frac{0.125 \text{ m}}{0.295 \text{ m}} \times 3.2 =$$

$$\Delta P = 311.51 \text{ Kg/m}^2 = 0.44 \text{ lb/pulg}^2 \approx 12 \text{ pulgadas de columna de agua}$$

El cálculo de la presión total del extractor está realizada en la sección 3.2.6.

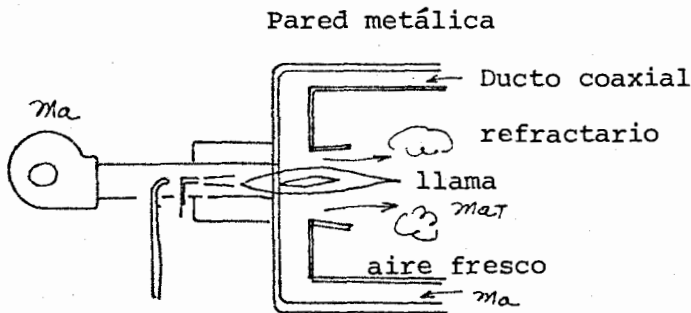


FIG. 3-39.- Flujo de aire primario y secundario por la cámara de mezcla.

3.2.4. El control automático de temperatura

El óptimo funcionamiento y la calidad del producto que presenta el horno rotativo depende de los elementos de control. Básicamente la responsiva de un equipo controlador depende de su calidad y el fin que accionará. En nuestro diseño nos hemos propuesto controlar la temperatura por medios eléctricos (aunque se pudiera efectuar por medios neumáticos) lo cual se justifica cuando las instalaciones son grandes.

Un sistema de control tiene 3 elementos, los sensores (termocupla y fotocélulas), el amplificador modulador de señal y el actuador (compuertas, válvulas, etc.).

El siguiente diagrama muestra las características de nuestro sistema de control. El funcionamiento comienza energizando el ventilador soplador de alta presión A.

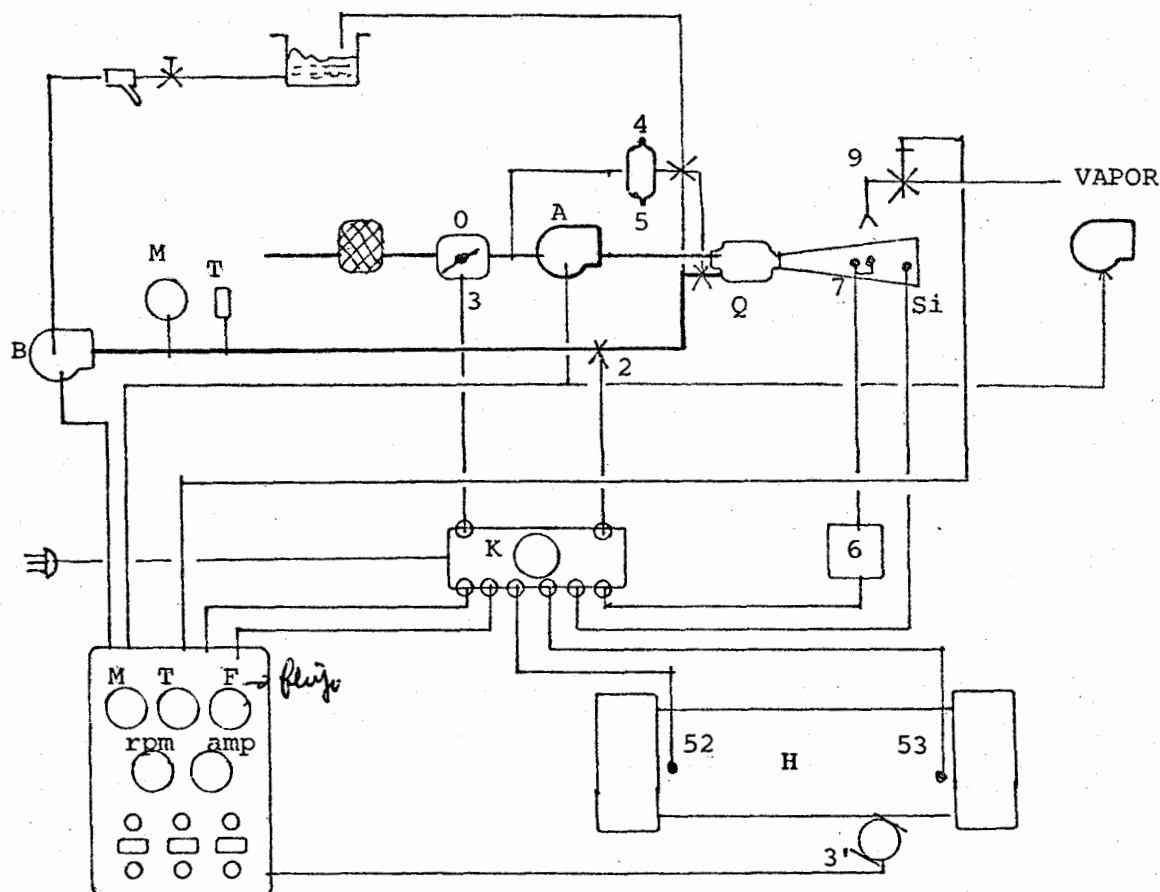


FIGURA 3-35.- Diagrama, tipo modulante, los sensores de temperatura prefijada determinarán la cantidad de calor necesaria.
Símbología

- A = Ventilador tipo radial-axial
- B = Bomba de combustible residual (fuel-oil)
- C = Compuerta (Damper)
- H = Horno secador
- K = Amplificador modulador
- M = Manómetro

Q = Quemador

S₁ = Sensor de temperatura de llama (fotocélula)

S₂S₃ = Sensor de temperatura tipo cupla

1 = Válvula solenoide interruptor de flujo

2 = Válvula regulador de presión

3 = Motor eléctrico (a veces neumático)

4 = Diafragma hidroneumático

5 = Interruptores moduladores y de arranque

6 = Bobina alto voltaje

7 = Electrodo de encendido

8 = Contador de flujo

9 = Válvula de seguridad

Funcionamiento

El control es de tipo con realimentación y funcionamiento de un rango preestablecido, así tenemos que el sensor S₁ limita al flujo de combustible y aire accionando la válvula solenoide 1 y el motor eléctrico (o neumático) 3, mientras que el flujo de combustible líquido ejercerá una presión en el elemento 4 (válvula de diafragma) para mantener conectado la energía eléctrica del interruptor del motor ventilador A. La válvula reguladora de presión 2 de acción directa desconecta o conecta la bomba B. Los sensores S₂ y S₃ modulan la señal de S₁ para tener un promedio de señal que se amplificará finalmente y actuará sobre los elementos de control. En el tablero T se registrarán las lecturas importantes para el control de calidad del producto; allí también se instalarán, tacómetro para medir la velocidad relativa del horno, contador y registro de combustible, amperímetro y voltímetros del sistema de energía eléctrica, finalmente la válvula q es un elemento de sobreseguridad, un calentamiento local intenso de temperaturas no determinadas, provoca la apertura de la válvula haciendo circular vapor o agua dentro de la cámara de combustión.

En el comercio de artículos de control, se puede elegir el sistema por entero, seleccionando el inyector quemador y adaptándola a las necesidades nuestras, sin embargo para construir el sistema antes menciona-

do deben confiarse en elementos de mayor seguridad por la cantidad de calor a producirse. En caso de utilizarse sensores y actuadores neumáticos debe instalarse una pequeña central de aire comprimido con sus respectivos tomas filtros y depuradores. Ver figura 3.36.

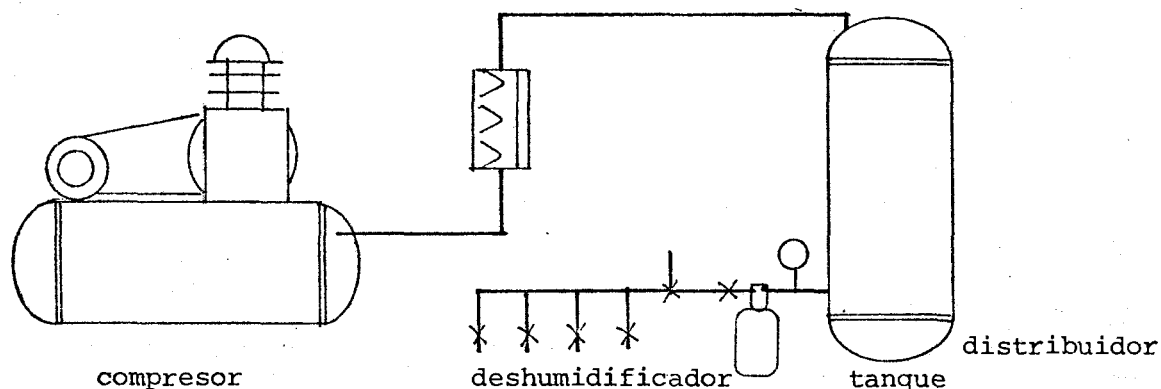


FIGURA 3-36.- Instalación de una central de aire comprimido

Para nuestra planta no es necesario disponer de aire comprimido como equipo adicional prioritario, sin embargo, instalaciones con dos secadores en adelante es recomendable utilizarlo conjuntamente con fines de limpieza, herramientas neumáticas y el circuito de control automático de temperatura.

En el apéndice de esta tesis recomendamos seleccionar un equipo adicional para la planta.

3.2.5. Transporte del producto por rotación

El tiempo que permanecerá el material en los hornos rotativos puede predecirse por medio de la siguiente ecuación, basada en los estudios realizados por Sullivan, Maier y Falston.

$$Q = \frac{0.19 L}{N D S}$$

en la cual Q es el tiempo de permanecer el material en el horno, mínimo,

L longitud del horno en m;

N velocidad de rotación en rpm y

S la inclinación del horno en m/m.

Los hornos rotativos trabajan con velocidades periféricas de 9 a 46 m/min. esto es $ND = 7$ a 11 ; mientras que para los hornos $ND = 0.2$ y 1.5 las velocidades son mayores (46 m/min.). La inclinación S de los cilindros de secadores rotativos varía entre 0 y 0.08 m/m. La inclinación se la fija para dar cierta retención al material de 3 a 12%, después de fijar, el diámetro, la longitud y la velocidad de rotación por medio de las ecuaciones anteriores. Las alturas de las aletas que producen la dispersión y turbulencia oscilarán entre $1/12$ y $1/8$ del diámetro del secador, y el número de aletas variará entre $6.5 D$ y $11.5 D$ para secadores de diámetro superior a 60 cm.

3.2.5.a Selección de la velocidad óptima

Usando la velocidad interpolada se tiene que la velocidad periférica es:

$$\begin{aligned} \text{para } ND &= 9 \text{ m/min} \\ N &= \frac{9 \text{ m/m}}{2 \text{ m}} = 4.5 \text{ rpm.} \end{aligned}$$

luego el tiempo que el material permanecerá en el horno será:

$$Q = \frac{0.19 L}{N D S} = \frac{0.19 \times 13 \text{ m}}{9 \text{ m/min. } S}$$

El tiempo de paso el material es aquel necesario para secar una cantidad de material entregado, Friedman y Marshall han establecido así mismo que:

$$t = \frac{0.23 L}{SN^{0.9} D} - 1.97 \frac{BLG}{F}$$

donde G es la cantidad de aire para secar Kg/hr m^2

F material seco obtenido (harina de pescado $\text{Kg/m}^2\text{hr}$)

$B = f(D_p)$ diámetro, promedio de los trozos de pescado en su peso máximo, expresado en micrones.

donde

$$B = 5 (D_p)^{-0.5}$$

3-33

reemplazando valores

$$B = 5(5 \times 10^5 \mu)^{-0.5} = 7.1 \times 10^{-3}$$

para 1 hora de producción en 5 toneladas de harina.

$t = 60 \text{ min.}$

$$F = \frac{5000 \text{ Kg/hr}}{\pi 1^2 \text{m}^2} = 1591 \text{ Kg/hr m}^2 \text{ (harina)}$$

$$\textcircled{G} = \frac{25764.8 \text{ Kg/hr}}{\pi 1^2 \text{m}^2} = 8.701 \text{ Kg/hr m}^2 \text{ (aire)}$$

$L = 13 \text{ metros}$

$N = 4.5 \text{ metros}$

$D = 2 \text{ metros}$

Se obtiene que la inclinación del horno, despejando de la Ecuación 3.32

$$S = \frac{0.23 L}{N^{0.9} D \left[t + 1.97 \frac{BLG}{F} \right]}$$

$$S = \frac{0.23 \times 13}{(4.5)^{0.9} 2 \left[60 + 1.97 \frac{7.1 \times 10^{-3} \times 13 \times 8201.1}{1591} \right]}$$

$$S = 0.0064 \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

El material que queda retenido será determinado para calcular el peso que está soportado estáticamente el horno rotativo (ver sección 3.2.1b anterior).

luego:

$$\Theta = \frac{0.19 L}{N D S} = \frac{0.19 \times 13 \text{ m}}{9 \frac{\text{m}}{\text{min}} 0.0064 \frac{\text{m}}{\text{min.}}} = 42.88 \text{ minutos}$$

$$\Theta = 43 \text{ minutos}$$

El material para secarse quedará retenido 43 minutos exponiéndose y agitándose.

Hay que notar que el tiempo de paso es 60 minutos para entregar 5 toneladas de pescado seco, mientras que el tiempo de retención es aquel que el pescado necesita para secarse (transferencia de masa).

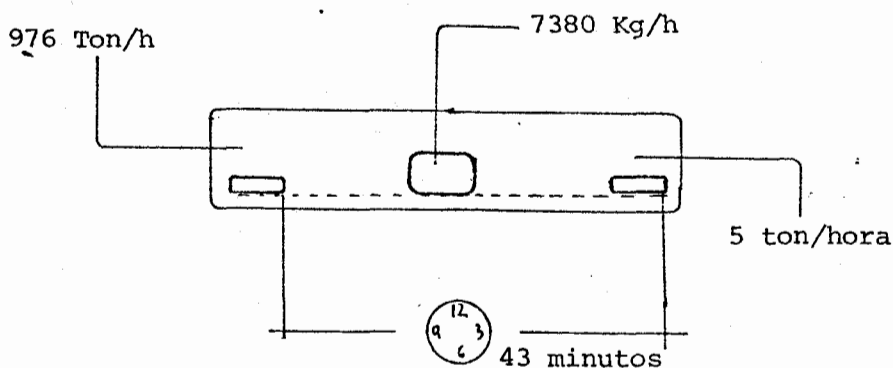


FIGURA 3-37.- Determinación de tiempo exacto del producto en el horno depende del rendimiento de secado.

Durante 43 minutos estará cierta cantidad de pescado que está perdiendo humedad continuamente, es decir para las condiciones iniciales y finales a manera de relación directa y promediando.

masa	tiempo
9.760 Kg/h	0 min.
<u>5.000 Kg/h</u>	43 min.
7.380 Kg/h	

peso máximo durante 43 min. = 7.000 kilogramos (en caso que se apague el horno).

peso medio durante 43 min. = 5611.5 kilogramos

peso mínimo durante 43 min. = 3584 Kilogramos (en caso que ya no se se que pescado).

Como se verá el peso máximo del producto dentro del horno será de 7.000 kilogramos durante ese tiempo, la presión sobre el área del cilindro será el esfuerzo estático que debe considerarse en el diseño y selección del material y espesor del cascarón cilíndrico.

3.2.5.6 Selección de engranajes y cojinetes

En la sección 3.2.1.b se estableció que los soportes rodantes deben transmitir el sistema de rodamiento, la fuerza radial con las debidas inclinaciones de manera que el horno no se descarrile de su posición normal.

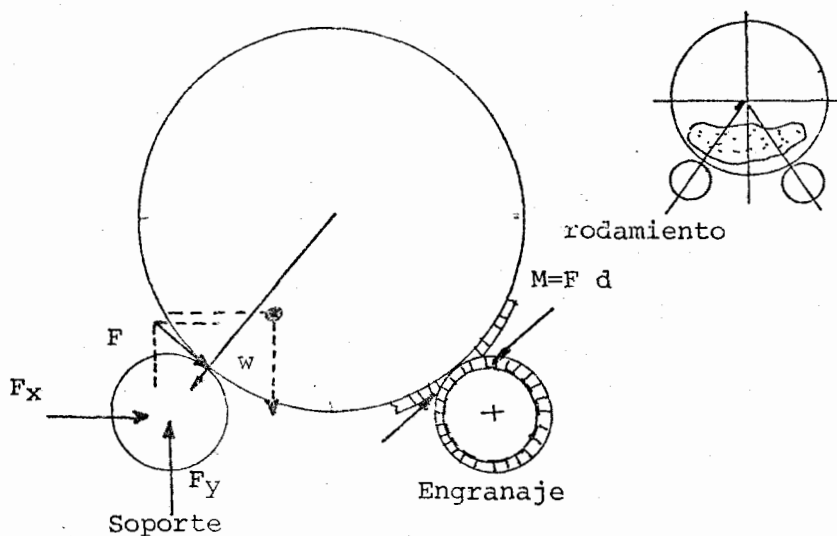


FIGURA 3-38.- Diagrama de Fuerzas para engranaje y cojinetes

Las cargas que actúan sobre los rodamientos se determinan usando los principios teóricos analizados anteriormente, así mismo las fuerzas producidas a causa de la potencia transmitida y el trabajo efectuado por las fuerzas de inercia.

Los manuales de la casa SKF indica que la magnitud de las fuerzas depende directamente del trabajo a efectuarse, y con la Ecuación 3.34 se estima una selección del tamaño, tipo del rodamiento. No obstante

para calcular las cargas que actúan sobre rodamientos deben tomarse en cuenta las fuerzas adicionales que se producen exteriormente y las originadas por el sistema de engranajes.

$$K_{eff} = b_x b_d K$$

3-34

K = carga teórica sobre el diente, en Newton

b_x = factor que representa la influencia de fuerzas adicionales que se producen en el engranaje

b_d = factor que representa la influencia de las fuerzas adicionales producidas por la máquina a la que pertenece el engranaje.

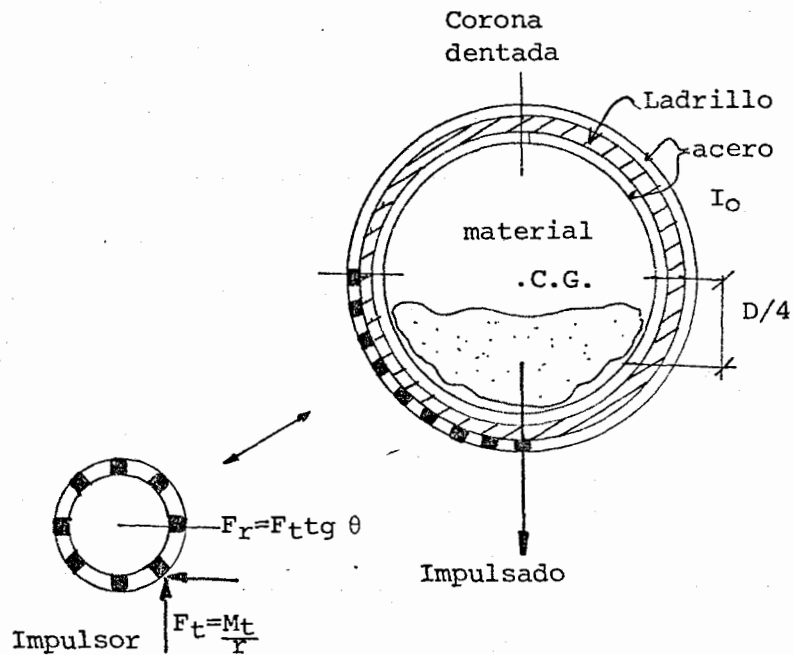


FIGURA 3-39.- Fuerzas y momentos actuando en los engranajes para impulsar el movimiento del horno rotativo.

F_t = fuerza tangencial

F_r = fuerza radial

ϕ = ángulo de presión

Para mover el horno rotativo solo se necesitan 2 engranajes y un sistema de reducción, pero en este diseño solo consideraremos la construcción del engranaje impulsor y el impulsado. Por ecuaciones de Energía

se podría determinar las Fuerzas que actúan y seleccionar el material del que estará hecho el engranaje así como su resistencia máxima y número de dientes.

El momento o par que soportará el diente para emprender el movimiento circular a la inercia del sistema. Para mantener una velocidad de rotación constante, el motor eléctrico que accionará a los engranajes - tendrá una potencia mayor o igual, a la necesitada para vencer la inercia y la fricción de los rodamientos del horno rotativo. En fórmula tenemos:

$$\Sigma M = I \alpha$$

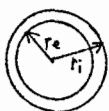
3-35

donde I es la inercia total del sistema

y α es la aceleración angular para mover el horno.

Como disponemos de 1 cilindro hueco de acero, 1 cilindro de refractario y el material que ocupa aproximadamente la mitad del horno rotativo, la inercia individual para cada una de las masas según la figura 23 será:

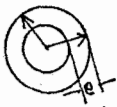
$$I \text{ cilindro acero} = \frac{1}{2} \frac{m}{g_0} (r_e^2 - r_i^2) \text{ (cilindro hueco)}$$



$$= \frac{1}{2} \frac{8156 \text{ Kg}}{9.8 \text{ m/seg}^2} (1.00.64^2 \text{ m}^2 - 100 \text{ m}^2)$$

$$I \text{ cilindro} = 5.3 \text{ Kg m-seg}^2$$

$$I \text{ material refractario} = \frac{1}{2} \frac{m}{g_0} (r_e^2 - r_i^2) \text{ (cilindro hueco)}$$

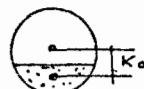


$$= \frac{1}{2} \frac{1785}{9.8 \text{ m/seg}^2} (1.00^2 \text{ m}^2 - 0.9746 \text{ m}^2)$$

$$I \text{ refractario} = 4.57 \text{ Kg m - seg}^2$$

$$I \text{ pescado} = \frac{1}{2} m K_0^2 = \frac{1}{2} m \left(\frac{D}{4} \right)^2 = \frac{1}{2} \frac{5285 \text{ Kg}}{1.8 \text{ m/seg}^2} (0.5 \text{ m})^2$$

$$I \text{ pescado} = 67.46 \text{ Kg-m-seg}^2$$



Asumiendo fuerzas de rozamiento a un 20% del valor total.

La aceleración angular para poner a rotar el cilindro:

$$N_f = 0 \text{ rpm}$$

$$N_f = 4.5 \text{ rpm}$$

La experiencia indica que esta gran masa para estabilizar su movimiento necesita alrededor de 3 segundos.

Entonces la aceleración será:

$$\alpha = \frac{v_f - v_0}{t} = \frac{(4.5 - 0) \frac{2\pi}{60 \text{ seg.}}}{3 \text{ seg.}} = 0.16 \frac{1}{\text{seg}^2}$$

luego el máximo momento será:

$$\Sigma \text{ máx} = (I \text{ cilindro} + I \text{ refractario} + I \text{ pescado}) \alpha \quad 3-35.A$$

$$\Sigma \text{ max} = 15.4 + 5.3 \text{ Kg-m-seg}^2 + 4.57 \text{ Kg-m-seg}^2 + 67.46 \text{ Kgm seg}^2 \cdot 0.16 \frac{1}{\text{seg}}$$

$$\text{max} = 14.56 \text{ Kg-m. con respecto al centro del cilindro}$$

luego un diente ubicado sobre la circunferencia del engranaje deberá tener capacidad para resistir ese momento.

Según Lewis se tiene que el ancho del diente será

$$b = \frac{6 W h}{S_0 t^2}$$

donde W_n es la fuerza normal actuando en el diente.

h = altura nominal del diente

S_0 = esfuerzo máximo de diseño

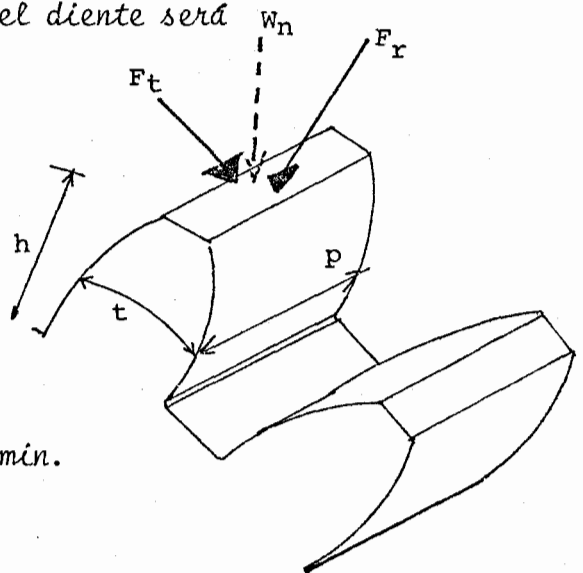
t = espesor del diente

$$S_0 = S \left(\frac{600}{600+V} \right) \text{ para } V < 2000 \text{ pie/min.}$$

en nuestro caso ($v = 29.53 \text{ m/min.}$)

$$S_i = 3600 \left(\frac{600}{600 + 29.53 \times 3.28 \frac{\text{pie}}{\text{seg.}}} \right) = 3.099 \text{ Kg/cm}^2$$

Por razones de diseño, el engranaje impulsado deberá ser mayor que el



diámetro nominal del horno, y será de hierro fundido ($S_0=3600 \text{ Kg/cm}^2$) entonces el diámetro asumido será 2.20 m. con un paso circular de manera que no exista interferencia. Según la tabla para dientes normalizados (ver apéndice) se tiene que, el paso diametral será:

$$P_d = \frac{N}{D} = 0.3136$$

es decir:

$$N = P_d D = 0.3136 \times 2.20 = 69 \text{ dientes}$$

la altura de cabeza de diente (total) será:

$$h_{total} = \frac{2.157}{P_d} = \frac{2.157}{0.3136} = 6.9 \text{ cm.}$$

$$\text{al huelgo} = \frac{0.157}{P_d} = \frac{0.157}{0.3136} = 0.5 \text{ cm.}$$

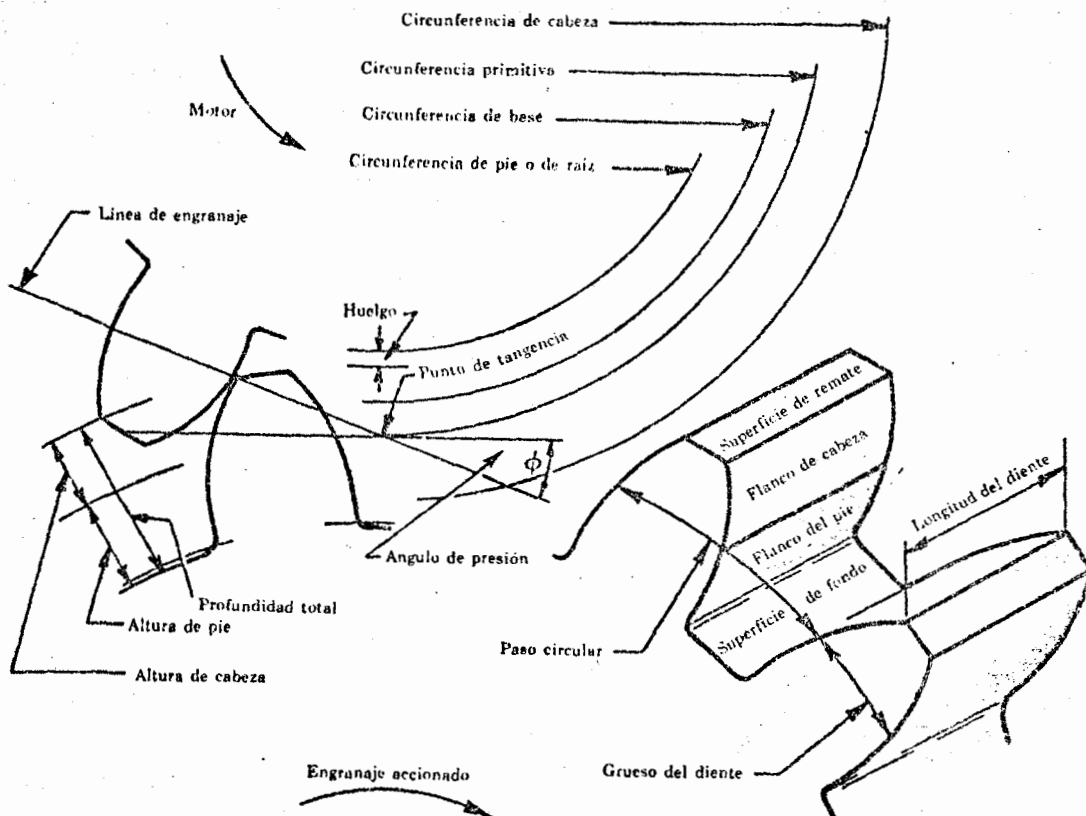


FIGURA 3-40.- Terminología de los engranajes cilíndricos

El paso circunferencial será:

$$P_c = \frac{\pi D}{N} = \frac{3.14 \times 2.20}{69} = 0.10 \text{ m.}$$

luego el espesor del diente será $t = 5 \text{ cm.}$

Aplicando la ecuación de Lewis para un coeficiente de seguridad 3 llamado del diente será cuando el momento Σ sea aplicado como Fuerza Tangencial en la superficie del diente.

$$W = \frac{Fd}{hm} = \frac{14.56 \text{ Kg-m}}{6.9 \times 10^{-2} \text{ m}} = 211.01 \text{ Kg}$$

el ancho del diente:

$$b = \frac{6 \times 211.01 \text{ Kg} \times 6.9 \text{ cm}}{\frac{3099}{8} \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times (5 \text{ cm})^2} = 2.71 \text{ cm.}$$

Para compensar un valor de carga dinámica podemos aproximar a un valor normalizado

$$b = 5.0 \text{ cm.}$$

luego el engranaje impulsor deberá tener las siguientes características:

$$P_d = 0.3136$$

$$P_c = 0.10 \text{ cm/diente}$$

$$N_{\text{dientes}} = 69$$

$$b_{\text{bancho}} = 5 \text{ cm.}$$

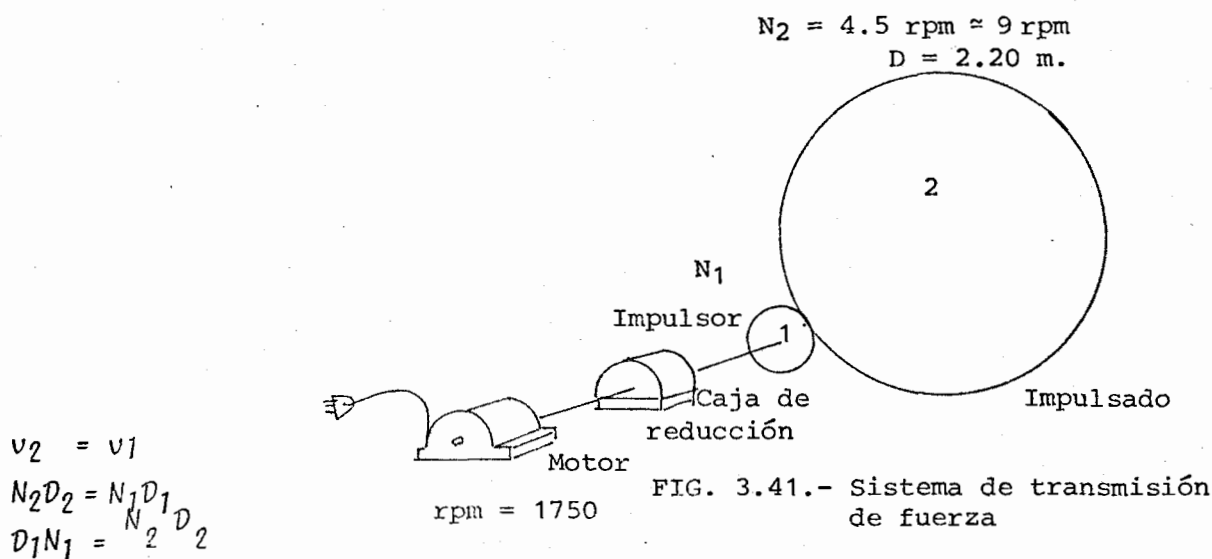
$$\text{alto} = 6.9 \text{ cm.}$$

material hierro fundido o acero con 0.2% carbono.

