

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“ Cálculo y Diseño de un Equipo Experimental para
la Congelación de Alimentos Mediante
Nitrógeno Líquido ”**

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

RAUL ALFREDO MORALES LANDEO

PROMOCION: 1983 - 2

LIMA • PERU • 1986

I N D I C E

	PAG.
PROLOGO	13
CAPITULO I: INTRODUCCION	18
CAPITULO II: GENERALIDADES SOBRE CAMARAS DE CONGELACION	
2.1 Congelación del Langostino	22
2.1.1 Métodos de trabajos actuales desde su captura	
2.1.1.1 Langostino conservado en hielo	23
2.1.1.2 Consecuencia de la falta de medios refrigerantes	23
2.1.1.3 Forma de almacenamiento	24
2.1.1.4 Recepción y pesado de la materia prima en las plantas elaboradas	25
2.1.2 Pérdidas o rechazos de materias primas en las plantas	25
2.1.3 Cambios durante el almacenamiento	27
2.1.4 Clasificación comercial de langostinos en la industria	29
2.1.5 Revalorización de camarones y langostinos	29
2.2 Congelación Rápida (Clasificación)	30
2.3 Descripción del Túnel Propuesto	33
2.4 Análisis del Enfriamiento en el Equipo Experimental	35
2.5 Factores Críticos de Control	36
2.6 Aislante Seleccionado	36
2.6.1 Características de los materiales aislantes más utilizados	37

2.7	Expansión térmica de los materiales	38
2.7.1	Materiales plásticos	40
2.7.2	Metales criogénicos	41
2.8	Características de los materiales metálicos de posible uso	42
CAPITULO III: EL NITROGENO Y SUS PROPIEDADES		
3.1	Generalidades de su comportamiento	44
3.1.1	Propiedades que lo caracteriza	44
3.1.2	Diagrama de Mollier del N ₂	45
3.1.3	Propiedades y rangos cubiertos por el Diagrama de Mollier	46
3.2	Obtención del N ₂	47
3.3	Refrigerantes Utilizados	50
3.4	Ventajas y Desventajas del uso del N ₂	51
CAPITULO IV: DIMENSIONAMIENTO Y CALCULO		
4.1	Capacidad del Túnel	54
4.2	Dimensionamiento del Túnel	54
4.2.1	Dimensiones tomando como referencia otros túneles	55
4.2.2	Dimensiones según el área ocupada por el producto	58
4.2.3	Selección de las medidas adecuadas del Túnel	59
4.3	Zonas del Túnel y Calor Cedido por el Producto de cada una de ellas	59
4.3.1	Temperatura de ingreso en la Zona II ₁	61
4.3.2	Longitud de la Zona II ₁ + II _D (Ejm. del cálculo	63

4.3.3	Long. de la zona $II_1 + II_D$ para otras temperaturas promedio de recirculación	67
4.3.4	Longitud y velocidad del N_2 en la zona III	68
4.3.5	Longitud de la zona IV	69
4.3.6	Incremento de temperatura en la zona II_1 y II_D y presión de succión en el punto 4 (Ref. Fig. 4-10)	70
4.3.7	Parámetros de diseño para el enfriamiento del producto	77
4.3.8	Refrigeración teórica requerida/Kg. LANG.	77
4.3.9	Refrigeración teórica disponible/Kg. N_2	78
4.3.10	Proporción de consumo teórico (Kg N_2 /Kg de LANG)	78
4.4	Altura de Pérdidas sobre el producto	79
4.4.1	Altura de pérdidas en la zona II_1	80
4.4.2	Presión mínima necesaria entre las zonas II y III	85
4.4.3	Altura de pérdidas que deberá producirse en el lado izquierdo (Punto 4)	85
4.4.4	Volumen de N_2 que saldrá del Túnel	86
	a) Por el lado izquierdo	87
	b) Por el lado derecho	87
4.4.5	Presión manométrica en el punto 2	87
4.4.6	Altura de pérdidas en el túnel en condiciones normales de operación (Zona II_D)	88
4.5	Velocidades del N_2 dentro del túnel	
4.5.1	Velocidad en la zona II_D (lado derecho) sobre el producto	90

4.5.2	Velocidades y altura de pérdidas para $P_1 =$	
	$P_2 = P_{atm}$	92
	a) En el lado izquierdo	93
	b) En el lado derecho	94
4.5.3	Relación de velocidades seleccionadas	97
4.5.4	Velocidades en condiciones normales de operación ($P_1 = P_{atm}, P_2 = P_{atm}$)	97
4.5.5	Comportamiento del túnel (P_E, P_V, P_T) en sus posibles alternativas de operación	98
4.6	Caudal que circula por el ventilador	
4.6.1	Caudal que circula por el ventilador en condiciones normales de operación	99
4.6.2	Caudal de diseño del ventilador	99
4.7	Espesor económico del aislante ($T_{amb} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)	
4.7.1	Medidas exteriores del túnel	100
4.7.2	Calor transferido por las paredes	
	a) Ejemplo de cálculo	101
	b) Calor transferido para diferentes espesores	103
4.7.3	Costo, debido al calor transferido por las paredes	104
4.7.4	Costo, debido al volumen ocupado por el aislante	106
4.7.5	Costo, debido al calor cedido por las paredes durante la preparación del túnel	
4.7.5.1	Calor cedido por las paredes interiores de fibra de vidrio	107
4.7.5.2	Calor cedido por las paredes exteriores de fibra de vidrio	108

4.7.5.3	Calor cedido por la pares aislante (Poliuretano)	108
4.7.6	Costo anual total y selección del espesor económico (Para $T_{amb} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	109
4.8	Espesor económico para otras temperaturas ambientales	
4.8.1	Calor transferido por las paredes (para $T_{amb} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	113
4.8.2	Costo debido al calor transferido por las pa- redes ($T_{amb} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	114
4.8.3	Costo anual total y selección del espesor eco- nómico (para $T_{amb} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	115
4.8.4	Espesor económico para las otras temperaturas ambientales (Ecuación general)	117
4.9	Sistema de Transmisión de Potencia para el transpor- te del producto a ser congelado	
4.9.1	Esquema del sistema de transmisión a ser utiliz.	118
4.9.2	Potencia requerida por la cadena transportado- ra del producto a ser congelado	118
a)	Fuerza de arrastre	119
b)	Torque requerido	119
c)	Potencia requerida	120
4.9.3	Potencia disponible por la cadena transpor- tadora del producto a ser congelado	120
4.9.3.1	Selección de la cadena transportad.	121
4.9.4	Fotencia requerida por la cadena 1 y 2 (Fig.4-25)	122
4.9.5	Selección de los números de dientes de los pi- ñones y catalinas del sistema de transmisión de potencia (Fig. 4-25)	123

4.9.5.1	Recálculo del tiempo de permanencia del producto en el túnel	125
4.9.6	Potencia disponible de las cadenas 1 y 2 (Fig. 4-25)	126
4.9.7	Diámetro de las catalinas A, B, C, D	128
4.9.8	Recomendaciones para la selección de los dientes de las catalinas	129
4.9.9	Cuadro resumen de las características de las catalinas	129
4.9.10	Distancia entre centros de las catalinas	
	a) Cadena 2	130
	b) Cadena 1	131
4.9.11	Eje a ser utilizado en los extremos de la cadena transportadora del producto	132
	a) Momento resultante	135
	b) Torques actuantes	135
	c) Diámetro del eje	135
	c ₁ .- Chequeo por deformación torsional	136
	c ₂ .- Chequeo por fatiga	137
4.10	Altura de pérdidas debido al flujo de N ₂ dentro del túnel	138
	a) Parámetros de diseño calculados	139
	b) Fórmulas y nomenclatura	139
4.10.1	Altura de descarga (Acc. 1 al 5)	140
4.10.2	Altura de succión (Acc. 6 al 13)	145
4.10.3	Altura de pérdidas total y altura de diseño	148
4.11	Selección del motor utilizado para la recirculación del N ₂ dentro del túnel	149

4.11.1	Potencia consumida por el ventilador en la situación más desfavorable	149
4.11.2	Motores disponibles, según fabricante nacional	150
4.11.3	Selección del motor	151
4.12	Cálculo del Ventilador Requerido	151
4.12.1	Potencia requerida por el ventilador	151
4.12.2	Selección del tipo de ventilador	151
4.12.3	Diámetro exterior del rotor (D_2) y velocidad (U_2)	152
4.12.4	Diámetro interior del rotor (D_1) y número de alabes (Z)	153
4.12.5	Velocidad del gas a la entrada del ventilador (C_s)	156
4.12.6	Anchos del rotor b_1 , b_2 y altura efectiva	156
4.12.7	Cálculo de la espiral y dimensiones de la boca de salida del ventilador	161
4.13	Cálculo de la tubería tanque-túnel	
4.13.1	Diámetro mínimo de la tubería a ser utilizado desde el tanque al túnel	165
4.13.2	Velocidad promedio de salida del N_2 líquido de los balones (PGS)	165
4.13.3	Pulverizador requerido	166
4.13.4	Presiones a la entrada de la tubería	168
4.14	Cálculo de la Proporción Real (Kg N_2 /Kg LANG)	
4.14.1	Consumo teórico de N_2 líquido	169
4.14.2	Pérdida de la refrigeración disponible en la tubería que conecta el tanque con el túnel	

a) Determinación del espesor económico	169
b) Temperatura de la superficie exterior del aislante empleado	172
c) Pérdida de la refrigeración disponible	172
4.14.3 Calor cedido y transferido a través de las pa- redes del túnel	
a) Calor transferido	172
b) Calor cedido	173
c) Calor total	173
4.14.4 Pérdida de la refrigeración disponible, por exfiltración del Gas N ₂ e infiltración del aire ambiente.	
a) Exfiltración del Gas N ₂ en el lado <u>iz-</u> quierdo del túnel	173
b) Exfiltración del Gas N ₂ por el lado dere- cho del túnel	174
c) Por infiltración del aire ambiental	175
4.14.5 Calor cedido por el transportador (cadenas provista de varillas)	
a) Calor cedido por las cadenas	175
b) Calor cedido por las varillas	176
c) Calor cedido por el transportador	176
4.14.6 Calor cedido por el ventilador	176
4.14.7 Calor cedido por los accesorios adiciona- les tales como guías de las cadenas, cata- linas, filtros, etc.	176
4.14.8 Pérdidas por evaporación normal diaria del N ₂ en los balones (PGS)	177

4.14.9 Consumo de N ₂ requerido para procesarse el LANG	
a) Consumo real	177
b) Proporción real de consumo (Kg N ₂ /Kg LANG)	178
c) Proporción en condición ideal para la conservación del producto	179
4.14.10 Eficiencia del congelador	179

CAPITULO V: ANALISIS DE COSTOS

5.1 Costo de implementación del túnel	181
5.2 Utilidad neta	183
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES	186
CONCLUSIONES	189
BIBLIOGRAFIA	193
PLANOS	195
ANEXO	199

ANEXO

		<u>Pág</u>
I)	OTROS TUNELES PARA LA CONGELACION RAPIDA FUERON DISEÑADOS POR:	
	Fig. 1 EL ITINTEC	200
	Fig. 2 LEWIS REFRIGERATION CO.	201
	Fig. 3 LA NATIONAL CYLINDER GAS DIV. CHEMETRON CORP.	202
	Fig. 4 MESSER GRIESHEIM	203
	Fig. 5 L'AIR LIQUIDE, Paris, Francia	203
	Fig. 6 CELESTE ITALIAN FOODS, INC. ROSSEMONT III	204
	Fig. 7 MESSER GRIESHEIM	204
	Fig. 8 JOY MANUFACTURING CO. GREER DIV. PITTSBURG PA.	205
	Fig. 9 FRICK CO. WAYNESBORO PA.	205
II)	PROPIEDADES (Gráficos)	
	Fig. 10 Del Aire [$(\nu, Pr, K, \frac{g \cdot B \cdot \rho^2}{u})$ vs °C]	206
	Fig. 11 Del Nitrógeno [(ν, Pr, K) vs °C]	207
III)	ECUACION DE LAS PROPIEDADES [$(\nu, Pr, K \frac{g \cdot B \cdot \rho^2}{u})$ vs °C]	
	Tabla #1 Para el aire	208
	Tabla #2 Para el Nitrógeno	208
	Tabla #3 Conductibilidad térmica del poliuretano	208
IV)	DIAGRAMAS	
	Fig. 12 De MOODY	209
	Fig. 13 Psicométrico	210
V)	DATOS PARA EL ALMACENAMIENTO DE LOS PRODUCTOS	
	Tabla 4	211
VI)	OTRAS TEMPERATURAS DE INGRESO DEL PRODUCTO Y	

	LONGITUDES DE LA ZONA DE ENFRIAMIENTO	
	Tabla 5	212
	Fig. 14 y 15 Túnel sugerido para otras condiciones	213
VII)	METODO PRACTICO PROPUESTO PARA CALCULOS APROXIMADOS	
	VII-1 Caudal que circula por el ventilador	214
	VII-2 Dimensiones de la boca de salida del ventilador	214
VIII)	NOMENCLATURA UTILIZADA	215

P R O L O G O

El presente trabajo titulado: CALCULO Y DISEÑO DE UN TUNEL PARA LA CONGELACION RAPIDA DE ALIMENTOS DE FACIL DESCOMPOSICION, consta de Cinco Capítulos, conteniendo : Tablas, Gráficos y finalmente Observaciones y Recomendaciones, así como las Conclusiones, Bibliografía, Planos (Cuatro) y Anexo, que se describe a continuación :

CAPITULO 1 : INTRODUCCION

Esta referido a los objetivos y alcance de la obra.

CAPITULO 2 : GENERALIDADES SOBRE CAMARAS DE CONGELACION

En la que se considera la siguiente información :

- El producto antes y después de ser sometido a un congelamiento rápido.
- Clasificación y descripción de la congelación rápida
- Descripción del túnel (características y operación).
- Análisis del enfriamiento del producto en el túnel y el cómo debe controlarse éste para el logro de un buen congelamiento.
- El aislante seleccionado y sus características respecto a los otros de posible uso.
- La expansión térmica de los materiales plásticos y metálicos criogénicos, necesarios para predecir alguna posibilidad de rajadura o rotura.

CAPITULO 3 : **EL NITROGENO Y SUS PROPIEDADES**

Contiene información general sobre su comportamiento, usos, propiedades, el diagrama de mollier y rangos que cubre y obtención del N_2 . Se ha creído conveniente también adjuntar una tabla que agrupa a los refrigerantes que todavía no se utilizan en nuestro medio con las características de cada uno, y un resumen de todas las ventajas y desventajas que ofrece su uso.

CAPITULO 4 : **DIMENSIONAMIENTO Y CALCULO**

En este capítulo se detalla dos formas de dimensionar un túnel, a partir de un volumen de N_2 disponible (2 PGS/Día) e información respecto a la proporción de consumo en túneles actualmente existentes a nivel mundial. Para efecto de cálculos se ha utilizado el Sistema Internacional de Unidades (ISO), recurriéndose en muchos casos a sus submúltiplos por razones netamente prácticas. Se ha calculado lo siguiente :

- Las dimensiones del túnel.
- Las temperaturas del refrigerante al ingreso en la zona de recirculación (Zona II₁) en función de la temperatura promedio del gas que pasa por el ventilador.
- Dimensiones requeridas del túnel para cada una de las temperaturas promedio anterior mencionada.

- Longitud de cada zona del túnel y sus características.
- Incremento de temperatura que sufre el gas dentro de la Zona II (II_1 y II_D).
- Proporción del consumo teórico ($\text{Kg N}_2/\text{Kg Lang}$):
- Altura de pérdidas alrededor del producto en la zona de enfriamiento (Zona II_1 , II_D) y Velocidad (V_D).
- Velocidades del gas N_2 en la zona de enfriamiento y Caudal de Diseño del Ventilador.
- Espesor económico del aislante requerido para diferentes temperaturas exteriores ($25, 20^\circ\text{C}$ y otros).
- Costo anual total para aislantes de espesor 25 y 20°C .
- Transmisión requerida para el transporte del producto, y características de las catalinas, cadena, ejes a ser utilizados.
- Altura de pérdidas debido al flujo del gas dentro de todo el sistema de recirculación.
- Selección del motor para la situación más crítica que puede presentarse.
- Diseño del ventilador a ser utilizado'
- Diámetro de la tubería a ser utilizada del tanque al túnel y pulverizador.

- Presión que deberá leerse a la entrada de la tubería - Tanque-Túnel (Presión de salida del PGS).
- Cargas térmicas (tubería tanque-túnel, PGS, paredes, - exfiltración e infiltración de gas, cadena transportadora)
- Consumo real de N_2 requerido para procesar el langostino (en condiciones normales) y en condiciones ideales.
- Eficiencia del congelador.

CAPITULO 5: ANALISIS DE COSTOS

- Contiene el costo de implementación del túnel y el cálculo de la utilidad neta.
- Observaciones y recomendaciones, se menciona la forma en que se puede automatizar el control del túnel de no hacerlo manualmente y las recomendaciones que se hayan creído conveniente para un buen congelamiento.
- Conclusiones, se menciona las que son consecuentes de los resultados obtenidos.
- Bibliografía, se menciona sólo la relación de textos que en forma sustancial han servido para la culminación de este trabajo.
- Planos, se ha creído conveniente adjuntar cuatro (4) planos (Vista oxonométrica, vistas principales, cortes

principales, detalles más importantes).

- Anexo, contiene fotografías de otros túneles a nivel mun
dial, las curvas de las propiedades del aire y del nitró
geno utilizados, ecuaciones de las curvas anteriormente
mencionados así como la del aislante utilizados; el di
grama de Moody, carta psicométrica, datos para el almace
namiento de los productos, longitudes del túnel para o
tras temperaturas de ingreso del producto (congelación -
ideal), recirculación para un túnel de mayores dimensio
nes, y un método práctico propuesto para el cálculo ten
tativo del volumen de nitrógeno que pasa por el ventila
dor-dimensionamiento de la boca de salida.

Considerando que este trabajo representa un aporte mas en lo que concierne a las técnicas actuales de congela
ción de alimentos, estoy seguro que será de mucha utili
dad para profesionales y/o empresarios que incursionen - en este campo.

Es ocasión propicia para testimoniar las expresiones de gratitud de mi Asesor Ing. ERNESTO SANGUINETTI R. por su espíritu de cooperación y dedicación docente en el aporte de valiosas orientaciones y sugerencias.

También vaya mi gratitud para aquellas personas que di
recta o indirectamente han hecho posible la finalización del presente trabajo.

EL AUTOR

CAPITULO 1: INTRODUCCION

CAPITULO 1

INTRODUCCION

Los logros que una sociedad puede alcanzar es su civilización y un nivel de vida del cual disfruta, ellos dependen en gran medida de la forma en que ésta se organice para la producción, preservación y distribución de los alimentos. Es sólo en los últimos 50 años que el hombre ha sido capaz de preservar más alimentos en condiciones aceptables para su comercialización. Ultimamente, con el congelado, es que se ha hecho posible mantener la calidad original de todos los alimentos, por períodos relativamente largos, como nunca antes se había experimentado. Siendo así que el enfriamiento ultra rápido es un método efectivo para la preservación de los alimentos, siendo posible lograrlo con el empleo de Nitrógeno Líquido.

La investigación sobre el congelamiento de productos alimenticios con nitrógeno líquido, tiene como objetivo:

- a) Contribuir a resolver el problema del abastecimiento de alimentos de fácil descomposición, a lo largo de todo el territorio nacional y dar mayor utilidad a un sub-producto actualmente poco utilizado en nuestro medio como es el N_2 líquido.
- b) Contar en el país con el diseño de un túnel eficiente, barato y de acuerdo a nuestra tecnología nacional.

Este trabajo tiene justificación económica y social. En lo económico, porque con un costo de congelamiento bajo, podríamos disponer en lugares alejados de la costa de crustáceos (langostino, langosta, etc.) en excelente condición y al alcance de las mayorías. En lo

social, ya que la comercialización de crustáceos está sujeta a la forma en que se le presenta al público consumidor, teniendo en consideración que mientras no se les ofrezca el producto en óptimas condiciones, será difícil obtener su aceptación.

El éxito de este trabajo, a nivel de empresa, representan una mayor utilización del sub-producto (Nitrógeno Líquido) que actualmente se gasifica y se devuelve a la atmósfera; mientras que a nivel nacional, significa poner a disposición del público consumidor, la posibilidad de consumir diversos productos alimenticios, en óptimas condiciones de calidad a precios accesibles.

CAPITULO • 2: GENERALIDADES SOBRE CAMARAS DE CONGELACION

CAPITULO 2

GENERALIDADES SOBRE CAMARAS DE CONGELACION

2.1 CONGELACION DEL LANGOSTINO

2.1.1 Métodos de Trabajos Actuales desde su Captura

Una vez que se ha lavado para eliminar el fango y las piedras, se depositan en divisiones de la cubierta, se encajonan en cajas de madera de 59 x 20 x 39 cm., dejando espacios de $2\frac{1}{2}$ cm. para que se escurra el agua. Su contenido es de unos 16 Kg. de camarón o 14 Kg. de langostino. Las cajas se depositan en bodegas que tienen una capacidad de 2,000 a 3,000 cajas y se agrega hielo en proporciones de 6 a 7 Kg./caja (encapas alternadas).

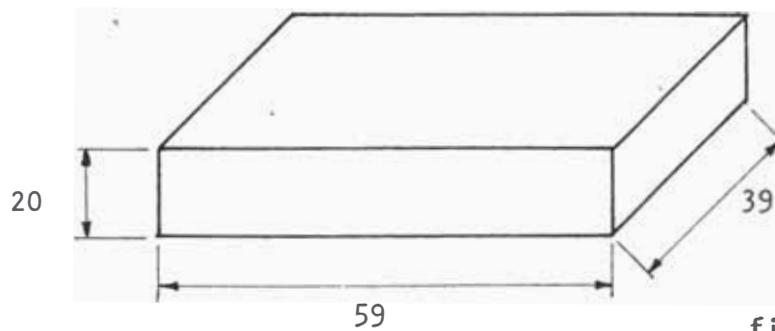


fig. (2-1)

CAJA DE MADERA (Medidas en cm.)

Cuando la pesca se envasa en cajas, el hielo debe cubrir la superficie de la pesca, así como las capas inferiores en cada cajón. Cuando la pesca se deposita con divisiones en la bodega, se aplican capas alternadas de hielo y camarón, de tal forma que el hielo al fundir se

escurra libremente lavando el producto.

2.1.1.1 Langostino y camarón conservado en hielo

A título de información se establece la siguiente escala:

5° día: Aún fresco el sabor es dulcete, pierde algo de su coloración en fresco o cocido, iniciada desde el 2° día, siendo su calidad deficiente.

6° día: Comienza alteración

7° día: Límite de industrialización; deficiente calidad

8 - 10: Olor desagradable; malogrado días

2.1.1.2 Consecuencia de la falta de medios refrigerantes

La falta de medios refrigerantes y manipulaciones excesivas y/o lentas (dos horas sin hielo) son en algunos casos suficientes para que se deteriore el producto. Cuando se extralimita la duración de la jornada se produce el desarrollo progresivo de bacterias y enzimas con descomposición por autólisis o autodigestión y la presencia de "manchas negras". Estas se deben a la actuación de los hongos halofílicos y enzimas que tiene el ejemplar en sí y producen esta alteración conocida como "melanosis", que

afecta gravemente la presentación, sin impedir que el producto se pueda comer, las "manchas negras" se evitan eliminando el aire, descolando a bordo, lavados intensos y rápidos, empleo de hielo, sumergiéndolos en soluciones de 1.25 % o menos de sulfito o bisulfito de sodio, ácido bórico, anticépticos admitidos ya en algunos países como Alemania, España, etc.

2.1.1.3 Forma de almacenamiento

El correcto almacenamiento de la pesca dentro de la bodega es de gran importancia. Una de las mejores soluciones viene siendo el almacenar el producto en cajones con hielo y no totalmente llenos.

Otra alternativa es que la pesca puede ir a granel en divisiones de la bodega, pero cada una de estas divisiones de la bodega, deberá tener una escotilla de descarga para recibir las. Entre el hielo y el producto depositado en bandejas horizontales debe haber espacios, para evitar que las capas del fondo soporten todo el peso y se magullen, acelerando la autólisis y descomposición.

Para el encajonado de la pesca lo ideal sería abolir el empleo de la caja de madera llamada de varios usos, por canastillos de alambre gal

vanizado o cajas con aleaciones de aluminio, - plástico u otro cuyo costo de inversión no sea tan elevado; la desventaja de seguir usando - las cajas de madera está en que absorben agua y por su porosidad facilita la proliferación bacteriana aún cuando se laven y desinfecten - con frecuencia.

Es de resaltar que cuando el camarón estuvo en hielo antes de la elaboración siempre que no sea por un período superior a un día el descole se realiza más fácilmente.

2.1.1.4 Recepción y pesado de la materia prima en las plantas elaboradas

- Una vez que se ha descargado las bodegas de - los barcos mediante el uso de grúas u otros me - dios o por cuadrillas de operarios a los camio - nes que los transportan directamente a las - plantas se procede cuanto antes al pesaje de - la materia prima. Esto se hace normalmente - por muestreo separando algunas cajas o también mediante fajas transportadoras que van contabi - lizando el peso a medida que pasa el producto deseado sobre ellas.

2.1.2 Pérdidas o Rechazos de Materias Primas en las Plantas

En las fábricas se procede a efectuar una selección visual y se determina la talla, grado de frescura, estado

en que viene, consistencia del caparazón, 'manchas negras', etc. El estado de este determina la cantidad que se rechaza o acepta y el pago a los pescadores.

La mayor parte de los rechazos se debe al tamaño reducido, machucado o indicios de descomposición (carne negra, vapores con fuerte hedor amoniacal, flacidez, pérdida del color, etc.), debido sobre todo al mal empleo del sistema de refrigeración.

No hay que olvidarse que la calidad del producto terminado está en relación directa con el tiempo transcurrido desde la extracción. De aquí que el tratamiento de la pesca a bordo y la rapidez del proceso de la elaboración tengan la mayor importancia.

Quando estos productos van a someterse a un proceso de conservación tendrán las siguientes características:

- a) Deben tener color y brillo naturales
- b) Los ojos serán sobresalientes
- c) Los segmentos del cuerpo deberán estar bien adheridos a los músculos
- d) El cefalotórax estará unido a la cola
- e) Sabor y olor agradables características de la especie
- f) La carne cruda debe ser firme, elástica y color verde grisáceo

El primer síntoma de descomposición se observa en el oscurecimiento del opérculo, que adquiere un tono verdoso

que se extiende hacia toda la cabeza.