Deberá ir acoplado a la carcasa con pernos de manera de facilitar mantenimientos futuros.

El engranaje impulsor deberá tener características similares con dientes de paso circular igual para que no haya interferencia.

Generalmente el tamaño de este engranaje depende de las revoluciones de un motor eléctrico, en el mercado, existen motores de alta potencia (ver sección 3.2.5.c) que giran a 1750 rpm, esta con una caja de reducción determinará la velocidad deseada del engranaje impulsor. No sotros recomendaremos la fórmula a utilizarse en caso de confeccionarse.



peso $N_1 = K N_{\text{metros}}$

donde K es la reducción de velocidad de la caja de velocidades
entonces $N_1 = 1750 K$

reemplazando

$$D_1 = \frac{N_2 D_2}{N_1} = \frac{N_2 D_2}{1750 K}$$

entonces:

$$D_1 = \frac{4.5 \times 2.2 \text{ m.}}{1750 \text{ rpm} \cdot K} = \frac{0.0057}{K}$$

el diámetro del engranaje impulsor será de aquellas dimensiones.

Cojinetes

Para seleccionar un rodamiento, hay que analizar las condiciones a la que estará sometido, el espacio disponible, la carga, la dirección de la carga, las velocidades a la que funcionará, la precisión, la rigidez, el funcionamiento silencioso, el montaje y la duración requerida para un rodamiento.

Nosotros disponemos de amplio espacio (largo 13 metros), sin embargo la carga es alta y casi puntual. El horno se apoyará sobre 4 rodamientos y todo el peso de la estructura mas el peso del producto a secarse transmitirán la carga a los cojinetes. La carga es netamente radial.

Peso total del horno rotativo a plena carga.

$$P_{total} = 8156 \text{ Kg} + 1785 \text{ Kg} + 5289 \text{ Kg} = 15230 \text{ Kg}$$

Redondeando 16.000 Kg

Los catálogos SKF presentan un ábaco muy importante y práctico para seleccionar el cojinete; según la figura de tabla 1 para máquinas de trabajo continuo, como los hornos rotativos las horas de servicio para dar la primera fatiga son de 60.000 a 100.000 horas.

$$P_{total} = 10.000 \text{ Kg} = 163.265 \text{ Nw}$$

$$n = 4.5 \rightarrow 9 \text{ rpm}$$

$$L_{10h} = 60.000 \text{ horas}$$

del ábaco tenemos que se requieren un valor de seguridad $C_p = 3.5$

Puesto que la carga radial es pura $P = F_r$ en ecuación

$$P = X F_r + Y F_a \quad 3-37$$

donde P = carga dinámica equivalente en N

F_r = carga radial real, en N

F_a = carga axial, en N

X = factor radial

Y = factor axial

De la ecuación anterior, se requiere un rodamiento cuya capacidad de carga dinámica sea

$$C \geq 3.5 P$$

$$C \geq 3.5 \times 163.265 \text{ Nw} = 571.427,50$$

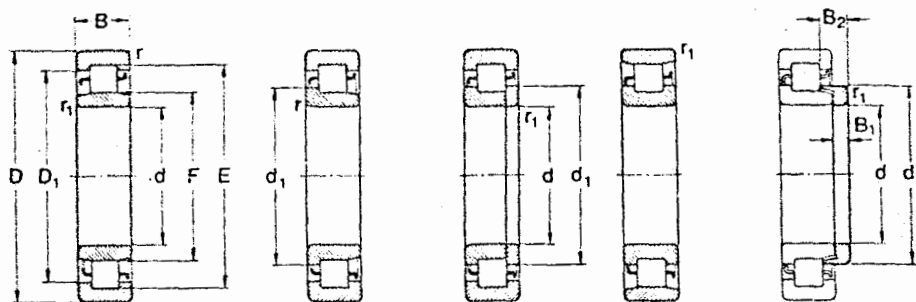
para 4 cojinetes tenemos:

$$C_{cojinete} = 142.856.8 \text{ Nw}$$

En las tablas del apéndice se puede ver que los cojinetes seleccionados son NU 3.14 (Ver figura 3.42)

Rodamientos de rodillos cilíndricos
d 50-75 mm

SKF



Tipo NU

Tipo NJ

Tipo NUP

Tipo N

Aro angular

Dimensiones principales d	D	B	Capacidad de carga		Límite de velocidad Lubricación con grasa aceite	Masa kg	Designaciones						
			dinam. C	estát. C ₀			NU	NJ	NUP	N	Aro angular		
mm	N (1 N = 0,102 kgf)		r/min		kg		—						
50	80	16	26 500	17 600	8 500	10 000	0,31	NU 1010	—	—	—	—	—
	90	20	42 500	27 500	7 000	8 500	0,48	NU 210	NJ 210	NUP 210	N 210	HJ 210	
	90	23	56 000	40 500	6 300	7 500	0,58	NU 2210	NJ 2210	NUP 2210	—	HJ 2210	
	110	27	80 000	52 000	5 600	6 700	1,15	NU 310	NJ 310	NUP 310	N 310	HJ 310	
	110	40	110 000	80 000	5 000	6 000	1,70	NU 2310	NJ 2310	NUP 2310	—	HJ 2310	
	130	31	127 000	86 500	5 000	6 000	2,00	NU 410	NJ 410	—	—	HJ 410	
55	90	18	31 000	21 200	7 500	9 000	0,45	NU 1011	—	—	—	—	
	100	21	51 000	34 000	6 300	7 500	0,64	NU 211	NJ 211	NUP 211	N 211	HJ 211	
	100	25	67 000	48 000	6 000	7 000	0,78	NU 2211	NJ 2211	NUP 2211	—	HJ 2211	
	120	29	100 000	67 000	5 000	6 000	1,45	NU 311	NJ 311	NUP 311	N 311	HJ 311	
	120	43	134 000	98 000	4 800	5 600	2,10	NU 2311	NJ 2311	NUP 2311	—	HJ 2311	
	140	33	129 000	86 500	4 600	5 600	2,50	NU 411	NJ 411	—	—	HJ 411	
60	95	16	32 000	22 400	6 700	8 000	0,48	NU 1012	—	—	—	—	
	110	22	62 000	43 000	5 600	6 700	0,82	NU 212	NJ 212	NUP 212	N 212	HJ 212	
	110	28	88 000	68 000	5 300	6 300	1,05	NU 2212	NJ 2212	NUP 2212	—	HJ 2212	
	130	31	112 000	76 500	4 800	5 600	1,85	NU 312	NJ 312	NUP 312	N 312	HJ 312	
	130	46	153 000	114 000	4 300	5 000	2,70	NU 2312	NJ 2312	NUP 2312	—	—	
	150	35	153 000	106 000	4 300	5 000	3,00	NU 412	NJ 412	NUP 412	—	HJ 412	
65	100	18	32 000	22 800	6 300	7 500	0,51	NU 1013	—	—	—	—	
	120	23	72 000	51 000	5 300	6 300	1,05	NU 213	NJ 213	NUP 213	N 213	HJ 213	
	120	31	106 000	81 500	4 800	5 600	1,45	NU 2213	NJ 2213	NUP 2213	—	HJ 2213	
	140	33	125 000	85 000	4 500	5 300	2,25	NU 313	NJ 313	NUP 313	N 313	HJ 313	
	140	48	173 000	129 000	4 000	4 800	3,25	NU 2313	NJ 2313	NUP 2313	—	—	
	160	37	180 000	127 000	4 000	4 800	3,60	NU 413	NJ 413	NUP 413	—	HJ 413	
70	110	20	48 000	34 000	6 000	7 000	0,70	NU 1014	—	—	—	—	
	125	24	72 000	51 000	5 000	6 000	1,15	NU 214	NJ 214	NUP 214	N 214	HJ 214	
	125	31	106 000	81 500	4 600	5 600	1,50	NU 2214	NJ 2214	NUP 2214	—	HJ 2214	
	150	35	146 000	102 000	4 000	4 800	2,75	NU 314	NJ 314	NUP 314	N 314	HJ 314	
	150	51	204 000	160 000	3 800	4 500	3,95	NU 2314	NJ 2314	NUP 2314	—	—	
	180	42	224 000	163 000	3 600	4 300	5,25	NU 414	NJ 414	—	—	HJ 414	
75	115	20	49 000	36 000	5 600	6 700	0,74	NU 1015	—	—	—	—	
	130	25	88 000	63 000	4 800	5 600	1,25	NU 215	NJ 215	NUP 215	N 215	HJ 215	
	130	31	120 000	95 000	4 500	5 300	1,55	NU 2215	NJ 2215	NUP 2215	—	HJ 2215	
	160	37	176 000	125 000	3 800	4 500	3,25	NU 315	NJ 315	NUP 315	N 315	HJ 315	
	160	55	250 000	200 000	3 400	4 000	4,65	NU 2315	NJ 2315	NUP 2315	—	HJ 2315	
	190	45	240 000	173 000	3 400	4 000	6,25	NU 415	NJ 415	—	—	HJ 415	

FIGURA 3-42.- Tabla para seleccionar rodamientos cilíndricos de acuerdo a la duración y esfuerzos.

Los soportes adicionales seleccionados de acuerdo a las características de los rulimanes y a factibilidad de construcción, al ejecutarse el proyecto, sin embargo queremos dejar en claro que se necesitarán 4 soportes de brida que se adapten a los rulimanes, tal como muestra la figura 3.43.

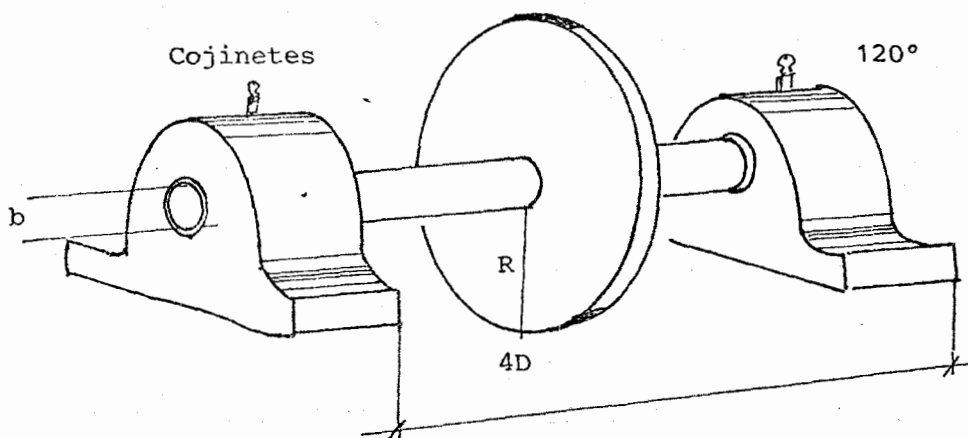


FIGURA 3-42.- Soportes de brida y volante de apoyo del horno rotativo.

Los catálogos SKF recomiendan utilizar los soportes de bridas diseñados especialmente para sus rodamientos, estos se suministran con una tapa lateral y con engrasador-lubricador. La selección de los cojinetes determinaron directamente el tamaño y características de los soportes de brida SN609. Ver figura 3.43.

3.2.5.c. Selección de la fuerza motriz

Tal como se manifestó en la sección de factibilidad de este proyecto, en la planta se dispondrá electricidad industrial para utilizarlo como fuerza motriz a través de motores eléctricos. En el caso del horno rotativo se empleará un motor cuya potencia la determinaremos in mediatamente.

Para vencer la inercia del horno a plena carga se necesita una potencia de arranque que será mayor a la potencia de estabilización de movimiento.

Según la Ecuación 3-38 la potencia en HP será

$$P = \frac{\Sigma M}{t} = I_H \omega + H_f \quad \text{---} \quad 3-38$$

donde I es la inercia del sistema

y ω es la velocidad angular en 1/seg

H_f pérdidas por rozamiento

numéricamente tenemos:

$$I_T = 92.73 \text{ Kg m seg}^2 \quad (\text{ver sección anterior})$$

$$N = 4.79 \text{ rpm}$$

$$\text{Potencia} = 92.73 \text{ Kg-m} \frac{\text{seg}^2}{9} \times 2\pi \frac{1}{\text{seg.}} = 5243.76 \frac{\text{Kg-m}}{\text{seg.}}$$

Expresados en HP

$$\text{Potencial} = 5243.76 \frac{\text{Kg-m}}{\text{seg.}} \times 0.0131 \frac{\text{HP}}{\text{Kg-m/seg.}} = 6.894 \text{ HP}$$

Potencia del motor eléctrico = 10 HP, cuyo voltaje de la electricidad será 220 o 440 voltios de corriente alterna a las revoluciones mas bajas posibles, por ejemplo 1700 rpm, con sus respectivos interruptores térmicos. (Para mayor información del lector ver apéndice).

3.2.6. Cálculo del ciclón y ducto de salida: tolva

El fin de este equipo es separar de los gases calientes partículas en suspensión que serán recuperadas por las características del ciclón.

Para dimensionar esta parte adicional del horno rotativo hemos recurrido a catálogos de la casa TRANE que presenta dimensiones tipos para cierto flujo de gases y partículas, sin embargo, hemos creído conveniente realizar la selección del mismo por un método teórico antes que escoger el ciclón por razones no técnicas.

Para diseñar un ciclón se recurre a la velocidad de caída de un cuerpo que se encuentra suspendido en el aire o gas caliente, la velocidad v es la necesaria para separar las partículas del gas y es una función del peso y una resistencia aerodinámica. Los autores de ventilación industrial exigen que

$$v = \sqrt{\frac{mg}{K}} \quad 3-39$$

$$\text{donde } K = \frac{1}{2} C F \rho_a \quad 3-40$$

$$a = f(R_e)$$

F = area proyectada de un cuerpo en un plano perpendicular al vector v (m^2)

ρ_a = densidad del medio aire (Kg/m^3)

para partículas la Ecuación 3-41

$$v = \frac{R_e \gamma}{d}$$

donde d es el diámetro del polvo; como $R_e \gamma$ son constantes para cierta velocidad y temperatura del aire o gas caliente, la velocidad de separación o caída dependerá inversamente al diámetro de la partícula.

Resumiendo lo anterior del apéndice se tiene que el polvo de harina de pescado (fish meal) tiene una densidad de $40 \text{ lb/pie}^3 = 6.42 \text{ Kg/m}^3$ desglosando términos en Ecuación 3-39.

$$v = \sqrt{\frac{2 mg}{C F \rho_a}} \quad 3-42$$

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_m \text{ asumiendo partículas esféricas}$$

$$v = \sqrt{\frac{8 r \rho_m g}{3 C \rho_a}} \quad 3-42A$$

$$\rho_a = 1.2 \text{ Kg/m}^3 \text{ a nivel}$$

$$\rho_a \text{ a } 80^\circ\text{C} = 180^\circ\text{F} = 0.4864 \text{ Kg/m}^3 \text{ aire húmedo saturado de psicrómetro.}$$

Según la tabla 3.3 se obtuvo que una partícula de pescado mide al rededor de 12 a 20 mm. de radio promedio entonces reemplazando en ecuaciones para un $Re < 2000$ se tiene que

$$C = \frac{24}{Re} + \frac{4}{\sqrt{Re}} \quad 3-43$$

$$C = \frac{24}{2000} + \frac{4}{\sqrt{2000}}$$

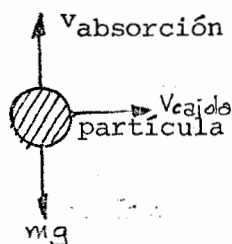
$$C = 0.1$$

Reemplazando

$$v = \sqrt{\frac{8 \times 20 \times 10^{-3} \text{ m} \times 9.8 \text{ m/seg}^2 \times 6.42 \text{ Kg/m}^3}{3 \times 0.1 \times 0.79 \text{ Kg/m}^3}}$$

$$v = 64.33 \text{ m/seg.}$$

Eso significa que esa velocidad no debe ser superada, es decir:



$$v_{\text{absorción}} < v_{\text{caída}}$$

Como por el ciclón se absorberán gases alrededor de 12.500 pie cúbicos por minuto el área de la sección mínima será:

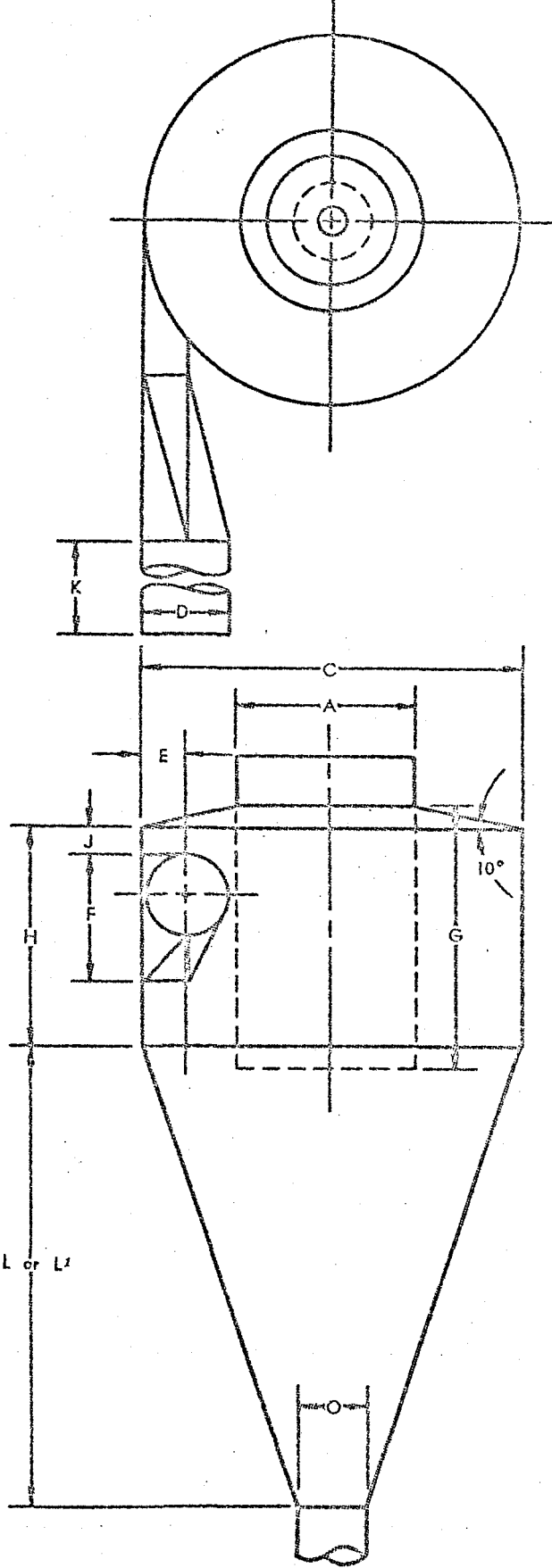
$$A = \frac{Q}{v_{\text{caída}}} \quad 3-44$$

Como el ciclón es cónico la velocidad para el diámetro D (ver figura anterior) se tiene que:

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{Q}{v}} \quad 3-45$$

$$= 12.500 \text{ CFM} = 5.9 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$v_{\text{caída}} = 64.83 \text{ m/seg.}$$



ELEMENTOS DE UN CICLON
RELACIONADO CON EL DIAMETRO
DEL DUCTO DE ENTRADA

A	2 D	SALIDA DE AIRE
C	4.2D	Diámetro del Cilin.
D	D	Diámet. ent. princ.
E	0.5 D	Ancho del Ducto
F	1.5 D	Altura del Ducto
G	3 D	Alt. Cilind. int.
H	2.5 D	Alt. Cilind. ext.
J	3"	Esp. libre d' ent.
K	7.5 D mín.	Tramo recto
L	3.5 D + 15	Long. del Cono
L ¹	1.5 L	Long. del Cono
O	VER TABLA	Diámetro del recol.

USE L PARA LAS PARTICULAS GRANDE
USE L¹ PARA POLVOS.

TABLA DE LAS DIMENSIONES MINI
MAS Y ESPESOR DE PLANCHAS.

D	5"-10"	11"-22"	24"-32"	34"
O	6"	10"	12"	14"
Cilindro	22ga.	20 ga.	18 ga.	18 ga.
Cono	20 ga.	18 ga.	16 ga.	16 ga.

FIG. 3-44.- Como dimensionar el ciclón

$$D = \sqrt{\frac{4}{3.14} \times \frac{5.9 \text{ m}^3/\text{seg.}}{64.33 \text{ m}/\text{seg.}}} = 0.34 \text{ metros}$$

$D = 0.34$ metros el resto de dimensiones se podrá determinar ubicando cada relación estipulada en la figura anterior, es decir el diámetro del ducto de salida será:

$$A = 2D = 0.68 \text{ metros}$$

donde el diámetro $C = 4.2D = 1.43 \text{ metros}^*$

La instalación se la realizará de acuerdo a las normas de la sociedad norteamericana de aire acondicionado y ventilación (ASHRAE).

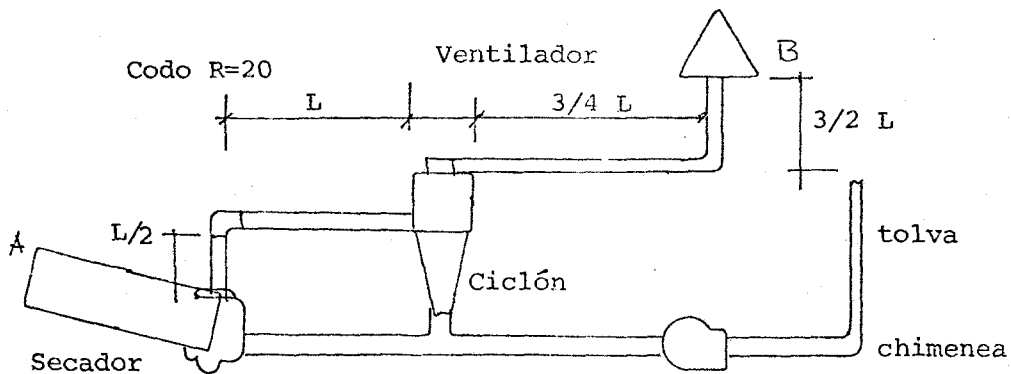


FIGURA 3-45.- Sistema LAYOUT publicado por la ASHRAE para ubicar el ciclón, tolva y ventilador extractor.

3.2.7. Potencia y selección del ventilador extractor

Al diseñar el horno rotativo la entrada de aire es de inminencia necesaria para producir el flujo de aire renovado y transportar el producto a través del aire de manera que aseguramos un proceso de secado.

El ventilador extractor lo llamamos así pues este equipo puede ir instalado a la salida del horno rotativo, es decir a la entrada de la

*El lector podrá seguir averiguando utilizando la Fig. 3.44.

ciclón de recolección de polvos, pero la experiencia aconseja que es preferible instalarlo a la salida del ciclón de recolección.

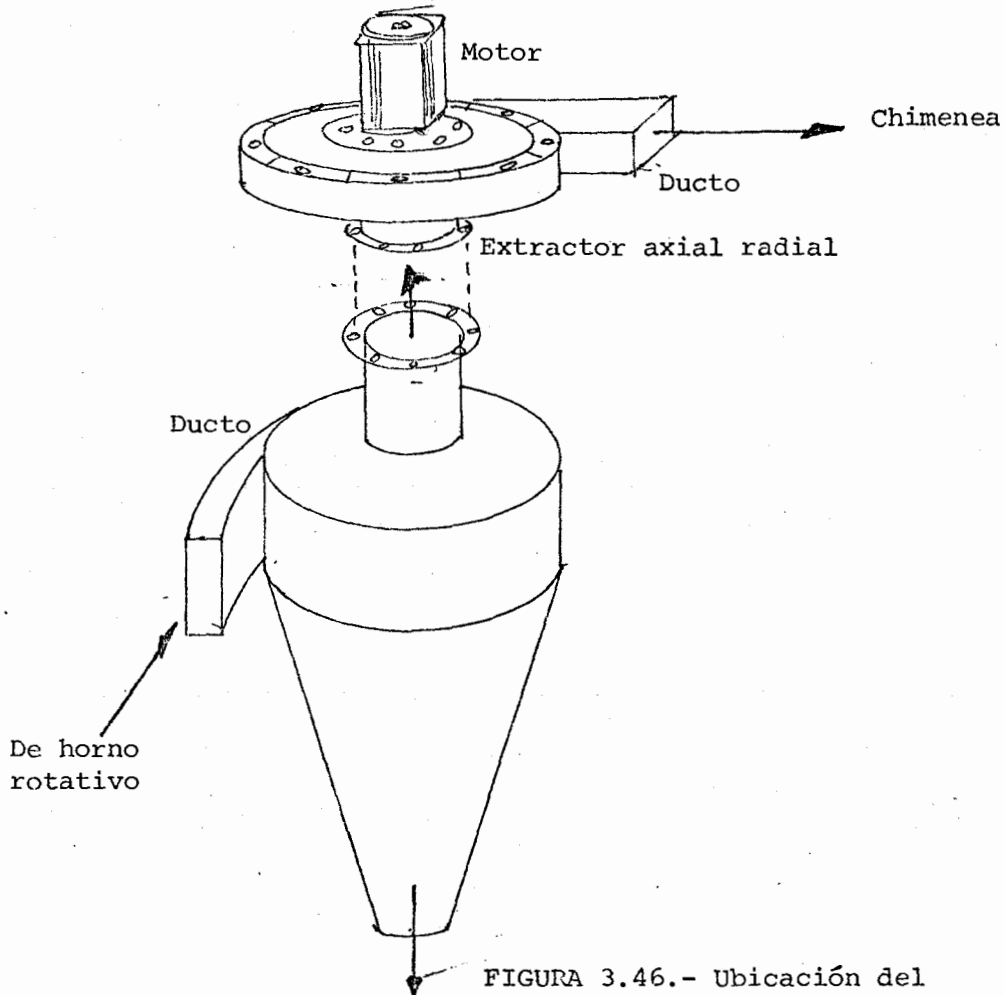


FIGURA 3.46.- Ubicación del extractor

La selección del ventilador extractor depende de 2 parámetros:

- Caída de presión estática a través del sistema
- Flujo de aire

De la ecuación 3.7 en la sección 3.1.1. se analizó que para un ducto cilíndrico largo

$$\Delta P = f(Cw^*) = 12 \text{ pulgadas de columna de agua}$$

La caída de presión a través de todo el sistema layout debe ser igual o menor a la presión estática que deberá ejercer el ventilador, así tenemos:

$$\Delta P \leq F_{AB} SP = \Delta SP_0 + SP_1$$

La Ecuación que determina la potencia del motor eléctrico al freno será:

$$\text{BHP} = \frac{\text{CFM} \times \text{TP}}{6536 \times E} \quad 3-47$$

Sin embargo, comercialmente viene predeterminados esos valores de acuerdo a las necesidades de aplicación, así tenemos que para un flujo de gas caliente de 12.500 CFM y una caída de presión de 12.5 pulgadas de agua se selecciona en tablas cuyos valores son los necesarios por el fabricante.

De los catálogos de la casa comercial "TRANE" hemos seleccionado los valores aproximados característicos en caso de llegar a calcular un ciclón, tomando los valores superiores

VOL CFM	VELOCIDAD SALIDA	VELOCIDAD DE PRESION	CAIDA DE PRESION	BHP	MODELO
13.400	3.200 FPM	0.64 pulg. H ₂ O	12.5 pulg. H ₂ O	35.6 HP	24 AFSH

3.2.8. Transporte del producto final por tornillo sin fin

La harina de pescado obtenida en la tolva de recolección puede ser transportada por 2 medios: neumáticos o mecánicos; el neumático se lo utiliza para grandes distancias y no es la competencia nuestra pues la instalación es pequeña y no necesitamos elevar el producto; mientras que un tornillo sin fin transportará la materia seca a una distancia no mayor de 5 metros al silo o bodega o directamente para ensacar, tornados de una pequeña tolva de recolección. El mecanismo y funcionamiento del tornillo sin fin ya que analizado en el capítulo IV, tan solo ahora nos queda determinar la velocidad de transporte, la reducción y la potencia del motor eléctrico. Las características del tornillo sin fin serán:

flujo:	5000 kilogramos de harina por hora
velocidad:	1.20 kilogramos/minuto
velocidad angular:	60 RPM
reducción de:	1.600 RPM a 60 RPM
motor de:	1/3 HP a 220 V. 3 φ

CAPITULO 4

EQUIPO Y MAQUINARIA ADICIONAL PARA LA PLANTA

De acuerdo a las exigencias modernas la tendencia es automatizar el proceso de las instalaciones, entonces la mecanización tiene su importancia y es más, cuando existe la necesidad de seleccionar la maquinaria ya que la efectividad y rendimiento dependen directamente de la elección de los equipos.

En nuestro caso para el funcionamiento del horno rotativo es imprescindible elegir las máquinas apropiadas para procesar y entregar la materia prima de acuerdo a las características de funcionamiento del horno, así tenemos:

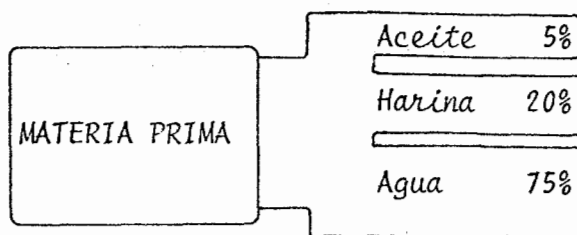


FIGURA 4-1.- Porcentaje de contenido en masa de pescado

Proporcionando

$$\frac{0.05 \text{ lbm de aceite}}{\text{lbm de pescado}} + \frac{0.2 \text{ lbm de sólidos}}{\text{lbm de pescado}} + \frac{0.75 \text{ lbm de H}_2\text{O}}{\text{lbm de pescado}}$$

La necesidad de separar las 3 proporciones anteriores; en el primer caso necesitaremos una centrífuga para filtrar y separar el aceite, en el segundo caso obtenerlo por medio de secado en el horno rotativo y en el tercero, eliminar ese porcentaje de agua, haciendo e bullir el líquido que contienen las paredes celulares (Ver diagrama sección 2.4.5).

El siguiente diagrama esquemático muestra el porqué de seleccionar las maquinarias estipuladas en esta tesis.

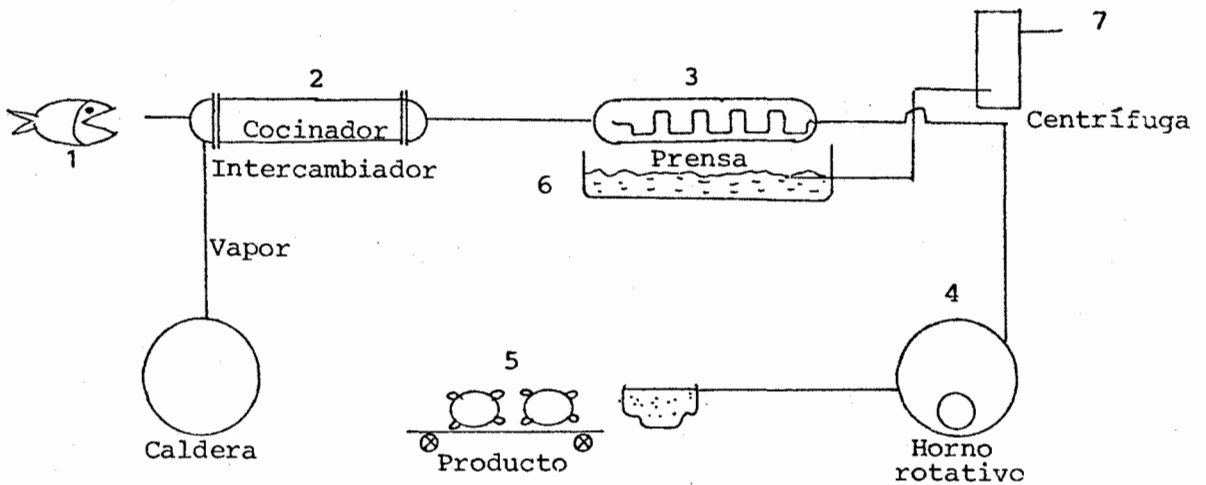


FIGURA 4-2.- Diagrama para seleccionar equipos

LEYENDA:

en (1) el pescado tiene $\frac{0.75 \text{ lbm de H}_2\text{O}}{\text{lbm de pescado}}$ ó $\frac{375 \text{ lbm de H}_2\text{O}}{\text{lbm de sólido}}$

en (2) hay que entregar vapor saturado a P_0 para hervir el contenido de agua de (1).

en (3) extraerle lo mas que se pueda del contenido de agua y aceite que tiene el pescado de sí mismo (1) mas el líquido condensado que adquirió al ejecutarse el cocido en el intercambiador de manera que la prensa entregue a $\frac{0.5 \text{ lbm H}_2\text{O}}{\text{lbm de sólido}}$ al horno rotativo (4).

en (4) el pescado prensado entra a $\frac{0.5 \text{ lbm de H}_2\text{O}}{\text{lbm de sólido}}$ con una entalpía aproximada de 94.83 cal/gr al horno rotativo.

en (5) el horno ha entregado energía para evaporar el agua de (4) y entregarlo a $0.11 \frac{\text{lbm H}_2\text{O}}{\text{lbm de sólido}}$.

en (6) el aceite mezclado con agua $1.9 \frac{\text{lbm de agua}}{\text{lbm de aceite}}$ como mínimo.

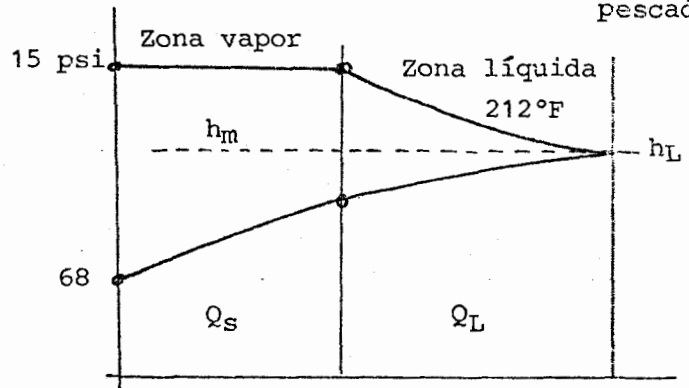
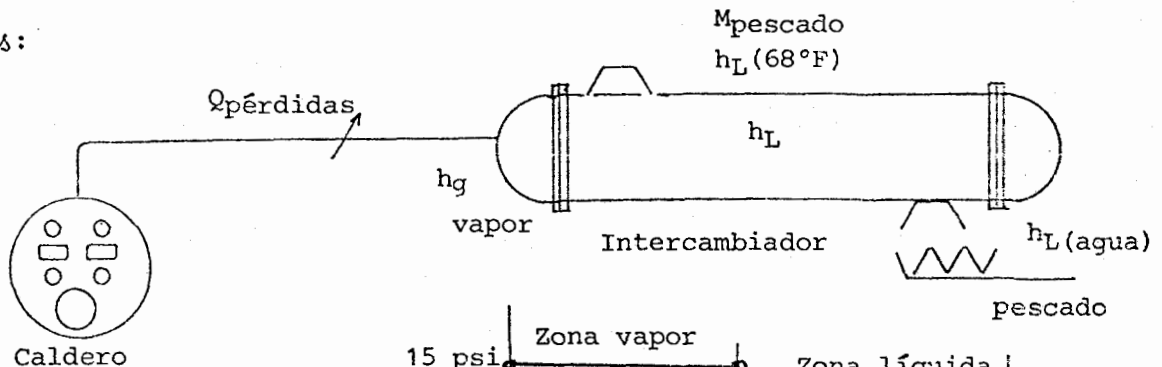
en (7) aceite con el mínimo contenido de agua a los tanques de almacenamiento.

4.1. SELECCION DE UN CALDERO A VAPOR

Nuestro problema a resolver es el siguiente: se desea suministrar vapor saturado a la presión de 15 psia para cocinar pescado fresco en la cantidad de 55115 lbm (25 toneladas) que está a 68°F (20°C). El pescado tiene un promedio de 75% de agua, 20% de sólido y 5% de aceite.

La capacidad calorífica del sólido y aceite es aproximadamente 0.88 BTU/lbm°F (0.88 Kcal/Kgm°C). Seleccionar un caldero que produzca vapor para suministrarlo al intercambiador.

Datos:



$$h_g/212 = 1150.8 \text{ BTU/lbm}$$

$$h_L/212 = 180.07 \text{ BTU/lbm}$$

$$h_L/68 = 38.04 \text{ BTU/lbm}$$

$$h_L/m=140 = 107.89 \text{ BTU/lbm}$$

$$C_p/\text{pescado} = 6.80 \text{ BTU/lbm}^\circ\text{F}^*$$

FIGURA 4-3.- Proceso aproximado de cocido

(*) Calor específico calculado por la ecuación de Thesller y Evens para alimento con contenido de agua, es decir $c_p = 0.0088 (\% \text{ de agua}) + 0.02$.

Solución

$$\boxed{Q_{\text{suministra vapor-líquido}}} = \boxed{Q_{\text{sensible}}} + \boxed{Q_{\text{latente}}} + \boxed{Q_{\text{pérdidas}}}$$

$$Q_S + Q_L = Q_T = m C_p \Delta T$$

$Q_{\text{pérdidas}} = 3250 \text{ BTU/hora}$ (ver sección 4.2 selección del intercambiador)

De la fig. 4.3 se ve que calculando el calor total para las peores condiciones, es decir, ebullendo el agua contenida en las paredes celulares del pescado el proceso se puede suponer como el siguiente:

$$m_{\text{vapor}} \underbrace{(h_v - h_L)}_{h_{fg}} = m C_p (T_{212} - T_{68}) + Q_p \quad (4-1)$$

En la selección de calderos, los catálogos presentan cuadros de cantidad de vapor saturado vs. la B.H.P. (Boiler Horse Power) reemplazando en la ecuación 4-1 se tiene.

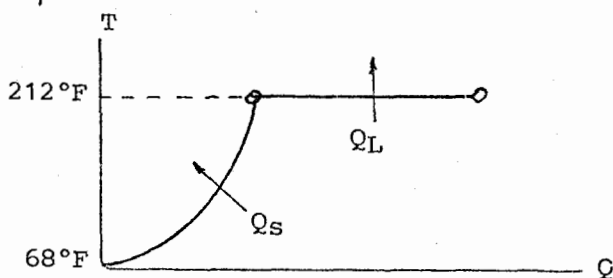


FIGURA 4-4.- Calor sensible y calor latente para el cocido de la materia prima.

$$m_{\text{vapor}} = \frac{55115 \frac{\text{lbm pescado}}{\text{hora}} \times 0.68 \frac{\text{BTU}}{\text{lbm pescado}^\circ\text{F}} (212 - 68)^\circ\text{F} + 3250 \text{ BTU/h}}{(1150.8 - 180.07) \text{ BTU/lbm vapor}}$$

$$m_{\text{vapor}} = 5.567,53 \text{ lbm vapor}$$

En el apéndice muestran las características de ciertos calderos comerciales, la potencia necesitada para adquirir esa máquina es:

200 B.H.P.

El consumo de combustible también es calculado por la ecuación:

$$\text{Consumo anual de combustible} = \frac{H_L \times D_d}{\frac{T_d \times C \times E}{24 \text{ hrs}}} \quad (4-2)$$

H_L = calor total = $Q_T + Q_p$

D_d = promedio de temperatura en los días de funcionamiento

T_d = diferencia de temperatura de diseño

C = coeficiente calorífico del combustible (Bunker)

E = eficiencia de la caldera

Sin embargo la fábrica no trabajará todo el año ni las 24 horas al día, pero el catálogo da directamente un consumo de combustible para efectos del costo económico (ver fig. 4.3).

$$\text{GHP (140.000 BTU/galón)} = 60 \text{ galones/hora}$$

que trabajando un promedio de 60 días a tiempo completo* se tiene un consumo de:

$$\frac{12.000 \text{ ton/año}}{25 \text{ ton/hora}} = 480 \frac{\text{horas}}{\text{año}} \quad \delta \quad 60 \frac{\text{días}}{\text{año}}$$

$$\text{GPH} = 60 \times 480 \frac{\text{galones}}{\text{año}} = 28.800 \text{ galones/año}$$

que representa un costo de

$$28.800 \frac{\text{galones}}{\text{año}} \times 3.50 \frac{\text{veces}}{\text{galón}} = 100.800 \frac{\text{sucres}}{\text{año}}$$

para efecto de costo por combustibles, esta cantidad sumada al caudal exigido por el horno rotativo representa el costo total de:

$$52800 \frac{\text{galones}}{\text{año}} \times 3.50 \text{ S./galón} = 184.800 \text{ sucres}$$

$$\text{Costo anual} = 100.800 + 184.800 = 285.600 \text{ sucres}$$

* 8 horas

4.2. SELECCION DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR - COCINADOR DE VAPOR

La selección de este equipo ha dependido de los siguientes factores:

- a) Facilidad para procesar la materia prima a casi la presión atmosférica; esto trae como ventaja obviarse un equipo de despresurización y enfriamiento como regularmente es un autoclave.
- b) El cocido es continuo, es decir, por ningún concepto se detendrá la marcha del cocido ya que el horno rotativo exige producto continuo y lo es todo el sistema conectado en serie. Una detención como en el caso del autoclave, disminuiría el rendimiento del horno rotativo.
- c) Cocinar a baja presión y a temperatura de ebullición del agua bajan los riesgos para el personal y existen menos pérdidas caloríficas.

La figura 4.4 demuestra el funcionamiento de este equipo y sus conexiones con el sistema de vapor; éste se convierte en líquido saturado (h_L) a la salida. Nótese el tornillo sin Fin accionado por un motor eléctrico. El traslado del producto se regula manualmente dependiendo de la temperatura de cocido. Las figuras 4.7 presentan un diagrama del intercambiador de calor y pérdidas respectivas para el intercambiador con 0.88 pulgadas de espesor en el aislamiento.

Cálculo de la velocidad de cocido y tamaño del intercambiador

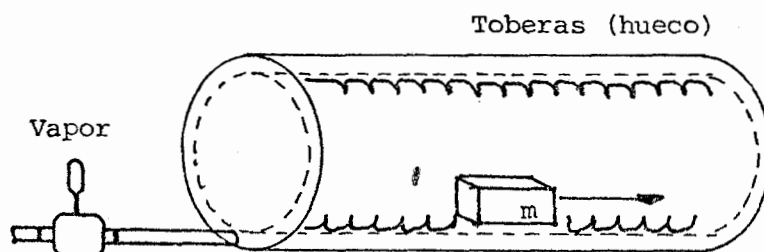


FIGURA 4-5.- Diagrama esquemático de inyección

Datos:

$$\dot{m} = 55.115 \text{ lbm/hora} = 25 \text{ ton/h}$$

$$Q_T = Q_S + Q_T = m C_p \Delta T = 5.4 \times 10^7 \text{ BTU/hora}$$

$$v = \frac{dL}{dt} = \text{velocidad media del flujo de pescado}$$

$$V_i = \frac{\pi D^2}{4} L \text{ volumen nominal del intercambiador}$$

$$V_m = p_m = \text{volumen de pescado a cocer}$$

$$\gamma = 61.64 \text{ lbm/pie}^3 \quad 0.987 \text{ Kg/litro}$$

Considerando que un elemento de pescado se mueve con la velocidad $\frac{dL}{dt}$ en un tiempo mínimo de cocido t , la eficiencia del intercambiador deberá ser tal que el coeficiente de transferencia U para procesar el pescado se cumpla, es decir

$$Q_T = m C_p \Delta T = UA \Delta T \quad (4-4)$$

Como el pescado no ocupará todo el volumen íntegro asumimos un coeficiente para garantizar el proceso seleccionando el volumen de materia al volumen del intercambiador en:

$$\frac{V_m}{V_i} = 3/4 \quad (4-5)$$

Calculando la capacidad del intercambiador se tiene:

$$V_m = \frac{3}{4} V_i$$

$$\frac{1}{\gamma} \frac{dm}{dt} = \frac{3}{4} \frac{\pi D^2}{4} \frac{dL}{dt}$$

integrando

$$\frac{m}{\gamma} = \frac{3 \pi D^2 v}{16} \quad (4-5A)$$

El pescado generalmente emplea de 5 a 20 minutos para ser cocido dependiendo de la especie pelágica

$$v = \frac{L}{t} = \frac{16 m}{3 \gamma \pi D^2}$$

De los catálogos comerciales se obtiene que para un diámetro interior de $D = 0.50$ pies (0.765 mts.) la longitud de este equipo será:

$$L = \frac{16 \times 55115 \text{ lbm/h} \times (5 \text{ min}/60 \text{ min.}) \text{ hora}}{3 \times 61.64 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3} \times 3.14 (2.50)^2 \text{ pie}^2}$$

$$L = 20.25 \text{ pie (6.17 m.)}$$

Cálculo del aislamiento y número de huecos (toberas)

Considerando que las pérdidas de calor se efectuaron a semejanza de un cilindro.

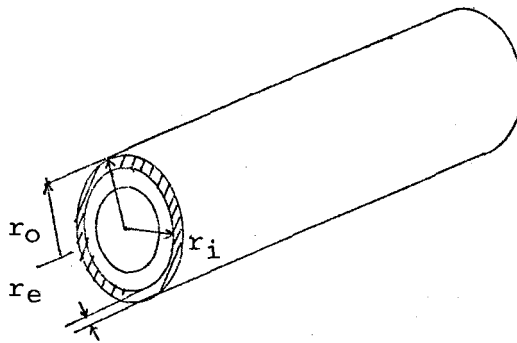


FIGURA 4-6.- Ecuación y consideraciones de las pérdidas de calor utilizando el radio crítico de aislamiento.

$$q = \frac{2\pi K_L (T_i - T_o)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + K/\bar{h}_o r_o} \quad (3-22)$$

donde:

r_e es el radio exterior

r_o es el incremento de radio interior o espesor de aislamiento

r_i radio interior

K conductividad térmica del aislamiento

h_o coeficiente de conductancia promedio entre el intercambiador de acero y el aire.

Las pérdidas mínimas para que no fluya calor hacia afuera se la ob-

tiene haciendo un máximo para el denominador de la Ecuación 3.22

$$\frac{dq}{dr_0} = \frac{-2\pi Kl (T_i - T_o) \left[\frac{1}{r_0} - \frac{K}{h_o r_0^2} \right]}{\left[\ln \left(\frac{r_o}{r_i} + \frac{K}{h_o r_o} \right) \right]^2} \quad (3-22A)$$

de donde

$$r_o = \frac{K}{h_o} \quad (3-22B)$$

que llamaremos el radio crítico para aislar ó el espesor de aislante.

Reemplazando datos numéricos en las ecuaciones 3.22B.

$$K(\text{abesto aire}) \ 212^\circ\text{F} = 0.111 \frac{\text{BTU}}{\text{hora pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \quad (\text{tabla apéndice})$$

$$h_o \text{ aire} = 1.5 \text{ BTU/hora pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F} \quad (\rho = 36 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3} \quad T = 68^\circ\text{F})$$

$$r_o = \frac{0.111}{1.5} = 0.074 \text{ pie} = 0.88 \text{ pulgadas}$$

las pérdidas la determinamos con la Ecuación 3.22

Por cilindro las pérdidas serán:

$$q_c = \frac{2\pi \times 0.111 \text{ BTU/hora pie } ^\circ\text{F} \times 20.25 \text{ pie} (144)^\circ\text{F}}{\ln \left(\frac{0.074}{1.25} \right) + \frac{0.1111}{1.5 \times 0.074}}$$

$$q_c = 1113.25 \text{ BTU/hora}$$

Por bases las pérdidas serán:

$$Q_b = 2 \times h_o \Delta T = 2 \times \pi (1.25)^2 \times 1.5 (144) = 2120.58 \text{ BTU/hora}$$

$$Q_{\text{total}} = q_c + q_b = 3250 \text{ BTU/hora} \quad (3.25 \text{ MBH})$$

Estas pérdidas han sido utilizadas en una sección precedente para seleccionar el caldero a vapor.

Números de huecos o tobera

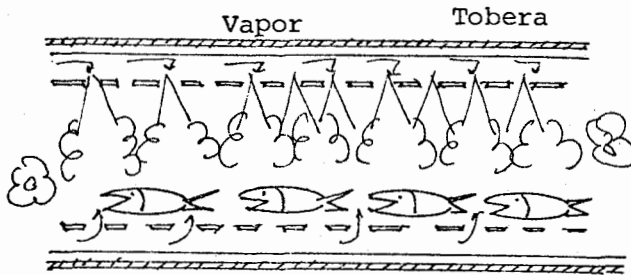


FIGURA 4-7.- Inyectores de vapor por agujeros; el vapor circunda un cilindro coaxial y el pescado se procesa dentro del mismo.

$$N^{\circ} \text{ huecos} = \frac{\text{Area de transferencia}}{\text{Area de huecos}}$$

Si de la Ecuación 4-5 se tiene que el volumen del pescado es $\frac{3}{4}$ veces menor que el volumen nominal del intercambiador, también lo es en su superficie

$$\frac{U_m}{U_i} = \frac{3}{4} = \frac{\text{Area de transferencia}}{S_L \text{ intercambiador}} \quad (4-6)$$

$$\text{Area de transferencia} = \frac{3}{4} S_L \text{ intercambiador}$$

$$\text{Area de transferencia} = \frac{3}{4} \times \pi \times D \times L = \frac{3}{4} \times 3.14 \times 2.5 \times 25.5 = 150.2 \text{ pie}^2$$

$$N^{\circ} \text{ huecos} = \frac{150.2 \text{ pie}^2}{\pi (2/12)^2 \text{ pie}^2} = 1722 \text{ huecos}$$

Entonces las características del intercambiador serán:

Capacidad = 55115 lbm/hora de pescado

Dimensiones = 2.5 pie = ϕ ; 25.5 pie = L

N^o de huecos mín. = 1722 arreglo en triángulos

Presión de cocido = 15 psia

Masa de vapor = 5560 lbm/hora

Cálculo de la potencia de motor y engranaje

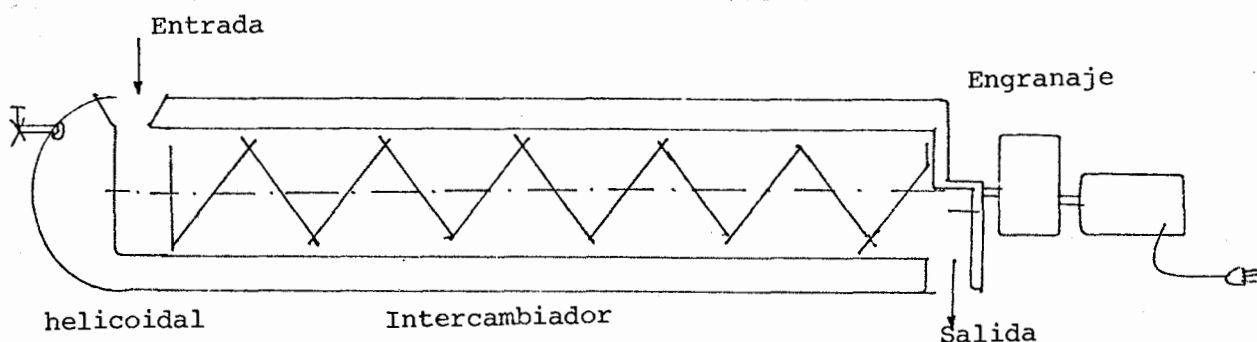


FIGURA 4-8.- La potencia de transporte es una función directa de las fuerzas de fricción (ver también figura 2.12)

El cálculo de la potencia del motor del transportador Sin Fin se lo ha realizado en base a datos experimentales.

- se planteó la ecuación de energía
- se calculó experimentalmente el coeficiente de fricción entre el acero y el pescado.
- se planteó ecuación de fricción similar a un plano inclinado.

$$a) \left[\begin{array}{c} \text{Potencia del} \\ \text{motor} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{potencia para} \\ \text{mover pescado} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{potencia} \\ \text{cinética} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{pérdidas} \\ \text{por fricción} \end{array} \right]$$

$$P = \mu N v^* + \frac{1}{2} m v^2 + \text{pérdidas cojinetes, engranajes}$$

*La relación se la determinó de la siguiente forma:

μ : coeficiente de fricción acero-pescado

N : peso de la masa de pescado normal a la superficie

v : velocidad del pescado a través del intercambiador.

θ = ángulo de inclinación del plano de acero.

m = masa de diversos pescados

$$\Sigma F_x = 0 = m \operatorname{sen} \theta - f$$

$$\Sigma F_y = 0 = N - m \operatorname{cos} \theta$$

$$f = \mu N$$

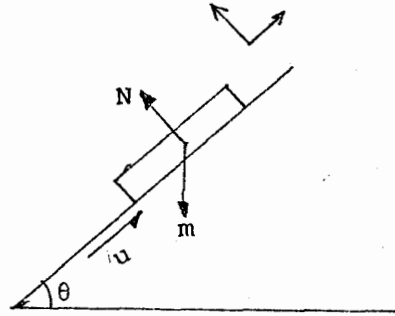


FIGURA 4.9.- Modo de determinación del coeficiente de fricción entre 2 superficies.

Datos experimentales

ESPECIE	ESCAMAS	ANGULO	$Tg \theta = \mu$
Sardina	Si	28°	0.53
Atun	Si	25	0.47
Picudo	Si	32	0.62
Chueco	Si	22	0.40
PROMEDIO:			0.51

Potencia de motor = $\mu N v$ + pérdidas

La energía cinética la desperdiciamos porque la velocidad es muy baja 4.05 pie/min. comparada con la energía alta producida por el roce.

$$\text{Potencia de motor} = \frac{0.51 \times 55115 \frac{\text{lbm}}{\text{hora}} \times \frac{\text{lb} \cdot \text{seg}^2}{32.2 \text{ lbm pie}} \times 32.2 \frac{\text{pie}}{\text{seg}^2} \times 4.05 \frac{\text{pie}}{\text{min}} + \frac{1}{5} \text{Phora}}{33.000 \frac{\text{pie lb}}{\text{hp min.}}}$$

Potencia del motor = 4.15 HP = 6 HP**

La potencia del motor mas cercano a 220 voltios 3 fases y a un giro de 1750 rpm.

* Sin aceleración; al echar a funcionar el cocinador continuo. Debe estar vacío pues podría trabarse.

** En el mercado solo es factible encontrar motores eléctricos de 1/3, 3/4, 1, 2, 3, 5, ..., 10 HP etc.

El tornillo SIN FIN es un helicoides cuyas dimensiones que se recomiendan en el diseño (ver sección 4.5) deben tener inclinación máxima de 45° en sus aspás.