Cualquier ausencia de estas características indicará - principios de descomposición o alteración, que determinarán el rechazo del producto. Una manera práctica de conocer la calidad o grado de frescura es la separación o flacidez (falta de dureza o consistencia) entre el cefalotórax y la cola y que aumentará a medida que pasa el tiempo.

No hay que olvidarse que la "vena negra" o intestino se desprende mejor cuanto más fresco esté el langostino y si se trata de eliminarla al final de la operación una vez congelado se destroza el producto y se necesita más mano de obra.

2.1.3 Cambios Durante el Almacenamiento

El problema de almacenamiento no queda resuelto con la entrada en cámara, ya que en el producto siguen cambios físicos, químicos, enzimáticos y microbiológicos (que se mezclan entre sí) los cuales actúan en contra de la calidad.

El más importante y común a todos los alimentos es la - deshidratación sino cuenta con un glaseado adecuado, - problema complejo pero que se comprende fácilmente si - se piensa que en caso de conservarse en cámara con flujo de aire frío, la humedad del aire se acumula como - hielo y escarcha en las partes frías y esta condensación reduce la humedad relativa del ambiente que tiende a -



compensarse evaporando más agua del alimento almacenado. Esta pérdida afecta sensiblemente a la calidad y por esta razón se recomienda que el producto esté glaseado.

No hay que olvidarse que si la temperatura es demasiado baja surgen fenómenos de desnaturalización de proteínas que afectan adversamente al gusto, por eso no se trabaja nunca por debajo de -35 a -45°C . La recristalización puede originar así, pues, gustos indeseables, que se aceleran por la sublimación de ciertos olores naturales.

La desnaturalización de proteínas es considerado también un problema técnico muy complejo -es la conglomeración de moléculas proteícas entre sí que de esta forma pierden su capacidad para retener el agua natural de sus células, que gotea ("dripping") perdiendo calidad.

La oxidación y autooxidación de grasas no es tan grave - en el camarón y langostino congelado como en otros productos pesqueros (así como la sardina por ejemplo) pero también afecta al gusto y por tanto al valor comercial.

Todos estos procesos que nos limitan el período de almacenamiento pueden medirse por medios químicos y organolépticos y debe ser función de los técnicos de la Empresa el disminuirlos y valorar hasta qué límite se puede llegar sin que afecte a la calidad comercial.

Se recuerda que para largos períodos de almacenamiento interesa más almacenar las colas con cáscara que pela-

das.

2.1.4 Clasificación Comercial de Langostinos en la Industria

Clasificación	Nº de Colas o de Ejemplares Por libra	de Ejemplares Por Kg.
Extra-Jumbo: Super gigante	menos de 15	menos de 33
Jumbo : Grande	15 - 20	34 - 44
Large - Medium : Semi-Grande	26 - 30	56 - 66
Medium : Mediano	31 - 42	67 - 93
Pequeño :	43 - 65	94 - 143
Muy pequeño:	66 ó más	144 ó más
Tipo "cocktail" :	120 - 140	260 - 290

2.1.5 Revalorización de Residuos de Camarones y Langostinos

El problema de eliminar los residuos en las fábricas de camarón y langostino es más agudo que con otras preparaciones especialmente cuando las plantas se encuentran situadas en zonas urbanas, ya que deben transportarse para eliminarlos, lo cual representa un gasto adicional.

Puede ser una solución reducirlos a harina u obtener fertilizantes.

El contenido medio de proteínas de la harina de crustáceos equivale a 2/3 de la harina de pescado corriente, pero es más rica en sustancias minerales y por tanto

hay que valorarlas con otros criterios que el que se sigue en las harinas.

El caparazón y cefalotórax de los crustáceos después de secos están constituidos especialmente por quitina (20%) proteínas (22%) y carbonato de calcio (42%), el resto está formado por sales minerales y otros productos. La digestividad de esta mezcla es además muy baja y por eso hay que valorarla principalmente como aporte mineral.

Teniendo en cuenta que además del nitrógeno (que se encuentra presente como proteínas y quitina) los residuos tienen un alto contenido en calcio, fósforo y magnesio, los cuales pueden utilizarse como abono, una solución es secando estos residuos al sol con el único inconveniente por el olor.

La quitina (que viene siendo similar a la celulosa, pero con grupos amino) y sus derivados puede tener aplicaciones para textiles, plásticos, pinturas, medicamentos, etc. (su obtención está en torno al 4 a 6% de los residuos) depende mucho más de otros factores que el aporte de materia prima; por lo tanto, su industrialización es independiente del negocio pesquero.

2.2 CONGELACION RAPIDA (CLASIFICACION)

De acuerdo a la definición dada por el INSTITUTO INTERNACIONAL DE REFRIGERACION se define como congelación rápida a la variación de temperatura entre los límites de 10°C y -10°C en aproximadamente

madamente 6.35 mm de profundidad por hora. Y basados en esta definición la congelación con Nitrógeno Líquido podría ser clasificado como congelación ultra rápida.

La congelación rápida se agrupa en 3 clases:

- 1.- Congelación por inmersión directa en un refrigerante
- 2.- Congelación por contacto indirecto con un refrigerante
- 3.- Congelación por flujo de aire frío

- 1.- Congelación por inmersión directa en un refrigerante

Este método es utilizado actualmente para aumentar la rapidez de congelación y mejorar la calidad del producto.

Existe actualmente en Estados Unidos aparatos congeladores por inmersión en líquido frigorígeno en ebullición a -30°C llamado "Freon", procedimiento que no ha sido autorizado - en Francia por el Consejo Superior de Higiene del Ministerio de Sanidad Pública ni el Servicio de la Represeión de Fraudes y Control de Calidad. Las ventajas del Freon son que: es inodoro, no tóxico y no pueden hacer explosión dentro de amplios márgenes.

Inmersión en hielo triturado: siendo su ventaja la rapidez de refrigeración. Este procedimiento tiene como inconveniente el riesgo de contaminación y proliferación bacteriana más rápida, por el hecho de que la superficie húmeda es favorable al desarrollo de microorganismos. Este sistema es de uso corriente en los EE.UU. y Perú y poco extendido en Francia

Inmersión en Nítrógeno Líquido: aumenta la rapidez de con-

gelación, cuyo punto de ebullición es -196°C . No se podría; sin embargo, sumergir directamente sin inconvenientes los productos alimenticios en N_2 Líquido a -196°C , porque provocaría el reventamiento de las células. Este inconveniente puede ser superado, preparando previamente el producto antes de que entre en contacto con el refrigerante líquido.

2.- Congelación por contacto indirecto en un refrigerante

Esta congelación es realizada mediante aparatos que se presentan en forma de armarios, provistas de plataformas huecas por cuyo interior recorre el fluido frigorígeno; el producto se coloca entre las plataformas para luego quedar aprisionados entre ellas. El contacto así obtenido facilita el paso del frío sobre el producto a congelar, que recibe el flujo sobre sus dos caras. La congelación en estos aparatos es de dos a tres horas para paquetes de 3 a 5 cm., este tiempo varía según la naturaleza del producto, de su embalaje, espesor y densidad, la temperatura de ebullición del fluido en las plataformas es de aproximadamente -40°C .

3.- Congelación por flujo de aire frío

- | | |
|--|--------------------------------------|
| - Lenta a -15°C | En cámaras ventiladas |
| - Semi-lenta a -22°C | En cámaras ventiladas |
| - Rápida a -25°C ó -30°C | En túneles fuertemente ventilados |
| - Ultra rápida -35°C ó -40°C | En túneles especialmente construidos |

En los túneles fuertemente ventilados para la congelación de piezas grandes la llamada congelación rápida no puede -

considerarse como ultrarápida dada la duración de penetración del frío en la masa. Por el contrario la congelación de trozos como filetes, tajadas, costillas puede ser mucho más rápido y lleva en general el nombre de sobrecongelación siendo la velocidad del aire de 5 a 6 m/s, mientras que en la congelación lenta (18 a 20 horas en las cámaras) la velocidad del aire es de 1 a 2 m/s con temperaturas de aire comprendidas entre -30 y 35°C .

2.3 DESCRIPCION DEL TUNEL PROPUESTO

Se trata de un TUNEL PARA LA CONGELACION RAPIDA DE ALIMENTOS DE FACIL DESCOMPOSICION, MEDIANTE EL USO DE NITROGENO LIQUIDO. El túnel propuesto consta de 4 zonas (pre-enfriamiento, enfriamiento, pulverización o de congelación, estabilización o de equilibrio) de las cuales se destacan las tres últimas.

Características del Túnel

- a) Se trata de un túnel cuya zona de pulverización está fuera de la zona de recirculación, permitiendo así el aprovechamiento máximo del gas a bajas temperaturas y menor pérdida del nitrógeno gaseoso.
- b) No requiere de estructura metálica para darle rigidez a las paredes del túnel y soportar los motores sobre el túnel, ya que en nuestro caso las paredes del túnel son independientes de la estructura requerida para soportar los motores requeridos, los mismos que están debajo del nivel del túnel.
- c) Posee una bandeja convergente hacia la parte central del

ducto, por donde es succionado el gas hacia el ventilador, de tal forma que luego de realizarse la limpieza del túnel y durante la misma con agua, pueda ser éste drenado por su parte inferior para el cual se ha previsto el uso de dos codos de PVC, estando el segundo codo agujereado en su parte superior para la entrada de aire. Este codo servirá también como trampa evitando la entrada de aire al túnel una vez - puesto en operación, recomendándose por tal motivo hacer - circular un poco de agua antes de la primera prueba del túnel.

- d) La parte superior del túnel está apoyada mediante guías dispuestas en las esquinas sobre la otra (inferior) que contiene a la cadena transportadora y los ejes.
- e) Posee en su parte interna un deflector hipociclidal y filtros (2) uno frente al otro.
- f) Posee paredes laterales, superior e inferior de aislante, - contraplacadas con planchas de fibra de vidrio, pudiendo - ser de acero inoxidable.

Una vez pulverizado el Nitrógeno líquido dentro del túnel, recircula pasando por sobre el producto que atraviesa el túnel - sobre una cadena transportadora y luego desviado por el deflector hacia las rejillas o filtros de forma rectangular ubicado a cada lado dentro del túnel y uno frente del otro. Esta recirculación se realiza mediante un ventilador centrífugo, que succiona el nitrógeno gaseoso por debajo del túnel y lo descarga por una tubería que bifurca en dos tuberías, las cuales condu-

cen luego al nitrógeno en sentidos opuestos en la zona de recirculación.

La regulación de la velocidad del Nitrógeno gaseoso sobre el producto y el control de la salida de gases por las zonas de estabilización o de equilibrio y de pre-enfriamiento, es controlado por dos compuertas ubicados a la salida del ventilador.

El transporte del producto es realizada por una cadena transportadora y bandejas agujereadas en su base, mientras que la transmisión de potencia es mediante cadenas y catalinas desde un motorreductor de 0.4 HP y 5 RPM de salida.

2.4 ANALISIS DEL ENFRIAMIENTO EN EL EQUIPO EXPERIMENTAL

Cuando el producto a ser congelado recorre el túnel, pasa por las siguientes 4 zonas (fig. 4-3):

- 1.- Zona de pre-enfriamiento
- 2.- Zona de enfriamiento por donde circula gas a alta velocidad, a una temperatura promedio seleccionada
- 3.- Zona de congelamiento, cuyo ambiente se encuentra a -196°C mientras se esté pulverizando el Nitrógeno-líquido
- 4.- Zona de equilibrio antes de abandonar la cámara

En las dos primeras zonas se tiene como objetivo, extraer solamente el calor sensible del producto. La zona de pulverización es utilizada para la extracción del calor latente del producto.

Un sistema de recirculación hace que el gas circule a una velocidad promedio de 6.1 m/s sobre la superficie del producto pa-

ra lograr transferencia óptima de calor. Siendo el intercambio de calor en forma óptima, se conseguirá que el producto esté más caliente donde el gas esté más caliente (Zona II).

2.5 FACTORES CRITICOS DE CONTROL

Los controles más importantes para un buen congelamiento son 2:

- a) Controlar el consumo de N_2 líquido mientras se esté procesando el producto generando una temperatura constante en la zona de enfriamiento.
- b) Mantener el balance de gas dentro del sistema, mientras que las zonas de enfriamiento y de equilibrio sirven como áreas de transición y sellan la zona central de la atmósfera (el medio ambiente).

2.6 AISLANTE SELECCIONADO

El aislante seleccionado es ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO, cuyo coeficiente de conductibilidad es la mitad la del aislante que le sigue en orden (ESPUMA DE POLIESTIRENO).

Su densidad puede ser controlada mediante su formulación, teniendo la misma gran efecto en la mayoría de sus propiedades físicas. Su inyección puede hacerse directamente en el espacio requerido o previamente a unos moldes, en la que aumenta su volumen inicial en 25 a 35 veces en en 5 minutos; la espuma procesada ejerce presión sobre las paredes de 0.21 a 0.35 kg/cm^2 , por tanto suele ser necesario reforzarlas.

Retiene casi la totalidad de su capacidad aislante siempre y

2.6.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS MATERIALES AISLANTES MAS UTILIZADOS

MATERIAL	POLIESTIRENO	ESTIROFOAM	POLIURETANO	ESPUMA DE VIDRIO	CORCHO
CARACTERISTICAS					
Peso (Kg/m ³)	15/25	30	30/50	110/144	100/120
K a 0°C ($\frac{W}{cm \cdot ^\circ C}$)	0.036	0.035	0.020	0.037	0.041
Resistencia a la Compresión (Kg/cm ²)	0.2 a 0.35	1	0.4 a 0.6	3	1
Resistencia a la difusión del vapor de agua	Buena	Buena	Buena	Muy Buena	Media
Dilatación lineal (cm/cm/°C)	8 x 10 ⁻⁵	7 x 10 ⁻⁵	8 x 10 ⁻⁵	8.3 x 10 ⁻⁵	6 x 10 ⁻⁵
Temperatura de Utilización (°C)	-40 a + 60	-40 a +60	-160 a +100	-200 a+400	-100 a +100
PROPIEDADES ADICIONALES DE LOS MATERIALES AISLANTES					
Conductividad Térmica K (W / m °C) T _a = 17.5 °C K(W/m °C)					
Poliuretano	0.0195 + 0.00016 x T		0.022		
Espuma de vidrio	0.0371 + 0.00023 x T		0.041		
Poliestireno	0.0357 + 0.00016 x T		0.036		

Tabla (2 - 1)

cuando la superficie de la misma se encuentre protegida contra el aire, es impermeable, y ésto hace que no le penetre agua - por ser una de las causas más comunes que influyen en la pérdida de la aislación.

La espuma rígida tiene grandes propiedades de adherencia, una vez comenzada la reacción de sus dos componentes principales - (un polioliol y un isocianato) la mayoría de los materiales que - entran en contacto con ella se pegan fuertemente a la misma. - En caso de que no se desee de que se produzca adhesión alguna es necesario cubrir el molde con cera o algún otro tipo de desmoldante (a base de siliconas).

Los paneles o secciones y terminadas de espuma rígida se pueden pegar o post-laminar mediante técnicas corrientes, éstos son: el resorcimol, emulsión de goma, resina epóxidica, resina poliéster y pinturas bituminosas.

2.7 EXPANSION TERMICA DE LOS MATERIALES

La expansión térmica es muy importante tenerla en cuenta para grandes variaciones de temperatura; sin embargo, para el caso de planchas de plástico (resina-poliéster) reforzado con fibra de vidrio y el aislante (poliuretano) se prevé una contracción realmente despreciable aún para una diferencia de temperatura considerable

PARAMETROS		M A T E R I A L	
L (m)	$\Delta T^{\circ}C$	P.R.V.F.	Poliuretano
		ΔL (mm)	ΔL (mm)
1.4	211	3	-
1.4	108	1.7	3.24

De ser utilizado Planchas de acero inoxidable también se tendrán deformaciones similares en promedio similares a las de fibra de vidrio como podrá verse en la tabla que se muestra a continuación.

Sin embargo, el primer análisis que debe realizarse es el costo relativo de cada uno de los materiales teniéndose en cuenta las apreciaciones relativas de su apariencia, resistencia al desgaste, corrosión, etc. según necesidades y finalmente tenerse en cuenta sus resistencias a los esfuerzos cortantes y al impacto.

2.7.1

EXPANSION TERMICA PARA VARIOS PLASTICOS CRIOGENICOS $\left(\frac{\text{mm}}{100 \text{ m}}\right)$

Temp. del Mat. °K	Temp. del Mat. °C	Resina poli- ester ref. con fib. de vid.	Phenolic	Resina Epóxica	Nylon	Fluor- thene	Polies- tireno	Polite- trafluo- ro/Etil.	Pyrex	304 acero inox.
0	-273	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-253	2.5	11.7	8.3	8.3	17.5	22.5	37.5	-0.8	-0.9
40	-233	9.2	31.7	32.5	30.8	54.2	68.3	95.8	-1.7	-1.3
60	-213	17.5	58.3	65.0	67.5	96.7	126.7	166.7	1.3	2.3
80	-193	28.3	90.8	105.0	118.3	144.2	195.8	250.0	0.8	1.2
100	-173	40.8	128.3	150.8	180.8	195.8	274.2	341.7	3.8	25.0
120	-153	55.8	170.8	201.7	250.8	250.8	360.0	437.5	7.1	41.7
140	-133	73.3	217.5	258.3	327.5	310.0	451.7	541.7	10.8	60.8
160	-113	91.7	267.5	320.8	410.8	370.0	548.3	654.2	14.6	80.8
180	-93	111.7	320.8	389.2	500.0	442.5	648.3	783.3	18.8	103.3
200	-73	132.5	376.7	463.3	596.7	515.0	750.0	941.7	22.9	125.8
220	-53	153.3	436.7	542.5	700.8	592.5	853.3	1,141.7	27.5	150.0
240	-33	175.0	573.3	626.7	814.2	675.8	960.0	1,350.0	32.5	175.0
260	-13	197.5	624.3	718.3	936.7	767.5	1,070.0	1,562.5	37.1	200.8
280	7	220.0	651.7	816.7	1,023.3	834.2	1,145.0	1,775.0	42.1	226.7
300	27	242.5	740.8	922.5	1,208.3	989.2	1,305.0	2,245.8	47.5	253.3

Tabla (2 - 2)

2.7.2

EXPANSION LINEAL PARA VARIOS METALES CRIOGENICOS $\left(\frac{\text{mm}}{100 \text{ m}}\right)$

Temp. del Material °K	°C	Cu	Ni	Al	Mg	Zn	Ti	1020 Ac.al Carbono	304 al máx.	Monel	Incomel	Bronce
0	-273	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	-253	0	0	0	0.8	0.8	0	0	-0.9	0	0	0
40	-33	1.7	0.8	1.7	4.2	7.5*	0.8	0.8	-1.3	-1.3	0.8	3.3
60	-213	8.3	3.3	8.3	10.0	23.3	1.7	3.3	2.3	5.0	4.2	12.5
80	-193	20.8	10.0	20.0	24.2	47.5	5.0	8.3	11.7	12.5	10.0	28.3
100	-173	36.7	19.2	38.3	45.8	77.5	11.7	16.7	25.0	24.2	20.0	47.5
120	-153	55.8	31.7	60.0	72.5	110.8	20.0	26.7	41.7	37.5	31.7	70.8
140	-133	76.7	45.8	86.7	103.3	146.7	29.2	39.2	60.8	53.3	45.8	95.8
160	-113	99.2	61.7	115.0	136.7	184.2	39.2	52.5	80.8	70.8	61.7	121.7
180	-93	123.3	79.2	145.8	173.3	222.5	50.0	67.5	103.3	89.2	79.2	150.8
200	-73	148.3	97.5	178.3	211.7	261.7	61.7	84.2	125.8	108.3	97.5	178.3
220	-53	174.2	116.7	212.5	252.5	302.5	74.2	100.8	150.0	129.2	116.7	207.5
240	-33	200.0	136.7	247.5	294.2	344.2	87.5	118.3	591.7	150.0	135.8	237.5
260	-13	226	156.7	284.2	335.8	387.5	100.8	136.7	200.8	172.5	155.8	268.3
280	7	254.2	177.5	320.8	377.5	431.7	115.0	155.8	226.7	195.0	176.7	299.2
300	27	282.5	199.2	359.2	419.2	476.7	129.2	175.0	253.3	217.0	198.3	330.8

Tabla (2 - 3)

2.8

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES METALICOS DE POSIBLE USO

MATERIAL (a 180°C)	COSTO RELATIVO	APARIENCIA RELATIVA	CALOR ESPECIFICO $(\frac{W-h}{kg. °C})$	RESISTENCIA RELATIVA	CONDUCTIVIDAD TERMICA (K) $(\frac{W}{m °C})$
Fierro cromado	6	2	0.121	2	44.75
Fierro	1	6	0.141	3	67.12
Aluminio	2	4	0.260	6	201.37
Cobre	7	5	0.106	5	385.54
Bronce	4	3	0.121	4	86.06
Acero inoxidable	5	1	0.126	1	34.43

a

b

c

DESIGNACION:

6 (7)	3	1	Columna
(caro) Feo Menor	Reg.	(Barato) Bonito Mayor	a b c

Tabla (2 - 4)

CAPITULO 3: EL NITROGENO Y SUS PROPIEDADES

CAPITULO 3

EL NITROGENO Y SUS PROPIEDADES

3.1 GENERALIDADES DE SU COMPORTAMIENTO

El nitrógeno es un inagotable elemento de la atmósfera que esta siendo ampliamente utilizado en la industria extranjera por su atmósfera inerte, como rigidizantes, contractores por su baja temperatura, preservación de alimentos, semen, crio cirugía, etc. No requiere se tome mayores precauciones que las observadas para el oxígeno líquido ó el aire tanto para su almacenamiento como durante su utilización, es atóxico, inflamable y no explosivo.

Si se deja una pequeña cantidad de nitrógeno líquido en un recipiente sin aislamiento, este se presurizará debido a la evaporización, siendo la presión final dependiente del volumen del recipiente y de la cantidad de nitrógeno líquido dejado en ella

3.1.1 Propiedades que Caracterizan al Nitrógeno

Temperatura crítica	- 146.7 °C
Temperatura de ebullición	- 195.8 °C
Temperatura de fusión	- 209.9 °C
Gravedad específica (densidad) del N ₂ Liq a - 196 °C	808 Kg/m ³
$\frac{\text{m}^3 \text{ de gas}}{\text{m}^3 \text{ de liq}}$ a 1 atm. - C.N.	
Calor latente a 1 atm.	55.47 $\frac{\text{w-h}}{\text{Kg}}$

* Valor dado por algunos proveedores de N₂ líquido, (extranjeros).

Para el nitrógeno se dispone de un diagrama de mollier basado en datos obtenidos experimentalmente y correlaciones termodinámicas generalizadas. Los máximos errores reportados para dicho diagrama son de $(\pm 0.39 \frac{w-h}{Kg})^*$ para la Entalpía y de $\pm 0.0026 \text{ BTU/lb } ^\circ\text{R}$ $(\pm 0.003 \frac{w-h}{Kg } ^\circ\text{R})^*$ para la Entropía. Para el nitrógeno comprimido la exactitud de la Entalpía experimental es de $\pm 1\%$ ó $1 \text{ BTU/lb} (0.64 \frac{w-h}{Kg})^*$

3.1.2 Gráfico Adjunto (Diagrama de Mollier)

3.1.3 Propiedades y sus Rangos Cubiertos por el Diagrama de Mollier

PROPIEDADES	U N I D A D		R A N G O	
	Sist. Inglés	Sist.-ISO	Sist.-Inglés	Sist. - ISO
Temperatura	$^\circ\text{F}$	$^\circ\text{C}$	-320.4 a 120.0	-196 a 48.9
Presión	lb/sq.in.abs.	$(\text{Kg/m}^2)_{\text{abs.}}$	10 a 1500	$(0.7 \text{ a } 105.7) \times 10^4$
Entalpía	BTU/lb.	$\frac{w-h}{\text{Kg}}$	0 a 200	0 a 12.9
Entropía	BTU/lb. $^\circ\text{R}$	$\frac{w-h}{\text{Kg}}$	0 a 1.0	0 a 0.645
Volumen específico	cu.ft/lb.	m^3/Kg	0.0198 a 20.0	1.23×10^{-3} a 1.25

* Valor dado por algunos proveedores de N₂ líquido,(extranjeros).

3.2 OBTENCION DEL NITROGENO

El nitrógeno se obtiene del aire en las plantas de separación del aire, la composición volumétrica del aire seco en porcentajes al nivel del mar la siguiente :

$$N_2 = 78.03; \quad O_2 = 20.99; \quad A = 0.94; \quad CO_2 = 0.03; \quad H_2 = 0.01$$

$$N_e = 0.00123; \quad H_e = 0.0004; \quad K_r = 0.00005; \quad X_e = 0.000006$$

para fines ordinarios se toma la composición como $N_2 = 79$; $O = 21$.

Sobre esta base la relación de N_2 a O es de 3.76. Sobre la base de la masa o del peso, la composición en porcentajes es de $N_2 = 75.5$; $O_2 = 23.2$; $A = 1.33$; $CO_2 = 0.045$ ó aproximadamente $N_2 = 76.3$; $O_2 = 23.2$; y la relación del nitrógeno al oxígeno en peso es 3.32.

Se han desarrollado varios proyectos diferentes de plantas de separación de aire, de los cuales podemos mencionar los siguientes:

A) Compresión y enfriamiento del aire.

B) Por absorción.

A) El aire atmosférico se comprime a varias decenas de Kg/cm^2 , se purifica para extraer el gas carbónico (el cual taponaría al solidificarse los conductos de paso del aire cuando se enfria a su temperatura de licuefacción), luego se comprime el aire a presiones de 180 a 210 Kg/cm^2 , se enfria a la temperatura ambiente en su enfriador y se seca para eliminar el vapor de agua (que al congelarse taponaría los conductos).

La refrigeración básica en el proceso de refrigeración es prou

porcionada por dos procedimientos diferentes y son :

1. Expansión del aire en la máquina. Durante este pro
ceso el aire produce trabajo y como resultado, se re
duce su temperatura.
2. Consiste en pasar el aire por la válvula de estrangu
lamiento, proyectada y situada para que haya un des
ceso de presión substancial en el aire, y consecuen
temente un descenso substancial en su temperatura.

Como se muestra en la figura siguiente, el aire seco a alta presión entra a un cambiador de calor. La temperatura desciende a su paso por el cambiador, parte del aire es extraído para que fluya a través de la máquina de expansión. El aire remanente pasa por el resto del cambiador de calor y a través de la v
álvula de estrangulamiento. Las dos corrientes vuelven a juntarse a una presión de 5 - 10 atmósferas y entran a una columna de destilación llamada columna de alta presión. La función de la columna de destilación es la de separar el aire en sus varios componentes, principalmente el oxígeno y el nitrógeno. Dos corrientes de composiciones di
ferentes fluyen de la columna de alta presión a la columna su
perior (también llamada de baja presión), pasando por las válvulas de estrangulamiento. Una es de ellas es de líquido abundante en oxígeno que sale del fondo de la columna más ba
ja; la otra corriente, abundante en nitrógeno fluye a tra
vés del subenfriador. La separación se completa en la colum
na superior, el oxígeno líquido sale por el fondo y el nitró
geno gaseoso sale por la cúpula de la columna. El nitrógeno.....