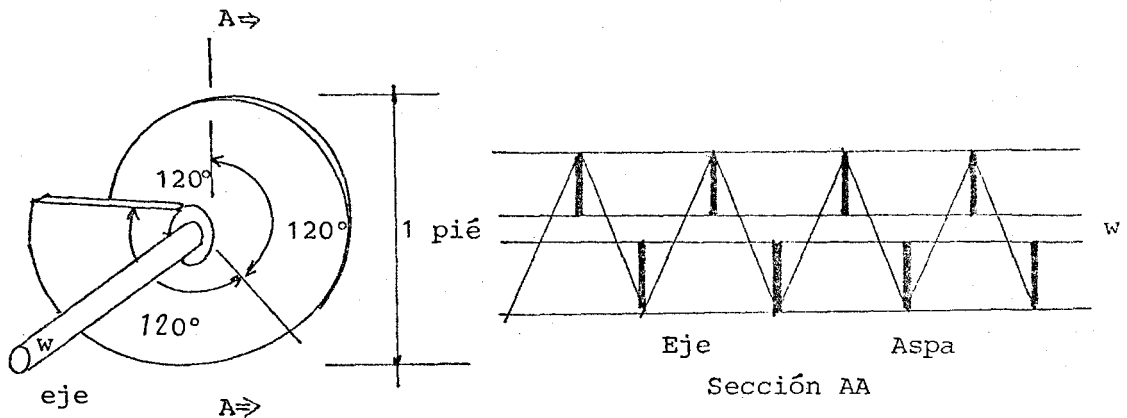


FIGURA 4-10.- Esquema del tornillo Sin Fin

Por cada vuelta el avance longitudinal es el de un radio del espá transportadora, para nuestros requerimientos.

$$\text{N}^\circ \text{ vueltas} = \frac{\text{velocidad}}{\text{avance por espá}} = \frac{4.05 \text{ pie/min}}{1 \text{ pie/vuelta}} = 4.05 \text{ RPM}$$

Resumiendo; el equipo para complementar al intercambiador cocinador a vapor será:

EQUIPO	CARACTERISTICAS	
Motor	6 HP, 220 Vac 3	60 Hertz 1750 RPM
Tornillo SIN FIN	Avance 1 pie/vuelta	4-10-20 RPM
Caja reductora	1 HP 3 velocidades	4-10-20 RPM

4.3. SELECCION DE UNA PRESNA EXTRACTORA DE HUMEDAD

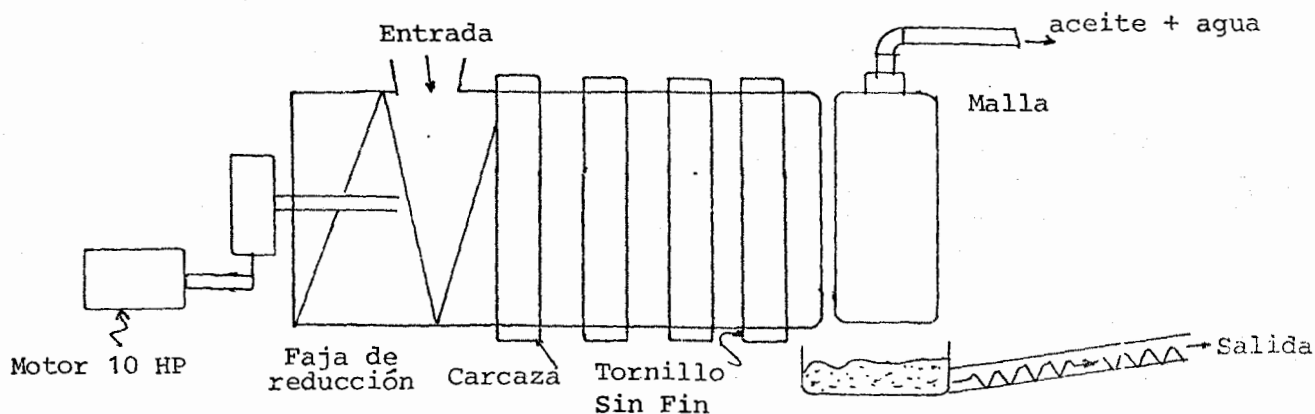


FIGURA 4-11.- Diagrama pictórico de la prensa extractora de agua cola y aceite. La prensa es de operación continua y de elemento de presión es un tornillo sin fin reforzado y accionado por un motor eléctrico.

El funcionamiento de la prensa extractora de agua, cola y aceite es continuo, básicamente transporta el producto, lo acumula contra una pared cuya presión elevada ejercida entre una malla se ejecuta la separación de líquido y sólido hasta un contenido aproximado de 50 % de humedad.

La prensa seleccionada son de uso moderno y no se atasca, para prensar 10 toneladas y más de pescado cocido un motor de 10 HP es necesario con una reducción de alta a baja velocidad. Las presiones ejercidas para romper las paredes celulares del pescado cocido son alrededor de 2.7 Kg/cm^2 . La casa comercial S.K.F. distribuye un modelo para prensar de 10 a 12 toneladas continuas de pescado cocido; con arrancadores automáticos.

Características técnicas de la prensa a seleccionar

Prensa

Modelo: GMAPX 1000 BGV - 74

Marca: ALFA LAVAL

Motor: 10 HP; 220 VAC 5 60 Hz

Operación: continua (tornillo sin fin)

Protección: arrancador automático y térmico

4.4. SELECCION DE UNA CENTRIFUGA

El agua cola obtenida de la prensa es almacenada en tanques y calentada con un serpentín de vapor hasta 15°C luego bombeada a un separador rotativo (centrífuga) que por decantación separa el aceite + agua de los sólidos o sólidos de aceite, es refinado separándole del agua en una segunda centrífuga conforme muestra el siguiente diagrama.

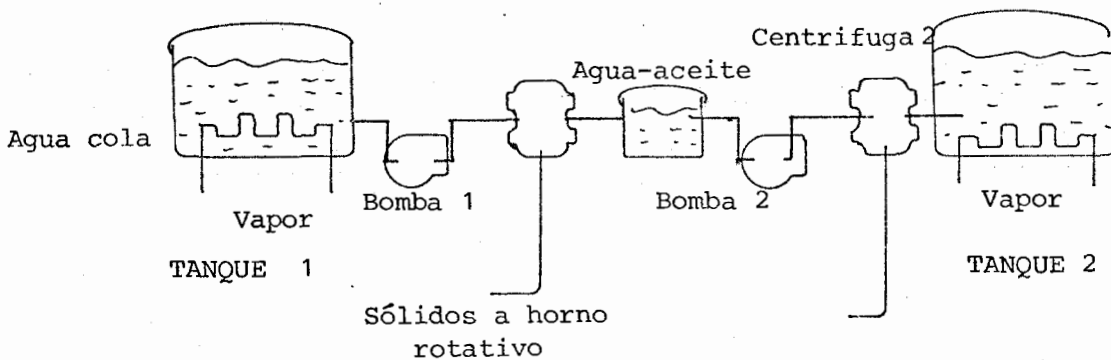


FIGURA 4-12.- Diagrama de instalación de 2 centrifugas; 1.- Separadora de salidas, 2.- Separadora de líquidos; los tanques son de reservas en caso de mantenimiento y expedición.

Como se vé, la instalación de las 2 centrifugas conforman un equipo de importante utilidad para aprovechar el agua de cola y reducir la contaminación a lo que se dedican estas clases de industrias que disponen secadores de pescado, porque generalmente se las desperdicia.

Las firmas noruegas y suecas producen equipos de alta calidad, el lec

tor interesado podría adquirirlo a sus representantes mas cercanos; las 2 máquinas tendrán las siguientes características:

Según una cotización realizada en Guayaquil, tenemos:

2 separadores centrífuga

Modelo FMAPX 309 BGV - 74

Motor de 11 Kw, encendido de control automático

Capacidad 5000 - 6000 litros de caldo de prensa por hora

+ Accesorios para sólidos y líquidos

y Planos de instalación y mantenimiento

4.5. TRANSPORTADORES SIN FIN PARA MATERIA PRIMA Y DERIVADOS

En la sección 4.2 analizamos la función de los tornillos Sin Fin, en esta parte, seleccionaremos el equipo para los diversos usos de la fábrica. En los planos finales del horno rotativo consta la lista del número de tornillos sin fin, su utilidad y potencia del motor.

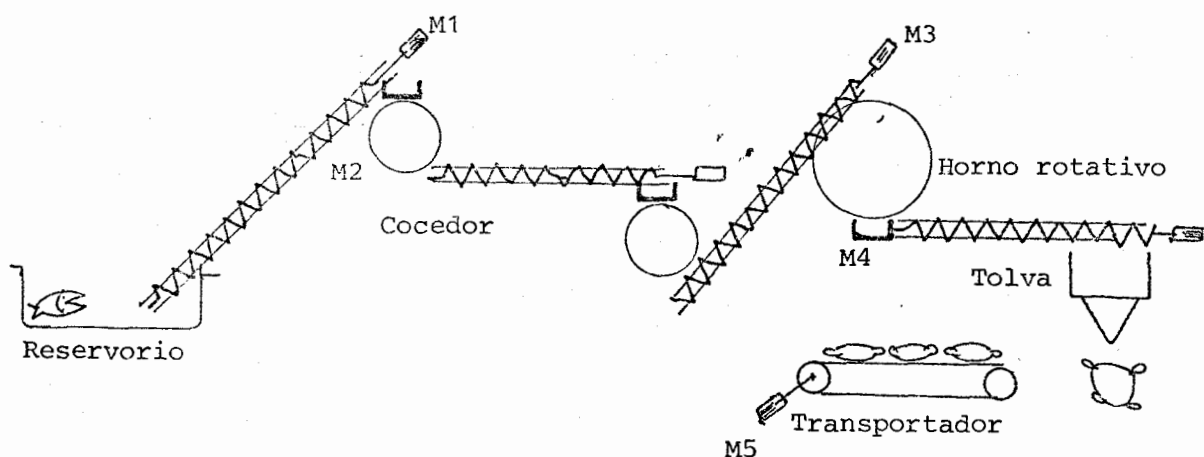


FIGURA 4.13.- Empleo de los motores para los tornillos Sin Fin en un transporte de productos.

M₁ motor de 2 HP Reducción a 4.5 pie/min

M₂ motor de 3 HP " " "

M₃ motor de 1 HP " " "

M₄ motor de 1/2 HP " a 10 pie/min.

paso 1 pie por vuelta o menos.

M₄ puede ser reemplazado por transporte neumático en caso de grandes

instalaciones y distancia entre el horno rotativo y la bodega de expendido.

M₅ es un transportador de bandas con motor de 3 HP utilizado para trasladar sacos llenos a molino desintegrador o bodegas.

Todos los motores pueden operar con 220 VAC o 440 VAC para 3 fases con velocidad variable eléctricamente.

4.6. BOMBAS DE AGUA, DE DIESEL Y BOMBAS DE ACEITE (productos)

Bombas de agua

Se necesitan 3 bombas de alto caudal y altura de presión. La primera se utilizará en llevar agua potable desde una cisterna ubicada en el subsuelo hasta un reservorio ubicado a una altura de 6 metros o más tal que la distribución de agua se la realice por gravedad. El circuito hidráulico será:

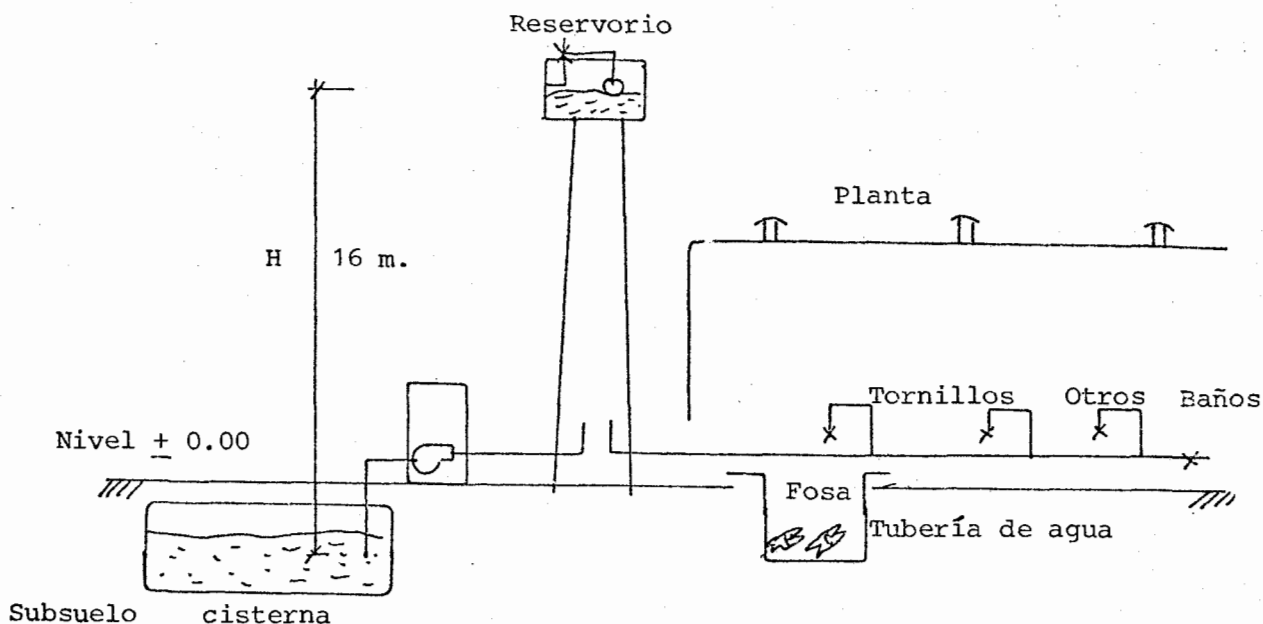


FIGURA 4-14.- Ubicación de la bomba de agua potable y su respectivo circuito hidráulico.

Según la figura 4.13 se emplean 2 bombas para el circuito de recuperación de aceite y sólidos. Para una capacidad de 5000 a 10.000 litros de agua por hora hemos seleccionado las bombas según los diagramas descritos y según las consideraciones técnicas que expondremos a continuación.

Según la ecuación de Bernoulli

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + H_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + H_2 + H_f$$

$$H_2 - H_1 + H_f = H_{total}$$

la potencia de la bomba depende casi únicamente de la fricción entre el líquido y la tubería + el cabezal de altura estática.

$$H_2 - H_1 = 6 \text{ metros}$$

$$H_f \cong 10 \text{ metros (agua cola)}$$

para 5000 a 10.000 litros/hora = (50 GPM)

y 16 metros de cabezal (53 pies) en el diagrama de bombas se necesita seleccionar una bomba de tipo 124. Ver página de catálogo comercial adjunto en el apéndice cuyas características son:

3 Bomba N° 124

Modelo: 1070-1

HP: 3

Peso: 130 lbs.

Cabezal Máx.: 140 pie

Caudal: 50 GPM

Bomba de Diesel y (aceites productos)

El horno rotativo y las calderas elegidas consumen un promedio de 100 galones por hora y la altura es reducida, por lo que no es necesario elegir una bomba muy versátil ni potente, sin embargo uno debe disponer presión en todo momento antes de arriesgar una deficiente combus-

ción o encendido de los hornos y calderas. El circuito hidráulico es el siguiente:

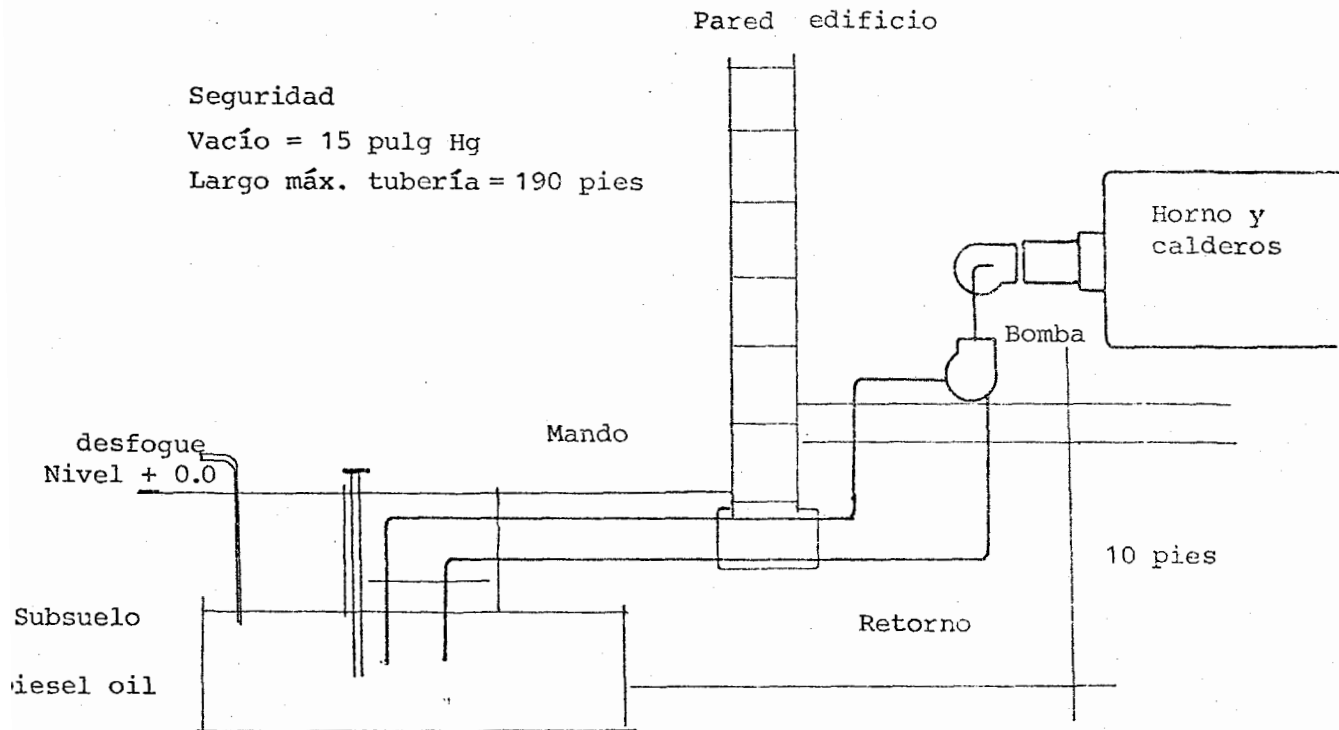


FIGURA 4-15.- Diagrama esquemático del suministro de combustible.

Las características de las bombas son: de acuerdo a la viscosidad del combustible se necesitan un vacío o succión de 15 pulgadas de Hg que equivale a un cabezal de:

$$\gamma_{\text{Hg}} H_{\text{Hg}} = \gamma_{\text{H}_2\text{O}} H_{\text{H}_2\text{O}}$$

$$H_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\gamma_{\text{Hg}}}{\gamma} = \frac{15}{12} \text{ pie} \frac{13.6 \text{ Kg/cm}^3}{1 \text{ Kg/cm}^3}$$

$$H_{\text{H}_2\text{O}} = 17 \text{ pie de columna de agua}$$

$$H_{\text{total}} = H_{\text{H}_2\text{O}} + H_{\text{estático}} = 27 \text{ pie.}$$

La bomba de Bunker o diesel oil seleccionada será:

$$A \text{ caudal} = 100 \text{ GPM}$$

$$\Delta H = 30 \text{ pie}$$

en catálogos de la PACO PUMPING COMPANY (ver apéndice) se ve que la bomba N = 175 cumple con esas características tomando el resumen de

quella tabla, el lector interesado podrá adquirir la bomba.

Caudal = 100 GPM; Cabezal = 30 pies

Modelo N°- 1750-1

Motor 1 a 1 1/2 HP

Voltaje 220 V.A.C. 1 ϕ 60 Hz

Marca: PACO

Bomba de aceite de pescado

Al igual que 50 GPM (6000 litros/hora) a un cabezal de 2 metros puede elegirse (6.8 pie) una bomba 102 cuyas características de pedido son:

Caudal 50 GPM; Cabezal 20 pies

Modelo: 102

Motor: 1/2 HP

Voltaje: 220 VAC o 110 1 ϕ 60 Hz

Marca: PACO

Ver instalación figura 4-12 de obtención de aceite de pescado.

4.7. MISCELANEA (Soldadura, fundación y edificio)

Soldadura

Para la construcción del horno rotativo es imprescindible utilizar la soldadura al unir las diversas planchas que conformarán la estructura tanto de la máquina como la de los soportes de las máquinas.

En esta sección estableceremos la cantidad en libras de soldadura que se utilizarán con el fin de evaluar en parte el costo del horno rotativo. En el apéndice de esta tesis exponemos las tablas que nos servirán para las aplicaciones de soldadura específicas y dimensionamiento de soldadura; estos datos han sido recopilados en base a la experiencia y diseño teórico por "The James F. Lincoln Arc Welding Foundation" en su libro "Design of Weldments", que cualquier artesano con conocimientos sobre cartas y gráficos puede utilizarlos en caso de construir las piezas elementales del horno y otras partes de la planta industrial.

Una soldadura normal generalmente es más resistente que el material que se une, sin embargo es más rígida aunque no falla antes que se rompan las piezas unidas.

La parte más crítica mecánicamente en el horno rotativo están en los soportes tal como se muestra en el diagrama. Una carga distribuida linealmente a lo largo hace que sus reacciones en la sección de apoyo se empleen soldadura de resistencia elevada, partiendo con ese concepto seleccionaremos el tipo de soldadura, la forma de juntas y características eléctricas de la Unión.

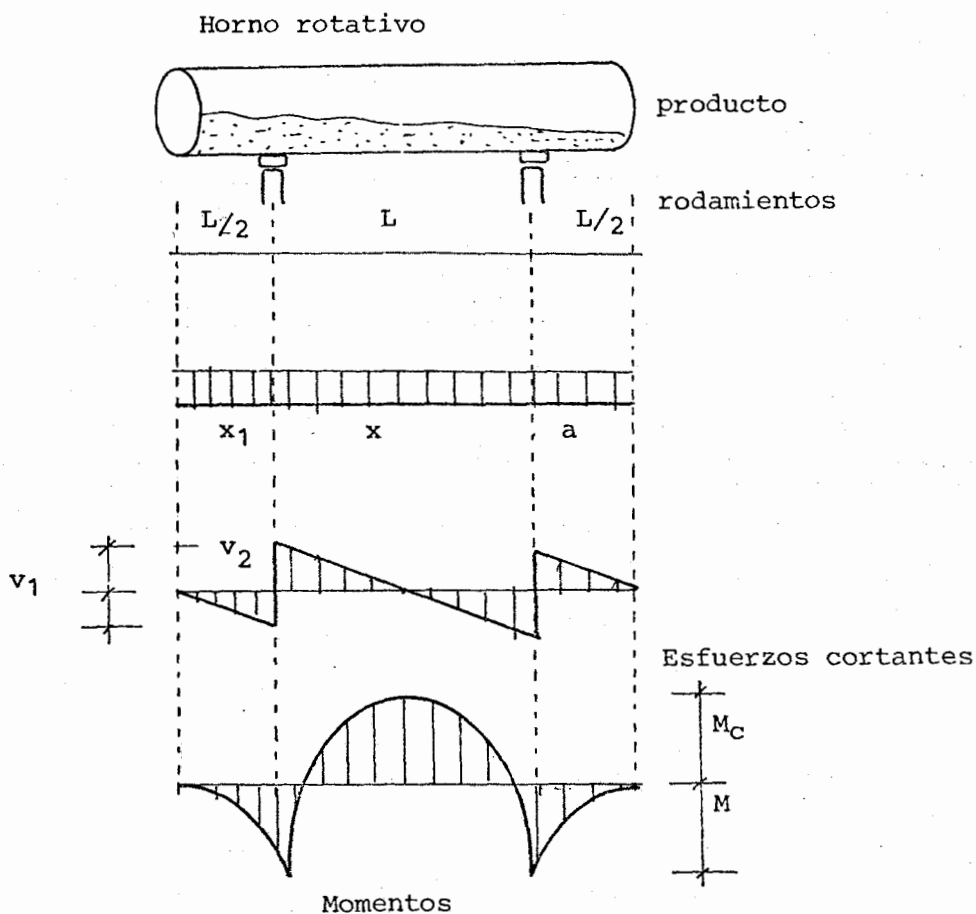


FIGURA 4-16.- Diagrama de distribución de esfuerzos y momentos para el horno rotativo al seleccionar la soldadura.

La reacción $R_1 = R_2 = V_1 + V_2 = W(a + L/2)$

donde $R = WL$

siendo $L =$ la longitud media del horno

el momento en el centro es igual en los soportes y tiene por valor

$$M = M_L = \frac{WL^2}{16}$$

En este criterio sin salirse del límite elástico del material la soldadura deberá ser inferior 2 veces para asegurar con este coeficiente de seguridad.

En la figura 4-17 presentamos una tabla para seleccionar el espesor de soldadura en función de los esfuerzos, nuestro caso se refiere a esfuerzos cortantes ya que no existe esfuerzos de torsión porque el horno rota libremente entonces la ecuación será

$$\sigma = \frac{U_T}{A} = \frac{WL}{A}$$

Los esfuerzos máximos fueron determinados en la sección 3.2 y con una relación de:

$$\tau = .40 \sigma \text{ y del metal acero ASTM}$$



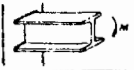
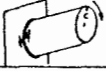
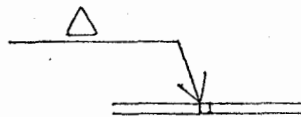
TIPO DE CARGA	Esfuerzo de diseño	soldadura línea	SOLDADURA PRIMARIA	
	Tensión Compresión	$\sigma = P/A$	$f = P/A_w$	
	Cortes Verticales	$\sigma = V/A$	$f = V/A_w$	
	Deflexión	$\sigma = M/S$	$f = M/S_w$	
	Torsión	$\tau = TC/J$	$f = TC/J_w$	

FIGURA 4-17.- Determinación de los esfuerzos en soldaduras.

Soldadura	Esfuerzo	Acero	Electrodo	Esf. Permisibles
Completa penetración en Soldadura de Surco	tensión Compresion Cortantes	A7, A373	E60 SAW-1	mismo como
		A36 = 1" Espe.		
		A 36 1" Esp.	E60 L-H	
		A 441, A 242	E70 L-H	
Soladura de Filete	Cortante en Costura efectiva	A7, A 373	E60 ó SAW-1	=12000 ó 8800 lb/pulg ²
		A36 1" Esp.		
		A441, A242	E70 L-H		=14700 =10400 lb/pulg^{2}
Tapas y ranuras	Cortante y Area efectiva	A7, A373	E60 ó SAW-1	12400 lb/pulg ²
		A36, A441	E60 L-H	

FIGURA 4-18.- Selección de la soldadura para cargas cortantes, los números AISC son lbs. de soldadura por pulg. lineal de metal aportado.

En el apéndice existen normas para indicar entre 2 planchas el tipo de soldadura, generalmente emplearemos tipo filete \triangle los parámetros serán indicados conjuntamente con el tipo de soldadura.



Por ejemplo:

Determinar el tipo de filete de soldadura entre 2 planchas circulares (cilíndricas) que están sometidas a un esfuerzo de 245 lb/pulgada cortante.

El esfuerzo resultante o fuerza actual

$$fr - \sqrt{F \text{ actuando}} = 245 \text{ lb/pulg.}$$

la fuerza AWS de la figura 4.16 para soldadura E 60 es 9600 lb/pulg.

El esfuerzo actual será:

$$w = \frac{\text{actual fuerza}}{\text{fuerza AWS}} = \frac{245}{9600} = 0.03''$$

del nomograma de la figura 4-19 se obtiene que debe ser un cordón de 3/16".

De esa forma cualquier relación de esfuerzos actuales sobre lb esfuerzo que resiste la soldadura nos permitirá consultar el nomograma y seleccionar directamente el espesor de la misma.

Peso del metal de Soldadura
(libras por pie de junta)
DC- DC+
Polaridad Polaridad

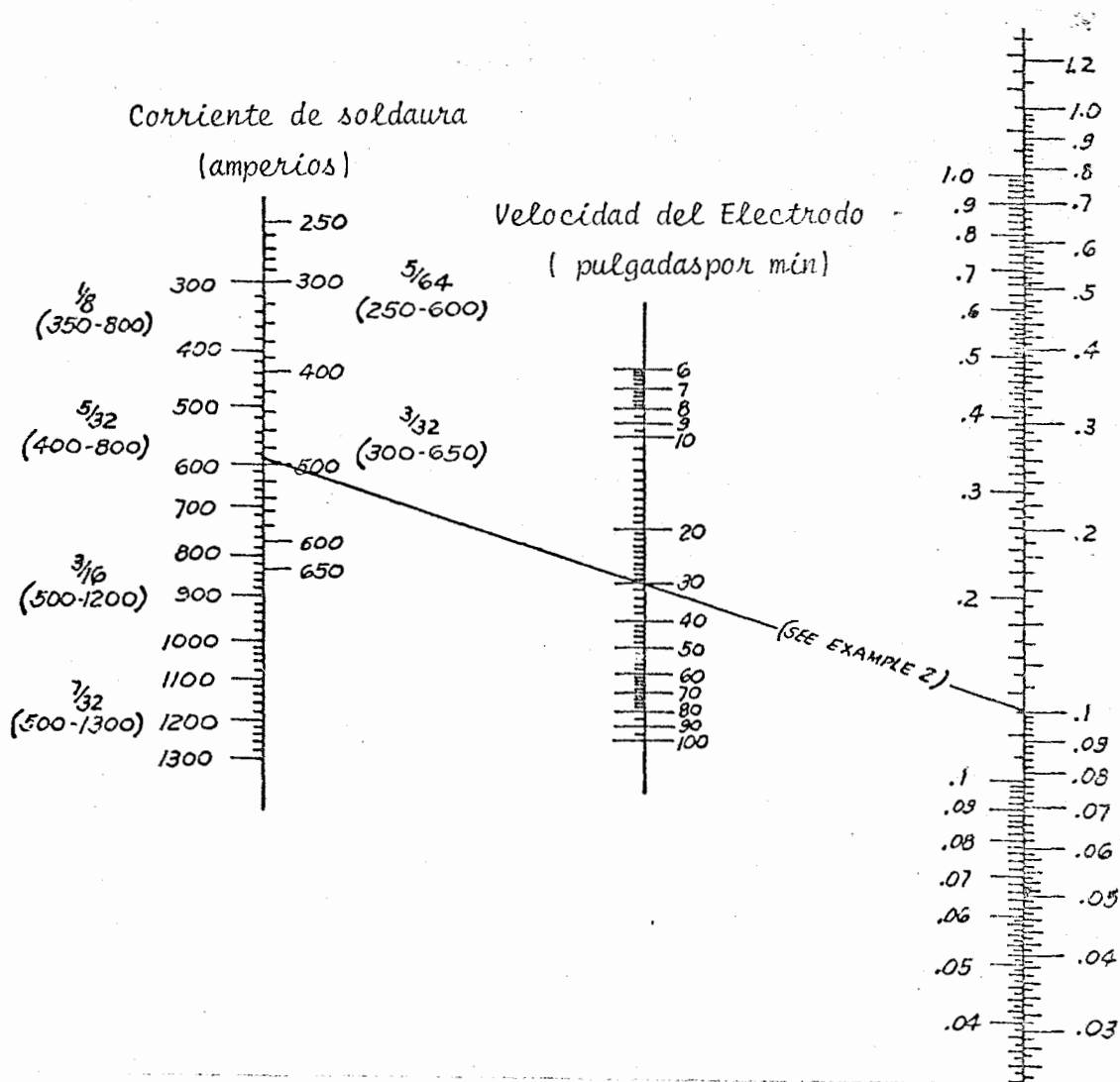


FIGURA 4-19.- Nomograma para seleccionar el espesor del cordón de soldadura en función del esfuerzo actuante entre 2 planchas dividido para el esfuerzo de resistencia de la soldadura.

Tanques

Al instalar los equipos adicionales es necesario construir tanques para almacenar aceites, agua, y combustible, nosotros damos referencias a fórmulas en caso de construir dichos tanques (Ver apéndice).

Fundación

Se entiende por este término a la ubicación de las bases para instalar la maquinaria y el edificio.

Como en la sección del capítulo 2 se estableció el lugar y las condiciones del subsuelo, la empresa de la construcción civil no tendrá problemas de rellenos, pues se eligió suelos lo sumamente seguros y fuertes para soportar cualquier peso de fundación sin causar inconvenientes.

El peso de los motores debe ser igual o de tal forma que su fundación anule las vibraciones mecánicas. Cuando se realicen excavaciones para disponer un espacio que ocupará una fundación, sus bornes no deberán distar de menos de 1.5 a 2 metros de la fundación próxima tal como muestra la figura.

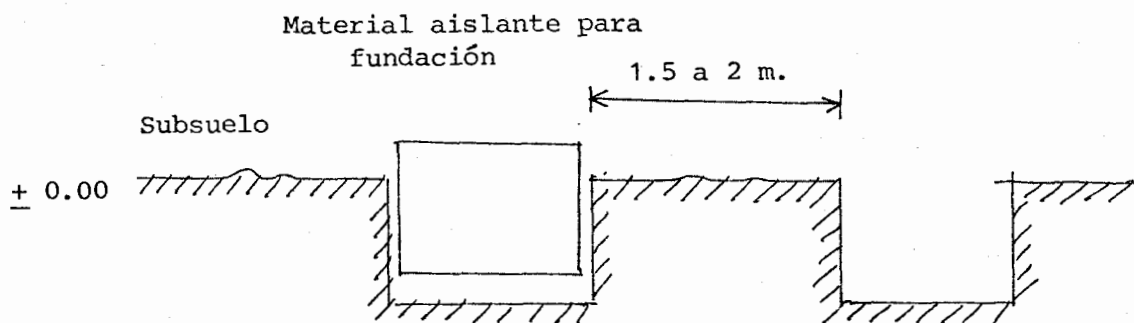


FIGURA 4-20.- Espacio y distancia mínima de ubicación para una fundación en el suelo

Cuando la fundación sea para soportar maquinaria alternativa y esta no trasmite vibraciones vecinas se utiliza a menudo corcho y otros materiales aislantes de 2.5 a 10 cm. de espesor. En el caso de motores pequeños se puede cavar, fundir el hormigón y calor directamente, la fundación en el subsuelo es firme y no se desmorona.

Las fundaciones de hormigón deben reforzarse con varillas de hierro mas o menos tejiendo una cuadrícula de hierro en forma cuadrangular (mallas de 20 a 30 cm, emparillado) soldándose las juntas para mayor rigidez. Ver figura 4-21. Se debe tener especial cuidado cuando los fabricantes de motores entreguen planos de instalación, son de suma utilidad, por la posición de los pernos, aberturas y dimensiones de las plantillas, soportes de madera, etc.

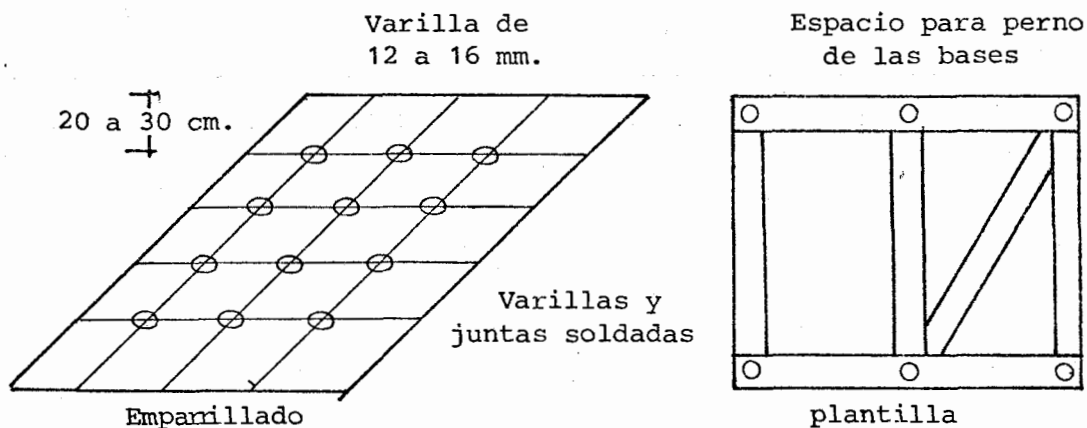


FIGURA 4-21.- Detalle del emparillado y plantilla que se usaron en la instalación entre la maquinaria y su fundación

Pernos

Todos los pernos deben extenderse a la fundación especialmente la parte móvil del horno rotativo debe ser suspendido sobre la plantilla. El mejor método es encajar los pernos en "manguitos" permitiendo así un pequeño movimiento de los pernos en caso de que no quede perfectamente alineado al fraguar el hormigón. Ver figura 4.22. Los manguitos deben fabricarse con espaciadores (trozos de tubo) debien-

do dejarse 75 mm. para pernos de 40 mm de espesor por ejemplo.

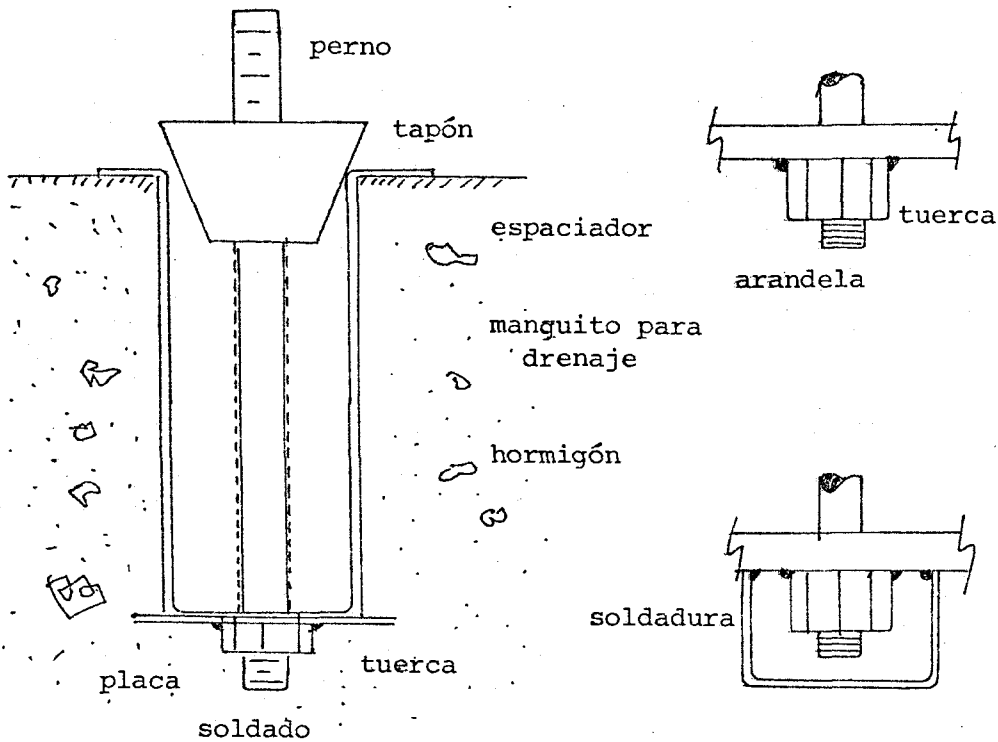


FIGURA 4-22.- Instalación de los pernos de anclaje en la fundación. Nótese dos formas de asegurar un ajuste de la tuerca en el fondo del hormigón.

Edificio

La empresa podrá diseñar y construir un galpón de fácil contextura. En el apéndice, se dan las 3 dimensiones del bloque para ubicar el horno rotativo la caldera, el cocinador, tableros de control y oficinas, sin embargo si existe un ahorro económico para emplearlo en una empresa constructora la cooperativa o empresarios pueden utilizar la siguiente fórmula para mezcla de hormigón y fraguado.

1 parte de cemento

1 parte de arena

4 partes de piedrecillas

23 litros de agua por cada saco de cemento.

vacíe el hormigón en rincones de encofrado de madera tanto para vigas como para bases dejando la superficie lo mas lisa posible.

Aunque los maestros albañiles conocen de la profesión, el fraguado de be impedir que el hormigón seque completamente antes de 6 o 7 días y para ello debe cubrirse con papel y material YUTE, o sino con ca pas de arena húmeda de unos 3 cms. de espesor.

Estos procesos aumentan:

1. La fuerza del hormigón
2. Impide la contracción excesiva
3. Reduce la tendencia a las rajaduras superficiales.

El galpón a construirse debe ser de bloques, hierros y el tejado de Eternit con huecos en el techo para ubicar extractores de aire que permitan ventilación.

El galpón industrial deberá disponer de espacio para un posible aumento, oficinas y si es posible bodegas.

Las dimensiones de acuerdo a normas industriales, deberán ser:

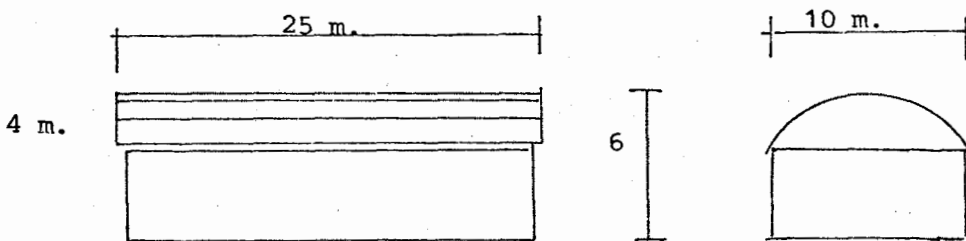


FIGURA 4-23.- Dimensionamiento del edificio.

obteniendo el área de paredes laterales y pisos puede evaluarse la cantidad de ladrillos, sacos de cemento y vigas de hierro para la instalación. Debe considerarse también circuitos sanitarios.

4.8. EL MONTAJE

En la sección 2.5.1.d se analizan las consideraciones para justificar el proyecto de Diseño del horno rotativo para una planta proce-

sadora de harina de pescado.

En esta sección recomendaremos un montaje con indicación específica para cada necesidad de instalación de los equipos adicionales seleccionados cuando esta planta entre a su fase de operación.

Directamente recomendamos fórmulas prácticas utilizadas en el montaje de las maquinarias; así por ejemplo:

1. Consideraciones para instalar, bombas, calderos, tubería, etc.
2. Alinear los ejes de transmisión y acoplar, suprimiendo desviaciones y vibraciones.
3. Dejar establecido los parámetros de diseño que son los de funcionamiento para las máquinas (temperatura, presión de agua, aceite, contadores, graficador, instrumentos eléctricos, etc.).
4. Calibrar la instrumentación respectiva, sensores, termómetros, presóstatos, voltaje, etc.

En el numeral 1, el ingeniero fiscalizador e instalador deberán cooperar mutuamente, en esta tesis se ha seleccionado calderos del tipo paquete (Packaged Boiler) las ventajas con este tipo de calderas son las siguientes:

- a. Facilidad de manipulación y transporte
- b. Facilidad para moverlo en el montaje sobre su fundación con rodillos o con montacargas relativamente pequeños.
- c. Dimensiones chicas comparados con la potencia generada; y
- d. Facilidad de operación.

La fundación para la caldera tomando en cuenta que está llena en su colector de vapor hasta $3/4$ del nivel, su peso es suministrado por el fabricante y con esa consideración se basará en construir las cimentaciones de hormigón. La figura 4-24 muestra la plataforma y los márgenes de densidad de concreto y la ubicación de pernos de anclaje para evitar cualquier vibración.

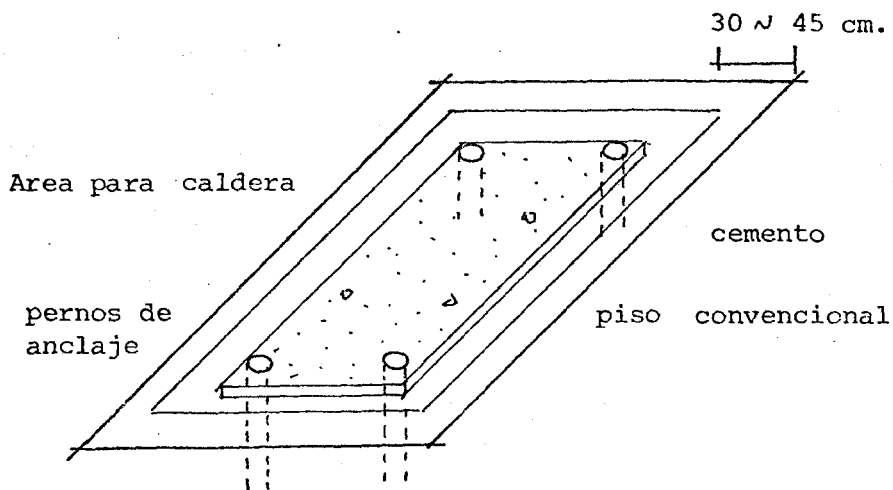


FIGURA 4-24.- Determinación de la base para montar una caldera con sus respectivos pernos de anclaje.

El objetivo de lo anterior es ubicar tuberías de drenaje en la posición mas correcta, y aislar la caldera como medida para prevenir cualquier incendio por combustible que esté derramado cerca del generador, etc.

El anterior criterio es válido para la ubicación de bombas de combustible, de agua, etc.

En el numeral 2, alinear y acoplar 2 ejes por ejemplo, entre un motor eléctrico y una bomba cuando están en 2 apoyos diferentes es una tarea muy difícil y se requiere de mucha práctica y hasta paciencia.

Existen ecuaciones donde el trabajo se reduce notoriamente procediendo con las herramientas y la instrumentación necesaria, así tenemos por ejemplo: con un micrómetro y una base magnética (o en su defecto un sujetador tipo prensa se logra encontrar las desviaciones).

En la figura que sigue haciendo de referencia el eje del motor se puede alinear la bomba al eje del motor el palpador registrará en el micrométrico las desviaciones y según la fórmula siguiente, el instala

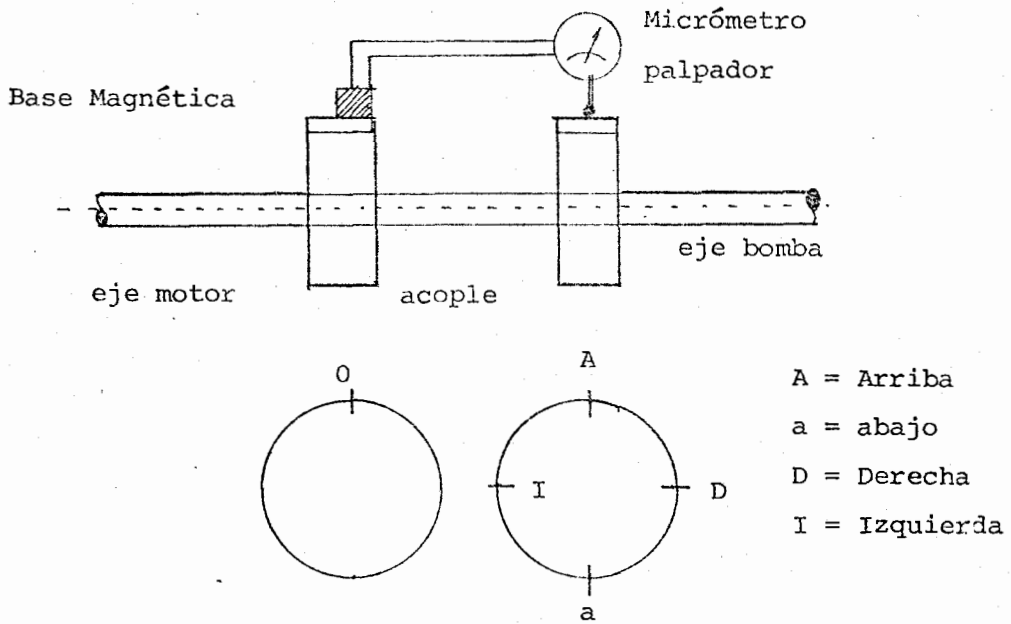


FIGURA 4-25.- Alineamiento de dos ejes

don podrá desplazar o añadir láminas de metal en las bases para corregir la desviación.

1. 0° A = 0
2. 90° D = +
3. 180° a = -
4. 270° I = +

El alineamiento horizontal será

$$\Delta H = \frac{I - D}{2} \quad (4-1)$$

El alineamiento vertical será:

$$\Delta V = \frac{A - a}{2} \quad (4-2)$$

En caso de que los dos puntos de referencia de n valores en lugar de cero se dice que los ejes aparte de estar desplazados están desviados es decir, existe desalineamiento axial y radial.

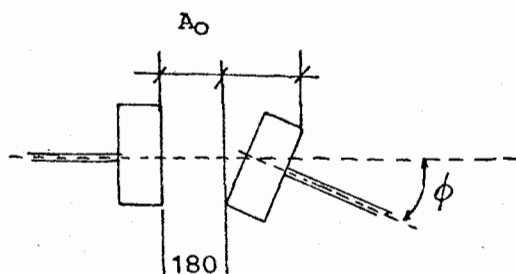


FIGURA 4-26.- Ejemplo de desalineamiento axial y radial que ocurren en los montajes.

El alineamiento horizontal será la Ecuación 4-2 transformada a Ecuación 4-3.

$$H = \frac{I_0 + I_{180}}{2} - \frac{D_{180} + D_0}{2} \quad (4-3)$$

El alineamiento vertical será la ecuación 4-3 transformada a Ecuación 4-4.

$$V = \frac{A_0 + A_{180}}{2} - \frac{a_{180} + a_0}{2} \quad (4-4)$$

Sobre el numeral 3 podemos analizar que tal como se muestra en los planos uno debe acercarse a las consideraciones de diseño, así por ejemplo:

MAQUINA	FLUJO DE COMBUSTIBLE	TEMPERATURA	FLUJO DE AIRE
Caldero-2	60 GPH	85°F	1500 CFM
Voltaje			
440, 1A, 60Hz			

los valores de diseño debe quedar establecido para exigir buen rendimiento de la máquina y disponer de menos ajuste en la fase de funcionamiento.

La calibración de sensores para exigir buen control de calidad, en nuestro diseño, los sensores de temperatura y presión son neumáticos, vale decir que según los diagramas de control y operación debe graduarse las presillas y calibrarse hasta obtener los resultados esperados - haciendo referencia en instrumentos confiables, así tenemos la temperatura del horno.

El sensor generalmente funciona con el principio de expansión de gases (Ley Gay Lusac) es decir si existe un cambio de temperatura dentro del horno se registra como un cambio de presión del aire pequeño, que modulará la presión alta para ejercer sobre un accionador que puede ser una válvula de paso de combustible o aire, esa misma modelación actúa sobre el termómetro que no es más que un presómetro pero con la escala en grados de temperatura, haciendo el proceso inverso del sensor. Mediante curvas suministradas por fabricantes de temperatura vs. presión se llega a establecer si los instrumentos y sensores están debidamente calibrados, de lo contrario, es obvio, acerca de los ajustes que el ingeniero de montaje sabrá realizarlo.

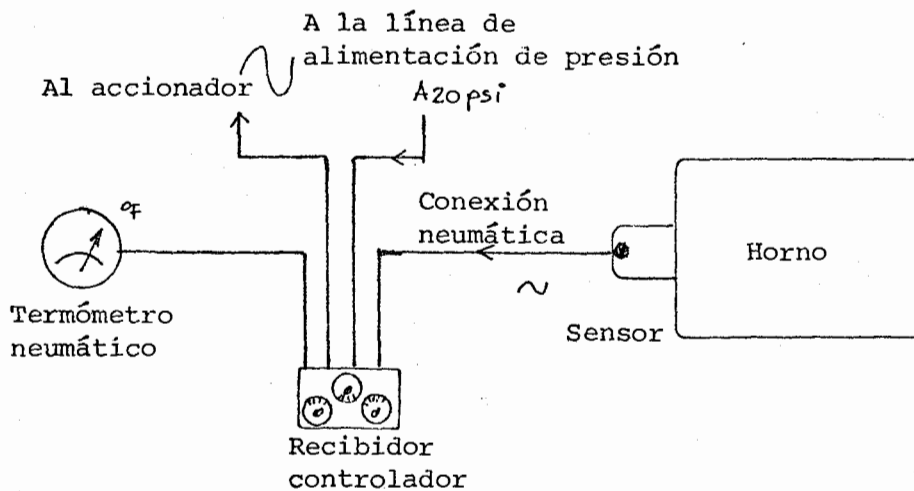


FIGURA 4-27.- Diagrama típico de control, "tipo reverse acting".

CAPITULO 5

EVALUACION DEL PROYECTO

El presente estudio se lo recomienda como una aplicación de los de talles que resultan del proyecto o en la construcción de la planta in tegral. El fin de evaluar económicamente la inversión para esta proce sadora, es presentar un costo real no obstante al cabo de efectuar di cho proyecto, es necesario comprobar sus datos con el fin de actu al izar ciertas variaciones dentro de la economía nacional, es decir, de ter mi nar los valores numéricos relacionados a los costos de inversión y costos de producción.

Los criterios de la evaluación varían entre las distintas organi zacio nes o empresas de acuerdo a las condiciones y factores económicos, o de acuerdo a los propósitos, programas o clase de actividades a desa rrollar.

Los siguientes análisis son orientados para resolver una necesidad de aprovechamiento de la riqueza marítima, sin embargo queda liber tad pa ra los empresarios suministrar los datos adicionales posteriores o con sultar por parte de las instituciones los diferentes aspectos econó m icos de este proyecto.

5.1. ANALISIS ECONOMICO

Para evaluar objetivamente "lo necesario para instalar una proce sado ra de harina de pescado", deben obtenerse ciertos criterios, frecue nte mente, relacionados con el factor pesquero nacional, los beneficios - que podrían derivar hacia la comunidad y la competencia externa e in ter na como consecuencia del proyecto.

El campo de la ingeniería mecánica está llamado a intervenir para rea lizar los análisis críticos y real al ejecutar e instalar equipos pu-

ramente mecánicos, tal es así como el diseño del horno rotativo, su instalación y el funcionamiento final de la fábrica; durante su fase económica.

Los profesionales interesados en ejecutar y construir deben suministrar los siguientes coeficientes de evaluación para elaborar las inversiones fijas y costos de producción.

Inversiones Fijas del Proyecto

Son los activos que se realizan como denominador en la determinación del coeficiente comparativo del costo real del proyecto, presentaremos en la sección 5.4 los ANEXOS referentes desglosados en costos aproximados de los siguientes coeficientes:

ANEXO A-1. Terreno y Construcción

ANEXO A-2. Máquinas y equipos

ANEXO A-3. Otros activos

ANEXO B. Capital de Operación. Activos circulantes

ANEXO C. Ventas anuales. Ingresos

En el anexo A-2 consta la determinación del costo aproximado de la maquinaria construída y de los equipos que no se pueden fabricar en el país, pero debido a la aplicación de leyes gubernamentales se puede adquirir en el exterior con precios reducidos dentro del mercado nacional.

En el apéndice de esta tesis el lector podrá observar las características de dichos equipos, como son motores, centrífugas, calderos, - bombas, etc.

Costo de Producción

Otros de los coeficientes de evaluación correspondientes a los valores de las ventas proyectadas en la adquisición de materiales, car-

gas fabriles, etc. Nosotros los analizaremos desde el punto de vista técnico y en forma general, supliendo la necesidad de un conocedor de cuestiones económicas, sin embargo el presente costo de producción es tá basado como referencia a una evaluación de CENDES.

La fábrica debe quedar instalada, pero para revestir capitales debe funcionar, estos costos sujetos a ciertas variantes características del comercio interno y mundial, lo que se conoce como costo de producción.

En los anexos de la sección 5.4 quedarán desglosados los costos pertinentes a:

- ANEXO D-1: Materiales Directos
Materiales Indirectos
- ANEXO D-2: Mano de obra directa
- ANEXO D-3: Carga Directa
- ANEXO E: Gastos de ventas
- ANEXO F: Gastos de administración

Con los coeficientes anteriores realizaremos un estudio cuya actualización pertenece al momento de escribir esta tesis y pueden por 2 años consecutivos.

Finalmente, el costo total de la obra cubre el costo del horno, el capital de operación, la depreciación y su rentabilidad; ésto último hace factible desde el punto de vista económico el proyecto del cual es objeto esta tesis.

5.2. COSTO DEL HORNO

El horno rotativo y la cámara de mezcla tiene alrededor de 10 toneladas de acero y refractarios. El número de planchas determinado en la sección 4.7 conjuntamente con los accesorios, soldadura y construcción representa un gasto que desglosamos a continuación:

<u>Nº</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Costo Aproximado</u>
	Planchas de acero 3/8" (ASTM 540)	
	Planchas de acero 1/4" (ASTM 540)	
	lbs. de soldadura	
	pernos, tuercas	
	rodamientos	
	engranajes	
	motor eléctrico 10 HP	
	tolva y ciclón	
	inyector	
	Mano de obra (aprox. 6% del costo)	
	TOTAL APROXIMADO	S/. 450.000,00

La depreciación del horno está calculada para una duración de 20 años suponiendo un costo anual de 200.000 sucres, sin embargo en el ANEXO D-3 y sección 5.5 se dan valores en porcentajes basados en estadísticas de duración de los elementos mecánicos a fallar.

Para que el horno cumpla su función, el equipo adicional que no puede construirse en el país y que necesariamente debe adquirirlo representarán los siguientes gastos.

EQUIPO ADICIONAL

<u>Cantidad</u>	<u>Descripción</u>	<u>Costo</u>
1	Caldera de 125 BHP para generar vapor y procesar 5 toneladas de pescado	250.000
7	Tornillos sin fin con motor de 3 HP por lo menos cada uno, de velocidad variable eléctricamente.	140.000
1	Prensa y desintegradora con motor de 10 HP	
1	Cocinador continuo de vapor directo	
1	Báscula de plataforma	
1	Máquina cerradora de sacos	
	Bases, soportes, cañerías, etc.	