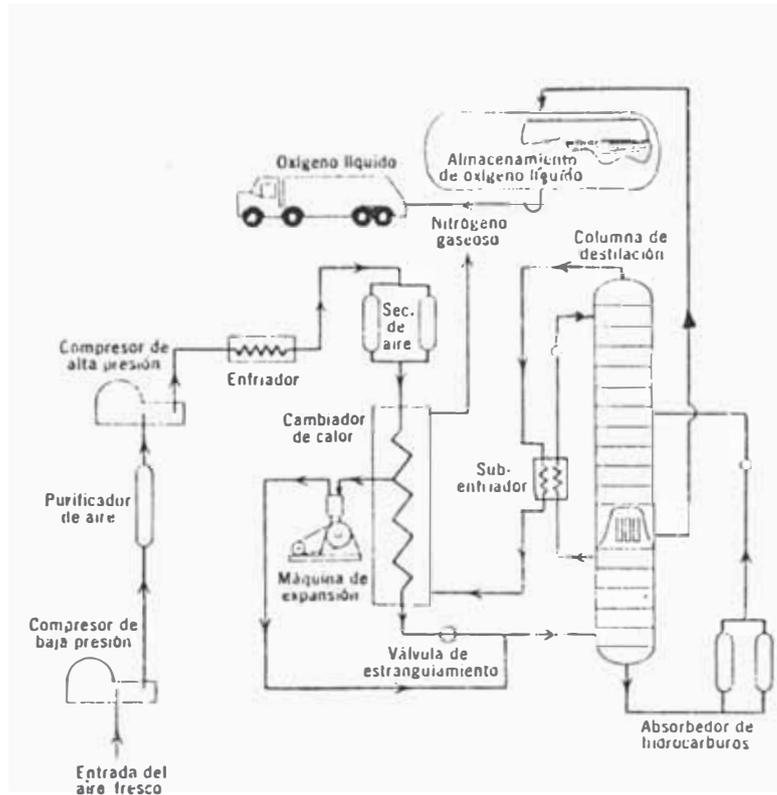


Diagrama simplificado de una planta de oxígeno líquido.
(Cortesía de Air Products and Chemicals, Inc.)

.gaseoso pasa por el subenfriador y el cambiador de calor (de calor principal). La transmisión de calor al nitrógeno frío es la causa de la refrigeración del aire a alta presión que pasa por el cambiador de calor.

3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DEL NITROGENO

VENTAJAS : El congelamiento con nitrógeno ofrece muchas ventajas que pueden resumirse como siguen :

- a) Inhibición del crecimiento de microorganismos que originan la descomposición, mediante la rápida disminución de la temperatura.
- b) Retención de la calidad debido a la gran reducción de la acción enzimática.
- c) Minimiza la destrucción de los tejidos debido a la formación de microcristales entre las células.
- d) Reducción del período o tiempo de solidificación - durante el cual la difusión y ósmosis puede alterar la relación de agua y soluto-sólido en los tejidos y células.
- e) El costo de los equipos es 1/2 a 1/4 menos que los requeridos para la refrigeración convencional.
- f) La pérdida de peso es de 0.5% en el caso de sobrecongelación con nitrógeno líquido contra el 4% en los túneles tradicionales.
- g) No es necesario la disposición de personal "numeroso" dedicado al control del proceso de producción e inspección. Es de fácil operación.
- h) La superficie (suelo) requerido es de 50 a 60 ve

ces menos, comparado con el método tradicional -
(cámaras con flujo de aire a baja velocidad).

- i) Permite el traslado rápido a las cámaras de almacenamiento.

DESVENTAJAS

- a) Es esencial precisar el control de la temperatura del nitrógeno gaseoso para prevenir que se dañe el producto.
- b) El costo de operación es alto.

CAPITULO 4 : DIMENS ONAMIENTO Y CALCULO

CAPITULO 4 DIMENSIONAMIENTO Y CALCULO

4.1 Cálculo de la capacidad del túnel (CAP) :

$$N_2 \text{ disponible} = 2 \text{ PGS/día} = 89 \text{ GAL/día}$$

$$1 \text{ Kg } N_2 (-196^\circ\text{C}) = 0.3,27 \text{ Gal.}$$

$$\text{proporción recomendada: } (1.2 - 1.4) \frac{\text{Kg } N_2}{\text{Kg Lang}} \quad \dots(\text{Ref. R6})$$

$$\text{proporción escogida} = 1.21 \text{ Kg } N_2/\text{kg Lang.}$$

$$\text{CAP} = \frac{272.12 \text{ Kg } N_2/\text{día}}{1.21 \text{ Kg } N_2/\text{kg. Lang}} = 224.89 \text{ Kg Lang./día}$$

$$\text{CAP} = 28.10 \text{ Kg Lang./h.} \quad ; \quad 1 \text{ día} = 8 \text{ h. operación}$$
$$(5,845 \text{ Kg}_{\text{Lang}}/\text{mes}) \quad (26 \text{ días útiles/mes})$$

4.2 Cálculo de las dimensiones del túnel

Las dimensiones de nuestro túnel lo calcularemos de 2 formas, para luego decidir dimensiones definitivas.

4.2.1 Utilizando como referencia las dimensiones de los túneles empleados en el extranjero, para diferentes capacidades y tiempos, (L/a vs CAP).

4.2.2 Según el área ocupada por el producto a procesarse por cada 10 minutos y con el valor L/a hallado anteriormente, se tabula para diferentes valores de a ($A = a \times L$).

Para el dimensionamiento según (4.2.1), ver la Tabla (4-1) y (4-2).

4.2.1 Los fabricantes de equipos (Messer Griesheim) : Dan los siguientes parámetros (dimensiones vs CAP)

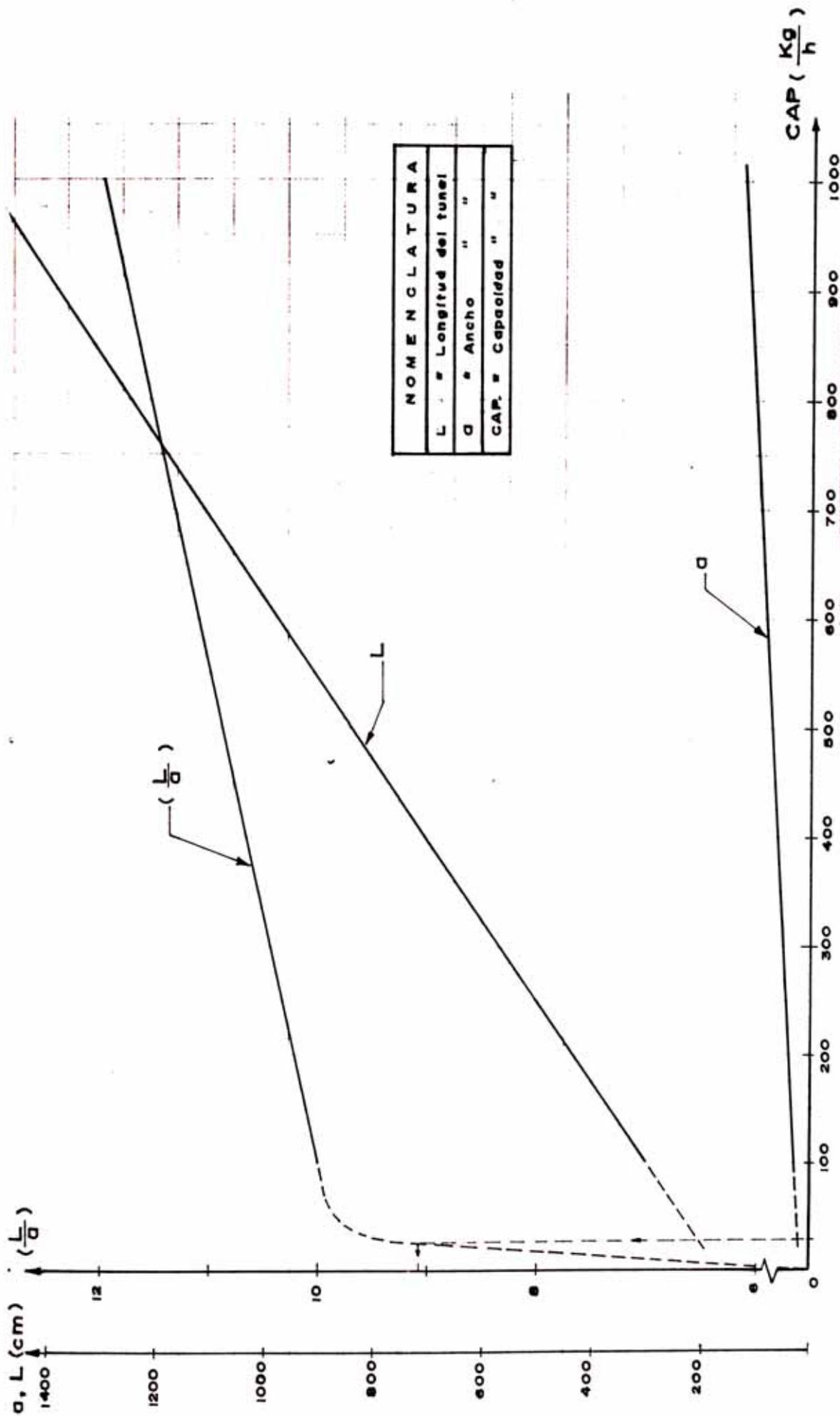
	MINIMO										MAXIMO
Ancho interior (cm)	30	40.7	51.3	62.0	72.7	83.3	94.0	104.7	115.3	126	
Long. interior (cm)	300	433.3	566.7	70.0	833.3	966.7	1100	1233.3	1366.7	1500	
CAP túnel (Kg/h)	100	200	300	300	500	600	700	800	900	1000	
Tiempo congelac. (t)	t	1.1t	1.22t	1.33t	1.44t	1.56t	1.67t	1.78t	1.99t	2t	
Tiempo congelac. (min.)	10.9	12.1	13.3	14.5	15.7	16.9	18.1	19.3	20.53	21.7	
Proporción <u>largo</u> ancho	10	10.21	10.42	10.63	10.84	11.06	11.27	11.48	11.69	11.90	

Del graf. ($\frac{L}{a}$) vs CAP

Para nuestra CAP. = 28.1 Kg/h

$\frac{L}{a} = 9.$

Tabla (4-1)



NOMENCLATURA	
L	= Longitud del tunel
D	= Ancho "
CAP.	= Capacidad "

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 PROGRAMA ACADÉMICO : INE. MECÁNICA ELÉCTRICA
 TRAJO DE INVESTIGACION :
 TUNEL PARA LA CONSERVACION RAPIDA DE ALIMENTOS
 PROPORCION: L/D vs CAPACIDAD del tunel
 BACHILLER : RAUL A. MORALES LANDEO

Segun recomendacion de Messer Griesheim

FIG. 4-1

De la tabla anterior :	
Extrapolando para una $CAP_{dis} = 28.10 \frac{Kg}{h}$	
Ancho interior	= 22,3 cm. = 22 cm.
Longitud interior	= 204,0 cm. = 205 cm.
Tiempo (asumido)	= 0.92 T = 10 min.

Tabla (4-2)

Nota:

- * La CAP_{dis} es la capacidad en condiciones óptimas
- * Tiempo de diseño = 10 minutos
- * Al final de un período de trabajo de 8 horas en condiciones de producción mínima $\frac{Kg N_2}{(Kg Lang)}$ se procesará más cantidad de producto.

4.2.2 Dimensionamiento según el área ocupada (Ref. 4.2.2)

$$CAP_{dis.} = \frac{4.68 \text{ Kg.}}{10 \text{ min.}}$$

Teniendo en cuenta que en la industria prevalece:

(El número de colas o de ejemplares es de 67 a 93/Kg. para el tamaño mediano).

Tomaremos: $80 \frac{\text{Ejemplares}}{\text{Kg.}}$ ó $\frac{\text{Langostinos}}{\text{Kg.}}$

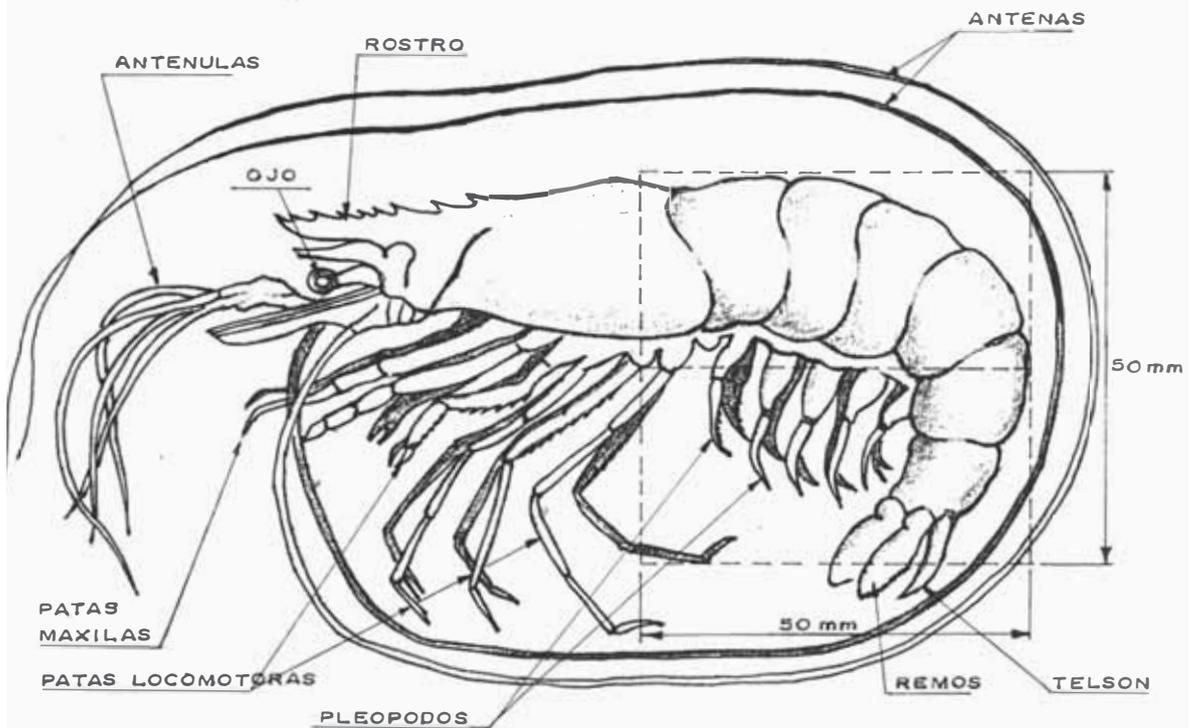


Fig. (4-2)

$$\text{Nuestra capacidad será: } CAP = \frac{4.68 \text{ Kg.} \times 80 \text{ Ejemplares}}{10 \text{ min.} \quad \text{Kg.}}$$

$$CAP = 374 \frac{\text{Langostinos}}{10 \text{ min.}}$$

Dimensionaremos para una capacidad de 374 langostinos.

Sabiendo que 2 langostinos ocupan un área de 25 cm^2 .

$$2 \text{ ----- } 25 \text{ cm}^2.$$

$$374 \text{ ----- } A$$

$$A = \frac{25 \times 374}{2} = 4675 \text{ cm}^2 \text{ (Area requerida interior)}$$

Del gráfico ($\frac{L}{a}$) vs CAP

Para nuestra capacidad de 28.10 Kg/h $\frac{L}{a} \cong 9$

Tabulando: (dimensiones del tunel)

ancho (cm) (asumido)	10	15	20	25	30	35	22,65
largo (cm) (calculado)	90	135	180	225	270	315	203.88
área (cm ²)	900	2025	3600	5625	8100	11025	4675

Tabla (4-3)

Las dimensiones requeridas para el área de 4675 se -
rán:

$$A = (203 \times 22.65) = (212.5 \times 22) = 4675 \text{ cm}^2.$$

4.2.3 Comparando las dimensiones de los túneles anteriormen-
te halladas :

$$A = (205 \times 22) \text{ cm}^2. \text{ (según el 4.2.1)}$$

$$A = (212 \times 22) \text{ cm}^2. \text{ (según el 4.2.2)}$$

Se concluye que las dimensiones adecuadas serán :

$$\text{Largo} = 210 \text{ cm.}$$

$$\text{Ancho} = 22 \text{ cm.}$$

$$\text{Area} = 4620 \text{ cm}^2.$$

4.3 Zonas del túnel y calor cedido por el producto en cada uno de ellos.

El túnel que presentamos como se menciona en (2.4) consta de 4 zonas y basados en la última técnica de congelación lo que

se trata es de conseguir la ultra rápida remoción del calor latente en la zona de pulverización (III), por consiguiente el calor sensible deberá ser extraído en las zonas previas a ésta (I y II).

En los túneles con recirculación de N_2 que se tiene de referencia la temperatura de salida de gases oscila entre -50 y 10 °F (-45.6 a -12.2 °C); así como la longitud de las zonas de preenfriamiento + zona de enfriamiento no son menores que los $2/3$ de la long. total (valores referenciales). Excepcionalmente la temperatura de salida del N_2 llega a ser 30 °F (-1.11 °C), en túneles muy largos y sin recirc. del N_2 .

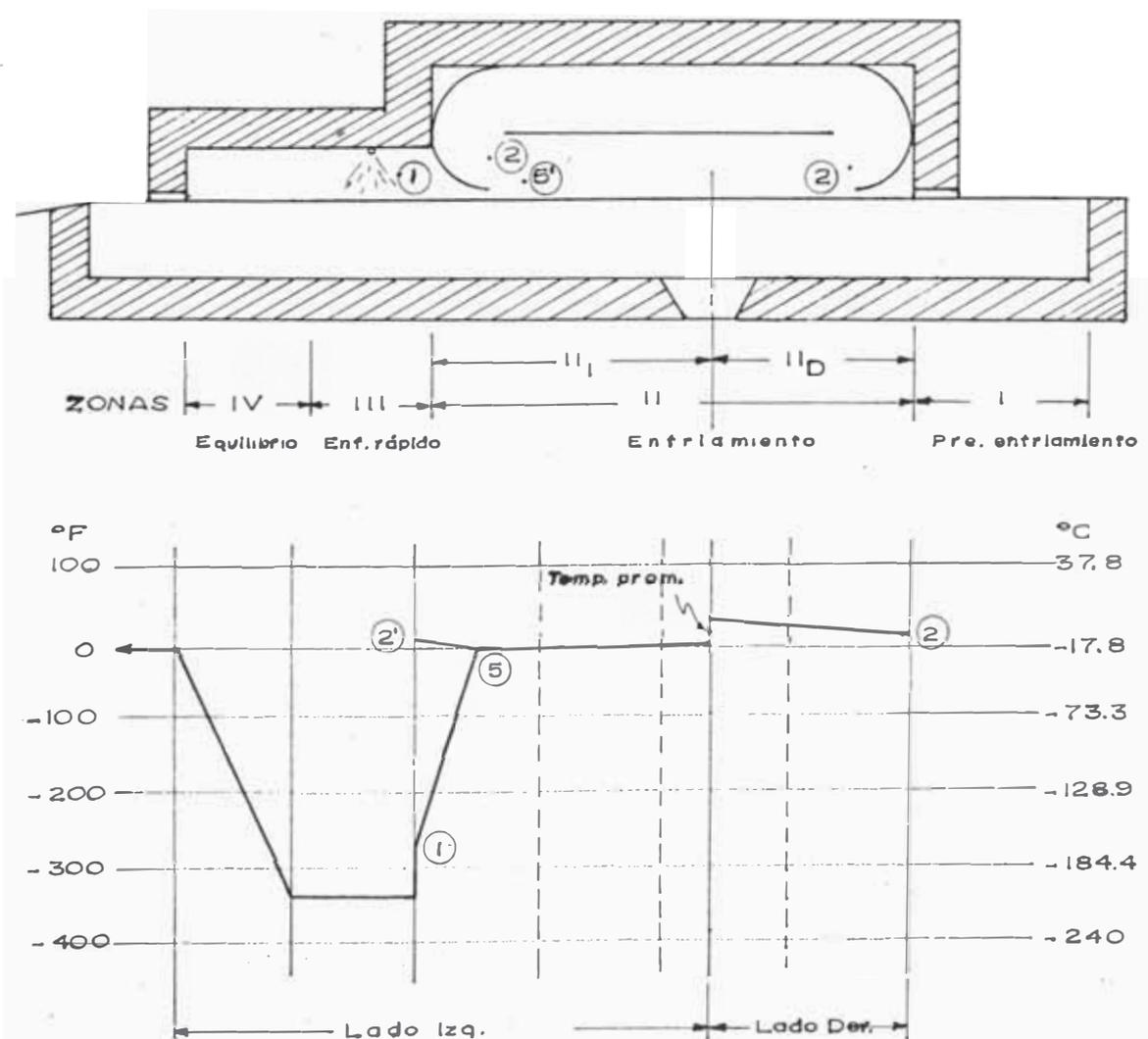


Fig. (4-3)

4.3.1 Cálculo de la temperatura de ingreso a la Zona II₁
 (Temp. de Mezcla T₅) :

$$C_{p N_2} \cong 0.292 \frac{w-h}{Kg \text{ } ^\circ C} \dots -157^\circ C < T < -12.2^\circ C$$

(-250°F) (10°F)

$$C_{p N_2} \cong 0.29 \frac{w-h}{Kg \text{ } ^\circ C} \dots \dots \dots T > -12.2^\circ C$$

(10°F)

En la fig. (3) :

$$m_5 = m_{2'} + m_1 \dots \dots \dots (a)$$

$$Q_{gan.1} = Q_{ced.2'} \dots \dots \dots (b)$$

donde m₁ = masa de gas que fluye hacia el L.D.
 = 99% x N₂ pulv.

$$N_2 \text{ pulv.} = 34.02 \text{ Kg/h}$$

En (a)*y (b) :

$$\int_{T_5} (156.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2) (6.1 \frac{m}{s}) = m_{2'} + (99\% \times \frac{34.02 \text{ Kg}}{3600 \text{ s}}) \dots \dots \dots (c)$$

$$0.99 \times \frac{34.02}{3600} \times 0.292 \times (T_5 + 157) = m_{2'} C_{p T_2'} \times (T_{2'} - T_5) \dots \dots \dots (d)$$

De (c) y (d) : Cálculo de la temp. de mezcla (T₅), Ver (Tabla 4-4).

4.3.2 Cálculo de la longitud de la zona II₁+ II₂

Ejm. de cálculo: (para T_{2'} = T_{prom.} = -6.67 °C)

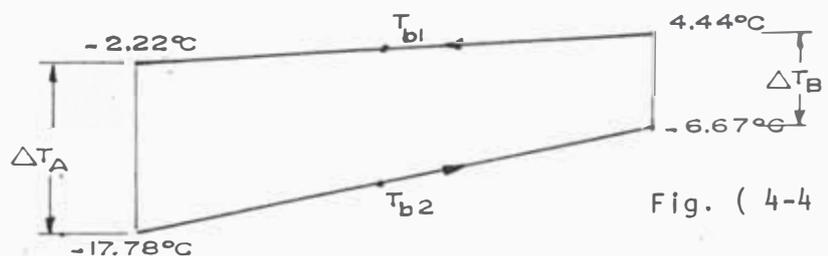


Fig. (4-4)

De (c), (d): CALCULO DE LA TEMPERATURA DE MEZCLA T₅

ΔT	$T_{21} = T_{prom}$	T_5	ρ_{T5}	m_{21}	T_5
In arit. °C	°F (°C) Seleccionado	°F (°C) *Asum./calc.	lb/pie ³ (Kg/m ³) (Del graf.)	Kg/s Calculado	°F (°C) Calculado
7.76	30 - 1.11	20* - 6.66* 8.62 - 12.99	1/12.3 1.30 1/12 1.34	0.115 0.118	8.62 - 12.96 9.14 - 12.60
13.34	20 - 6.66	10* - 12.22* -0.45 - 18.02	1/12.2 1.31 1/11.8 1.36	0.116 0.120	-0.45 - 18.02 0.22 - 17.66
18.47	10 - 12.22	10* - 12.22* -9.37 - 22.98	1/12 1.34 1/11.5 1.39	0.118 0.123	-9.37 - 22.98 -8.56 - 22.53
23.75	0 - 17.77	0* - 17.77* -18.31 - 27.95	1/11.8 1.36 1/11.3 1.42	0.120 0.126	-18.31 - 27.95 -17.53 - 27.52
28.97	-10 - 23.33	-10* - 23.33* -27.13 - 32.85	1/11.5 1.39 1/11 1.46	0.123 0.130	-27.13 - 32.85 -26.39 - 32.44

Tabla (4-4)

.....

Donde :

4.44°C ... (Temp. ingreso del prod.)

-2.22°C ... (Temp. salida del prod.)

-17.78°C ... (Temp. de ingreso del N₂ para el enfriamiento previo del prod.).

-6.67°C ... (Temp. de salida del N₂).

$$\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B} = \frac{-2.22 + 17.78}{4.44 + 6.67} = 1.4 < 1.5$$

Emplearemos la media Aritmética :

$$\Delta T_{\text{arit.}} = \frac{1}{2} (\Delta T_A + \Delta T_B)$$

$$\Delta T_{\text{arit.}} = \frac{1}{2} (15.56 + 11.11) = 13.34^\circ\text{C}$$

Para el cálculo de la longitud de la zona II_I + II_D procederemos en el siguiente orden :

1° Cálculo del calor que se requiere extraer

$$Q = Q_{\text{sens.}} + Q_{\text{adic.}}$$

donde:

Q_{sens.} = Calor sensible del prod.,

Q_{adic.} = Calor transf. por las paredes+ventilador + fricción.

Q_{adic.} = 10% Q_{sens.} ... (asumido)

2° Determinación de b (ancho equivalente)

3° Cálculo del NU :
$$NU = \frac{Q}{K.b.\Delta T_{\text{arit.}}}$$

4° Cálculo del Re :
$$NU = 0.036 Re^{0.8} P_r^{1/3}$$

(Régimen turbulento)

5° Cálculo de L : $L = \frac{Re. \checkmark}{V}$

1° Paso :

$$Q = (X\% Q_{sens} + 10\% \cdot Q_{sens})$$

$$Q_{sens} = (28.05 \frac{Kg}{h}) (1 \frac{W-h}{Kg^{\circ}C}) (4.44+2.22^{\circ}C) = 186.6 \text{ Watt}$$

$$Q = 186.6 + 18.6 = 205.26 \text{ Watt, para } X = 100\%$$

2° Paso :

Determinación del ancho equivalente del túnel (b) a ser considerado, conociendo el área total del producto expuesta al N_2 ($b = n \cdot b_1$); $n = cte.$

Dimensiones de la cola del langostino.