En caso de recuperar el aceite de pescado deberá añadirse al costo anterior

- 1 Bomba para agua cola con motor de 1 HP
- 1 Tamiz vibratorio para recuperar sólidos con motor de 1 HP.
- 3 tanques para agua prensa, aceite y alimentación de aceite (capacidad 1000 galones c/u).
- 1 Centrífuga para recuperar aceite con motor de 1 HP.
- 1 Bomba de aceite con un motor de 1 HP
- 1 Centrífuga para el acabado de aceite con motor de 1 1/2 HP
- 1 Tanque para almacenamiento (1000 galones)
- 1 Equipo ablandador de agua
- 1 Bomba para agua de la cisterna

COSTO APROXIMADO:

S/. 2'750.000

5.3. COSTO DE LA PLANTA

ANEXO A-1

El costo de la planta en sí físicamente se refiere a los rubros de inversión es decir, el anexo A-2 sumado los costos de instalación y montaje, más los valores del edificio obra civil y otros activos representa el costo de la planta sin funcionamiento. Nosotros hemos desglosado de la siguiente manera:

Terreno y construcciones

DETALLE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1 terreno	2.500 m ²	10 sucres/m ²	25.000
Construcción			
1 galpón* que contenga Bodega, espacio para fábrica y oficina.	300 m ²	2.500	750.000
TOTAL APROXIMADO:			S/. 775.000

ANEXO A-2

Costo de equipos y maquinarias	2'750.000
Costo de horno	450.000
Instalación y montaje aproximadamente 6.25% de valor de la obra.	<u>200.000</u>
	S/. 3'400.000

ANEXO A-3. OTROS ACTIVOS

Equipos y muebles de oficina	20.000
1 camioneta pick up	200.000
1 camión tanquero F-600	600.000
1 taller mecánico	100.000
1 laboratorio	50.000
organización y constitución de la empresa.	<u>200.000</u>
	S/. 1'170.000

COSTO DE LA PLANTA 0

TOTAL DE INVERSIONES FIJAS S/. 5'345.000

5.4. CAPITAL DE OPERACION **

(Para el primer mes de funcionamiento)

ANEXO B

DENOMINACION	VALOR
Materiales Directos*	1'500.000,00
Mano de obra directa*	24.000,00
Carga fabril	201.574,00
Gastos de administración	223.323,00
Gastos de ventas	46.531,25
Otros gastos	<u>40.389,33</u>
SUB-TOTAL:	S/. 2'035.817,60

** Todos estos valores son tomados dividiendo para 12 meses que contiene el año, Ver anexo D.

* Sin incluir la depreciación, habrá que actualizar si existen variaciones.

ANEXO C: VENTAS ANUALES

PRODUCTO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE TOTAL
Harina de pescado*	2400 Ton.	10.800 c/ton.	28'800.000
Aceite de pescado	<u>600 ton.</u>	6.000 c/ton.	<u>3'600.000</u>
	3.000 Ton.	SUBTOTAL:	32'400.000

* El precio fluctúa según la oferta y la demanda.

El precio máximo hasta el año pasado fue de 435 dólares U.S.A. para la exportación, sin embargo, hay que destinar el 20% de la producción al mercado nacional, por lo que hemos asumido un valor promedio de S/. 10.800 (\$ USA 400) la tonelada, pues en el mercado interno los precios son mas bajos de aquella cantidad.

5.5. DEPRECIACIONES

ANEXO D - COSTOS DE PRODUCCION

ANEXO D-1. Materiales Directos

CANTIDAD	DENOMINACION	PRECIO UNITARIO	VALOR
12000 Ton*	Pescado fresco	1500 sucres/ton.	<u>18'000.000</u>
		SUBTOTAL:	18'000.000

* Puesto en la planta (aceite S/. 2'880.000; pescado harinas 15'120.000)

ANEXO D-2. Mano de Obra directa

(Para un turno de trabajo, 8 horas diarias)

Nº	DENOMINACION	SUELDO MENSUAL	SUELDO ANUAL
1	Mecánico electricista	8.000	9.600
1	Obrero calificado	5.000	60.000
1	Ayudante guardián	<u>3.500</u>	<u>42.000</u>
3		165.000	198.000
Aporte al IESS (10.5%)			20.790
Décimo tercero			16.500
Décimo cuarto y quinto			33.000
Fondo de reserva			<u>16.500</u>
SUB-TOTAL			284.790

ANEXO D-3. Carga Fabril

a) Mano de obra indirecta

Nº	DENOMINACION	SUELDO MENSUAL	SUELDO ANUAL
1	Jefe de producción	18.000	216.000
1	Laboratorista	<u>3.500</u>	<u>42.000</u>
		21.500	258.000
Aporte al IESS (10.5%)			27.090
Décimo tercero			215.000
Décimo cuarto y quinto			43.000
Fondo de reserva			<u>21.500</u>
SUB-TOTAL			371.090

b) Materiales Indirectos

DETALLE	CANTIDAD	PRECIO	VALOR
Sacos de plástico	48.000	5 c/saco	240.000
Hilos y grapas	----	----	<u>10.000</u>
SUB-TOTAL			250.000

c) Depreciaciones

DETALLES	VALIDEZ Años	COSTO TOTAL Sucres	COSTO ANUAL Sucres
Edificio y construcción.	25	775.000	31.000
Maquinarias y Equipos.	20	4'000.000	200.000
Taller mecánico	10	200.000	20.000
Laboratorio	5	50.000	10.000
Imprevistos e instalación.	5	250.000	25.000
SUB-TOTAL		5'275.000	286.000

d) Reparación y mantenimiento

25% del valor de la maquinaria instalada	700.000
10% valor del edificio y construcción	80.000
SUB-TOTAL	780.000

e) Repuestos

5% del valor de la maquinaria	225.000
SUB-TOTAL	225.000

f) Suministros y gastos varios indirectos

DETALLE	CANTIDAD	PRECIO	VALOR
Energía eléctrica y luz	32000 Kw-h	1.70 Kw-h	60.000
Agua	6000 m	10 S/-m	60.000
Combustible Bunker	816.000 gal.	3,50 S/-gal.	285.600
Resinas para ablandadores	—	—	30.000
Grasas y lubricantes.	—	—	25.000
Desinfectantes	—	—	10.000
Utiles de limpieza	—	—	5.000
SUB-TOTAL			475,600

g) Seguros

10% valor de maquinaria y equipo
de construcción

450.000

SUB-TOTAL

450.000

b) Imprevistos y diversos

8% del costo total de producción

(Ver total de depreciación sección 5.5)

1'800.000

SUB-TOTAL

1'800.000

TOTAL ANUAL COSTO DE PRODUCCION: 22'922.480

ANEXO E: GASTOS DE VENTASa) Sueldos y salarios

CARGO	Nº	MENSUAL	ANUAL
Jefe de ventas	1	10.000	120.000
Chofer de tanquero	1	4.800	57.600
			177.600
Aporte al IESS (10.5%)			18.650
Décimo tercero			14.800
Décimo cuarto y quinto			29.600
Fondo de reserva			14.800
		SUB-TOTAL	255.450

b) Depreciación y otros

Depreciación de camión tanquero	60.000
Mantenimiento de camión	60.000
Seguro de camión	60.000
Gastos de representación y	
Comisiones	1'250.000
Propaganda y publicidad (0.0005% de ventas)	20.000

SUBTOTAL GASTOS DE VENTAS: 1'450.000

TOTAL ANUAL GASTOS DE VENTAS: 1'705.450

ANEXO F. GASTOS DE ADMINISTRACIONa) Sueldos y salarios

PUESTO	MENSUAL	ANUAL
1 secretaria-contadora	6.250	75.000
1 mensajero	2.500	30.000
		<u>105.000</u>
Aporte al IESS (10.5%)		11.025
Décimo tercero		8.450
Décimo cuarto y quinto		16.900
Fondo de reserva		<u>8.450</u>
	SUB-TOTAL	149.825

b) Inmuebles de oficina

DETALLES	VALOR ANUAL
1 alquiler oficina (ciudad)	60.000
Servicio de luz y teléfono (telex)	7.600
Utiles, papeles de oficina	20.000
Muebles y equipos de radio comunicación	<u>100.000</u>
	SUB-TOTAL
	187.600

c) Depreciaciones de inmuebles

DETALLE	AÑOS DE DURACION	VALOR
Muebles equipo radio	5	10.000
Depreciación camioneta	5	200.000
Mantenimiento camioneta	-	50.000
Seguros camioneta y oficina	-	40.000
Organización y constitución	-	20.000
Imprevistos		<u>25.000</u>
	SUB-TOTAL	345.000

TOTAL ANUAL GASTOS DE ADMINISTRACION \$ 682.425,00

ANEXO G : COSTOS FINANCIEROS

La instalación y ejecución del proyecto deberá comenzar con el capital estipulado en el resumen del Anexo D, sin embargo, estos capitales que pasarán a ser activos y de reservas pueden adquirirse por medio de créditos pesqueros entre los bancos de Fomento industrial o privados, esto equivale a decir, que dichos capitales estarán sujetos a intereses dentro de un plazo de 25 años, suponiendo que al momento de conformarse una sociedad o compañía los capitales y bienes necesarios resultan la inversión exigida por la fábrica, hemos considerado lo siguiente:

por intereses, préstamo a largo plazo	16%	10'000.000	1'600.000
por intereses, préstamo hipotecario	16%	5'000.000	800.000
por intereses, préstamos bancarios a corto plazo	18%	5'000.000	900.000
		SUB-TOTAL	<u>3'500.000</u>
Amortización intereses durante la instalación (5 años)			<u>500.000</u>
TOTAL GASTOS FINANCIEROS:		S/.	4'000.000

Para graficar un estado de ganancias y pérdidas hemos establecido un diagrama que relaciona el punto de equilibrio económico para este proyecto.

5.6. COSTO TOTAL Y RENTABILIDAD

En este punto de la evaluación económica de la instalación de esta procesadora, es crítica pues los valores representados solo son muestras como parte de la justificación de este proyecto. A continuación expresamos en una tabla un resumen aproximado del estado de ganancias y pérdidas durante un año de actividades, como repetimos, solo los interesados en este proyecto deberán determinar los valores exactos para establecer un coeficiente de rentabilidad en caso que deseen financiar esta obra.

ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS
(Para el primer año de actividades)

	Importe (Suces)
Ventas netas anuales (Anexo C)	32'000.400,00
Costos de producción (Anexo D)	<u>22'922.480,00</u>
UTILIDAD BRUTA	9'477.520,00
Costos por administrar (Anexo F)	682.425,00
Costo por ventas (Anexo E)	1'705.450,00
Costos financieros (Anexo G)	<u>4'000.000,00</u>
UTILIDAD NETA (Antes del impuesto a la renta)	3'089.645,00

Rentabilidad sobre la inversión total = $\frac{3.089.645}{32.400} = 9.54\% *$

*Para una ilustración pictórica ver Fig. 5.1

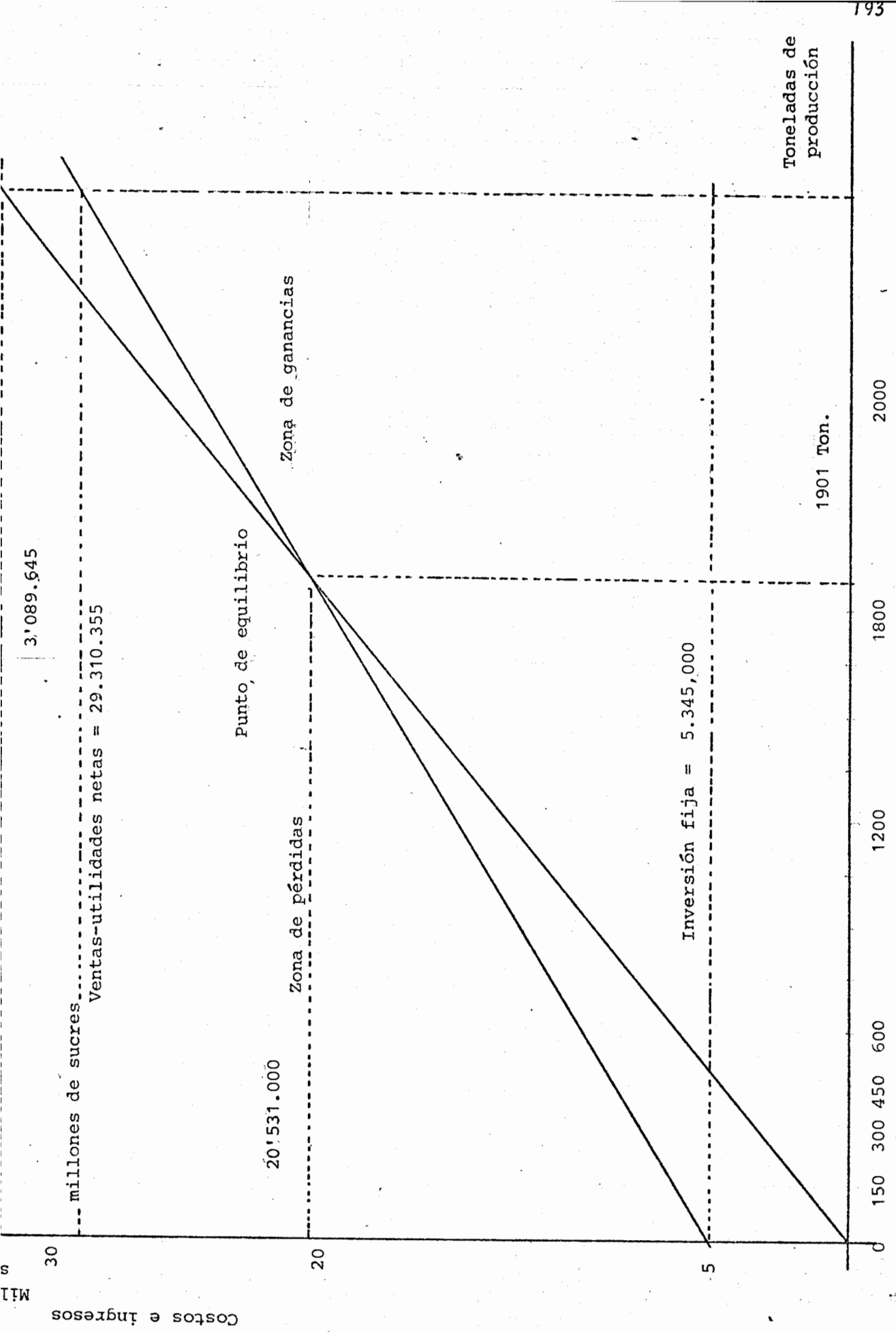


FIGURA 5.1.- DIAGRAMA DE EQUILIBRIO ECONOMICO

ANEXO D: COSTO DE PRODUCCION (1 año normal de operaciones)

CONCEPTO	COSTO DE HARINA		COSTO DE ACEITE		COSTO TOTAL	
	Sucres	% costo total	Sucres	% costo total	Sucres	% costo total
1. Materiales Directos (Anexo D-1)	15'120.000	66	2'880.000	1252	18'000.000	78.52
2. Mano de obra Directa (Anexo D-2)	209.150	0.93	75.640	0.32	284.790	1.25
3. Carga Fabril (Anexo D-3)						
a) Mano de obra Indirecta.	185.545	0.81	185.545	0.81	371.090	1.62
b) Materiales Indirectos	250.000	1.09	--		250.000	1.09
c) Reparación y mantenimiento.	585.000	2.55	195.000	0.85	780.000	3.40
d) Repuestos	150.000	0.67	75.000	0.32	225.000	0.99
e) Depreciación.	214.500	0.93	71.500	0.31	286.000	1.24
f) Suministros y gastos indirectos.	295.000	1.28	180.600	0.8	475.600	2.08
g) Seguros	340.000	1.48	110.000	0.48	450.000	1.96
h) Imprevistos 8% costo total.	1'145.450	5	654.550	2.85	1'800.000	7.85
T O T A L	18'500.000	80.74	4'442.480	19.26%	22'922.480	100 %

COSTO DE PRODUCCION POR TONELADA DE HARINA: S/. $\frac{18'500.000}{2.400}$ 7.708 S/ tonelada

COSTO DE PRODUCCION TONELADA POR ACEITE: $\frac{4'422.480}{600} = 7.370$ S/./Tonelada*

*Para comparación ver costo de ventas ANEXO C de este mismo capítulo

CAPITULO 6

APLICACIONES

Dentro de las consideraciones socio-económicas que repercuten al ejecutarse este proyecto hemos creído conveniente detallar su justificación analizada anteriormente, concretando puntos que involucran las ventajas de esta nueva instalación. Dentro del conocimiento sobre pesca industrial y procesamiento, puntualizaremos lo siguiente:

- a) El beneficio social a conseguirse
- b) La descontaminación ambiental
- c) Tesis cuyo contenido reaplica directamente a un nexo entre una cooperativa pesquera y la planta.

Los tres puntos desglosados influyen fuertemente en un esquema de organización para las instalaciones pesqueras hasta ahora imprescindibles.

En el capítulo 1 se esbozó dentro de la factibilidad un desarrollo todavía inexplorado y mal organizado por el gobierno nacional y las industrias que existen en la Costa Ecuatoriana. La mayoría de técnicos que operan e instalan plantas son extranjeros, mientras que técnicos nacionales exigen garantías para explotar lo que es nuestro - por derecho, sin embargo se dictan leyes que limitan la explotación, monopolizando la industria pesquera para las empresas ya existentes.

Desde luego que el desarrollo de la tecnología pesquera es imposible sin el conocimiento de la cantidad de reservas de peces y del régimen de explotación. No es fin de esta tesis demostrar las bases teóricas de la pesca y determinar la posibilidad de captura óptima del pez, pero sí, recalcar hasta que punto, de la economía nacional y clase social pueden ser beneficiadas por las consecuencias correctas de estas instalaciones.

6.1. BENEFICIO SOCIAL

Entre los objetivos de la producción de harina de pescado está la de solventar las crisis alimenticias como una nueva fuente de proteínas animal.

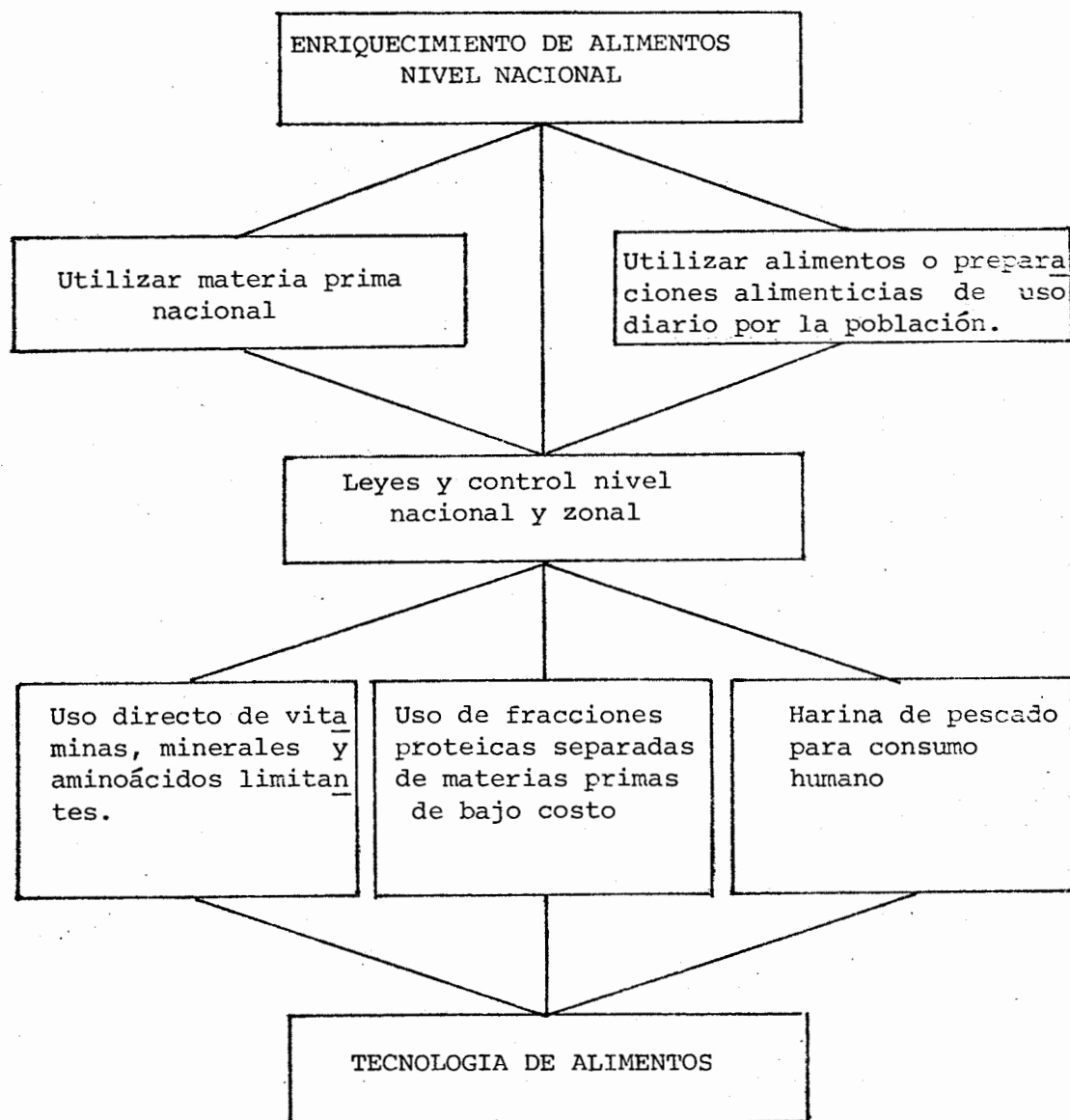
El crecimiento y desarrollo físico e intelectual del niño y su influencia en su estado de salud, capacidad de aprendizaje y productividad futura.

Debe recurrirse a sistemas publicitarios por parte del Ministerio de Salud y Ministerio de Educación sobre una nueva fuente de alimentos ricos en proteínas que suple a otros alimentos nutrientes deficitarios de las dietas habituales. La campaña debe realizarse en zonas periurbanas y rurales. Se hace necesario que esta promoción educativa de alimentos va a favorecer su consumo y va a repercutir socialmente ya sea por la prevención de la mal nutrición y enfermedades carenciales sobre todo para quitar ideas equivocadas acerca de los alimentos marinos.

Los primeros pasos para entrar a iniciar la campaña son:

- a) Estudiar la marcha de empresas de tecnología e industrias de alimentos y colaborar con los rectores de producción, en general, de alimentos de toda índole estableciendo normas, reglamentos y control de calidad y precios en concordancia con las decisiones del Instituto de Normalización INEN.
- b) Establecer en las escuelas primarias, y secundarias dentro de la asignatura de nutrición nociones básicas de alimentación marina, el aprovechamiento de la harina y aceite de pescado mediante material que incentive el interés, como son métodos audiovisuales.
- c) Dentro de las limitaciones económicas de las familias, la harina de pescado y banano son las más baratas comparado con otros ali

En el siguiente cuadro presentamos esquemáticamente la consideración que se ha hecho sobre la harina de pescado, por las más importantes instituciones mundiales que estudian la Nutrición Humana (FAO).



CUADRO 6-1. Nutrición humana, Programa Educativo de un plan para aprovechar el consumo de harina de pescado.

mentos que disponen de menor cantidad de proteínas.

d) Los beneficios económicos van ligados siempre con los beneficios sociales pero fueron analizados en la sección 1.3 detallados con sus ventajas y desventajas sobre el trabajo, educación, y consecuencia para un desarrollo artesanal y técnico.

6.1.a. Descontaminación ambiental

"La materia mientras vive, es materia organizada, muerta, no es mas que materia orgánica. Las células que forman la materia organizada, tienen vida, movimiento propio, una orientación que las imprime energía vital, gracias a la cual, la célula lucha contra células parasitarias que intentan destruirla".

"Pero cuando la materia muere, las células sin vida no resisten ya a los parásitos, produciéndose entonces las transformaciones químicas llamadas fermentación, putrefacción, etc." (tomado de la "industria de la pesca" por Fernando Jiménez de Cisneros, Editorial Nascimento Santiago, Chile 1943).

Todas las industrias pesqueras ubicadas en la Costa Ecuatoriana, botan los desechos a pampa libre y en los ríos (cabezas, intestinos, etc..) que no se utilizan en la fabricación de enlatados, luego, la humedad, el calor y la falta absoluta de otras sustancias preventivas estimulan la propagación de malos olores por la formación de microorganismos patógenos.

En resumen, la contaminación ambiental producida en las materias orgánicas debido a la presencia de gérmenes de corrupción durante esos procesos, (base de la alimentación humana), se manifiestan con los siguientes cambios:

- a) Coloración, representada por la decoloración de los productos coloreados y oscurecimiento de los de color claro.
- b) Alteración del gusto que se manifiesta por la aparición de sabor amargo, picante o ácido.
- c) Alteración del olor, manifestado por la presencia de malos olores, desagradables y extraños que destruyen el olor propio del producto y se propagan alrededor atrayendo aves de rapiña, roedores, etc.
- d) Disminución del aroma propio o transformación de éste y otro.

Según se manifiesten otros factores climáticos como son la humedad y la temperatura pueden manifestarse para el cuidado del producto lo siguiente:

- a) Formación de mohos, en la totalidad de la superficie o en la totalidad de la masa, acusados por la aparición de puntitos radiantes.
- b) Fermentación, aparición de espumas, formación de alcohol, desprendimiento de anhídrido carbónico, separación de levaduras y acidificación.
- c) Formación de mohos flotantes, que recubren el producto, constituyendo masas de levaduras flotantes untuosas parecidas al moho.
- d) Putrefacción, coloración en presencia de aire, aparición de líquidos y gases mal olientes.
- e) Descomposición en sus elementos con acceso mas o menos limitado del aire.

Entre los casos comprobados y denunciados a las instituciones respectivas, en la zona de Monteverde (Santa Elena), Chanduy, San Pablo y Santa Rosa, la contaminación por descomposición de desperdicios de alimentos procedentes del pescado es incontrolable, y la única solu-

ción, es la de procesar aquellos desperdicios, es decir, se debería industrializar para producir una harina de pescado para alimentos balanceados.

En el segundo grupo de factores enunciados*, la contaminación se reduce notablemente hasta un 90%, los otros 10% son gases y vapores desodorizados que no se pueden evitar.

El control de calidad de la harina de pescado en los factores enumerados es muy importante y exige presentar el producto limpio y sin olor, para ello existe en el mercado; aditivos especiales contra la putrefacción inflamación y conservan el producto almacenados en silos por 8 meses consecutivos.

Instalar estas plantas, disminuye en alto porcentaje de contaminación producida por la propagación de malos olores, sin embargo, en la costa ecuatoriana es necesario, pues existen balnearios que no deben tolerar la existencia de desperdicios en sus playas, por lo menos, cuando se habla de recursos y desarrollo turístico.

6.1.b. Equipo para cooperativa pesquera

La transformación industrial de la pesca marítima, ha puesto cada día de manifiesto la ineludible necesidad de ayudar al fomento pesquero y al desarrollo de industrias con el aporte valioso de las Escuelas de pesquerías y otras organizaciones por parte del Estado. No basta con la colaboración del constructor naval, del mecánico, del técnico pescador del conservero y de otros ligados a estas actividades. Hemos creído conveniente dictar ideas nuevas para este campo de la pesca, abrir amplios horizontes para las cooperativas

* En las plantas procesadoras de harina de pescado, el cocinador continuo y tonos condensadores evaporativos eliminan por calentamiento y enfriamiento los microorganismos. Durante la desecación, el ahumado, la acidificación y la adición de productos químicos.

pesqueras que existen a lo largo de la Costa Ecuatoriana. Esto se debe, como sugerencia de la continua explotación económica a la que se ven avocados los pescadores, por los grandes monopolistas - de esta industria en su mayoría extranjeros.

Muchos países tienen perfectamente organizado un servicio científico, dedicado a la pesca, que abarca en toda su amplitud las cuestiones, tanto técnicas como económicas al servicio de los verdaderos pescadores.

Entendemos, por esto, las facilidades que deben revestir de excepcional importancia mediante la acción directa del Estado que debe promulgar y resolver reglamentos precisos con una verdadera base, para el desarrollo de la pesca marítima.

En primer lugar, el estado, a través de las instituciones respectivas debe atender a la siguiente reglamentación.

1. Ejercicio del derecho de la pesca para los nacionales, dentro de las aguas nacionales y en alta mar.
2. De los métodos de pesca.
3. Del servicio de la policía marítima

Estos 3 factores incentivan a las cooperativas pesqueras a aprovechar mayormente sus recursos sin depender de las circunstancias que le aplican las grandes industrias.

En todo esto queremos afirmar que el volumen de captura pasen a industrializar los mismos pescadores ecuatorianos desde luego, con la asistencia técnica de ingenieros especializados, por parte del Estado.

Las Escuelas de pesquerías deben asesorar en todo lo relativo a la

pesca, de ello depende un mejor rendimiento en la entrada de divisas al procesar nosotros mismos la harina de pescado y todos sus derivados. Un nexo de la empresa es incrementar las flotas pesqueras y fundar en cada punto clave de la costa instalaciones para producir enlatados, harina y aceite de pescado.

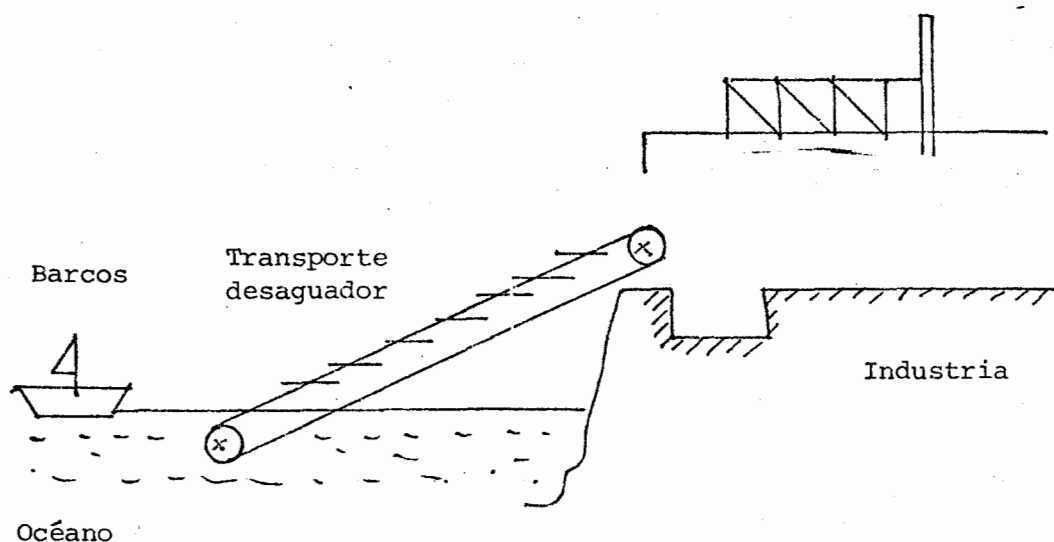


FIGURA 4-2.- El transporte desaguador es el nexo entre la captura y el procesamiento dentro de la empresa para una cooperativa pesquera.

Finalmente, queremos recalcar la agilidad que deben disponer las instituciones de crédito pesquero cuya finalidad alcanza a facilitar a las personas interesadas en la industria pesquera, en el orden económico. Mencionamos que al momento de escribir esta tesis, la Subsecretaría de pesca funciona directamente en la ciudad de Guayaquil, lugar adecuado para ejecutar los trámites en cuanto a licencias para instalación y operación de las industrias de este tipo.

El crédito pesquero debe funcionar a través de cajas locales tal como lo es el banco de Fomento, debidamente reglamentadas. Los créditos podrían amortizarse en plazos de 20 a 25 años para la construcción de estas plantas.

Si por el momento las cooperativas no pueden luchar en el terreno comercial, al menos, deben ser ayudados por el Crédito pesquero, para trabajar en igualdad de condiciones tal como lo hacen los grandes - industriales.

El Crédito pesquero, debe ser una institución democrática de un valor efectivo, cuya acción social, positiva, está de manifiesto con el adelanto en el aprovechamiento de los recursos naturales.

6.2. RECOMENDACIONES PARA LA INSTALACION

La instalación de maquinaria es un problema bastante amplio si se toma en cuenta la diversificación de máquinas que se encuentran y las características particulares de cada uno de ellos siendo los factores principales; las dilataciones térmicas y las vibraciones.

En lo que se refiere al primer factor, este juega un papel importante especialmente cuando se trata de máquinas que trabajan a temperaturas diferentes de la temperatura ambiente. Para el caso nuestro, el horno rotativo, la caldera, y el cocinador continuo. Para el segundo caso, el horno rotativo, las centrífugas, bombas y transportadores SIN FIN.

Un curso de instalación y montaje industrial daría al lector una información completa acerca de las consideraciones para cada caso, sin embargo, recomendamos lo siguiente:

1. Los suelos y soportes deben ser de hormigón armado con vigas de hierro.

2. La fundación en máquinas que vibran deben tener una masa a veces mucho mayores que no permitan vibrar a ninguna frecuencia, generalmente puede calcularse de acuerdo a:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}}$$

donde m es la masa de la fundación y f la posible frecuencia límite mas baja que no de lugar a vibrar.

3. Para los esfuerzos debe disponerse de emparrillados de acero que refuercen a soportar cualquier esfuerzo dinámico.
4. La calidad en ejecución de los trabajos de montaje deberán exigirse que estén de acuerdo a las normas establecidas en el diseño puesto que se tomarán en cuenta en la construcción y su cuidadosa instalación hará que la obra dure años sin problemas de operación ni excesivos costos de mantenimiento.

6.3. CONCLUSIONES

Todo proyecto analizado desde el punto de la factibilidad representa un grupo de conocimientos resumidos, de donde el Ingeniero y el inversionista pueden darse un concepto rápido de las instalaciones.

En la presente tesis hemos querido concluir, recalcando ciertos factores que fueron analizados anteriormente, pero que son fundamentales para llevar a efecto un proyecto que tiene repercusión social y económica.

El diseño de un horno rotativo no es un difícil caso, pero se plantea ya la necesidad de construirlo y calcularlo por nuestros propios medios, disponemos de la tecnología, debemos explotar nuestros recursos, debemos aplicar nuestros conocimientos al servicio del país y de las grandes mayorías.

El diseño de un horno rotativo no es solamente armar y soldar piezas, sino tener la convicción y la confianza de que tal máquina y su instalación funcionen con tecnología nacional.

La planta analizada en los capítulos 5 y 6 representa la estructura donde se alojará y funcionará el horno, y demás implementos estudiados en esta tesis. Queremos recalcar que la materia prima existe y en abundancia, la fábrica funcionará con materia escogida del mar y con desperdicios de fábricas adyacentes. Nosotros estamos en capacidad para encontrar una nueva fuente de progreso y desarrollo técnico.

Con todo el preámbulo anterior solo nos queda afirmar que:

1. La instalación de estas industrias debe estar regulada sin ser monopolizada de manera de aprovechar todo los recursos marinos y que sirvan de provecho para los que ejecutan esas actividades (cooperativas pesqueras).
2. Las condiciones de intensificación de producción debe exigir una moderada reserva de peces que habitan en la plataforma continental, de manera que no se adquieran el mismo caso de Chile y Perú.
3. La instalación del horno rotativo es trabajo mecánico para talleres artesanales ubicados a fundarse a lo largo de la Costa Ecuatoriana, estos pueden convertirse en pequeños astilleros navales.
4. Recomendamos esta instalación para los puestos pesqueros pequeños a desarrollarse por el Ministerio de Recursos Naturales.
5. Toda esta instalación deberá ser fabricada en Ecuador a excepción de máquinas cuya producción no se la ejecute, como bombas, motores, etc.

6. Una planta de 5 toneladas horas en cada pequeño puesto es más conveniente antes que tenerla concentrada en un solo puesto, es ta idea permite la manipulación y mantenimientos de secadores - sin tener que parar una gran planta.

APENDICE

El contenido de esta sección es presentar los diversos formularios tablas y catálogos comerciales de los que se ha hecho referencia durante el transcurso descriptivo de los capítulos. El orden de aparición está determinado en el temario de la tesis y se ha agrupado a cada sección de manera que preste una fácil consulta para el lector. Cada subsección también detalla las figuras que se alude.

TABLA PARA VAPOR DE AGUA AIRE Y GASES

Figura A-1 : Los valores de presión y temperatura para el vapor de agua - puede variar los procesos de cocido de una masa orgánica. La entalpía representará la condición puntual del vapor y su diferencia nos indicará la energía necesaria que se debe aportar al cocinador continuo para cocer el pescado. (Ver capítulo 4, selección de la caldera y cocinador.)

Figura A-2 : Tablas para aire húmedo de suma utilidad para comprobar la cantidad de aire caliente sea con disponibilidad para absorber la humedad-desalojada por el producto una vez que esta dentro del horno rotativa. Sabiendo las condiciones finales e iniciales del aire y del producto el proceso se comporta como si fuera un "Intercambiador de Calor".

Figura A-3 : Tablas de gases: Los valores necesarios para determinar la cantidad de combustible y aire para producir la combustión que generará el calor y los gases calientes de acuerdo a las relaciones Combustible - Aire y porcentaje de aire fresco en la reacción.

Figura A-4 : Muestra las porciones de hidrocarburos ligeros y fracciones de petróleo.

GRAFICOS Y CATALOGOS DE EQUIPOS ADICIONALES

Presenta una miscelánea simplificada de los diversos constantes y factores de conversión de los sistemas de unidades utilizados, las tablas de la Sociedad Americana de Soldadura.

Figura A-5 : Conductividades térmicas de aislantes necesarios para dimensionar el aislamiento del horno y reducir a un mínimo la fuga de calor.

Figura A-6 : Tabla de Conversión de Unidades de métricas a inglesas y viceversa.

Figura A-7 : Simbología para indicar soldaduras de la ASW.

Figura A-8 : Selección del temario de rodamiento tomado de un catálogo de la casa SKF. El empleo práctico predice la duración de un rodamiento a bolas y rodillos.

Figura A-9 : Hoja Catálogo Comercial de la Casa TRANE para seleccionar un ventilador y extractor para el inyector quemador y el ciclón respectivamente. La potencia de los motores de estas unidad estan en función del factor de forma y de la densidad: la sustancia a transportar.

Figura A-10 : Curves de rendimiento de bombas para fluidos líquidos de la casa comercial PACO PUMPS. C. LTDA. La figura es muy práctica para seleccionar con presión y caudal el modelo de la bomba.

Figura A-11 : Selección de un caldero a diversas condiciones sabiendo diferentes parámetros de funcionamiento.

Figura A-12 : Características físicas de algunos materiales entre los que está la densidad de la harina de pescado.

Figura A-13 : Resumen de diversos secadores aludidos en el capítulo 2 de esta tesis; se comparán parámetros y rendimientos así como los productos-indicados para secado.

PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL VAPOR DE AGUA
VAPOR SATURADO SECO: TABLA DE PRESION*

Presión absoluta, lb/plg ² , p	Temperatura, °F, t	Vol. específico		Entalpía			Entropía			Energía interna		Presión absoluta, lb/plg ² , p
		Líquido saturado, v _f	Vapor saturado, v _g	Líquido saturado, h _f	Evaporación, h _{fg}	Vapor saturado, h _g	Líquido saturado, s _f	Evaporación, s _{fg}	Vapor saturado, s _g	Líquido saturado, u _f	Vapor saturado, u _g	
1.0	101.74	0.01614	333.6	69.70	1036.3	1106.0	0.1326	1.8456	1.9782	69.70	1044.3	1.0
2.0	126.08	0.01623	173.73	93.99	1022.2	1116.2	0.1749	1.7451	1.9200	93.98	1051.9	2.0
3.0	141.48	0.01630	118.71	109.37	1013.2	1122.6	0.2008	1.6553	1.8863	109.36	1056.7	3.0
4.0	152.97	0.01636	90.63	120.86	1006.4	1127.3	0.2198	1.6427	1.8625	120.85	1060.2	4.0
5.0	162.24	0.01640	73.52	130.13	1001.0	1131.1	0.2347	1.6094	1.8441	130.12	1063.1	5.0
6.0	170.06	0.01645	61.98	137.96	996.2	1134.2	0.2472	1.5820	1.8292	137.94	1065.4	6.0
7.0	176.85	0.01649	53.64	144.76	992.1	1136.9	0.2581	1.5586	1.8167	144.74	1067.4	7.0
8.0	182.86	0.01653	47.34	150.79	988.5	1139.3	0.2674	1.5383	1.8057	150.77	1069.2	8.0
9.0	188.28	0.01656	42.40	156.22	985.2	1141.4	0.2759	1.5203	1.7962	156.19	1070.8	9.0
10	193.21	0.01659	38.42	161.17	982.1	1143.3	0.2835	1.5041	1.7876	161.14	1072.2	10
14.696	212.00	0.01672	26.80	180.07	970.3	1150.4	0.3120	1.4446	1.7566	180.02	1077.5	14.696
15	213.03	0.01672	26.29	181.11	969.7	1150.8	0.3135	1.4415	1.7549	181.06	1077.8	15
20	227.96	0.01683	20.039	196.16	960.1	1156.3	0.3356	1.3962	1.7319	196.10	1081.9	20
25	240.07	0.01692	16.303	208.42	952.1	1160.6	0.3533	1.3606	1.7139	208.34	1085.1	25
30	250.33	0.01701	13.746	218.82	945.3	1164.1	0.3680	1.3313	1.6993	218.73	1087.8	30
35	259.28	0.01708	11.898	227.91	939.2	1167.1	0.3807	1.3063	1.6870	227.80	1090.1	35
40	267.25	0.01715	10.498	236.03	933.7	1169.7	0.3919	1.2844	1.6763	235.90	1092.0	40
45	274.44	0.01721	9.401	243.36	928.6	1172.0	0.4019	1.2650	1.6669	243.22	1093.7	45
50	281.01	0.01727	8.515	250.09	924.0	1174.1	0.4110	1.2474	1.6585	249.93	1095.3	50
55	287.07	0.01732	7.787	256.30	919.6	1175.9	0.4193	1.2316	1.6509	256.12	1096.7	55
60	292.71	0.01738	7.175	262.09	915.5	1177.6	0.4270	1.2168	1.6438	261.90	1097.9	60
65	297.97	0.01743	6.655	267.50	911.6	1179.1	0.4342	1.2032	1.6374	267.29	1099.1	65
70	302.92	0.01748	6.206	272.61	907.9	1180.6	0.4409	1.1906	1.6315	272.38	1100.2	70
75	307.60	0.01753	5.816	277.43	904.5	1181.9	0.4472	1.1787	1.6259	277.19	1101.2	75
80	312.03	0.01757	5.472	282.02	901.1	1183.1	0.4531	1.1676	1.6207	281.76	1102.1	80
85	316.25	0.01761	5.168	286.39	897.8	1184.2	0.4587	1.1571	1.6158	286.11	1102.9	85
90	320.27	0.01766	4.896	290.56	894.7	1185.3	0.4641	1.1471	1.6112	290.27	1103.7	90
95	324.12	0.01770	4.652	294.56	891.7	1186.2	0.4692	1.1376	1.6068	294.25	1104.5	95
100	327.81	0.01774	4.432	298.40	888.8	1187.2	0.4740	1.1286	1.6026	298.08	1105.2	100
110	334.77	0.01782	4.049	305.66	883.2	1188.9	0.4832	1.1117	1.5948	305.30	1106.5	110
120	341.25	0.01789	3.728	312.44	877.9	1190.4	0.4916	1.0962	1.5878	312.05	1107.6	120
130	347.32	0.01796	3.455	318.81	872.9	1191.7	0.4995	1.0817	1.5812	318.38	1108.6	130
140	353.02	0.01802	3.220	324.82	868.2	1193.0	0.5069	1.0682	1.5751	324.35	1109.6	140
150	358.42	0.01809	3.015	330.51	863.6	1194.1	0.5138	1.0556	1.5694	330.01	1110.5	150
160	363.53	0.01815	2.834	335.93	859.2	1195.1	0.5204	1.0436	1.5640	335.39	1111.2	160
170	368.41	0.01822	2.675	341.09	854.9	1196.0	0.5266	1.0324	1.5590	340.52	1111.9	170
180	373.06	0.01827	2.532	346.03	850.8	1196.9	0.5325	1.0217	1.5542	345.42	1112.5	180
190	377.51	0.01833	2.404	350.79	846.8	1197.6	0.5381	1.0116	1.5497	350.15	1113.1	190
200	381.79	0.01839	2.288	355.36	843.0	1198.4	0.5435	1.0018	1.5453	354.68	1113.7	200
250	400.95	0.01865	1.8438	376.00	825.1	1201.1	0.5675	0.9588	1.5263	375.14	1115.8	250
300	417.33	0.01890	1.5433	393.84	809.0	1202.8	0.5879	0.9225	1.5104	392.79	1117.1	300
350	431.72	0.01913	1.3260	409.69	794.2	1203.9	0.6056	0.8910	1.4966	408.45	1118.0	350
400	444.59	0.0193	1.1613	424.0	780.5	1204.5	0.6214	0.8630	1.4844	422.6	1118.5	400
450	456.28	0.0195	1.0320	437.2	767.4	1204.6	0.6356	0.8378	1.4734	435.5	1118.7	450
500	467.01	0.0197	0.9278	449.4	755.0	1204.4	0.6487	0.8147	1.4634	447.6	1118.6	500
550	476.94	0.0199	0.8424	460.8	743.1	1203.9	0.6608	0.7934	1.4542	458.8	1118.2	550
600	486.21	0.0201	0.7698	471.6	731.6	1203.2	0.6720	0.7734	1.4454	469.4	1117.7	600
650	494.90	0.0203	0.7083	481.8	720.5	1202.3	0.6826	0.7548	1.4374	479.4	1117.1	650
700	503.10	0.0205	0.6554	491.5	709.7	1201.2	0.6925	0.7371	1.4296	488.8	1116.3	700
750	510.86	0.0207	0.6092	500.8	699.2	1200.0	0.7019	0.7204	1.4223	498.0	1115.4	750
800	518.23	0.0209	0.5687	509.7	688.9	1198.6	0.7108	0.7045	1.4153	506.6	1114.4	800
850	525.26	0.0210	0.5327	518.3	678.8	1197.1	0.7194	0.6891	1.4085	515.0	1113.3	850
900	531.98	0.0212	0.5006	526.6	668.8	1195.4	0.7275	0.6744	1.4020	523.1	1112.1	900
950	538.43	0.0214	0.4717	534.6	659.1	1193.7	0.7355	0.6602	1.3957	530.9	1110.8	950
1000	544.61	0.0216	0.4456	542.4	649.4	1191.8	0.7430	0.6467	1.3897	538.4	1109.4	1000
1100	556.31	0.0220	0.4001	557.4	630.4	1187.8	0.7575	0.6205	1.3780	552.9	1106.4	1100
1200	567.22	0.0223	0.3619	571.7	611.7	1183.4	0.7711	0.5956	1.3607	566.7	1103.0	1200
1300	577.46	0.0227	0.3293	585.4	593.2	1178.6	0.7840	0.5719	1.3559	580.0	1099.4	1300
1400	587.10	0.0231	0.3012	598.7	574.7	1173.4	0.7963	0.5491	1.3454	592.7	1095.4	1400
1500	596.23	0.0235	0.2765	611.6	556.3	1167.9	0.8082	0.5269	1.3351	605.1	1091.2	1500
2000	635.82	0.0257	0.1878	671.7	463.4	1135.1	0.8619	0.4230	1.2849	662.2	1065.6	2000
2500	668.13	0.0287	0.1307	730.6	300.5	1091.1	0.9126	0.3197	1.2322	717.3	1030.6	2500
3000	695.36	0.0346	0.0858	802.5	217.8	1020.3	0.9731	0.1885	1.1615	783.4	972.7	3000
3206.2	705.40	0.0303	0.0503	902.7	0	902.7	1.0580	0	1.0580	872.0	872.0	3206.2

* Condensada de "Thermodynamic Properties of Steam", por Joseph H. Keenan y Frederick G. Keyes. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1937.

FIGURA A-1

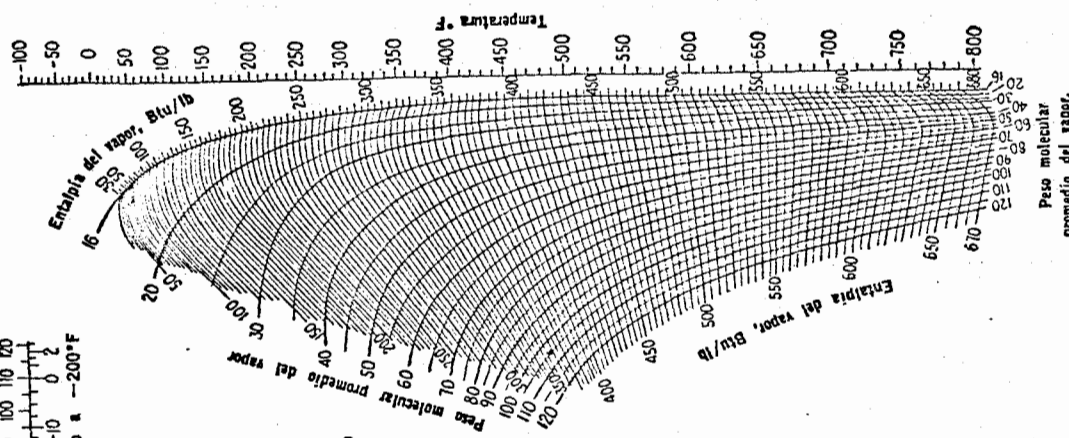
PROPIEDADES TERMODINAMICAS DEL AIRE HUMEDO (14.696 PSIA) (continuación)

Relación de humedad W_e	Volumen pies ³ /lb de aire seco			Entalpia Btu/lb de aire seco			Entropia Btu por (R)(lb de aire seco)		
	v_a	v_{aa}	v_e	h_a	h_{aa}	h_e	s_a	s_{aa}	s_e
0,1308	14,990	3,132	18,122	32,452	146,4	178,9	0,06189	0,2614	0,3233
0,1350	15,016	3,237	18,253	32,692	151,2	183,9	0,06229	0,2695	0,3318
0,1393	15,041	3,348	18,389	32,933	156,1	189,0	0,06270	0,2778	0,3405
0,1439	15,066	3,462	18,528	33,174	161,2	194,4	0,06310	0,2865	0,3496
0,1485	15,091	3,580	18,671	33,414	166,5	199,9	0,06350	0,2954	0,3589
0,1534	15,117	3,702	18,819	33,655	172,0	205,7	0,06390	0,3047	0,3686
0,1584	15,142	3,829	18,971	33,896	177,7	211,6	0,06430	0,3142	0,3785
0,1636	15,167	3,961	19,128	34,136	183,6	217,7	0,06470	0,3241	0,3888
0,1689	15,192	4,098	19,290	34,377	189,7	224,1	0,06510	0,3343	0,3994
0,1745	15,218	4,239	19,457	34,618	196,0	230,6	0,06549	0,3449	0,4104
0,1803	15,243	4,386	19,629	34,859	202,5	237,4	0,06589	0,3559	0,4218
0,1862	15,268	4,539	19,807	35,099	209,3	244,4	0,06629	0,3672	0,4335
0,1924	15,293	4,698	19,991	35,340	216,4	251,7	0,06669	0,3790	0,4457
0,1989	15,319	4,862	20,181	35,581	223,7	259,3	0,06708	0,3912	0,4583
0,2055	15,344	5,033	20,377	35,822	231,3	267,1	0,06748	0,4038	0,4713
0,2125	15,369	5,211	20,580	36,063	239,2	275,3	0,06787	0,4169	0,4848
0,2197	15,394	5,396	20,790	36,304	247,3	283,6	0,06827	0,4304	0,4987
0,2271	15,420	5,587	21,007	36,545	255,9	292,4	0,06866	0,4445	0,5132
0,2349	15,445	5,788	21,233	36,785	264,7	301,5	0,06906	0,4591	0,5282
0,2430	15,470	5,996	21,466	37,026	273,9	310,9	0,06945	0,4743	0,5438
0,2514	15,496	6,213	21,709	37,267	283,5	320,8	0,06984	0,4901	0,5599
0,2602	15,521	6,439	21,960	37,508	293,5	331,0	0,07023	0,5066	0,5768
0,2693	15,546	6,675	22,221	37,749	303,9	341,7	0,07062	0,5237	0,5943
0,2788	15,571	6,922	22,493	37,990	314,7	352,7	0,07101	0,5415	0,6125
0,2887	15,597	7,178	22,775	38,231	326,0	364,2	0,07140	0,5600	0,6314
0,2990	15,622	7,446	23,068	38,472	337,8	376,3	0,07179	0,5793	0,6511
0,3098	15,647	7,727	23,374	38,713	350,1	388,8	0,07218	0,5994	0,6716
0,3211	15,672	8,020	23,692	38,954	363,0	402,0	0,07257	0,6204	0,6930
0,3329	15,698	8,326	24,024	39,195	376,5	415,7	0,07296	0,6423	0,7153
0,3452	15,723	8,648	24,371	39,436	390,5	429,9	0,07334	0,6652	0,7385
0,3581	15,748	8,985	24,733	39,677	405,3	445,0	0,07373	0,6892	0,7629
0,3716	15,773	9,339	25,112	39,918	420,8	460,7	0,07411	0,7142	0,7883
0,3858	15,799	9,708	25,507	40,159	437,0	477,2	0,07450	0,7405	0,8150
0,4007	15,824	10,098	25,922	40,400	454,0	494,4	0,07488	0,7680	0,8429
0,4163	15,849	10,508	26,357	40,641	471,8	512,4	0,07527	0,7969	0,8722
0,4327	15,874	10,938	26,812	40,882	490,6	531,5	0,07565	0,8273	0,9030
0,4500	15,900	11,391	27,291	41,123	510,4	551,5	0,07603	0,8592	0,9352
0,4682	15,925	11,870	27,795	41,364	531,3	572,7	0,07641	0,8927	0,9691
0,4875	15,950	12,376	28,326	41,605	553,3	594,9	0,07680	0,9281	1,0049
0,5078	15,975	12,911	28,886	41,846	576,5	618,3	0,07718	0,9654	1,0426
0,5292	16,001	13,475	29,476	42,087	601,1	643,2	0,07756	1,005	1,083
0,5519	16,026	14,074	30,100	42,328	627,1	669,4	0,07794	1,047	1,125
0,5760	16,051	14,710	30,761	42,569	654,7	697,3	0,07832	1,091	1,169
0,6016	16,076	15,386	31,462	42,810	684,1	726,9	0,07870	1,137	1,216
0,6288	16,102	16,104	32,206	43,051	715,2	758,3	0,07908	1,187	1,266
0,6578	16,127	16,870	32,997	43,292	748,5	791,8	0,07946	1,240	1,319
0,6887	16,152	17,689	33,841	43,534	783,9	827,4	0,07984	1,296	1,376
0,7218	16,177	18,565	34,742	43,775	821,9	865,7	0,08021	1,357	1,437
0,7572	16,203	19,504	35,707	44,016	862,5	906,5	0,08059	1,421	1,502
0,7953	16,228	20,513	36,741	44,257	906,2	950,5	0,08096	1,490	1,571
0,8363	16,253	21,601	37,854	44,498	953,2	997,7	0,08134	1,565	1,646
0,8805	16,278	22,775	39,053	44,740	1004	1049	0,08171	1,645	1,727
0,9283	16,304	24,047	40,351	44,981	1059	1104	0,08208	1,731	1,813
0,9802	16,329	25,427	41,756	45,222	1119	1164	0,08245	1,825	1,907
1,037	16,354	26,934	43,288	45,463	1184	1229	0,08283	1,928	2,011
1,099	16,379	28,580	44,959	45,704	1255	1301	0,08320	2,039	2,122
1,166	16,405	30,385	46,790	45,946	1332	1378	0,08357	2,161	2,245
1,241	16,430	32,375	48,805	46,187	1418	1464	0,08394	2,296	2,380
1,324	16,455	34,581	51,036	46,428	1513	1559	0,08431	2,464	2,528
1,416	16,480	37,036	53,516	46,670	1619	1666	0,08468	2,609	2,694
1,519	16,506	39,785	56,291	46,911	1737	1784	0,08505	2,794	2,879
1,635	16,531	42,885	59,416	47,153	1871	1918	0,08542	3,002	3,087
1,767	16,556	46,402	62,958	47,394	2022	2069	0,08579	3,238	3,324
1,917	16,581	50,426	67,007	47,636	2195	2243	0,08616	3,507	3,593
2,091	16,607	55,074	71,681	47,877	2395	2443	0,08653	3,817	3,904
2,295	16,632	60,510	77,142	48,119	2629	2677	0,08689	4,179	4,266

FIGURA A - 2

Peso molecular promedio de la mezcla
 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120
 -180 -150 -100 -80 -60 -40 -20 -10 0 2
 Entalpia de referencia de liquido a -200°F

Peso molecular promedio del liquido
 60 80 100 120

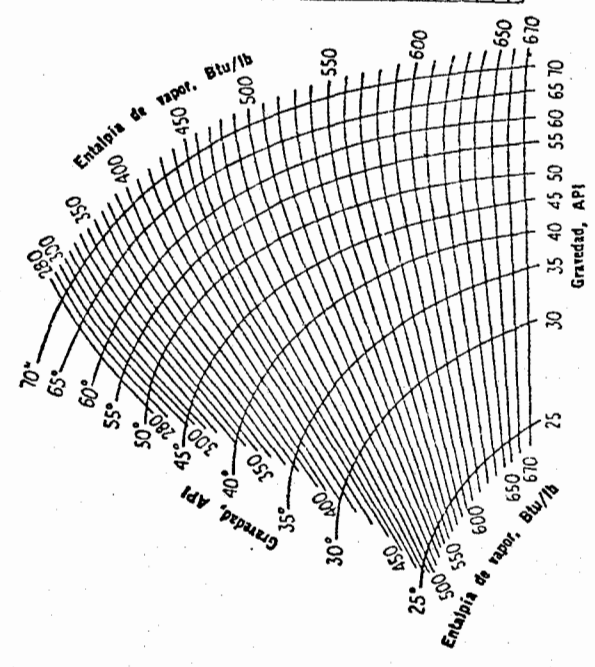


Entalpias de hidrocarburos ligeros. [Scheibel and Jenny, Ind. Eng Chem., 37, 993 (1945)]

Gravedad, API
 10 20 30 40 50 60 70
 Entalpia de referencia de liquido a -200°F
 44 40 30 20 10 0 -10 -20 -30

Gravedad del liquido
 10 20 30 40 50 60 70

Entalpia de liquido, Btu/lb
 500 450 400 350 300 250 200 150 100 50 0
 Presion, lb/pulg² abs
 1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100 0



Entalpia de fracciones de petrleo. [Scheibel and Jenny, Ind. Eng Chem., 37, 994 (1945)]

CONDUCTIVIDADES TERMICAS DE AISLANTES Y ALGUNOS
MATERIALES DE CONSTRUCCION*

$$k = \text{Btu}/(\text{h})(\text{pie}^2)(^\circ\text{F}/\text{pie})$$

Material	Densidad aparente ρ , lb/pie ³ a temperatura ambiente	°F	k
Aerogel, sílica, opacificada	8.5	248	0.013
Algodón en rama	5	86	0.024
Aluminio, hojas, 7 cavidades por 2.5 plg	0.2	100	0.025
Asbesto-cemento, láminas	120	68	0.43
Asbesto, hojas	55.5	124	0.096
Asbesto, pizarra	112	32	0.087
Asbesto	112	140	0.114
	29.3	-328	0.043
	29.3	32	0.090
	36	32	0.087
	36	212	0.111
	36	392	0.120
	36	752	0.129
	43.5	-328	0.090
	43.5	32	0.135
Asfalto	132	68	0.43
Aserrín	12	70	0.03
Aserrín .....	.....	.....	0.033-0.05
Arena, seca	94.6	68	0.19
Azufre, monoclínico .....	.....	212	0.09-0.097
Rómbico .....	.....	70	0.16
Batista, barnizada .....	.....	100	0.09
Calcio, carbonato, natural	162	86	1.3
Mármol blanco .....	.....	.....	1.7
Yeso	96	.....	0.4
Calcio, sulfato (4H ₂ O), artificial ...	84.6	104	0.22
Yeso, artificial	132	167	0.43
Construcción	77.9	77	0.25
Calderas, incrustaciones, (R.f. 364)			
Calisa (15.3 vol. % H ₂ O)	103	75	0.54
Carbón, gas .....	.....	32-212	2.0
Carbón vegetal, escamas	11.9	176	0.043
	15	176	0.051
Cartón, corrugado .....	.....	.....	0.037
Celuloide	87.3	86	0.12
Cemento Portland (véase Concreto) ..	.....	194	0.17
Ceniza de madera .....	.....	32-212	0.041
Clinker, granulado .....	.....	32-1 292	0.27

FIGURA A- 5

idades correspondientes en forma de fracción. Multiplicando una cantidad dada por el denominador se tendrá la cantidad equivalente en las unidades numerador.