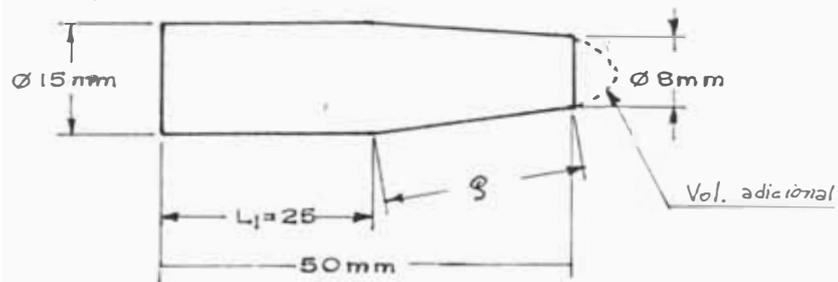


Fig (4-5)

1) Area superficial ($A_{SUP. LANG.}$)

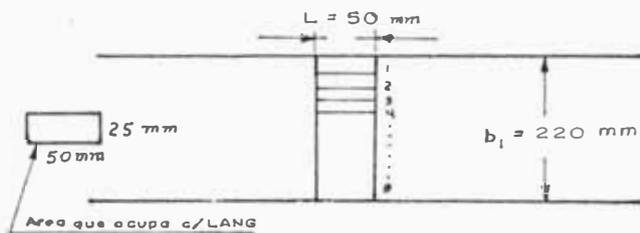
$$A_T = 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L_1 + \pi \cdot g \cdot (r_1 + r_2) + \pi \cdot (r_1^2 + r_2^2)$$

$A_{SUP. LANG.} = (A_1 + 6\% \cdot A_1) \dots$ Considerando el área superficial del Vol. adicional = 6% A_1 .

$$A_{SUP. LANG.} = 2317 + 0.06 (23.17) \text{ mm}^2 \left| \begin{array}{l} r_2 = 7.5 \text{ mm} \\ r_1 = 4 \text{ mm} \\ g = 25.24 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$= 2,456 \text{ mm}^2$$

En el túnel :



$$N^{\circ} \text{ Lang.} = \frac{220}{25} = 8.8 = 9$$

$$A_{\text{TOTAL SUP.}} = 9 \cdot (2,456) = \underline{22,105 \text{ mm}^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$2) \quad A_{\text{consid.}} = n \cdot b_1 \cdot L = n \cdot (220) \cdot (50) = n \cdot (11,000) \dots (2)$$

$$(1) = (2) ; 22,105 = n \cdot (11,000)$$

$$n = 2.01 \quad \therefore b = 2.01 (220) = 0.442 \text{ m}$$

3° Paso :

$$\boxed{NU = \frac{Q}{K \cdot b \cdot \Delta T_{\text{arit.}}}}$$

Donde :

Q (calculado según el 1° paso)

$$T_{\text{arit.}} = 13.34 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

b = dos veces el ancho (calculado anteriormente).

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

$$T_f = \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2}$$

$$T_{b1} = \frac{-2.22 + 4.44}{2} = 1.11 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{b2} = \frac{-6.67 - 17.78}{2} = -12.23 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_f = -5.56 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$K = 2.3 \times 10^{-2} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}} \text{ (Del graf. para } N_2 \text{ a } T_f)$$

4° Paso :

$$Re = \left[\frac{NU}{0.036 (Pr)^{1/3}} \right]^{5/4} \quad \text{Para } Re \gg 400,000$$

$$Pr \gg 0.6$$

NU (se calcula según el 3° Paso)

Pr = 0.72 (Del graf. para N₂, a T_f = -5,56°C)

5° Paso :

$$L = \frac{Re \cdot \nu}{V}$$

Donde : Re, (se calcula según el 4° paso)

$$\nu_{N_2} = 1.2 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \quad (\text{del graf. a } T_f = -5.56^\circ C)$$

$$V = 6.1 \frac{m}{s}, \quad (\text{veloc. del } N_2)$$

Tabulando para las condiciones y pasos anteriores :

X% •	NU	Re	L (m)
50	829.33	325,443	0.64
60	967.55	394.601	0.78
70	1105.77	466,282	0.92
80	1243.99	540.243	1.06
90	1382.21	616,291	1.21
100	1520.44	694.267	1.37

Tabla (4-5)

teniendo en cuenta los parámetros de referencia mencionados anteriormente se concluye que nuestro túnel debe medir :

$$\text{Long. Zona } II_I + II_D = 1.40 \text{ m}$$

4.3.3 LONGITUD DEL TUNEL REQUERIDO PARA DIFERENTES TEMPERATURAS DE RECIRCULACION ($T_{prom.}$)

$T_2 = T_{prom.}$ °F (°C)	T_5 °F (°C)	T_f °C	% $Q_{sens.}$	50	60	70	80	90	100
30 (-1.11)	9.1 (-12.72)	-2.9	NU	1,425.68	1,663.29	1,900.90	2,318.51	2,376.13	2,613.74
			Re	640,608	776,741	917,838	1'063,424	1'213,119	1'336,609
			L(m)	1.26	1.53	1.81	2.09	2.39	2.69
20 (-6.67)	(-17.78)	-5.56	NU	829.33	967.55	1,105.77	1,243.99	1,382.21	1,520.44
			Re	325,443	394,601	466,282	540,243	616,291	694,267
			L(m)	0.64	0.78	0.92	1.06	1.21	1.37
10 (-12.22)	-8.5 (-22.5)	-8.13	NU	598.98	698.82	798.65	898.48	998.31	1,198.14
			Re	216,689	262,736	310,463	359,708	410,343	462,262
			L(m)	0.43	0.52	0.61	0.71	0.81	0.91

Sólo se cumple para Re >>> 400,000

Tabla (4 - 6)

4.3.4 Cálculo de la longitud y velocidad del N_2 en la zona III (llamado también zona de pulverización)

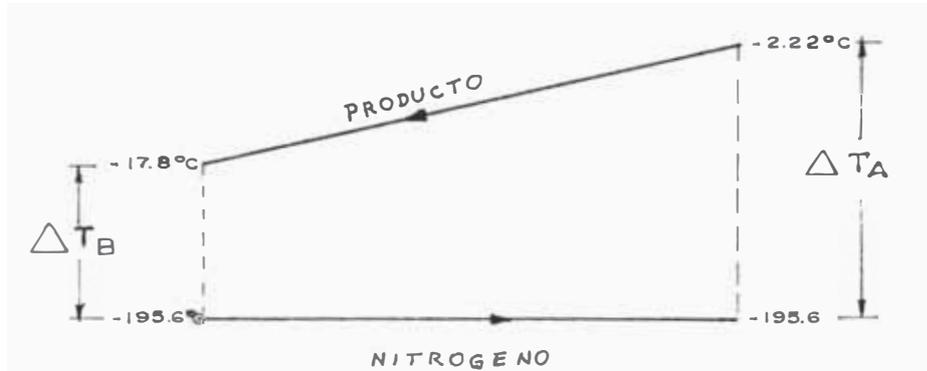


Fig. (4-7)

$$\frac{\Delta T_A}{\Delta T_B} = \frac{-2.22 + 195.6}{-17.8 + 195.6} = 1.09$$

como $1.09 < 1.5 \rightarrow$ Usaremos $\overline{\Delta T}_{arit.}$

$$\overline{\Delta T}_{arit.} = \frac{1}{2} (T_A + T_B)$$

$$\overline{\Delta T}_{arit.} = \frac{1}{2} (193.38 + 177.6) \quad \underline{\underline{\Delta T_{arit.} = 185.49^{\circ}\text{C}}}$$

En esta zona deberá transferirse $Q = 100\% \cdot Q_{lat.}$

$$Q_{lat.} = (28.10 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}) (83\% \text{ humedad}) (92.82 \frac{\text{w-h}}{\text{Kg}})$$

$$Q_{lat.} = 2,165 \text{ Watt.}$$

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T_{arit.}$$

Donde :

$$A_s = \text{Area de la supf. Sup.} = (b_1 \cdot L)$$

$A_{adic.}$ = Area de la parte lateral e inferior del prod. en contacto con el N_2 pulverizado = 50% de A_s (valor asumido).

$$A = A_s + A_{adic.}$$

$$A = (b_1 \cdot L + 0.5 b_1 \cdot L).$$

$$Q_{lat.} = (NU.K.) (1.5 b) (\Delta T_{arit.})$$

$$T_f = \frac{T_{b1} + T_{b2}}{2}$$

$$T_{b1} = \frac{-2.22 + (-17.8)}{2} = -10,11^\circ\text{C}$$

$$T_{b2} = -195,6^\circ\text{C}$$

$$T_f = -102,86^\circ\text{C}$$

$$K = 1,54 \times 10^{02} \frac{\text{W}}{\text{m } ^\circ\text{C}}$$

$$Pr = 0,769$$

$$\mu_2 = 0,50 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

T_f

De (1) :

$$NU = \frac{Q_{lat.}}{K \times 1,5 b \times \Delta T_{arit.}}$$

$$NU = \frac{2,165}{(1,54 \times 10^{-2}) (0,33) (185,49)} = 2,297$$

$$2,297 = 0,036 \left(\frac{V \cdot L}{0,50 \times 10^{-5}} \right)^{0,8} (7,69 \times 10^{-1})^{1/3}$$

V m/s	1	3	5	10	12	15	17*	20
L (m)	5.66	1.89	1.13	0.57	0.47	0.38	0.33*	0.28
Re x 10 ⁻⁶	1.122							

* Valores seleccionados

Tabla (4 - 7)

4.3.5 Longitud de la IV Zona : (Zona de equilibrio)

$$\text{Long. IV Zona} = (\text{Long. Túnel} - \text{Long. de las otras zonas}).$$

Long. total del túnel = 210 cm.

Long. de la zona II₁ + II_D = 140 cm.

Long de la zona III = 33 cm.

∴ Long. IV zona = (210 - 140 - 33)

Long. IV zona = 37 cm.

4.3.6 Cálculo de los incrementos de temperatura en las zonas II_I, II_D y det. de la presión de succión en el punto 4

(Ref. fig.(4-10)), con $P_{abs5} = P_{abs2} \cong P_{atm}$

$Q - W = \Delta E$ Enunciado matemático de la 1ª ley de la termodinámica.

Q = Calor suministrado al sistema

W = Trabajo dado por el sistema

ΔE = Cambio de energía del sistema.

Considerando que en la zona I y II el sistema será de flujo permanente, unidimensional, incomprensible, se tiene:

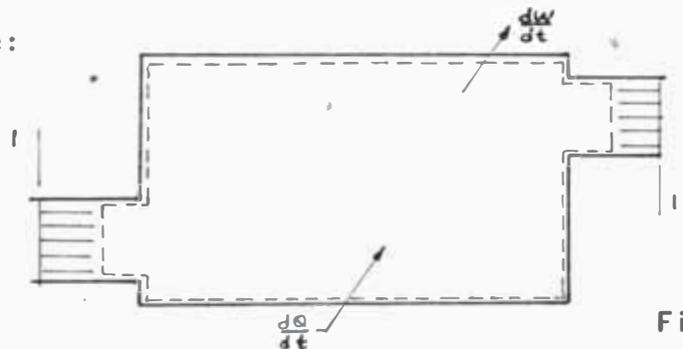


Fig. (4-8)

Sistema de flujo con calor y trabajo*

$$\frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt} = \left[\frac{P_{II}}{\rho_{II}} - \frac{P_I}{\rho_I} + \frac{v_{II}^2 - v_I^2}{2} + U_{II} - U_I + \dots + g(z_{II} - z_I) \right] \cdot \frac{dm}{dt}$$

(1)

$\frac{dQ}{dt}$ = Calor agregado al sistema (en la zona seleccionada).

$\frac{dW}{dt}$ - Trabajo hecho por el sistema = 0

$U_{II} - U_I =$ Variación de la energía interna del N_2 acompañado del cambio en su temperatura

$$= c(T_2 - T_1) = \frac{dQ}{dt} + \frac{dq}{dt}$$

$\frac{dq}{dt}$ = Calor generado debido a la fricción entre el fluido y la superficie sólida.

(Ref. R15, R16)

Para la distribución de temperaturas considerado en el acápite 4.3 (fig. 4-3, 4-4).

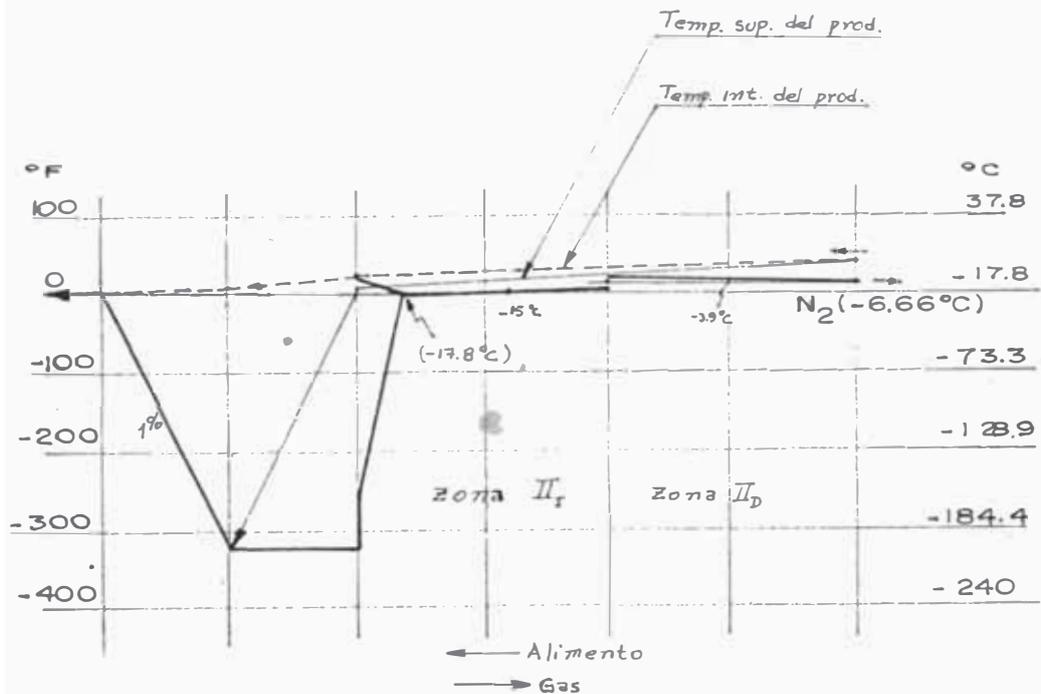


Fig (4-9)

De los resultados obtenidos en otros túneles se observa que el calor cedido por el producto varía en proporción directa a la longitud del tunnel en las zonas II_I y II_D

Para el Nitrógeno:

$$\text{Zona II: } \dots \int_{(-15^{\circ}\text{C})} = 1.331 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3} = 0.136 \frac{\text{Kgf} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$$

$$\rho_{(-6.66^{\circ}\text{C})} = 1.304 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3} = 0.133 \frac{\text{Kgf} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$$

$$\text{Zona I: } \dots \rho_{(-3.9^{\circ}\text{C})} = 1.283 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3} = 0.131 \frac{\text{Kgf} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^4}$$

En la Zona II_I

$$\frac{dQ}{dt} \text{ II}_I = \frac{\text{long. zona II}_I}{\text{long. total}} \times \frac{d}{dt} (Q \text{ II}_I + \text{II}_D)$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{(-15^{\circ}\text{C})} = \rho \cdot A \cdot V \text{ II}_I = 1.331 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3} \times 156.1 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 6.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= 0.127 \frac{\text{Kgm}}{\text{s}}$$

$$\frac{d}{dt} Q \text{ II}_I + \text{II}_D = 205.26 \frac{\text{Kgm} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3} \dots (\text{cal. sensible})$$

Ref. (4.3.2)

$$c_{(-15^{\circ}\text{C})} = 0.250 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^{\circ}\text{F}} = 106.73 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

De la ecuación anterior (1), en la fig. (4-10) ó (4-16)

$$\frac{P_4}{\rho_4} = \frac{dQ \text{ II}_I}{dm} + \frac{P_5}{\rho_5} - \frac{V_4^2}{2} + \frac{V_5^2}{2} - c(\Delta T \text{ II}_I) \dots (2)$$

En la Zona II_D

$$\frac{dQ \text{ II}_D}{dt} = Q \text{ II}_I + \text{II}_D - \frac{dQ \text{ II}_I}{dt}$$

$$\left(\frac{dm}{dt}\right)_{(-3.9^{\circ}\text{C})} = 1.283 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3} \times 156.1 \times 10^4 \text{ m}^2 \times 6.16 \text{ m/s}$$

$$= 0.123 \text{ Kgm/s}$$

$$C_{(-3.8^{\circ}\text{C})} = 0.250 \frac{\text{BTU}}{\text{lb } ^{\circ}\text{F}} = 106.73 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}}$$

De la ecuación (1):

$$\frac{v_2^2}{2} = \frac{P_4}{\rho_4} - \frac{dQ_{II_D}}{dm_2} - \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{v_4^2}{2} + c \cdot (\Delta T_{II_D}) \dots (3)$$

La cantidad de calor transferido por el producto varía en proporción directa a la longitud del tunel.

En las ecuaciones (2) y (3) para un incremento de temperatura en las zonas II_I y I_D , velocidad (v) y temperatura promedio, ΔT_{II_D} es dependiente de ΔT_{II_I} o viceversa, como mostramos a continuación.

Para la temperatura promedio (-6.66°C) calculado en el acápite 4.3.1, Tabla (4-4) y Tabla (4-6), en C fig. (4-10), se tiene:

$$Q_{\text{ganado por el } N_2 \text{ en C (Z.II}_I)} = Q_{\text{cedido por el } N_2 \text{ en C (Z.II}_D)}$$

$$m_{4II_I} \cdot C_{p4II_I} \cdot (T_C - T_{4II_I}) = m_{4II_D} \cdot C_{p4II_D} \cdot (T_{4II_D} - T_C)$$

$$(\rho \cdot A \cdot v)_{4II_I} \cdot C_{p4II_I} \cdot (T_C - T_{4II_I}) = (\rho \cdot A \cdot v)_{4II_D} \cdot C_{p4II_D} \cdot (T_{4II_D} - T_C) \dots (4)$$

$$\rho_{411I} \cdot v_C \cdot p_{411} \cdot (T_C - T_{411I}) = \rho_{411D} \cdot v_C \cdot p_{411D} \cdot$$

$$(T_{411D} - T_C)$$

$$(1.33 \frac{\text{Kgm}}{\text{m}^3}) (6.1 \text{ m/s}) (T_C - T_{411I}) =$$

$$(1.28 \text{ Kgm/m}^3) (6.16 \text{ m/s}) (T_{411D} + T_C)$$

$$T_{411D} = \frac{16.0 T_C - 8.11 T_{411I}}{7.90} \dots (5)$$

Reemplazando:

$$\Delta T_{11I} = (T_{411I} - T_5) \text{ } ^\circ\text{C} \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta T_{11D} = (T_{411D} - T_C) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\therefore \Delta T_{11D} = \frac{8.1 T_C - 8.11 T_{411I}}{7.90} \dots (7)$$

$$\begin{array}{l} v_{5 \text{ SP, DP}} = 6.07 \text{ m/s} \\ v_{4 \text{ SP}} = 6.34 \text{ m/s} \\ v_{4 \text{ DP}} = 15.44 \text{ m/s} \end{array} \Bigg|$$

LI

$$\begin{array}{l} v_{2 \text{ SP, DP}} = 6.16 \text{ m/s} \\ v_{4 \text{ SP}} = 6.39 \text{ m/s} \\ v_{4 \text{ SP}} = 19.41 \text{ m/s} \end{array} \Bigg|$$

LD

$$\frac{P_2}{\rho_2} = 2.098 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$T_5 = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\frac{P_4}{\rho_4} = h_p \text{ Acc } 6 = 0.363 \text{ m N}_2 = 3.56 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\frac{P_c}{\rho_c} = -26.98 \text{ m N}_2 = -264.7 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Reemplazando valores:

$$\frac{d Q_{II_1}}{dt} = \frac{0.75}{1.2} \times 205.26 = 128 \text{ Kgm.m}^2/\text{s}^3$$

$$\frac{d Q_{II_D}}{dt} = (205.26 - 128) = 76.97 \text{ Kgm.m}^2/\text{s}^3$$

Asumiendo tentativamente incrementos de temperatura sobre el producto igual al incremento de temperatura debajo del producto tanto en la zona II_1 como en II_D (Valores que posteriormente serán chequeados) se tiene:

$$\frac{d Q_{II_1}}{d m_{II_1}} = 1010.13 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\frac{d Q_{II_D}}{d m_{II_D}} = 625.77 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

DETERMINACION DE $T_{II, I}$, $T_{II, D}$ Y T_c (PARA $T_5 = -17.8$ °C, X = % CALOR CEDIDO SP)

X (%)	$\frac{d Q_{II, I}}{d m_{II, I} SP}$ (m ² / s ²)	$\frac{d Q_{II, D}}{d m_{II, D} SP}$ (m ² / s ²)	$\frac{P_4}{\rho_4}$	De Ec. N° 2 $\Delta T_{II, I} SP$ (°C)	De Ec. N° 6 $T_{4 II, I} SP$ (°C)	De Ec. N° 3 $\Delta T_{II, D} SP$ (°C)	De Ec. N° 7 $T_c SP$ (°C)
100	1010	626	3.56	9.42	- 8.38	5.84	- 2.70
90	909	563	"	8.47	- 9.33	5.25	- 4.22
80	808	501	"	7.52	- 10.28	4.67	- 5.74
70	707	438	"	6.58	- 11.22	4.08	- 7.26
60	606	375	"	5.63	- 12.17	3.49	- 8.78
50	505	313	"	4.68	- 13.12	2.91	- 10.30
40	404	250	"	3.74	- 14.06	2.32	- 11.82

1 - X (%)	$\frac{d Q_{II, I}}{d m_{II, I} dp}$ (m ² / s ²)	$\frac{d Q_{II, D}}{d m_{II, D} DP}$ (m ² / s ²)	$\frac{P_C}{\rho_C}$	De Ec. N° 2 $\Delta T_{II, I} DP$ (°C)	De Ec., N° 6 $T_{4 II, I} DP$ (°C)	De Ec. N° 3 $\Delta T_{II, D} DP$ (°C)	De Ec. N° 7 $T_c DP$ (°C)
0	0	0	-264.7	1.54	- 16.26	0.91	- 15.39
10	101	63	"	2.48	- 15.32	1.50	- 13.88
20	202	125	"	3.43	- 14.37	2.08	- 12.36
30	303	188	"	4.37	- 13.43	2.67	- 10.84
40	404	250	"	5.32	- 12.48	3.25	- 9.32
50	505	313	"	6.27	- 11.53	3.85	- 7.80
60	606	375	"	7.21	- 10.59	4.43	- 6.29

TABLA (4 - 8)

4.3.7 Parámetros de Diseño para el Enfriamiento del Producto

Consideraremos los siguientes parámetros:

Temp. inicial del Langostino (4.4°C)

Temp. de equilibrio de los productos gla-
seados (17.8°C)

H₂O para el glaseado ... 2 onz/lb. Lang. =

0.125 Kg. H₂O/Kg. Lang.

Temp. H₂O para el glaseado (0.6°C)

Contenido de humedad del Lang. 83% $\frac{\text{Kg H}_2\text{O}}{\text{Kg Lang.}}$

Temp. de congelación (-2.2°C)

	Langostino (W-h/Kg°C)	Agua (W-h/Kg°C)
Calor esp. antes del punto de cong.	1.00	1.16
Calor esp. después del punto de cong.	0.52	0.56

4.3.8 Refrigeración Teórica Requerida/Kg Langostino, (Q_R)

•Enfriamiento del lang. desde 4.44°C hasta -2.22°C

$$Q_1 = 1 \times (4.44 + 2.22) = \dots 6.66 \frac{\text{W} - \text{h}}{\text{Kg.LANG.}}$$

•Congelación del lang. a -2.22°C

$$Q_2 = 0.83 (92.88) = \dots 77.09 \frac{\text{W} - \text{h}}{\text{Kg.LANG.}}$$

•Enfriamiento del lang. hasta -17.78 °C

$$Q_3 = 0.52 (-2.22 + 17.78) = \dots 8.09 \frac{\text{W} - \text{h}}{\text{Kg.LANG.}}$$

·Enfriamiento del agua de glaseado (0.6 °C hasta 0°C)

$$Q_4 = 0.125 \times 1.16 (0.6 - 0) = \dots 0.09 \frac{W - h}{Kg.LANG.}$$

·Congelamiento del glaseado a 0 °C

$$Q_5 = 0.125 (92.82) = \dots\dots\dots 11.60 \frac{W - h}{Kg.LANG.}$$

·Enfriamiento del glaseado hasta -17.78 °C

$$Q_6 = 0.125 \times 0.56 (0 + 17.78) = \dots 1.24 \frac{W - h}{Kg.LANG.}$$

∴ La Refrig. requerida es (Q_R):

$$Q_R = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6)$$

$$\underline{\underline{Q_R = 104.75 \frac{W - h}{Kg.LANG.}}}$$

4.3.9 Refrigeración Teórica Disponible/Kg. N₂; (Q_D)

El incremento de temperatura es desde -196 hasta 4.44°C

$$\text{Calor latente (Q}_{lat.}) = 55.47 \frac{W - h}{Kg.N_2}$$

$$\text{Calor sensible (Q}_{sen.}) = (0.292 \frac{W - h}{Kg.^{\circ}C})(4.44 + 196)^{\circ}C$$

$$= 58.53 (W - h)/(Kg.N_2)$$

∴ La Refrig. disponible (Q_D):

$$Q_D = (Q_{lat.} + Q_{sen.}) = \underline{\underline{\frac{114 W - h}{Kg.N_2}}}$$

4.3.10 Proporción de Consumo Teórico (Kg.N₂/Kg.LANG.)

$$\text{PROPORCION} = \frac{Q_R}{Q_D} \dots\dots\dots \text{Ref. (4.3.8 y 4.3.9)}$$

- d) La altura de pérdidas debido al flujo de N_2 en el lado izquierdo es igual al del lado derecho para $P_1 = P_2 = P_{atm}$.
- e) La velocidad mínima recomendada es 6.1 m/s sobre el producto (zona de enfriamiento).

4.4.1 Cálculo de la Altura de Pérdidas debido al Flujo de N_2 por la Zona II₁

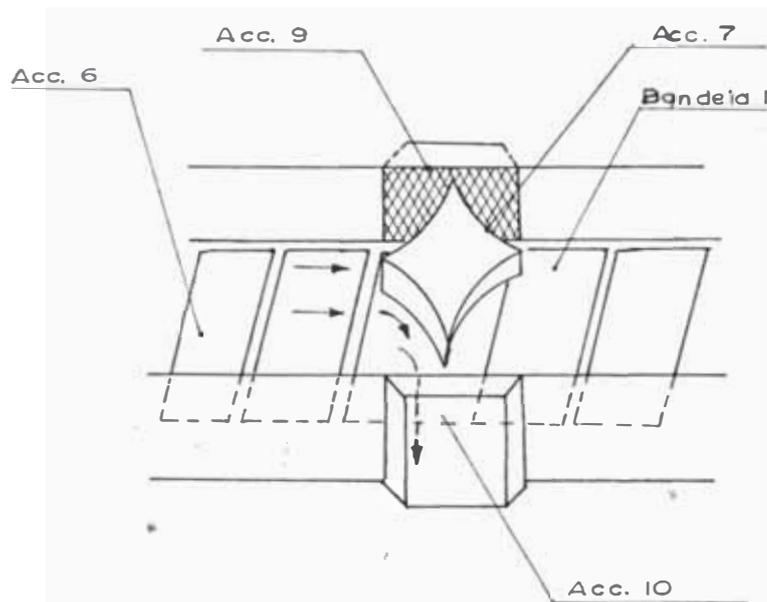


Fig.(4-11)

ACCESORIOS

- . El N_2 que pasa por la Zona II₁ pasa por los siguientes accesorios:
- . Acc. 6: Ducto
- . Acc. 7: Deflector (codo de radio grande)
- . Acc. 9: Filtro (malla de alambre)
- . Acc.10: Codo 90°

En el Acc. 6:

L = 67.5 cm

$$V_A = 6.1 \text{ m/s}$$

$$N_2 = 1.20 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s a } \dots\dots (-15^\circ\text{C})$$

$$Re_A = 7.170 \times 10^4$$

$$\epsilon/D_{HA} = 0.012 \quad ; \quad D_{HA} = 0.141 \text{ m}$$

$$f_A = 0.040 \quad (\text{Del diag. de Moody})$$

$$h_{pA} = 0.363 \text{ m } N_2$$

En el Acc. 7:

$$V_i = 6.1 \text{ m/s}$$

$$D_{H1} = 0.141 \text{ m}$$

$$A_{H1} = 1.56.15 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 10 \times 8 \text{ cm}^2$$

$$D_{H2} = 8.89 \text{ cm}$$

$$A_{H2} = 62.06 \text{ cm}^2$$

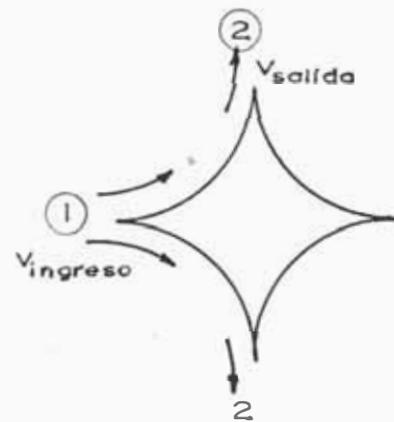


Fig. (4-12)

$$V_2 = \frac{A_{H1} \times V_i}{2 A_{H2}}$$

$$V_2 = 7.67 \text{ m/s}$$

$$V_{prom} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$$V_{prom} = 6.89 \text{ m/s}$$

$$h_p = \frac{K \cdot V_{prom}^2}{2g}$$

$$h_p = 1.645 \text{ m } N_2$$

$K = 0.68$ (codos de radio medio - \rightarrow grande)

En el Acc. 9: (2 filtros)

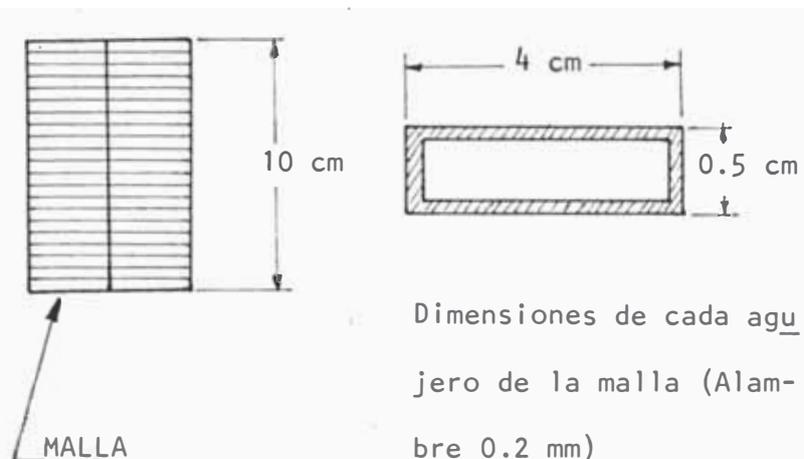


Fig (4-13)

$$A_1 = 8 \times 10 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{Area total de la malla}$$

$$D_{H1} = 8.89 \text{ cm}$$

$$A_{H1} = 62.06 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 33.2 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{Area ocupada por la malla (alambres)}$$

$$A_{H3} = A_{H1} - A_2 \dots\dots\dots \text{Area agujereada de la malla}$$

$$A_{H3} = 28.86 \text{ cm}^2$$

$$Q = 0.095 \text{ m}^3/\text{s} \dots\dots \text{(Caudal por el Acc. 6, sobre el prod.)}$$

$$Q/2 = V_1 \times A_{H1} \dots\dots\dots \text{Caudal que circula por c/Acc.}$$

$$V_1 = 7.67 \text{ m/s}$$

$$V_3 = 16.50 \text{ m/s}$$

$$Re_3 = 8.335 \times 10^4$$

$$h_p = \left(\frac{1}{C_v^2} - 1 \right) \cdot \frac{V_{ch}^2}{2g} \dots\dots \text{Altura de pérdidas (orificio)}$$

$$C_v = \frac{C}{C_c} \dots\dots\dots \text{Coeficiente de velocidad}$$

C = Coef. del medidor $f(B, Re_3)$, (leído del -
diag. C, Ref. 13)

$$B = \frac{D_{H3}}{D_{H1}} = 0.68$$

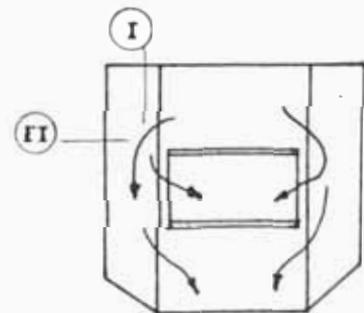
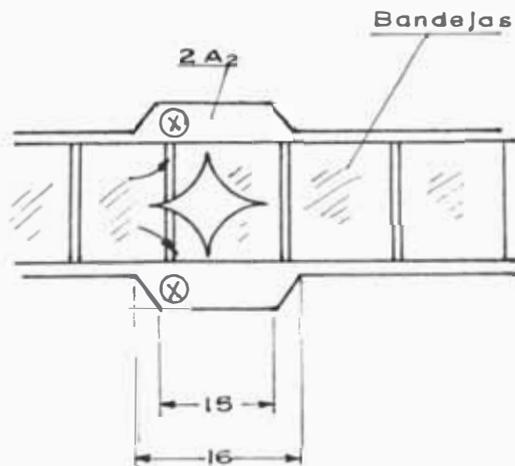
$$C_c = \frac{A_{\text{chorro}}}{A_{\text{orificio}}} = 1 \dots\dots (\text{Asumido})$$

$$C_v = 0.617$$

$$h_p = \left(\frac{1}{0.617^2} - 1 \right) \cdot \frac{16.50^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_p = 22.574 \text{ m N}_2$$

En el Acc. 10:



Medidas en cm

Fig. (4-14)

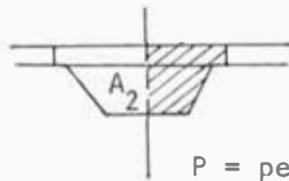
$$V_1 = V_1 \dots\dots\dots \text{Calculado anteriormente}$$

$$A_1 = (10 \times 8) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{H1} = 62.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_1 = 7.67 \text{ m/s}$$

$$A_2 = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{15+16}{2} \right) (6) + 1 \times 16 \right] \text{ cm}^2 = 54.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$



P = perim. mojado
= 22.58

Fig. (4-15)

$$A_{H2} = 73.17 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_{II} = 6.51 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{prom}} = \frac{V_1 + V_{II}}{2}$$

$$V_{\text{prom}} = 7.09 \text{ m/s}$$

$$h_p = K \frac{V_{\text{prom}}^2}{2g}$$

$$h_p = 2.304 \text{ m N}_2$$

$$K = 0.9 \dots\dots\dots \text{Codo a } 90^\circ$$

$$\therefore h_p \text{ tot.} = (h_{p6A} + h_{p7} + h_{p9} + h_{p10})$$

$$h_{\text{total}} = 26.886 \text{ m N}_2 \dots\dots\dots \text{En la Zona II}_1$$

4.4.2 Cálculo de la Variación de Presión (ΔP) Mínima Necesaria entre las Zonas II y III

El consumo de $N_2 = 1.170 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ a (-196°C)

Considerando que el 99% del N_2 pulverizado sobre el producto se calentará gradualmente para luego pasar solamente por un área de $(24 \times 1) \times 10^{-4} \text{ m}^2$ a -250°F (-162.25°C) .

$$Q = 99\% \times \text{consumo} \times \frac{\text{Vol. esp. a } -162^\circ\text{C}}{\text{Vol. esp. a } -196^\circ\text{C}}$$

$$Q = 0.99 (1.170 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}) \left(\frac{0.342 \text{ m}^3/\text{Kg}}{1.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg}} \right)$$

$$Q = 3.221 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Delta P = \frac{V^2}{2g} \quad \dots \text{ (Dif. de Pres. entre Zonas II}_1 \text{ y III)}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{3.221 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0.0024 \text{ m}^2} = 1.342 \text{ m/s}$$

$$\Delta P = \frac{V^2}{2g} = 0.092 \text{ m } N_2$$

\therefore Para garantizar que el N_2 pulverizado no salga por el lado izquierdo se tendrá que generar entre la zona II₁ y III, una diferencia de presiones $\geq 0.092 \text{ m } N_2$.

4.4.3 Cálculo de la Altura de Pérdidas que debe Producirse en el Lado Izquierdo (Punto 4)

La altura de pérdidas que deberá producirse en el lado izquierdo es:

$$\underline{h_p \text{ L.I.} = h_p \text{ Zona II} + \Delta P}$$

Por los resultados obtenidos en los acápites anteriores (4.4.1 y 4.4.2)

$$h_p \text{ Zona II} = 26.886 \text{ m N}_2$$

$$\Delta P = 0.092 \text{ m N}_2$$

$$\underline{h_p \text{ L.I.} = 26.978 \text{ m N}_2}$$

4.4.4 Cálculo del Volumen de N₂ que Saldrá del Túnel por el Lado Izquierdo y Derecho

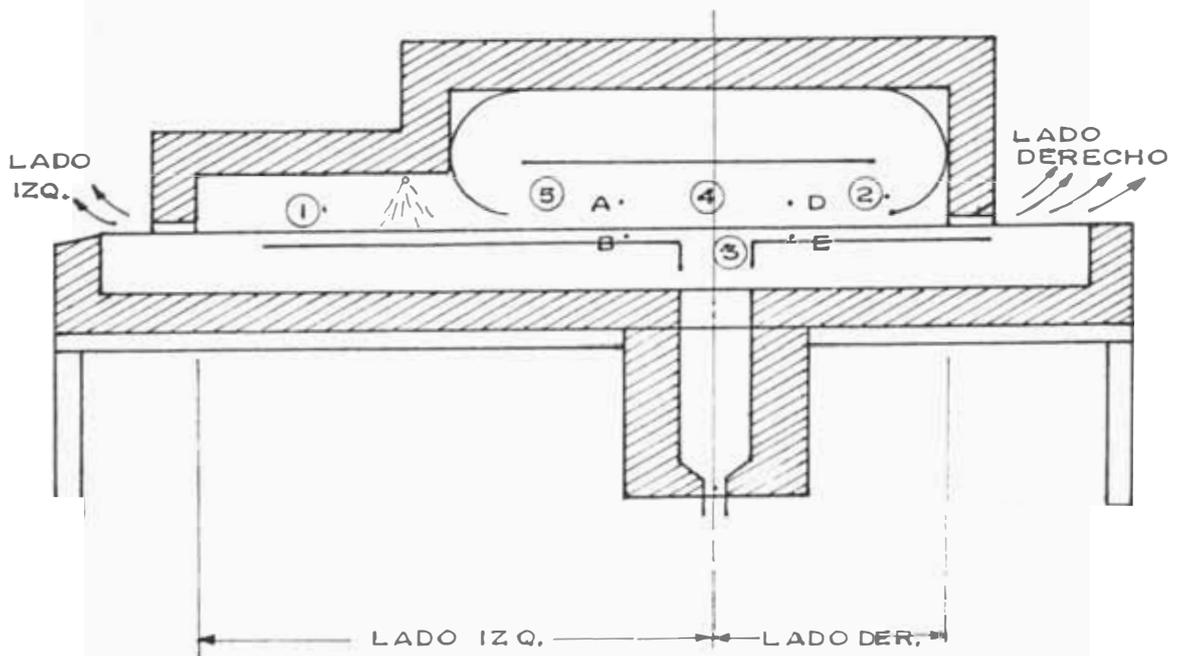


Fig. (4-16)

Se ha determinado anteriormente que se procesaran 28.1 Kg/hr (de langostinos) con una proporción de 1.21 Kg N₂ lang.

$$\begin{aligned} \therefore \text{el consumo de N}_2 &= 34.0 \text{ Kg N}_2/\text{h} \quad \text{a } (-196^\circ\text{C}) \\ &= 0.042 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\left(\text{vol. esp. del N}_2(-196^\circ\text{C}) = 1.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg} \right)$$

a) Por el lado izquierdo

$$\text{El N}_2 \text{ sale a } -17.8^\circ\text{C} \dots v_{\text{esp}} = 0.748 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$\% \text{ de N}_2 \text{ que sale} = 1$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{\text{N}_2} &= 0.042 \text{ m}^3/\text{h} \times \left(\frac{0.748 \text{ m}^3/\text{Kg}}{1.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg}} \right) \times 1\% \\ &= 0.071 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \dots (\text{Vol. N}_2 \text{ que sale}) \end{aligned}$$

b) Por el lado derecho

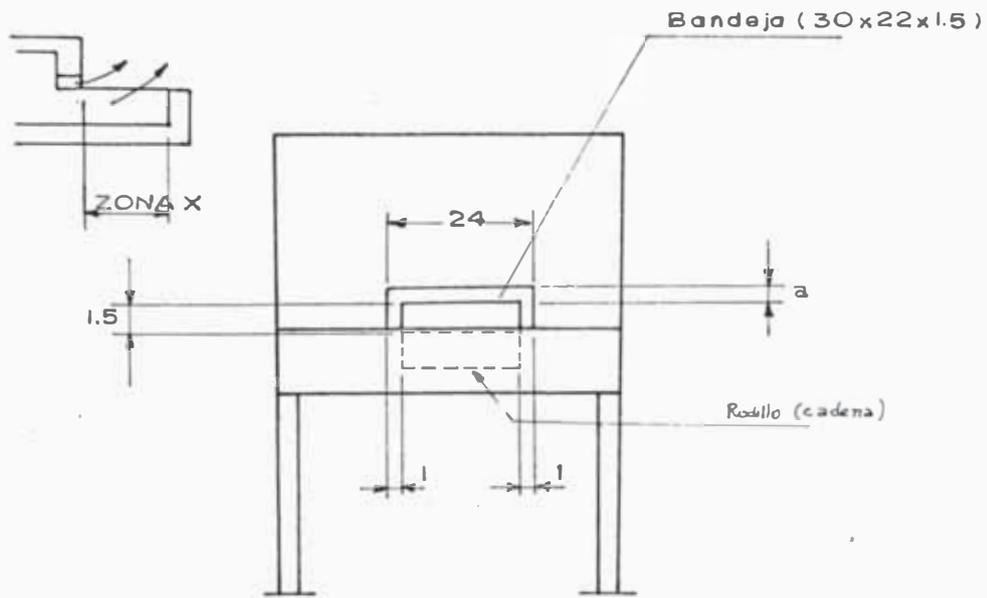
$$\text{El N}_2 \text{ sale a } -6.66^\circ\text{C} \dots v_{\text{esp}} = 0.779 \text{ m}^3/\text{Kg}$$

$$\% \text{ de N}_2 \text{ que sale} = 99$$

$$\begin{aligned} \therefore V_{\text{N}_2} &= 0.042 \text{ m}^3/\text{h} \times \left(\frac{0.779 \text{ m}^3/\text{Kg}}{1.23 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kg}} \right) \times 99\% \\ &= 7.315 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \dots (\text{Vol. N}_2 \text{ que sale}) \end{aligned}$$

4.4.5 Cálculo de la Altura de Presión ($\frac{P_{\text{man } 2}}{\gamma}$), (fig. 4.16),
(lado derecho)

$$\text{El vol. N}_2 \text{ que sale es } 7.315 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$



Vista L.D.

Fig. (4-17)

$$A = (a \times 24) + 2 (1 \times 2) \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{Total}} = (A + 20\%A) \text{ ----- } 20\%A \text{ por fuga del } N_2 \text{ por la (Zona X)}$$

$$\frac{P_{\text{man } 2}}{\gamma'} = \frac{V^2}{2g}$$

$$\frac{P_{\text{man } 2}}{\gamma'} = \text{Presión man.pto. 2}$$

V = Veloc. de salida del N_2 (lado derecho)

a (cm)	A (cm ²)	V (m/s)	$\frac{P_{\text{man } 2}}{\gamma'} (\text{m } N_2)$
1.5	48	1.524	0.118
1.0	31.2	2.340	0.279
0.5	19.2	3.810	0.740

TABLA (4-10)

4.4.6 Cálculo de la Altura de Pérdidas en el Túnel en Condiciones Normales de Operación (Zona II_D, Punto 2)

Para el cálculo de la altura de pérdidas en condiciones

normales de operación, se ha seleccionado un área de salida del $N_2 = 3.14 \text{ cm}^2$ (Tabla 4-12), ($P_{\text{man}2} = 0.279 \text{ m N}_2$, en el extremo derecho)

∴ Para las condiciones anteriores: $P_1 = P_{\text{atm}}$, $P_2 > P_{\text{atm}}$

$$h_{p \ 1-4} = 26.978 \text{ m N}_2$$

$$h_{p \ 2-4} = 26.978 + 0.279 \text{ m N}_2$$

$$= 27.257 \text{ m N}_2$$

Fig. (4-16)

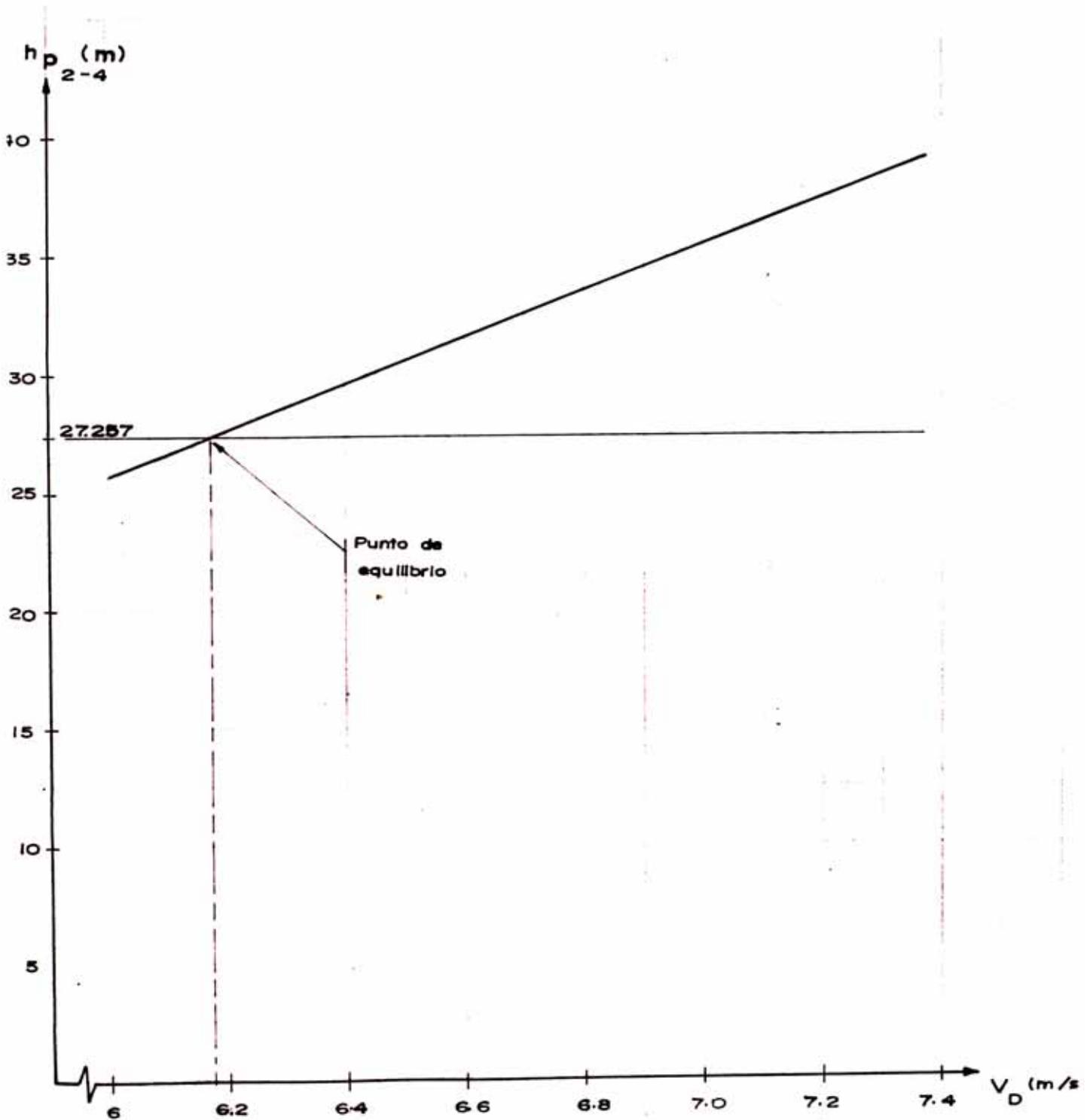
4.5 VELOCIDADES DEL N₂ DENTRO DEL TUNEL

4.5.1 Cálculo de la Velocidad del N₂ en el Lado Derecho (V_D)
Requerido para Producir h_p = 26.978 m N₂ y 27.257 m N₂.

Acc.	V _D (m/s)	7.32	6.8	6.4	6.2	6.16
6°	V _E (m/s)					
	Re _D × 10 ⁻⁴	7.939	7.375	6.942	6.725	6.681
	f _D	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	f _E					
	h _{pD} (m)	0.291	0.251	0.222	0.208	0.206
	h _{pE} (m)					
	Q _{L.D.} (m ³ /s)					
7°	V ₁ (m/s)	7.32	6.8	6.4	6.2	6.16
	V ₂ (m/s)	9.21	8.56	8.05	7.80	7.74
	V _{prom} (m/s)	8.26	7.67	7.23	7.00	6.95
	h _p (m)	2.365	2.039	1.812	1.698	1.679
9°	Q (m ³ /s)	0.114	0.106	0.100	0.097	0.006
	V ₁ (m/s)	9.18	8.555	8.05	7.80	7.75
	V ₃ (m/s)	19.75	18.39	17.32	16.77	16.66
	Re ₃ × 10 ⁻⁴	3.852	3.171	2.984	2.891	2.872
	C _V	0.619	0.619	0.619	0.620	0.620
	h _p (m)	32.006	27.749	24.614	22.955	22.655
10°	V ₁ (m/s)	9.185	8.55	8.05	7.80	7.75
	V ₁₁ (m/s)	8.48	7.90	7.46	7.21	7.16
	V _{prom.} (m/s)	8.83	8.83	7.75	7.50	7.45
	h _p (m)	3.581	3.104	2.759	2.582	2.549
	∑ h _p SP	38.243	33.143	29.407	27.443	27.084

(El 8° Acc. no interviene en este cálculo).