Abreviaturas: atm = atmósferas; Btu = unidad térmica británica (*British thermal unit*); cal = caloría pequeña; Chu = unidad térmica centigrada (*centigrade unit*); cm = centímetro; CV = Caballo de vapor o métrico; °C. = grado centígrado; Dif. = diferencia; °F. = grado Fahrenheit; frig. = frigoría; g = gramo; galón (norteamericano); g/mol = gramo/mol; mol; Ha = hectárea; Hl = hectolitros; hp = caballo de fuerza inglés = *horse power*; hr = hora; IT = internacional; Kcal = kilocaloría; Kip = mil libras; Kgm = kilogrammetro; KJ = kilojoule kilojulio; Km = kilómetro; Kw = Kilowatt = kilovatio; l = litro; lb = libra; mol = libramol; m = metro; mev = millones de electrón-voltios; mi = milla es-uto = milla; mi náut. = milla náutica; min = minuto; mm = milímetro; mph = millas por hora; oz = onza = ounce (*avoirdupois*); pt = pinta para líquidos = pint; lg = pulgada; rad = radián; rev = revolución; rpm = revoluciones por minuto; s = segundo; Tm = tonelada métrica; ton = tonelada corta o norteamericana; t ref = tonelada corta de refrigeración; UTM = unidad técnica de masa = kilogramo; w = watt = vatio; yd = yarda.

LONGITUD

12 pulg	0.394 pulg	30.48 cm	10 ⁶ micrones	pie	5820
3 pie	2.54 pulg	76.20 cm	mi	mi	1.609
1/4 yd	0.8684 mi náut.	1.152 mi	mi náut.	Kip	mi
1/4 yd	1.152 mi náut.	6.080 mi náut.	Km	mi	1.853
0.914 m	1.152 mi náut.	0.5396 mi náut.	mi náut.	mi	0.6214
			Km		

AREA

144 pulg ²	10.76 pie ²	640 acres	929 cm ²	pie ²	6.45
10 000 cm ²	2.59 Km ²	0.001076 cm ²	pie ²	Ha	0.155
			mi ²	mi ²	

VOLUMEN

7.481 gal	3.7854 gal	61.025 pulg ³	28 320 cm ³	pie ³	
8 pt	43 500 pulg ³	28.32 pulg ³	acre-pie	acre-pie	35.31
4.041 acre-pie	0.7616 Hl	0.0353 pie ³	yd ³	pie ³	61.02

ANGULARES

57.3 grados	1 rad	9.549 rpm	rad/seg		
-------------	-------	-----------	---------	--	--

TIEMPO

3 600 seg	1 hr	60 min	hr	24	dia
-----------	------	--------	----	----	-----

VELOCIDAD

88 pie/min	0.6818 mph	1.467 pie/seg	mph		
1.609 Km/hr	1.000 mph	3.28 m/seg	m/seg	3 600	m/hr

2 000 lb	1 000 Kip	2.205 Kg	7 000 granos	lb	
0.49 pulg de Hg (60° F.)	16 oz	7 000 granos	lb		
13.6 pulg de H ₂ O	lb/pulg ²	lb/pulg ²	lb		
444 800 dinas	980.7 g	0.0361 pulg de H ₂ O (60° F.)	lb/pulg ²		
760 mm de Hg (0° C.)	760 mm de Hg (0° C.)	0.00102 g	9.807 Kg	UTM	
21.62 lb	0.9072 ton	1.498 UTM	0.13825 newtones	UTM	
7.233 poundals	0.672 UTM	1.498 UTM	0.13825 newtones	UTM	
1.033 Kg/cm ²	10 ⁵ Newton	10.33 m de H ₂ O (15.5° C.)	0.87031 Kg/cm ²		
14.22 lb/pulg ²	13.6 cm de H ₂ O	14.7 lb/pulg ²	14.7 lb/pulg ²		
	cm de Hg				

ENERGIA Y POTENCIA

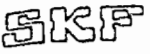
860.4 cal (IT)	33 000 pie-lb	2 544 Btu	3412.2 Btu		
1.341 hp	1000 Joules	1 Joule	10 ⁷ ergios	pie-lb	
1.356 Joules	1.055 KJ	4.1868 Kcal	737.562 Kwh-seg	Kwh-seg	
550 pie-lb	42.4 Btu	0.746 hp	252 ftu	pie-lb	
3600 KJ	1.8 Chu	1800 Btu/lbmol	1 Btu/lbmol	cal	
1.8 cal/g	1.6019 x 10 ⁻¹⁰ joule	1.014 CV	0.9863 CV	cal	
9.801 Kgm	632.5 CV-hr	860 Kcal	1.96 Kw	Kwh-seg	
0.4536 Chu	2.205 Kcal	107.6 Kgm	0.5556 Chu	Btu	
	16.021 J	1.6021 eVg	11.817 pie-lb		
	10 ¹⁰ MeV	10 ¹⁰ eV			

CONSTANTE UNIVERSAL DE LOS GASES

1945.32 pie-lb	8.314 Joules	0.7302 atm-pie ²			
0.000078 lbmol ⁻¹	1.9859 Btu (IT)	10.731 (lb/pulg ²)-pie ²			
82.057 atm-cm ³	847.027 Kmol ⁻¹	2.692 Kmol ⁻¹			
0.278 (Kg/cm ²)-cm ³					

Coefficientes (aproximados*) para transformar las tablas en unidades inglesas a métricas

0.4473 Kg/(CV-hr)	0.2485 Kcal/(CV-hr)	0.06243 m ³ /lb			
0.3048 m/seg	6.452 pulg ²	0.5555 Kcal/Kg			
0.00015 Kg/(min-lb-kg-hr)	0.07031 lb/pulg ²	0.000069565 pie ² /min/(ft-kg-hr)			
0.06249 atm-m ³ /Kmol	1 Kcal/(Kg ^o -K.)	0.001768 atm-pie ² /Kmol			
0.0107 (m ^o -K.) ² /Kmol	1 Btu/(lb ^o -R.)	0.5486 Kgm/(Kg ^o -K.)			
1 Kg/Kmol	1 Kcal/(Kmol ^o -K.)	0.5555 Kcal/Kmol			



Selección del tamaño del rodamiento

Capacidad de carga y duración

Cálculo de la duración

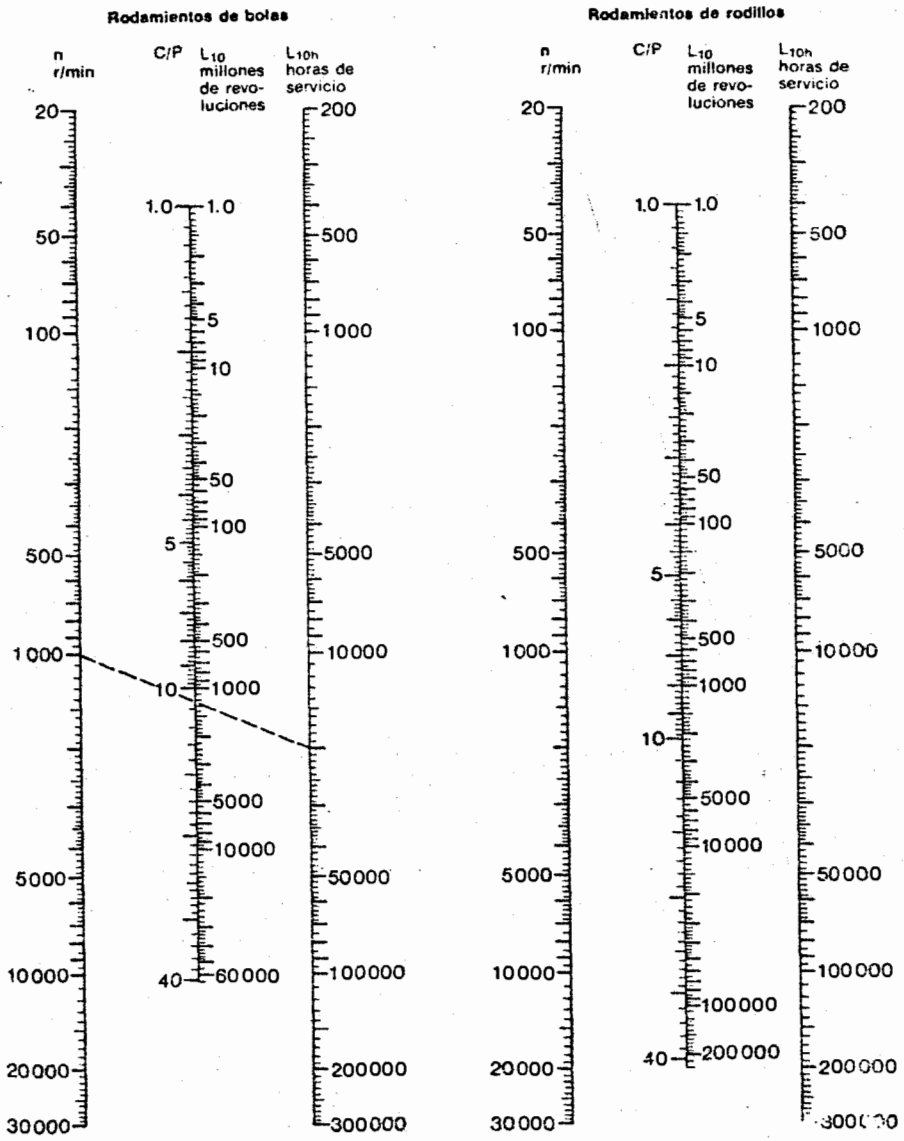


FIGURA A - 8

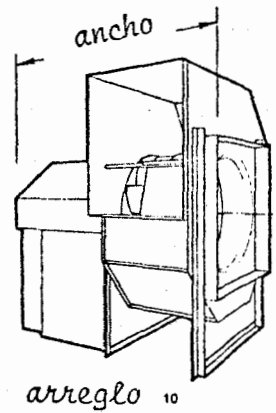
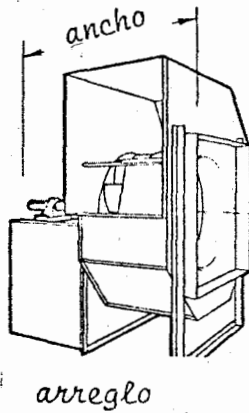
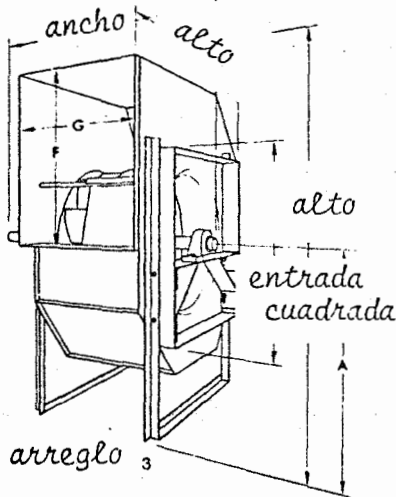
DIAMETRO DE ENTRADA = 24.5 pulgadas

AREA DE SALIDA = 3.45 pie cuadrado

CLASE LIMITE DE PRESION

VELOCIDAD = pie por minuto = 6.41 xRPM

Class	Maximum RPM
I	1638
II	2106
III	2652



CLASS I & II (Arrangements 1, 3, 9 & 10)		W																										
CLASS I	ARR. 1 55%	ARR. 3 36%	ARR. 9 55%	ARR. 10 59%	CLASS II	ARR. 1 55%	ARR. 3 36%	ARR. 9 55%	ARR. 10 59%	CLASS III	ARR. 3 37%																	
												L										F				G		
A	J	H										L				F				G								
TH	BH	UB	DB	TAU	TAD	BAU	BAD	TH	BH	UB	DB	TAU	TAD	BAU	BAD	TH	BH	UB	DB	BAD	TAU	TAD	BAU	BAD	All But DB & BAD	DB BAD		
28%	29%	56%	49%	48%	53%	55%	55%	47%	59%	44%	44%	48%	48%	45%	59%	59%	45%	25%				25%				19%		19%

CLASS III (Arrangement 3)												J		H										L				F		G	
												A	J	H										L				F		G	
TH	BH	UB	DB	TAU	TAD	BAU	BAD	All	TH	BH	UB	DB	TAU	TAD	BAU	BAD	TH	BH	UB	DB	TAU	TAD	BAU	BAD	All	All					
22	28%	26%	20%	23%	19%	27%	18%	29%	50%	49%	46%	45%	62%	46%	46%	61%	45%	45%	49%	49%	47%	61%	61%	47%	25%	19%					

DL	OUT. VEL FPM	VEL PRES IN H ₂ O	8 500"	S.P.	9 000"	S.P.	9 500"	S.P.	10 000"	S.P.	10 500"	S.P.	11 000"	S.P.	11 500"	S.P.	12 000"	S.P.	12 500"	S.P.	13 000"	S.P.	13 500"	S.P.	14 000"	S			
RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP		
970	2800	0.42	2012	18.23	2062	17.30																							
915	2700	0.45	2027	18.79	2073	17.82																							
860	2800	0.49	2040	17.37	2088	18.42	2133	19.48	2180	20.60	2226	21.75																	
805	3000	0.56	2069	18.66	2115	19.75	2162	20.80	2207	21.90	2252	23.04	2293	24.18	2337	25.38	2381	26.61	2424	27.88									
750	3200	0.84	2107	19.90	2151	21.04	2193	22.25	2236	23.41	2279	24.54	2322	25.69	2365	26.88	2407	28.09	2445	29.31	2486	30.59	2527	31.89	2568	33.34	2609	34.91	
700	3400	0.72	2151	21.40	2190	22.48	2231	23.64	2272	24.84	2312	26.07	2352	27.37	2393	28.80	2434	29.79	2474	31.02	2514	32.28	2554	33.57	2599	35.13	2643	37.11	
650	3600	0.81	2197	23.01	2238	24.18	2275	25.33	2312	26.46	2351	27.69	2389	28.95	2428	30.24	2465	31.61	2503	32.93	2542	34.23	2580	35.48	2613	37.54	2649	40.18	
600	3800	0.90	2246	24.77	2284	25.93	2321	27.13	2358	28.34	2395	29.58	2430	30.76	2467	32.04	2504	33.36	2540	34.70	2576	36.08	2611	37.54	2649	40.18			
550	4000	1.00	2300	26.72	2338	27.90	2370	29.09	2406	30.32	2441	31.57	2477	32.85	2512	34.15	2545	35.38	2580	36.71	2615	38.08	2643	39.48					
500	4200	1.10	2355	28.83	2390	30.03	2424	31.25	2458	32.49	2491	33.74	2525	35.03	2558	36.35	2592	37.89	2625	39.04									
450	4400	1.21	2411	31.14	2445	32.37	2478	33.58	2511	34.83	2544	36.12	2577	37.42	2608	38.73	2640	40.08											
400	4600	1.32	2469	33.59	2502	34.84	2535	36.13	2566	37.38	2598	38.67	2630	39.99															
350	4800	1.44	2529	36.08	2560	37.47	2592	38.78	2623	40.12																			
300	5000	1.56	2588	38.67	2619	40.13	2650	41.59																					

Performancia basada en 0.075 lbs por pie cúbico de densidad (aire a 70F)

FIGURA A- 9

CARTA PARA SELECCIONAR BOMBAS SUCCION CENTRIFUGA 1750 RPM

A2a

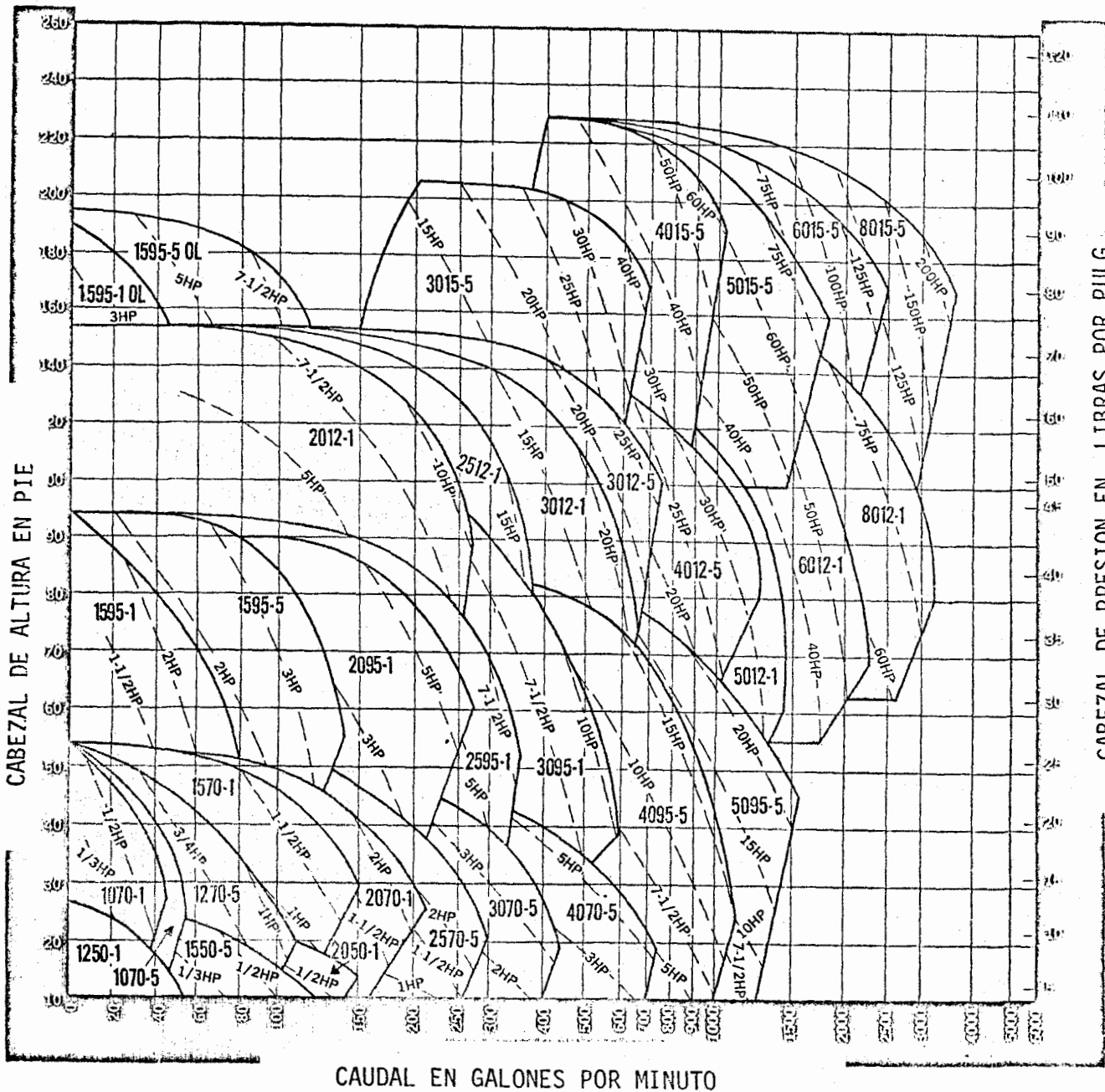


FIGURA A - 10



EFICIENCIA EN HP CALDERO

	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600
CAPACITIES											
MBH	2,678	3,348	4,184	5,021	6,695	8,369	10,043	11,716	13,390	16,738	20,080
LBS. OF STEAM, HR. (212 F SAT.)	2,760	3,450	4,313	5,175	6,900	8,625	10,350	12,075	13,800	17,250	20,700
EDR STEAM GROSS, FT. ²	11,160	13,950	17,450	20,920	27,900	34,900	41,850	48,820	55,800	69,750	83,700
EDR WATER GROSS, FT. ²	17,850	22,300	27,900	33,500	44,600	55,800	66,900	78,100	89,300	111,500	134,000
FUEL CONSUMPTION											
LB. OIL (140,000 BTU/GAL.)	24.0	30.0	37.5	45.0	60.0	74.5	89.5	104.5	119.5	149.5	179.5
CFH											
1000 BTU/FT. ³ -MFG.	6,700	8,370	10,460	12,560	16,740	20,920	25,110	29,300	33,500	41,850	50,200
1000 BTU/FT. ³ -MIXED	4,190	5,234	6,540	7,850	10,460	13,080	15,695	18,315	20,940	26,155	31,370
1000 BTU/FT. ³ -NATURAL	3,350	4,185	5,230	6,280	8,370	10,460	12,555	14,650	16,750	20,925	25,100
BTU-THERMS/HR.	33.5	41.9	52.3	62.8	83.7	104.5	125.5	146.5	167.5	209.3	251.0

TABLA PARA LAS LIBRAS EQUIVALENTES DE VAPOR SECO SATURADO DE HP CALDERO

Presión de caldero

	0	2	10	15	20	40	50	60	80	100	120	140	150
29.0	29.0	29.0	28.8	28.7	28.6	28.4	28.3	28.2	28.2	28.1	28.0	28.0	27.9
29.3	29.2	29.1	29.0	28.9	28.9	28.7	28.6	28.5	28.4	28.3	28.2	28.2	28.2
29.6	29.5	29.3	29.2	29.1	28.9	28.9	28.8	28.8	28.7	28.6	28.5	28.5	28.4
29.8	29.8	29.6	29.6	29.6	29.4	29.2	29.1	29.0	28.9	28.8	28.7	28.7	28.7
30.1	30.0	29.9	29.8	29.7	29.5	29.4	29.4	29.3	29.2	29.1	29.0	29.0	28.9
30.4	30.3	30.1	30.0	30.0	29.8	29.6	29.6	29.6	29.5	29.3	29.2	29.2	29.2
30.6	30.6	30.4	30.3	30.2	30.0	29.9	29.8	29.8	29.7	29.6	29.5	29.5	29.4
30.9	30.8	30.6	30.6	30.5	30.3	30.2	30.2	30.1	30.0	29.8	29.8	29.8	29.7
31.2	31.2	30.9	30.8	30.8	30.6	30.4	30.3	30.3	30.2	30.0	30.0	30.0	30.0
31.5	31.4	31.2	31.2	31.1	30.8	30.7	30.6	30.6	30.5	30.4	30.3	30.3	30.2
31.8	31.7	31.5	31.4	31.4	31.1	31.0	30.9	30.9	30.8	30.7	30.6	30.6	30.5
32.1	32.0	31.8	31.7	31.6	31.4	31.3	31.2	31.2	31.1	31.0	30.9	30.8	30.8
32.4	32.4	32.1	32.0	31.9	31.7	31.6	31.5	31.5	31.4	31.2	31.2	31.2	31.1
32.7	32.7	32.4	32.4	32.3	32.0	31.9	31.8	31.8	31.7	31.5	31.4	31.4	31.4
33.0	33.0	32.7	32.6	32.6	32.3	32.2	32.1	32.1	32.0	31.8	31.7	31.7	31.7
33.4	33.3	33.0	33.0	32.9	32.6	32.5	32.4	32.4	32.3	32.2	32.1	32.0	32.0
33.8	33.7	33.4	33.3	33.2	32.9	32.8	32.7	32.7	32.6	32.5	32.4	32.4	32.3
34.1	34.0	33.7	33.6	33.5	33.2	33.1	33.0	33.0	32.9	32.8	32.7	32.6	32.6
34.5	34.4	34.2	34.1	33.9	33.6	33.5	33.4	33.4	33.3	33.2	33.1	33.0	33.0

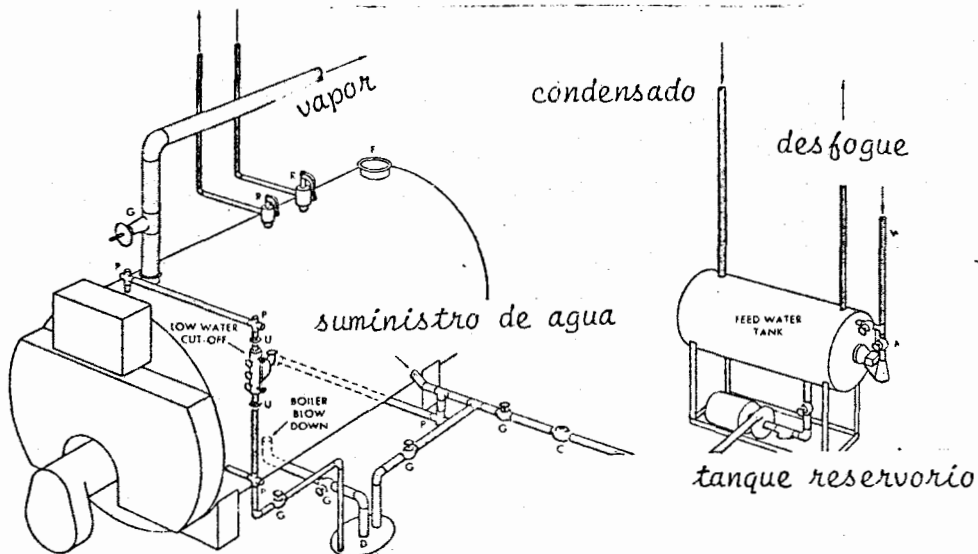


FIGURA A- 11

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BLOODGETT, Omer W., *Designs of Weldments*, Sixth printing The James F. Lincoln arc Welding Foundation, Cleveland, Ohio 44117, May 1972.
- ✕ 2. CENDES, *Análisis de un proyecto para harina de pescado*, Centro de Desarrollo, Guayaquil, 1971.
3. COMMITTEE AND INDUSTRIAL VENTILATION, *Industrial Ventilation*, Laussing, Michigan, USA, 1976.
- ✓ 4. HALL, HALOWENKO, LAUGHLIN, *Diseño de Máquinas*, libro de la serie Schawn-Mc Graw Hill, Mexico, D.F. 1967.
- ✕ 5. JIMENEZ, de Cisneros Fernando, *Industria de la Pesca* Editorial Nacimiento, Santiago, Chile 1943.
- ✕ 6. JORBIN, P.R., *El Frío en la industria de alimentación*, UTEHA, Madrid, 1971.
- ✓ 7. KNEULE, F. "El Secado" Ediciones URMO, Bilbao, 1966.
- ✓ 8. MABIRSON, WALKER, *Refractories C. Modern Refractory Practice*, Pittsburg, Pens. USA, 1961.
- ✓ 9. KERN Donald, "*Procesos de Transferencia de Calor*" 8 va. Impresión, Cía Editorial Cont. S.A. Calz de Taplán Mexico DF enero 1974
- ✕ 10. POTTER, Norman, Ph.D., *La ciencia de los alimentos*. Editorial EDUTEX, México, D.F., 1973.
- ✕ 11. SCHLOTTERHOSE & CO.: *El pescado y su transformación*. Bremerhaven, Hamburgo, RFA, 1976.
12. SKF, *Catálogo General N° 3000 SP*, Elanders Boktaylor AB, Kungsbacka, Suecia, 1975.