Tabla (4-11)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA PROGRAMA ACADÉMICO ING. MECÁNICA ELÉCTRICA	
TRABAJO DE INVESTIGACION: TUNEL PARA LA CONGELACION RAPIDA DE ALIMENTOS	FIG. 4-18
$(h_p 2-4 \text{ vs } V_D)$ En el lado derecho	
BACHILLER: RAUL A. NORALES LANDEO	

4.5.2 a).- VELOCIDADES Y ALTURA DE PERDIDAS PARA ($P_1 = P_2 = P_{atm}$)

EN EL LADO IZQUIERDO : (DE LA TABLA(4-12))

V_D / V_E	V_A / V_B				
	1.4	1.0	0.8	0.6	0.4
	$h_{P_{DP}^*}$ (m)				
1.4	3.444	5.748	8.324	13.752	28.848
1	3.455	5.757	8.338	13.768	28.879
0.8	3.463	5.770	8.352	13.780	28.900
0.6	3.485	5.795	8.376	13.813	28.937
0.4	3.515	5.829	8.418	13.858	28.995
0.2	3.610	5.935	8.535	13.999	29.177

* (DP = DEBAJO DEL PRODUCTO)

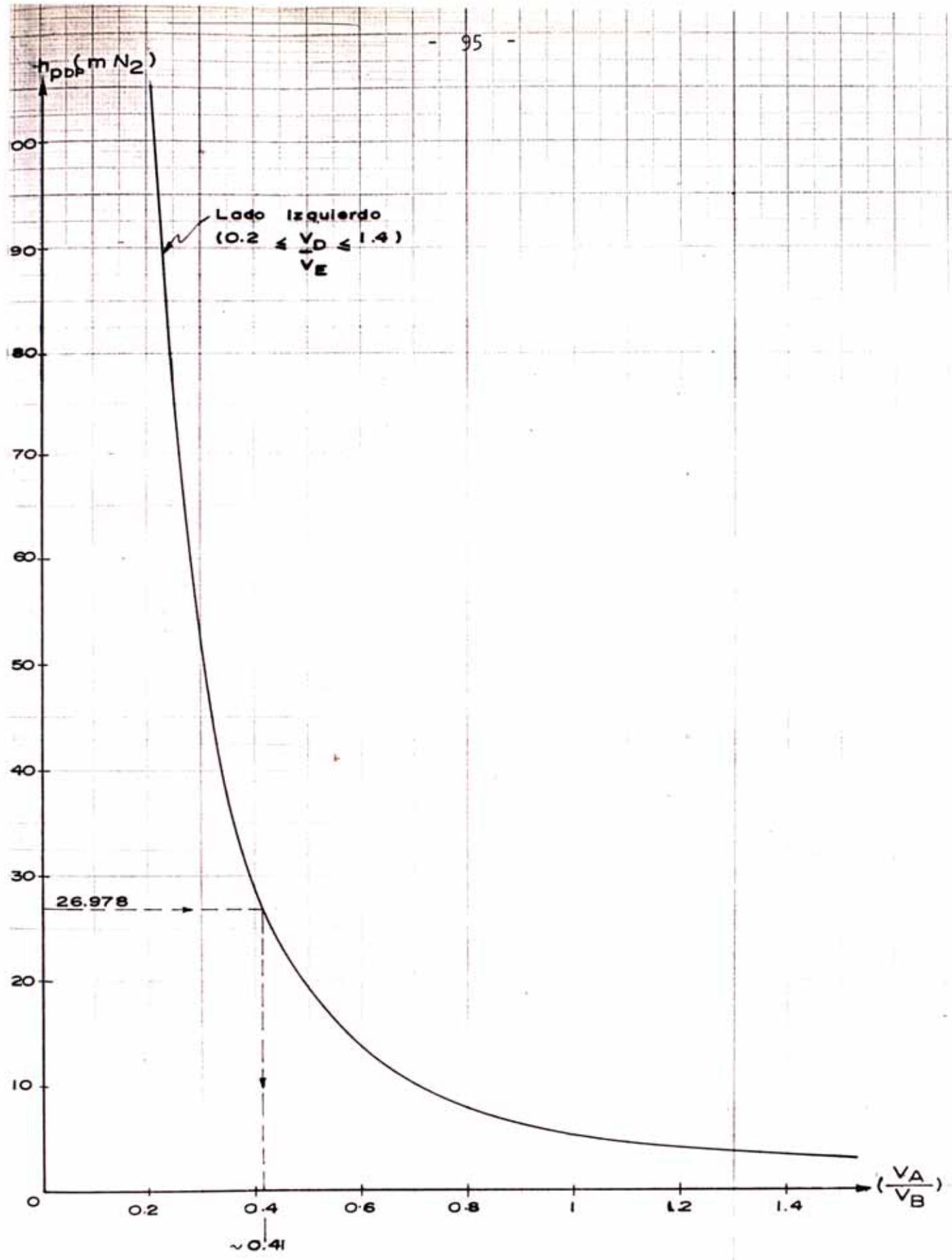
Tabla (4-13)

4.5.2 b).- EN EL LADO DERECHO : (DE LA TABLA (4-12))

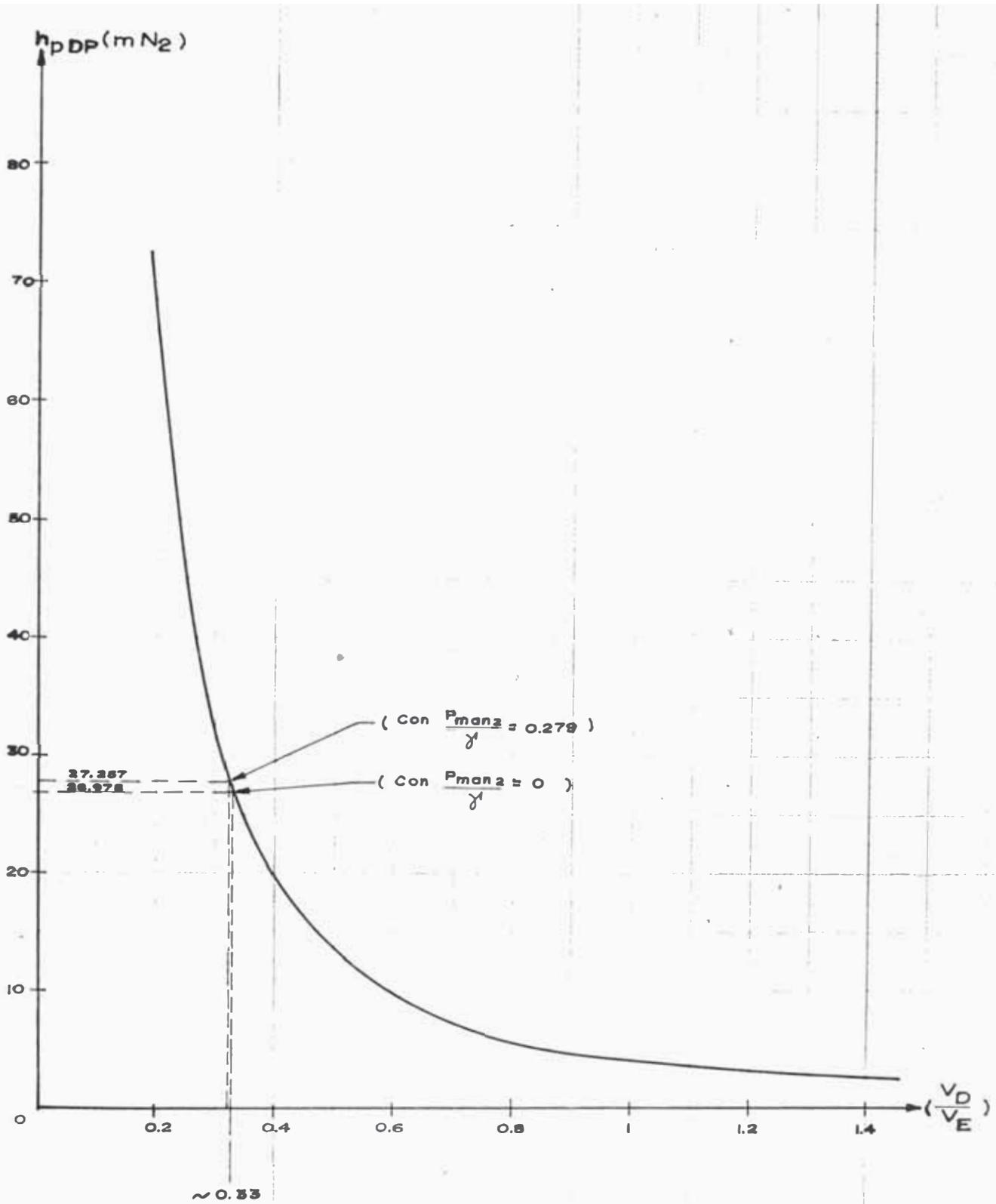
V_A / V_B	V_A / V_B				
	1.4	1	0.8	0.6	0.4
	$h_{PDP}^* \text{ (m)}$				
1.4	2.643	4.179	5.863	9.385	19.028
1	2.654	4.190	5.877	9.402	19.049
0.8	2.662	4.202	5.891	9.414	19.070
0.6	2.684	4.228	5.916	9.447	19.108
0.4	2.714	4.262	5.958	9.492	19.166
0.2	2.809	4.368	6.076	9.634	19.342

* (DP = DEBAJO DEL PRODUCTO)

Tabla (4-14)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA PROGRAMA ACADÉMICO: ING. MECÁNICA ELÉCTRICA	
TRABAJO DE INVESTIGACION: TUNEL PARA LA CONGELACION RAPIDA DE ALIMENTOS	FIG. 4-19
(h_{pDP} vs V_A/V_B) En el lado izquierdo	
BACHILLER: RAUL A. MORALES LANDEO	



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
PROGRAM ACADÉMICO : IMS. MECÁNICA ELÉCTRICA	
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:	
TUNEL PARA LA CONGELACION RAPIDA DE ALIMENTOS	FIG.
(h_{pDP} vs V_D/V_E) En el lado derecho	4-20
BACHILLER : RAUL A. MORALES LANDEO	

4.5.3 Relación de Velocidades para $P_1 = P_2 = P_{atm.}$, (fig. 4-16)

De los gráficos anteriores, se deduce que el punto de equilibrio se da para las siguientes relaciones:

$$\frac{V_A}{V_B} = 0.41$$

$$\frac{V_D}{V_E} = 0.33$$

$$V_A = 6.1 \text{ m/s}$$

$$V_D = 6.16 \text{ m/s}$$

De donde:

$$V_B = 14.88 \text{ m/s}$$

$$V_E = 18.67 \text{ m/s}$$

4.5.4 Velocidades dentro del Túnel en Condiciones Normales de Operación ($P_1 = P_{atm.}$, $P_2 > P_{atm.}$).

Para las pérdidas halladas anteriormente (acápites 4.4.6, fig. (4-16)

$$\frac{V_A}{V_B} \cong 0.41 \quad \text{..... de la fig. 19}$$

$$\frac{V_D}{V_E} \cong 0.33 \quad \text{..... de la fig. 20}$$

$$V_D \cong 6.2 \quad \text{..... de la Tabla (4-11)}$$

$$V_A = 6.1 \quad \text{..... (Recomendado)}$$

Reemplazando:

$$V_B = 14.88 \text{ m/s}$$

$$V_E = 18.79 \text{ m/s}$$

4.6 CAUDAL QUE CIRCULA POR EL VENTILADOR

4.6.1 Cálculo del Caudal que Circula por el Ventilador en Condiciones Normales de Operación

$$Q_V = (V_A \cdot A_{HA} + V_B \cdot A_{HB} + V_D \cdot A_{HD} + V_E \cdot A_{HE}) + Q_{sLD}$$

donde Q_{sLD} : Calculado según el acápite 4.4.4 (b)

$$Q_V = (6.1 \times 156.1 + 14.88 \times 6.26 + 6.2 \times 1.56.1 + 18.79 \times 6.26) \times 10^{-4} + 7.315 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_V = (0.213) + (7.315 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_V = 0.220 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.6.2 Cálculo del Caudal de Diseño del Ventilador

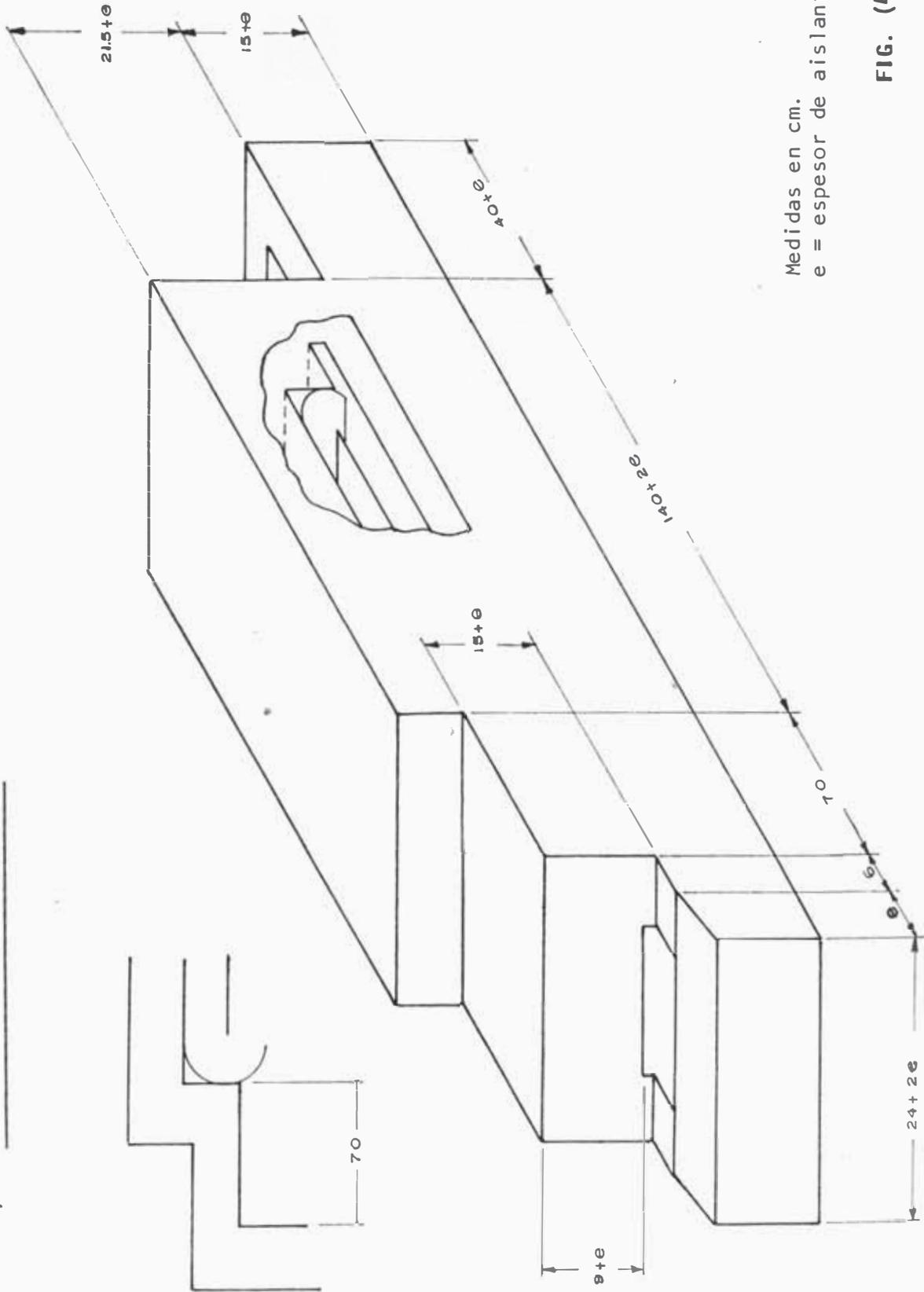
$$Q_{dis.} = Q_V \times 1.1$$

$$Q_{dis.} = 0.242 \text{ m}^3/\text{s}$$

(El caudal que se toma como base para el cálculo es de ordinario de un 3 hasta un 10% mayor del que se pretende elevar).

4.7 CALCULO DEL ESPESOR ECONOMICO DE AISLANTE

4.7.1 Medidas Exteriores del Túnel



Medidas en cm.
e = espesor de aislante

FIG. (4-22)

4.7.2 Calor Transferido por la Pared Vertical

a.- (Ejemplo del Cálculo)

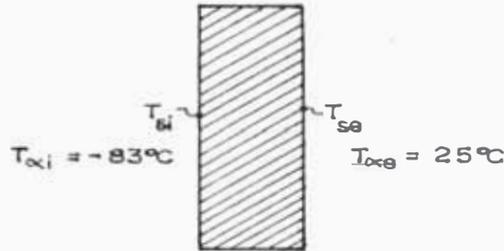


Fig. (4-23)

$$T_{\infty e} = 25^{\circ}C$$

$$L = 0.90 \text{ m. (long. Ducto interior LI)}$$

$$D_H = \frac{4A}{P} = \frac{4(0.24 \times 0.1)}{2(0.24 + 0.1)} = 0.1412 \text{ m.}$$

$$V = 6.1 \text{ m/seg. (veloc. del } N_2 \text{ interior)}$$

$$T_p = \frac{T_{\infty i} + T_{\infty e}}{2}$$

$$\nu = 0.636 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$Pr = 0.758$$

$$K_{N_2} = 1.706 \times 10^{-2} \text{ W/m}^{\circ}C \quad \text{a } T_b = \text{Temp. promedio interior} \\ = -83^{\circ}C$$

Asumiendo $T_{si} = -82.68^{\circ}C$

Se obtiene:

$$\begin{array}{l} Re_D = 1.354 \times 10^5 > 10^5 \\ \frac{L}{D_H} = 5.312 < 60 \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{Condiciones para que sea} \\ \text{considerado flujo turbu-} \\ \text{lento.} \end{array} \right.$$

$$\therefore \frac{h_i D_H}{k_{N_2}} = 0.023 \times Re_{N_2}^{4/5} \times Pr_{N_2}^{0.4} \quad (\text{ec. empírica utilizada})$$

$$h_i = 31.70 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\frac{q}{A} = h_i \cdot \Delta T$$

$$T = (T_{si} - T_{\infty i})$$

$$\frac{q}{A} = 10.144 \frac{W}{m^2}$$

..... (1)

$$T_{se} = \frac{e}{k_{Polit}} (h_i \Delta T) + T_{si}$$

$$e = 0.15 \text{ m}$$

$$k_{Polit_{T_p}} = 0.01484 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$T_{se} = 19.85 \text{ } ^\circ C$$

$$T_f = \frac{T_{se} + T_{\infty e}}{2} = 22.42 \text{ } ^\circ C$$

$$Pr = 0.674$$

a T_f Temp. de Película

$$k_{aire} = 2.587 \times 10^{-2} \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$\frac{g_B \rho^2}{\mu} = 173.986 \times 10^6$$

$$Gr = \frac{g_B \rho^2}{\mu} L_V^3 (T_{\infty e} - T_{se}) \quad L_V = 0.54 \text{ m.}$$

$$Gr = 141.092 \times 10^6$$

$$Gr Pr = 95.096 \times 10^6 ; \quad < 10^5, 10^9 > \quad \text{Flujo laminar}$$

.....

.....

$$Nu = 0.678 \left[\frac{Pr^2 Gr}{0.952 + Pr} \right]^{\frac{1}{4}} \text{ ----- flujo laminar}$$

$$Nu = 53.72$$

$$Nu = \frac{h \cdot L_v}{K} \rightarrow h_e = 2.574 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$\frac{q}{A} = h_e (T_{\infty e} - T_{se})$$

$$\boxed{\frac{q}{A} = 13.25 \frac{W}{m^2}} \text{ (II)}$$

(I) Debe ser igual (II). ∴ Para conseguir la igualdad se itera para diferentes temperaturas ... (T_{si})

4.7.3 Cálculo de la Pérdida de la Capacidad de Enfriamiento - (en Soles) debido a la Transferencia de calor hacia el interior del Túnel por las Paredes Fig. (4-22)

Considerando que el calor introducido es por las paredes del túnel (superior, inferior y laterales) se tiene las siguientes áreas de transferencia:

Area de la superficie Superior (A₁):

$$A_1 = (210+2e)(24 + e) - (24+e)(1.5 e)$$

Area de la superficie Inferior (A₂):

$$A_2 = (256+2e)(24+e) + (24+e)(e)$$

COSTO DEBIDO AL CALOR TRANSFERIDO POR LAS PAREDES, ($T_{\infty e} = 25^{\circ}\text{C}$)

e (cm)	i	A_i (cm^2)	A_{Total} (cm^2)	q (w/m^2)	q (watt)	COSTO (Soles/Hora)	COSTO/AÑO ₆ (Soles X 10^6)
5	1	6163	34,664	29.04	100.66	19,359	44.603
	2	7859					
	3	18355					
	4	2287					
10	1	7310	41,576	15.15	62.99	12,114	27.911
	2	9724					
	3	21500					
	4	3042					
15	1	8483	48,864	10.22	49.94	9,604	22.128
	2	11739					
	3	24745					
	4	3897					
20	1	9680	56,526	7.74	43.75	8,414	19.386
	2	13904					
	3	28090					
	4	4852					

Tabla (4-16)

Area frontal + posterior (A₃)

$$A_3 = 2[(26.5+2e)(70) + (36.5+2e)(140+2e) + (6+e)(15+e) + (40+e)(15+e)] - 2[(210+2e)(e) + (46+e)(e/2) + (21.5+e)(e) + (15+e)(e)]$$

Area lateral izquierdo + Derecho (A₄)

$$A_4 = 24[(15+e/2)(2) + (9+e/2) + 10 + (19+e/2)] + 4(36.5+e)(e/2)$$

Se conoce también que:

$$1 \text{ PGS} = 44.6 \text{ Gal } N_2 = 168.59 \text{ dm}^3_{\text{liq.}} = 101 \text{ m}^3_{\text{gas}}$$
$$= 136.1 \text{ Kg } N_2 = S/. 2'690,640 + 11\%$$

Del Diagrama de Mollier:

$$1 \text{ lb } N_2 = 176 \text{ BTU}$$

$$1 \text{ Kg } N_2 = 113 \text{ Watt} - \text{h}$$

$$\therefore 1 \text{ Watt} = 192.32 \text{ soles/h.}$$

$$\underline{A_{\text{Total}} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4}$$

1 año = 2,304 horas/trabajo; 6 días/semana

4.7.4 Costo debido al Volumen ocupado por el Aislante

$$\underline{A = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \times K}$$

A = costo anual
K = costo actual
n = 5 años
i = 40%

El aislante:

- Se necesitaron 2 componentes (I y II)
- Cada componente se vende en latas de 20 Kg.
- Densidad del aislante 35 Kg/m³ (espuma)
- El costo es de 102,630 $\frac{\text{soles}}{\text{Kg}}$ = 3,592 soles/dm³ espuma
- La espuma eleva 30 veces más su volumen inicial (liq.)

$$V_e = (A_1 + A_2 + A_3 + A_4) \times e$$

e (cm)	V _e (dm ³ -espuma)	COSTO ACT. (soles)	COSTO/AÑO (solesx10 ⁶)	Nº TUN. c/40 Kg
5	173.32	622,565	0.306	6.6
10	415.76	1.493,409	0.734	2.7
15	732.96	2'632,792	1.294	1.6
20	1 130.52	4'060,828	1.995	1.0

Tabla (4-17)

4.7.5 Costo debido al Calor cedido por las Paredes durante la Preparación del Túnel

4.7.5.1 Calor cedido (Q_{f1}) por las paredes interiores de fibra de vidrio (Temp. de salida del N₂ = -6.7 °C)

$$Q_{f1} = \rho \times V \times C_p \times (T_o - T_2)$$

$$\rho = 1,800 \text{ Kg/m}^3$$

$$A = 2.9. \text{ m}^2 \text{ Area int. aprox.)}$$

$$V = 4.35 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ ... de la pared int.}$$

$$C_p = 0.22 \text{ (W -h)/Kg}^\circ\text{C} \text{ Ref. (R 18)}$$

$$T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = -6.7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Planchas e = 1.5 mm

$$\therefore \underline{Q_{f1} = 54.6 \text{ (W - h)/día}}$$

4.7.5.2 Calor cedido (Q_{f2}) por la pared exterior (de fibra de vidrio)

Planchas e = 1.5 mm

$$\rho = 1,800 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_p = 0.22 \text{ (W -h)/Kg }^\circ\text{C}$$

$$A = 5.9 \text{ m}^2 \text{ Area ext. aprox.}$$

$$V = 8.85 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 23.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\therefore \underline{Q_{f2} = 5.80 \text{ (W - h)/día}}$$

4.7.5.3 Calor cedido (Q_{f3}) por la pared de poliuretano en la preparación del túnel (Temp. salida de los gases = -6.7 °C

$$Q_{f3} = \rho \times V \times C_p \times (T_o - T_p)$$

$$V = \text{Volumen de espuma utilizado (m}^3\text{)}$$

$$\rho = 35 \text{ Kg/m}^3$$

$$C_p = 0.478 \text{ (W-h)/Kg } ^\circ\text{C} \dots\dots\dots \text{ (Ref. R 18)}$$

$$T_o = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_p = 9.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\therefore Q_{f3} = 35 \times V \times 0.478 \times (25 - 9.15) \frac{W-h}{\text{día}}$$

4.7.6

COSTO DEBIDO AL CALOR CEDIDO:

$$Q_f = (Q_{f1} + Q_{f2} + Q_{f3})$$

$$Q_f = (60.4 + Q_{f3}) \frac{W-h}{\text{día}} :$$

donde

$$(Q_{f1} + Q_{f2}) =$$

$$60.4 \frac{W-h}{\text{día}} \cong$$

Constante

$$P(1 + i)^n = 1.4 P$$

P = Soles actuales

Interés = 40%/año

1 mes = 26 días út.

Para n = 12 \rightarrow i = 0.028

i = 2.8% mensual

$$\text{COSTO ANUAL} = \text{COSTO MENSUAL} \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

e (cm)	V(m ³) 10 ⁻³	Q _{f3} (W-h) día	Q _f (W-h) día	SOL/MES 10 ³	SOL/año 10 ⁶
5	173.32	44.82	105.22	526.13	7.383
10	415.76	110.32	170.72	853.65	11.978
15	732.96	196.02	256.42	1282.18	17.991
20	1130.52	303.42	363.82	1819.22	25.527

Tabla (4-18)

COSTO FIJO = (COSTO DEL AISLANTE) + (COSTO DE-
BIDO AL -
CALOR CE-
DIDO POR
LAS PARE-
DES)

Ref. **Tabla** (4-17) y (4-18)

CALCULO DEL COSTO ANUAL TOTAL (Para $T_{\infty} = 25^{\circ}\text{C}$)

e (cm)	Costo Fijo (soles/año) $\times 10^6$	Por regresión lineal (soles/año) $\times 10^6$	Por flujo de calor a través de las pa- redes (soles/año) $\times 10^6$	Por regresión lineal (soles/año) $\times 10^6$	Costo Anual Total (soles/año) $\times 10^6$
5	7.689	7.342	44.603	43.807	51.149
10	12.712	13.766	27.911	28.750	42.516
12.5		16.861		25.098	41.959
15	19.285	19.885	22.128	22.472	42.357
20	27.522	25.813	19.386	18.869	44.682
25		31.603		16.476	48.079
30		37.285		14.749	52.034
35		42.880		13.430	56.310
40		48.400		12.383	60.783
45		53.857		11.528	65.385
50		59.257		10.813	70.070
55		64.607		10.205	74.812
$Y = a X^b$					
		a = 1.706			a = 116.472
		b = 0.907			b = -0.608
		r = 0.992			r = -0.997

Tabla (4-19)

4.8.2

COSTO DEBIDO AL CALOR TRANSFERIDO POR LAS PAREDES, ($T_{\infty e} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

e (cm)	i	A_i (cm^2)	A_{Total} (cm^2)	q (w/m^2)	COSTO (Soles/h)	(SOLES AÑO) ($\times 10^6$)
5	1	6,163	34,664	26.96	17,973	41.410
	2	7,859				
	3	18,355				
	4	2,287				
10	1	7,310	41,576	14.05	11,234	25.884
	2	9,724				
	3	21,500				
	4	3,042				
15	1	8,483	48,864	9.50	8,928	20.569
	2	11,739				
	3	24,745				
	4	3,897				
20	1	9,680	56,526	7.15	7,773	17.909
	2	13,904				
	3	28,090				
	4	4,852				

Tabla (4-21)

CALCULO DEL COSTO ANUAL TOTAL (para $T_{base} = 20^{\circ}C$)

e (cm)	Costo Fijo (soles/año) $\times 10^6$	Por regresión lineal (soles/año) $\times 10^6$	Por flujo de calor a través de las pa redes (soles/año) $\times 10^6$	Por regresión lineal (soles/año) $\times 10^6$	Costo anual total (soles/año) $\times 10^6$
5	7.689	7.342	41.410	40.694	48.036
10	12.712	13.766	25.884	26.666	40.432
12		16.248		23.850	40.098
15	19.285	19.885	20.569	20.824	40.709
20	27.522	25.813	17.907	17.473	43.286
25		31.603		15.250	46.853
30		37.285		13.645	50.930
35		42.880		12.421	55.301
40		48.400		11.450	59.850
45		53.857		10.656	64.513
50		59.257		9.993	69.250
55		64.607		9.429	74.036
$Y = a X^b$					
		a = 1.706	a = 108.592		
		b = 0.907	b = -0.610		
		r = 0.992	r = -0.998		

Tabla (4-22)

4.8.4 Cálculo del Espesor Económico para otras Temperaturas (Ecuación general)

Considerando los valores obtenidos en las tablas (4-19) (4-22) y que para $T_{\infty e} = -83 \text{ } ^\circ\text{C}$ $\rightarrow e = 0$, siendo $T_i = -83 \text{ } ^\circ\text{C}$, se tiene:

Temp. Ambiente $T_{\infty e} \text{ (} ^\circ\text{C)}$	Espesor Económico $e' \text{ (cm)}$
-83	0
20	12
25	12.5

Tabla (4-23)_a

La curva resultante según valores de la tabla anterior es una recta, cuya ecuación es:

$$T_{\infty e} = A + B \cdot e' \quad \dots\dots\dots (1)$$

donde:

$$A = -83.014$$

$$B = 8.614$$

$$r = 0.9998 \quad \dots\dots \text{ (coef. de correlación)}$$

Reemplazando valores en (1) se obtiene:

e' (cm)	$T_{\infty e}$ (°C)	e' (cm)	$T_{\infty e}$ (°C)
0	-83.01	11	11.74
5	-39.94	11.5	16.05
6	-31.33	12	20.35
7	-22.72	12.5	24.66
8	-14.10	13	28.97
9	- 5.49	13.5	33.27
10	3.13	14	37.58
10.5	7.43	15	46.20

Tabla (4-23)_b

4.9 SISTEMA DE TRANSMISION DE POTENCIA

4.9.1 Esquema del Sistema de Transmisión a ser Utilizado

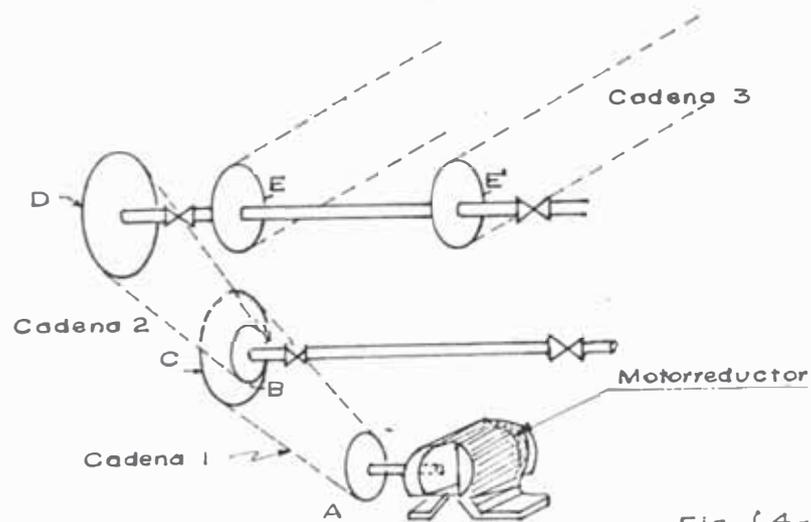


Fig. (4-25)

4.9.2 Cálculo de la Potencia Requerida por la Cadena Transportadora del Producto a ser Congelado

con $e = 12.5$ cm (espesor de aislante utilizado)

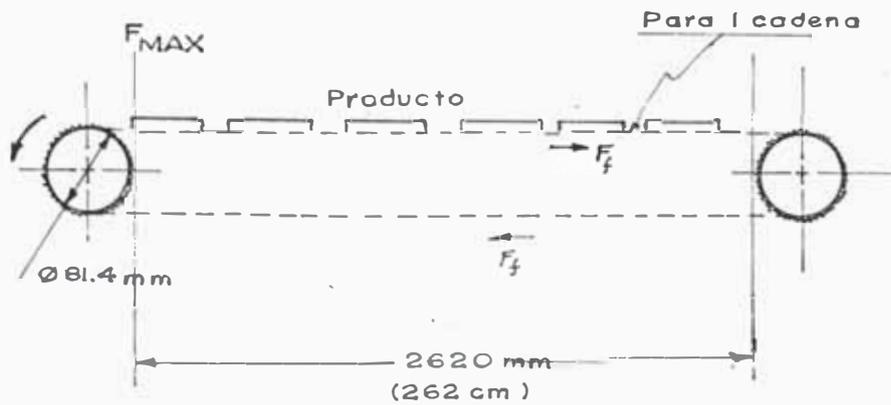


Fig. (4-26)

- distancia entre centros = 270 cm
- coef. de fricción Acero-sobre Acero = 0.22 (en seco)
- diámetro seleccionado = 81.4 mm (Diámetro de paso)
(Ref. **Tabla 4-24**)

a) Cálculo de la fuerza de arrastre (para el diámetro -
seleccionado)

$$F_T = f(N) + 4 \cdot f(W) \dots\dots \text{para 2 cadenas}$$

donde:

f = coeficiente de fricción = 0.22

N = carga transportada = 7.0 Kg_{LANG} en los 262 cm.

= 35.6 Kg_{POLLO} en los 262 cm.

W = peso de la cadena = 2.64 Kg/m

PARA EL POLLO: (condición más crítica)

$$F_T = 0.22(35.5) + 4(0.22 (2.64 \times 2.62)) \text{ Kg.}$$

$$= 13.90 \text{ Kg}$$

b) $T = F \left(\frac{\varnothing_{cat}}{2} \right) = 13.90 \times \left(\frac{8.14 \times 10^{-2}}{2} \right)$

$$= 0.566 \text{ Kg- m}$$

$$= 5550. \text{ N - mm}$$

$$c) \text{ Pot} = \frac{T \times \text{rpm}}{7'120,000} = \frac{5550. \times 0.821}{7'120,000} = 0.00064 \text{ HP}$$

∴ Pot_{min. req.} = Pot x 3.5 = 0.00224 HP ... Para vencer fuer-
zas inerciales -
después de una
parada brusca.

$$\text{Pot}_{\text{min. req.}} = 0.00224 \text{ HP}$$

4.9.3 Cálculo de la Potencia disponible por la Cadena Trans- portadora del Producto a ser Congelado

$$\text{HP} = P^2 \left\{ \frac{V^2}{45.8} - \frac{[1 + 25(1 - \cos \frac{180}{Z})] V^{1.41}}{1,240} \right\} \dots (1)$$

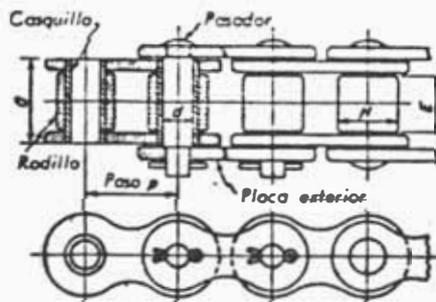
HP = Capacidad de absorción de potencia de una -
cadena

P = Paso en cm.

V = Velocidad de la cadena m/min., (0.21m/min)

Z = Número de Dientes de la rueda más pequeña

∅_{paso} = Diámetro de paso (cm)



Construcción característica de una cadena de transmisión. Fig. (4-27)

$$\emptyset_p = \frac{P}{\text{Sen}(\frac{180}{Z})} \dots (2)$$

4.9.3.1

SELECCION DE LA CADENA 3

ASA	N°	35	40	50	60	80	100	120	140	160	200
N° de Dientes	Pulg. Paso mm.	3/8 9.52	1/2 12.7	5/8 15.87	3/4 19.05	1 25.40	1 1/4 31.749	1 1/2 38.099	1 3/4 44.449	2 50.799	2 1/2 63.499
11	Pot(HP) Øp (mm) rpm	0.004 33.8 1.978	0.007 45.1 1.482	0.011 56.3 1.137	0.016 67.6 0.989	0.028 90.2 0.741	0.044 112.7 0.593	0.064 135.2 0.494	0.087 157.8 0.424	0.114 180.3 0.371	0.178 225.4 0.297
12	Pot(HP) Øp (mm) rpm	0.004 36.8 1.816	0.007 49.1 1.361	0.011 61.3 1.09	0.016 73.6 0.908	0.027 98.1 0.681	0.045 122.7 10.545	0.064 147.2 0.454	0.088 171.7 0.389	0.115 196.3 0.341	0.179 245.3 0.273
14	Pot(HP) Øp (mm) rpm	0.004 42.8 1.562	0.007 57.1 1.171	0.011 71.3 0.938	0.016 85.6 0.781	0.029 114.1 0.586	0.045 142.7 0.468	0.064 171.2 0.390	0.088 193.8 0.335	0.115 228.3 0.293	0.179 285.4 0.234
16	Pot(HP) Øp (mm) rpm	0.004 48.9 1.367	0.007 65.1 1.027	0.011* 81.4 * 0.821*	0.016 97.6 0.685	0.029 130.2 0.513	0.045 162.7 0.411	0.064 195.3 0.342	0.088 227.8 0.293	0.115 260.4 0.257	0.179 325.5 0.205
	Peso(Kg/m)	0.31	0.60	1.04	1.59	2.64	3.92	5.84	7.76	10.37	16.61

*: Seleccionamos Cadena ASA N° 50

Ø_E = 81.4 mm. (diámetro de la catalina)

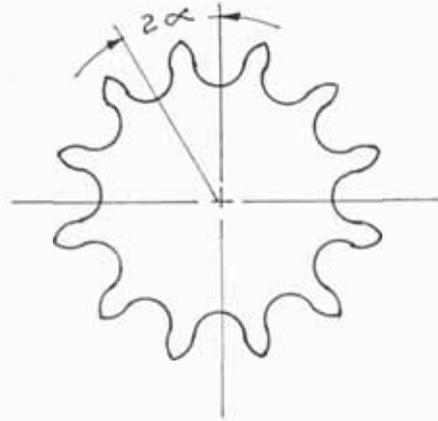
rpm = 0.821

HP = 0.011

Ø_R = 10.56 mm. (diámetro del rodillo de la cadena)

Tabla (4-24)

$$n = \frac{100 \text{ V}}{11 \cdot \phi_p} \dots\dots\dots (3)$$



$$2\alpha = \frac{360}{Z}$$

Fig. (4-28)

Tabulando con las expresiones (1), (2) y (3) se tiene:
Ver **tabla 4-24)**

Comparando:

$$\text{Pot. requerida (cad. 3)} = 0.00224 \text{ HP}$$

$$\text{Pot. disponible (cad. 3)} = 0.011 \text{ Hp}$$

4.9.4 Cálculo de la Potencia Requerida por la Cadena 1 y 2, -

Fig. (4-25)

$$\text{Pot. cad. 2} = \frac{\text{Pot. cad 3}}{\eta_{\text{rod}}^2 \cdot \eta_{\text{cad}}} = 0.00233$$

$$\text{Pot. cad. 1} = \frac{\text{Pot. cad 2}}{\eta_{\text{rod}}^2 \cdot \eta_{\text{cad}}} = 0.00243$$

Donde:

$$\text{Pot. cad. 3} = 0.00224$$

$$\left| \begin{array}{l} \eta_{\text{rod}} = 0.99 \\ \eta_{\text{cad.}} = 0.98 \end{array} \right.$$

4.9.5 Selección de los Números de Dientes de los Piñones y Catalinas del Sistema de Transmisión de Potencia

$$\text{rpm}_D = 0.821 \quad \dots \text{ (calculado-seleccionado)}$$

$$\text{rpm}_A = 5 \quad \dots \text{ (rpm del Motorreductor seleccionado)}$$

DELCROSA-tipo P35 - 71

$$m_{g1} = 2.4 \quad \dots \text{ (asumido)}$$

$$m_{g1} \cdot m_{g2} = \frac{5}{0.821}$$

$$m_{g2} = 2.54 \quad \dots \text{ (calculado)}$$

El diámetro del eje del Motorreductor a ser utilizado es de 50 mm (2") y considerando tentativamente que el paso de la cadena 1 y 2 a utilizarse es $\frac{1}{2}$ " (12.7 mm), de la **tabla (4-25)** seleccionamos $Z_A = 23$

$$Z_B = m_{g1} \times Z_A = 55.2$$

Seleccionamos: $Z_B = 55$ Ref. **Tabla (4-26)**

$$\text{Para } Z_C = 13 \quad Z_D = 33.02$$

Seleccionamos: $Z_D = 33$ Ref. **Tabla (4-26)**

CORREAS, CADENAS Y ENGRANAJES

Número de dientes	3/8" Paso		1/2"		3/4"		1"		1 1/2"		2"		3"	
	Máx. orificio	Máx. diá. del cubo												
11	1 1/2	5 3/4	2 5/8	1 1/2	3 1/2	1 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	4 1/2	1 1/2	1 1/2	3 1/2	4 1/2
12	5/8	6 3/4	7/8	1 3/4	1 5/8	1 3/4	1 5/8	1 3/4	1 5/8	1 3/4	1 5/8	1 3/4	1 5/8	1 3/4
13	3/4	7 1/4	1	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8
14	2 7/8	11 3/4	1 5/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8	1 7/8
15	7/8	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4
16	3 1/2	11 3/2	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4
17	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4
18	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4
19	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4	1 1/4	1 3/4
20	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4	1 3/4
21	1 5/8	2 3/4	1 5/8	2 3/4	1 5/8	2 3/4	1 5/8	2 3/4	1 5/8	2 3/4	1 5/8	2 3/4	1 5/8	2 3/4
22	1 7/8	2 3/4	1 7/8	2 3/4	1 7/8	2 3/4	1 7/8	2 3/4	1 7/8	2 3/4	1 7/8	2 3/4	1 7/8	2 3/4
23	1 3/4	2 3/4	1 3/4	2 3/4	1 3/4	2 3/4	1 3/4	2 3/4	1 3/4	2 3/4	1 3/4	2 3/4	1 3/4	2 3/4
24	1 1/2	2 7/8	1 1/2	2 7/8	1 1/2	2 7/8	1 1/2	2 7/8	1 1/2	2 7/8	1 1/2	2 7/8	1 1/2	2 7/8
25	1 3/4	2 7/8	1 3/4	2 7/8	1 3/4	2 7/8	1 3/4	2 7/8	1 3/4	2 7/8	1 3/4	2 7/8	1 3/4	2 7/8
Número de dientes	1 1/2"		1 3/4"		2"		2 1/2"		3"		3 1/2"		4"	
	Máx. orificio	Máx. diá. del cubo												
11	1 1/2	2 3/4	2 1/2	3 3/4	2 1/2	3 3/4	2 1/2	3 3/4	2 1/2	3 3/4	2 1/2	3 3/4	2 1/2	3 3/4
12	2 1/2	3 3/4	2 3/4	4 1/2	2 3/4	4 1/2	2 3/4	4 1/2	2 3/4	4 1/2	2 3/4	4 1/2	2 3/4	4 1/2
13	2 1/2	3 3/4	3 1/2	4 3/4	3 1/2	4 3/4	3 1/2	4 3/4	3 1/2	4 3/4	3 1/2	4 3/4	3 1/2	4 3/4
14	2 1/2	4 1/2	3 1/2	5 1/2	3 1/2	5 1/2	3 1/2	5 1/2	3 1/2	5 1/2	3 1/2	5 1/2	3 1/2	5 1/2
15	3 1/2	4 1/2	3 3/4	5 3/4	3 3/4	5 3/4	3 3/4	5 3/4	3 3/4	5 3/4	3 3/4	5 3/4	3 3/4	5 3/4
16	3 3/4	5	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6	4	6
17	3 1/2	5 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2
18	3 1/2	5 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2	4 1/2	6 1/2
19	4 1/2	6 1/2	4 3/4	7 1/2	4 3/4	7 1/2	4 3/4	7 1/2	4 3/4	7 1/2	4 3/4	7 1/2	4 3/4	7 1/2
20	4 1/2	6 3/4	5 1/2	7 1/2	5 1/2	7 1/2	5 1/2	7 1/2	5 1/2	7 1/2	5 1/2	7 1/2	5 1/2	7 1/2
21	4 1/2	7	5 1/2	8 1/2	5 1/2	8 1/2	5 1/2	8 1/2	5 1/2	8 1/2	5 1/2	8 1/2	5 1/2	8 1/2
22	4 3/4	7 1/2	5 3/4	8 3/4	5 3/4	8 3/4	5 3/4	8 3/4	5 3/4	8 3/4	5 3/4	8 3/4	5 3/4	8 3/4
23	5 1/2	8 1/2	6 3/4	9 3/4	6 3/4	9 3/4	6 3/4	9 3/4	6 3/4	9 3/4	6 3/4	9 3/4	6 3/4	9 3/4
24	5 1/2	8 1/2	6 1/2	9 1/2	6 1/2	9 1/2	6 1/2	9 1/2	6 1/2	9 1/2	6 1/2	9 1/2	6 1/2	9 1/2
25	5 3/4	8 3/4	7 1/4	10 1/4	7 1/4	10 1/4	7 1/4	10 1/4	7 1/4	10 1/4	7 1/4	10 1/4	7 1/4	10 1/4

Consejo de American Sprocket Chain Manufacturers Association

Ref. (R 9)

Tabla (4-25)

NUMERO DE DIENTES DE LA RUEDA												
No. 25	No. 35		No. 40			No. 50			No. 60		No. 80	
9	9	48	8	34	59	9	34	59	9	34	9	34
10	10	54	9	35	60	10	35	60	10	35	10	35
11	11	60	10	36	70	11	36	70	11	36	11	36
12	12	70	11	37	72	12	37	72	12	37	12	37
13	13	72	12	38	80	13	38	80	13	38	13	38
14	14	80	13	39	84	14	39	84	14	39	14	39
15	15	84	14	40	96	15	40	96	15	40	15	40
16	16	96	15	41	112	16	41	112	16	41	16	41
17	17	112	16	42		17	42		17	42	17	42
18	18		17	43		18	43		18	43	18	43
19	19		18	44		19	44		19	44	19	44
20	20		19	45		20	45		20	45	20	45
21	21		20	46		21	46		21	46	21	46
22	22		21	47		22	47		22	47	22	47
24	23		22	48		23	48		23	48	23	48
25	24		23	49		24	49		24	49	24	54
26	25		24	50		25	50		25	50	25	60
28	26		25	51		26	51		26	51	26	
30	28		26	52		27	52		27	52	27	
32	30		27	53		28	53		28	53	28	
36	32		28	54		29	54		29	54	29	
40	35		30	55		30	55		30	60	30	
45	36		31	56		31	56		31	70	31	
48	40		32	57		32	57		32	72	32	
54	45		33	58		33	58		33	80	33	
(60)									84			

Ref. (R 9)

Tabla (4-26)

4.9.5.1 Recálculo del tiempo de permanencia del producto en el túnel

$$m_{g1} = 2.391$$

$$m_{g2} = 2.538$$

Recálculo de la velocidad de la cadena 3:

$$rpm_D = \frac{5}{m_{g1} \cdot m_{g2}}$$

$$rpm_B = \frac{5}{m_{g1}} = 2.091$$

$$rpm_C = rpm_B = 2.091$$

$$rpm_D = rpm_E = (rpm_C / M_{g2})$$

$$V_E = \frac{\pi \cdot \phi_E \cdot rpm_E}{100}$$

Reemplazando:

$$rpm_E = 0.824 \dots \text{ (rpm -real)}$$

$$V_E = 211. \text{mm/min}$$

$$\therefore T = \frac{e}{V_E} = 9'58'' \dots \text{ ¡BIEN!}$$

donde: e = Long. del Túnel (2,100 mm)

T = Tiempo de permanencia del producto en el túnel

4.9.6 Cálculo de la Potencia disponible de las Cadenas 1 y 2 (Fig. (4-25))

Dado que ya determinamos anteriormente el número de dientes necesarios para los piñones A y C, seleccionaremos el Paso requerido y Potencia Disponible. De las fórmulas 1, 2 y 3:

$$HP = P^2 \cdot \left\{ \frac{\pi \cdot P \cdot n}{4580 \cdot \sin\left(\frac{180}{Z}\right)} \dots \dots \dots \right. \\ \left. \dots \dots \dots \frac{\left[1 + 25\left(1 - \cos\frac{180}{Z}\right)\right] \cdot \left[\frac{\pi \cdot P \cdot n}{100 \sin\left(\frac{180}{Z}\right)}\right]^{1.41}}{1240} \right\}$$

donde:

HP = Capacidad de absorción de potencia de una cadena

P = Paso en cm.

		POTENCIA QUE PUEDE ABSORBER HP (teórico)					
		CADENA N° 1			CADENA N° 2		
ASA	P A S O	RPM _A	RPM _{A'}	RPM _C			
N°	Pulg. (mm)	5	5	1.027	2.091	4.182	
25	1/4 6.35	6.191 x 10 ⁻³	12.281 x 10 ⁻³	7.362 x 10 ⁻⁴	1.487 x 10 ⁻³	2.942 x 10 ⁻³	
35	3/8 9.53	20.768 "	41.153 "	2.478 x 10 ⁻³	4.996 "	9.852 "	
40	1/2 12.7	48.846 "	96.700 "	5.843 "	11.768 "	23.203 "	
50	5/8 15.88	94.888 "	187.70 "	11.378 "	22.890 "	45.107 "	
60	3/4 19.05	163.18 "	322.55 "	19.607 "	39.408 "	77.485 "	
80	1 25.4	383.54 "	757.17 "	46.255 "	92.811 "	182.070 "	
100	1 1/4 31.75	74.36 x 10 ⁻²	146.64 x 10 ⁻²	89.971 "	180.26 "	352.921 "	
120	1 1/2 38.10	127.66 "	251.49 "	15.490 x 10 ⁻²	30.994 x 10 ⁻²	60.573 x 10 ⁻²	
140	1 3/4 44.45	201.52 "	396.62 "	24.516 "	48.994 "	95.595 "	
160	2 50.80	299.15 "	588.28 "	36.483 "	72.828 "	141.882 "	
180	2 1/4 57.15	423.76 "	832.63 "	51.797 "	103.29 "	200.941 "	
200	2 1/2 63.50	578.48 "	1,135.80 "	70.862 "	141.17 "	274.258 "	

Seleccionamos ASA N° 40 para la cadena 1 y 2.

HP_{dis.} > HP_{req.}

Tabla (4-28)

n = Revoluciones por minuto de la rueda más pequeña

Z = N° de dientes de la rueda más pequeña

Ver los resultados en la **tabla (4-28)**

4.9.7 Cálculo de los Diámetros de las Catalinas A, B, C, D

De la tabla (4-28), se determinó que se requiere ASA N° 40 (Paso = 12.7 mm), para las cadenas 1 y 2, (**Fig. - 4-25**)

$$d = \frac{12.7}{\text{sen}\left(\frac{180}{Z}\right)} \quad \text{mm}$$

CATALINA	A	B	C	D	A'	B'
					Opcional	
DIAMETRO, d (mm)	93.3	222.5	53.1	133.6	186.6	452.8
N°-DIENTES	23	55	13	33	46.	112
rpm _{REAL}	5	2.091	2.091	0.824	5	1.027
Lubricación	M A N U A L (V < 1,500 mm/s)					

Tabla (4-27)

Sólo se utilizará A' o B' en caso de ser necesario.

4.9.8 Recomendaciones para la Selección de las Catalinas

- Para aplicaciones de baja velocidad o por limitaciones de espacio se recomienda usar ruedas de menos de 17 - dientes.
- La máxima relación de velocidades entre la rueda dentada impulsora y la impulsada no debe exceder de 6/1
- La cadena debe envolver a la rueda dentada 120°
- Distancia entre centros de 30 a 50 veces el paso
- La flecha debe ser el 2% de la distancia entre centros
- Las cadenas de paso pequeño son aptas para altas velocidades y para operaciones suaves o silenciosas
- Que la potencia disponible sea mayor que la requerida

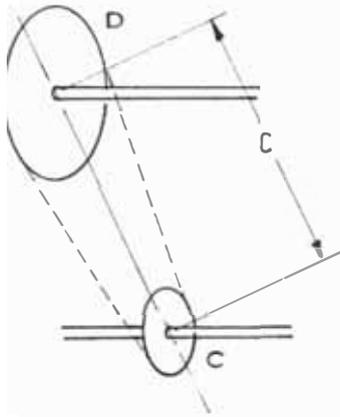
4.9.9 Cuadro Resumen - Catalinas

ASA N°	N°	Z	Ø mm	RPM	PASO (mm)
40	A	23	93.3	5	12.7
40	B	55	225.5	2.091	12.7
40	C	13	53.1	2.091	12.7
40	D	33	133.6	0.824	12.7
50	E	16	81.4	0.824	15.8

Tabla (4-29)

4.9.10 Cálculo de la Distancia entre Centros

a) Cadena 2



$$Z_C = 13$$

$$Z_D = 33$$

$$m_g = 33/13 = 2.54$$

Fig. (4-27)

$$C_p \in \langle 30, 50 \rangle$$

$$\text{PASO} = 1.27 \text{ cm} (\frac{1}{2}'')$$

$$L = 2 C_p + 0.53(33+13) \dots\dots (1)$$

$$L = 2 C_p + \frac{33+13+(33-13)^2}{2 \quad 4\pi^2 C_p} \dots\dots (2)$$

$$C = C_{P_{\text{REAL}}} \cdot (\text{PASO}) \dots\dots (3)$$

de (1), L se redondea a un N° par más próximo

$C_{P_{\text{asum}}}$	30	35	40	45	50
L (pasos)	84	94	104	114	124
$C_{P_{\text{REAL}}}$	30.33	35.36	40.37	45.39	50.40
C (cm)	38.52	44.91	51.27	57.65	64.01

Tabla (4-30)

L = longitud de la cadena

C_p = distancia entre centros, en pasos

C = distancia entre centros, en cm.

Seleccionamos - Cadena 2: L = 124 pasos

C = 64.01 cm.

b) Cadena 1

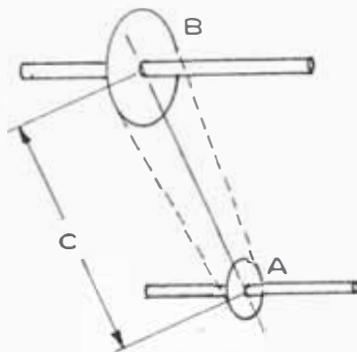


Fig. (4-28)

		opcional	
Z_A	23	23	46
Z_B	55	112	55
m_g	2.39	4.87	1.20

Tabla (4-31)

$$L = 2 C_p + 0.53 (Z_A + Z_B) \dots\dots\dots (1)$$

$$L = 2 C_p + \frac{Z_A + Z_B}{2} + \frac{(Z_B - Z_A)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C_p} \dots\dots\dots (2)$$

$$C = C_p (N^\circ \text{ paso}) \dots\dots\dots (3)$$

$$C_p \in \langle 30, 50 \rangle$$

$$N^\circ \text{ PASO} = 1.27 \text{ cm } (\frac{1}{2}'')$$

de (1), L se redondea al N° par más próximo

Para $Z_A = 23$ y $Z_B = 55$

C_p ASUM	30	35	40	45	47	50
L (Pasos)	102	112	122	132	136	142
C_p REAL	31.1	36.1	41.2	46.2	48.2	51.2
C (cm)	39.5	45.8	52.3	58.7	61.2*	65.0

Para L Calculado y $Z_A = 23$ y $Z_B = 112$

C_p REAL	-.-	16.0	22.9	28.8	31.0	34.3
C (cm)	-.-	20.3	29.0	36.5	39.4	43.6

Para L Calculado y $Z_A = 46$ y $Z_B = 55$

C_p REAL	25.7	30.7	35.7	40.7	42.7	45.7
C (cm)	32.6	39.0	45.4	51.7	54.3	58.1

Tabla (4-32)

4.9.11 Cálculo del Eje a ser Utilizado en los Extremos de la Cadena Transportadora del Producto

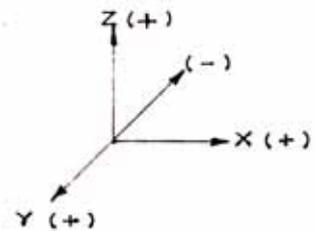
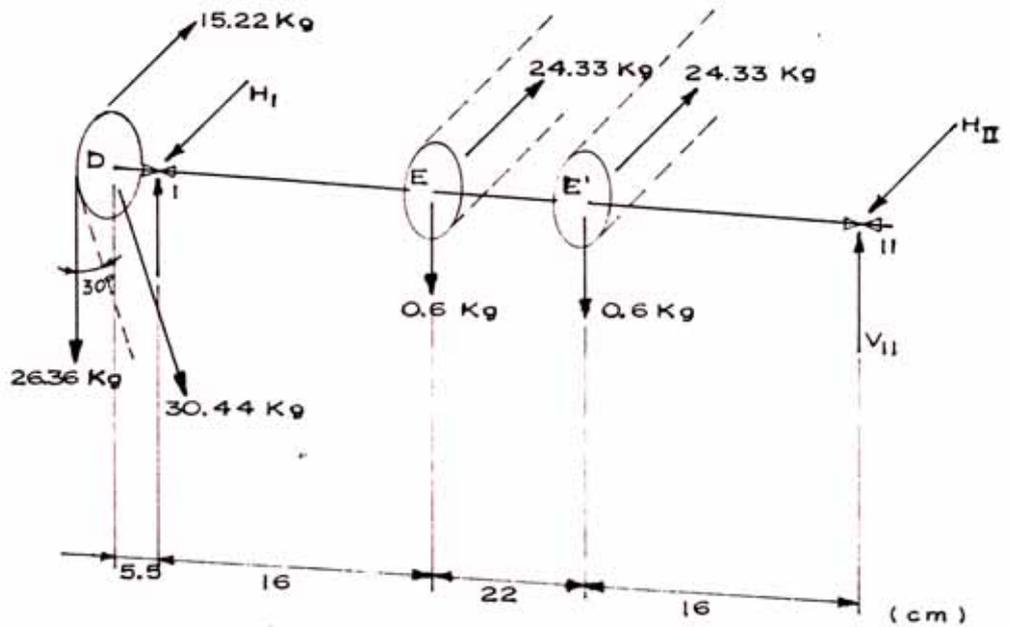
Según lo calculado en 4.9.2 - C, tenemos: (Ref. Fig. 4-25)

$$P_{dis E} = 0.00224 \text{ HP}$$

$$P_D = \frac{0.00224}{0.99^2} = 0.0023 \text{ HP}$$

$$\eta_{\text{rod}} = 0.99$$

$$F_D = \frac{P_D \times 7'120,000}{\text{RPM}_D \times \frac{d_D}{2} \times 9.81} = 30.44 \text{ Kg}$$



$$\sum F_H = 0$$

$$H_I + H_{II} - 15.22 - 2(24.33) = 0$$

$$H_I + H_{II} = 63.88 \text{ Kg} \dots\dots\dots (1)$$

Fig. (4-29)

$$\Sigma M_{IH} = 0$$

$$15.22 \times 5.5 - 24.33 (16 + 38) + H_{II} \times 54 = 0$$

$$H_{II} = 22.78 \text{ Kg.}$$

(2) en (1)

$$H_I = 41.1 \text{ Kg}$$

$$\Sigma F_V = 0$$

$$26.36 + 0.6 (2) - V_I - V_{II} = 0$$

$$V_I + V_{II} = 27.56 \quad (3)$$

$$\Sigma M_{IV} = 0$$

$$26.36 \times 5.5 - 0.6 (16+38) + V_{II} \times 54 = 0$$

$$V_{II} = -2.08 \text{ Kg} \quad (4)$$

(4) en (3)

$$V_I = 29.64 \text{ Kg}$$

DIAGRAMA DE MOMENTOS HORIZONTALES

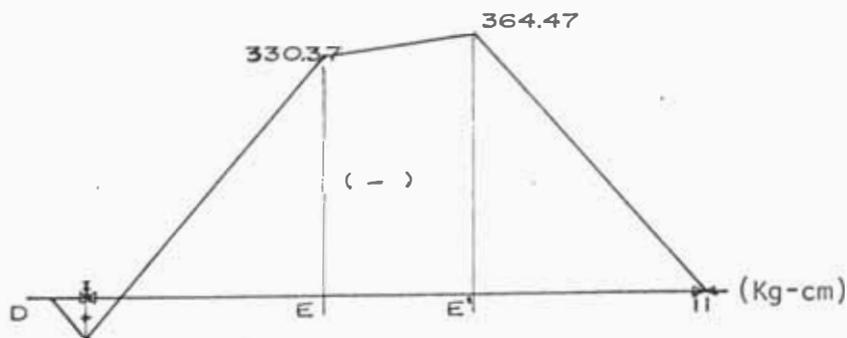


Fig. (4-30)

DIAGRAMA DE MOMENTOS VERTICALES

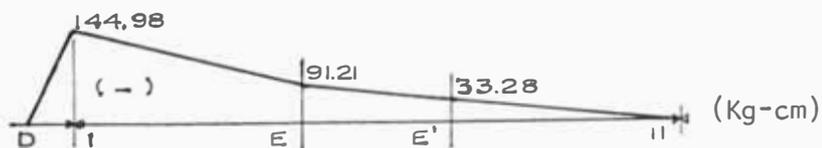


Fig. (4-31)

a) Cálculo del momento resultante

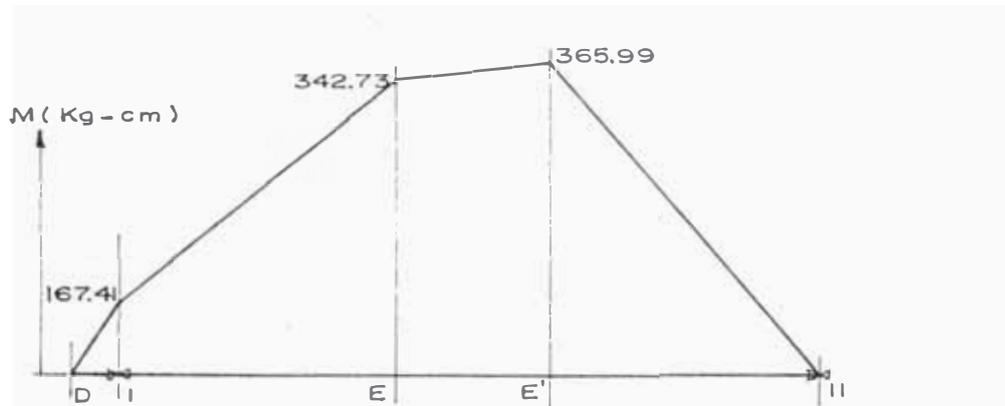


Fig. (4-32)

b) Torques actuantes

$$T_D = \frac{P_D \times 7'120,000}{RPM \times 9.81 \times 10} = 203.33 \text{ Kg-cm}$$

$$T_E = T_{E'}$$

$$T_D = 2 T_E \quad \therefore T_E = 101.66$$

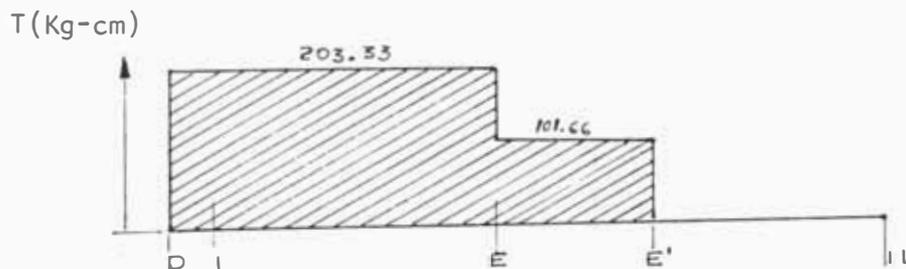


Fig. (4-33)

c) Cálculo del eje motriz de la cadena 3

$$d^3 = \frac{16}{\pi \cdot S_{sd}} \sqrt{(C_m \cdot M)^2 + (C_t \cdot T)^2}$$

$$S_{sd} = 0.3 S_y$$

$$S_{sd} = 0.18 S_u$$

Para SAE 1030

$$S_u = 5000 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S_y = 3500 \text{ Kg/cm}^2$$

De donde se escoge el menor valor

$$\begin{array}{l} S_{sd}(S_u) = 900 \text{ Kg/cm}^2 \\ S_{sd}(S_y) = 1050 \text{ Kg/cm}^2 \end{array} \quad \left| \quad \therefore S_{sd} = 900 \text{ Kg/cm}^2$$

Dado que en esta sección (E) y (E') se tiene un canal chavetero y son Puntos Críticos, por recomendaciones de la ASME, el menor S_{sd} se ajusta por un factor = 0.75

$$S_{sd} = 675 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_m = 1.5 \quad \dots\dots\dots (\text{eje giratorio con carga constante})$$

$$C_t = 1.0 \quad \dots\dots\dots (\text{eje giratorio con carga constante})$$

Reemplazando valores en (1)

$$\text{En el Pto. E} \quad \dots\dots\dots d = 1.61 \text{ cm}$$

$$\text{En el Pto. E'} \quad \dots\dots\dots d = 1.62 \text{ cm}$$

Luego escogemos $d = 3/4'' = 1.94 \text{ cm}$

C_1 CHEQUEO POR DEFORMACION

$$\theta = \frac{T \times (20 d)}{J \times G} \text{ rad}$$

Recomendación

$$\theta \leq 0.01745 \text{ rad. por cada 20 diámetros}$$

$$J = \frac{\pi \times d^4}{32}$$

$$G = \text{Coef. de Poisson} = 845,456 \text{ Kg/cm}^2$$

Para el punto (E)

$$T = 220.47 \text{ Kg-cm}$$

$$d = 1.94 \text{ cm}$$

$$\therefore \theta = 0.00335 < 0.01745 \quad \text{¡BIEN!}$$

C₂ CHEQUEO POR FATIGA

$$N = \frac{\pi \times d^3}{32 \cdot \sqrt{(T/S_y)^2 + (M/S_e)^2}}$$

N = factor de seguridad (mínimo = 1)

$$\text{para } S_y = 3,500 \text{ Kg/cm}^2 \dots\dots (49.677 \text{ KPSI})$$

$$S_u = 5,000 \text{ Kg/cm}^2 \dots\dots (70.967 \text{ KPSI})$$

$$S_{e1} = S_u/2 = 2,500 \text{ Kg/cm}^2 \dots\dots (35.484 \text{ KPSI})$$

$$K = (K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e) \dots\dots \text{Ref. (R 10)}$$

Considerando Material Maquinado o Acero estirado en frío:

$$K_a = 0.8 \dots\dots\dots (\text{Fig. 6-03, R10})$$

$$K_b = 0.85 \dots\dots\dots (\text{Tabla 6-01, R10})$$

$$K = (1-0.08D) \dots\dots\dots (\text{Tabla 6-02, R10})$$

* con una probabilidad de falla = 0.1%,
(D = 3.1)

$$\therefore K_c = 0.752$$

$$K_d = 0.99 \dots\dots\dots (\text{pág. 6-14})$$

$$K_e = 0.8 \quad (\text{Factor por efectos varios})$$

$$\therefore K = 0.405$$

$$\text{Luego } S_e = K' S_{e1} = 1,012.5 \text{ Kg/cm}^2$$

a) Parámetros de diseño calculados

$$Q = 0.220 \text{ m}^3/\text{S} \dots\dots\dots (\text{Ref. 4.6.1})$$

$$T_{N_2} = -6.66 \text{ }^\circ\text{C} \dots\dots\dots (\text{Temp. a la salida y entrada del ventilador})$$

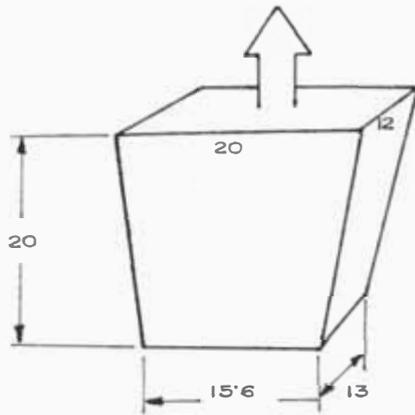
b) Fórmulas y nomenclatura

$D_H = \frac{4 \cdot A}{P}$	D_H = Diámetro hidráulico
$V_M = \frac{Q}{\frac{\pi \cdot D_H^2}{4}}$	D_{Hm} = Diámetro hidráulico medio
$h_f = f \cdot \frac{L}{D_{Hm}} \cdot \frac{V_m^2}{2 \cdot g}$	A = Area de la sección
$h_p = k \cdot \frac{V_m^2}{2 \cdot g}$	P = Perímetro mojado
$R_e = \frac{V_M \cdot D_{Hm}}{\nu_{N_2}}$	Q = Caudal del N_2 en M^3/S

- D_H = Diámetro hidráulico
- D_{Hm} = Diámetro hidráulico medio
- A = Area de la sección
- P = Perímetro mojado
- Q = Caudal del N_2 en M^3/S
- h_f = Pérdidas por fricción
- L = Longitud equivalente
- h_p = Pérdidas secundarias
- V_m = Velocidad media
- K = Coefic. de pérd.carga
- ν_{N_2} = Viscosidad cinemática del N_2

4.10.1 Altura de Descarga

Accesorio N° 1



$$Q = 0.22 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_{H1} = 0.142 \text{ m}$$

$$D_{H2} = 0.150 \text{ m}$$

$$D_{Hm} = 0.146 \text{ m}$$

$$V_m = 13.14 \text{ m/s}$$

$$\nu = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

a (-6.66°C)

$$Re = 1.535 \times 10^5$$

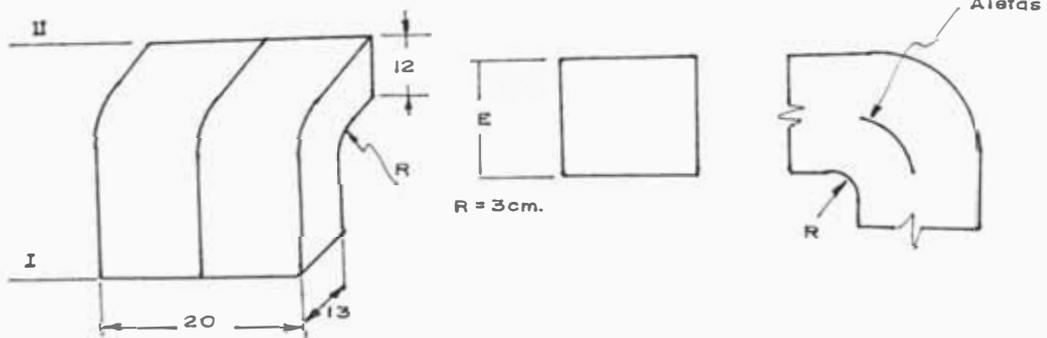
Material Φ P.R.F.V

$$\epsilon = 0.000048$$

$$f = 0.0195$$

$$h_{p1} = 0.24 \text{ m N}_2$$

Accesorio N° 2



$$R = 3 \text{ cm}$$

(Medidas cm)

Fig. (4-36)

N° de aletas	R/E
1	0.25
2	0.20
3	0.15

Tabla (4-33)
(Ref. R 6)

CONDICIONES	L/E
Sin guías.	60
Guías de cambio de dirección de <u>simple</u> espesor.	15
Guías de cambio de dirección de <u>doble</u> espesor.	10

Tabla (4-34)
(Ref. R6)

Resistencia (perdidas)
en paralelo no se suman.

$$h_{P1-11} = f \cdot \frac{L}{D_H} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Eligiendo el uso de guías de cambio de dirección, de simple espesor, se tiene :

$$L / E = 15$$

$$L = 1.80 \text{ m}$$

$$h_{P2} = 2.33 \text{ m N}_2$$

$$Q = 0.22 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$D_H = 0.109 \text{ m (c/codo)}$$

$$V = 11.77 \text{ m / s}$$

$$\nu = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{s} \quad (\text{ a } - 6.66 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Re = 1.027 \times 10^5$$

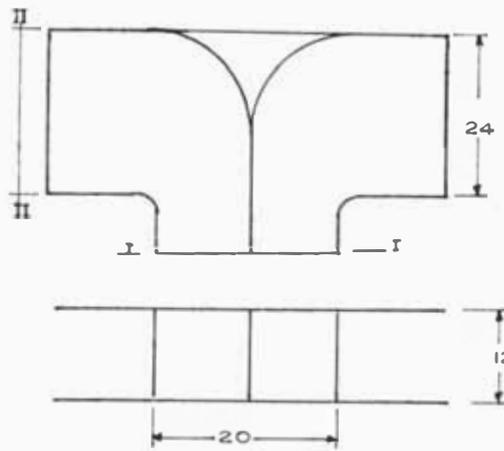
$$\frac{\epsilon}{D_H} = 0.00044 (\text{Mat.P.R.F.V})$$

$$f = 0.02$$

$$L = \text{Long. equiv.}$$

Accesorio N°3

Considerando que es un codo de radio grande.



$$K = 0.6$$

$$Q = 0.22 \text{ m}^3/\text{S}$$

$$D_{H1} = 0.12 \text{ m}$$

$$D_{H2} = 0.16 \text{ m}$$

$$D_{Hm} = 0.14 \text{ m}$$

$$V_m = 7.15 \text{ m/S (c/codo)}$$

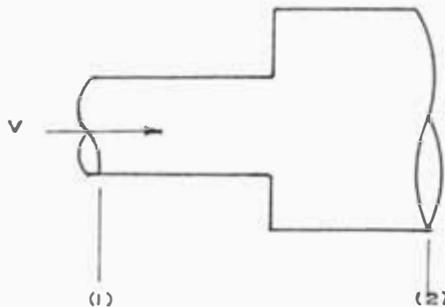
Fig. (4-37)

a) Pérdida por cambio de dirección.

$$h_{pa} = 0.6 \left(\frac{7.15^2}{2.9} \right)$$

$$h_{Pa} = 1.56 \text{ m N}_2$$

b) Pérdida por expansión brusca.



$$K = \left[1 - \left(\frac{D_{H1}}{D_{H2}} \right)^2 \right]^2$$

$$K = 0.19$$

$$V_1 = 9.73 \text{ m/S}$$

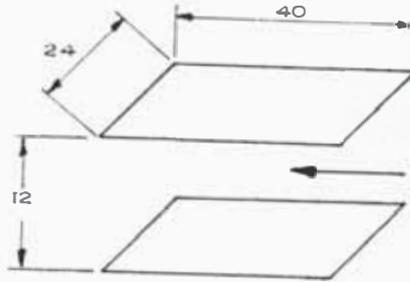
$$h_{Pb} = K \frac{V_1^2}{2.9}$$

Fig. (4-38)

$$h_{Pb} = 0.96 \text{ m N}_2$$

$$h_{P_3} = (h_{Pa} + h_{Pb}) = \underline{\underline{2.48 \text{ m N}_2}}$$

Accesorio N° 4



medidas : cm.

Fig. (4-39)

$$Q = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$L = 0.4 \text{ m}$$

$$D_H = 0.16 \text{ m}$$

$$V = 5.47 \text{ m/s}$$

$$\nu = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \quad (-6.66 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$Re = 7.002 \times 10^4$$

$$\frac{\epsilon}{D} = 0.0003$$

$$f = 0.021$$

$$h_{P_4} = 0.08 \text{ m N}_2$$

Accesorio N° 5 (Compuesto por dos codos)

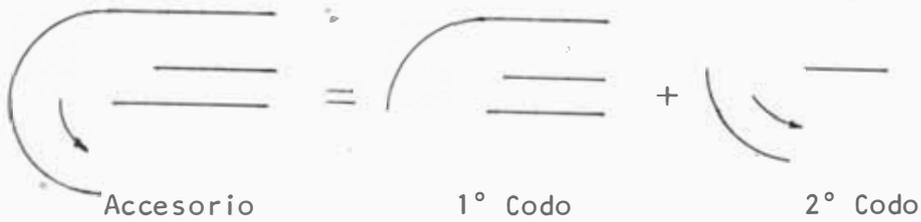


Fig (4-40)

Relación que se conoce:

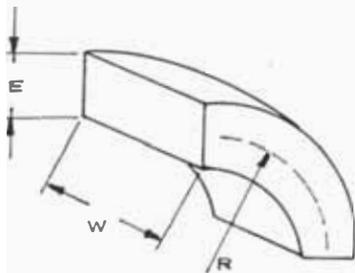


Fig (4-41)

W/E	R/E				
	0.5	0.75	1	1.25	1.5
	Relación L/E				
0.5	3.3	14	9	5	4
1	45	18	11	7	4
3	80	30	14	8	5
6	125	40	18	12	7

Tabla (4-35)

1° Codo : (Se tiene los siguientes valores.)

$$\frac{R}{E} = \frac{6}{12} = 0.5$$

$$\frac{W}{E} = \frac{24}{12} = 2$$

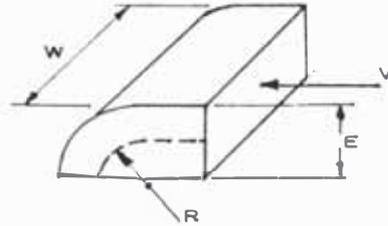


Fig. (4-42)

Interpolando (de la Tabla 4-35)

$$\frac{L}{E} = 62.5$$

$$L = 7.5 \text{ m}$$

$$Q = 0.11 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D_H = 0.16 \text{ m}$$

$$V = 5.47 \text{ m/s}$$

$$\nu = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (a } 20 \text{ }^\circ\text{F)}$$

$$h_{p \ 1^\circ} = 1.50 \text{ m N}_2$$

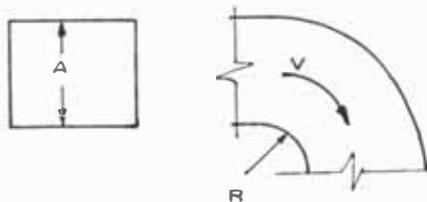
$$Re = 7.002 \times 10^4$$

$$\frac{\epsilon}{D_H} = 0.0003$$

$$f = 0.021$$

2° Codo :

Se dispone del siguiente cuadro.



R/A	K
0	3
0.25	1.9
0.5	1.6
1.9	1.4

Fig. (4-43)

Fig. Referencial

Tabla (4-36)

En nuestro caso :

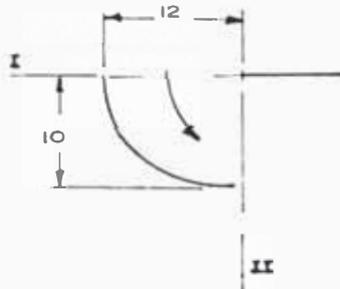


Fig (4-44)

$$\begin{aligned} Q &= 0.11 \text{ m}^3/\text{s} \\ A_1 &= (24 \times 12) \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ &= 0.16 \text{ m} \\ D_{H1} &= 0.16 \text{ m} \\ A_2 &= (24 \times 10) \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ &= 0.141 \text{ m} \\ D_{H2} &= 0.141 \text{ m} \\ D_{Hm} &= 0.151 \text{ m} \\ V_m &= 6.18 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\frac{R}{A} = 0 ; K = 3$$

$$h_{P2^\circ} = 5.84 \text{ m N}_2$$

$$\underline{h_{P5} = (h_{P1^\circ} + h_{P2^\circ}) = 7.34 \text{ m N}_2}$$

4.10.2 Altura de Succión

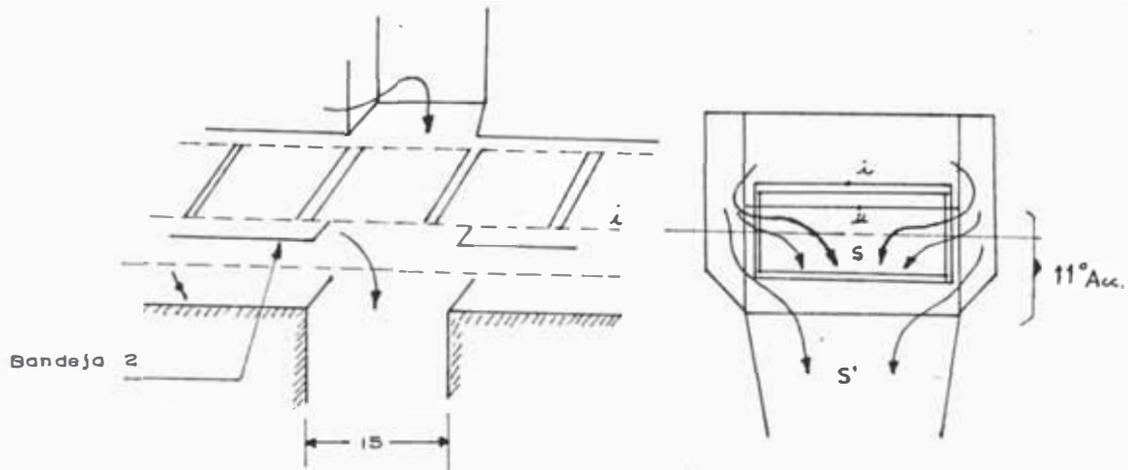
Del Accesorio N° 6 al 10

En el Acápite 4.4.3 se ha obtenido los siguientes resultados :

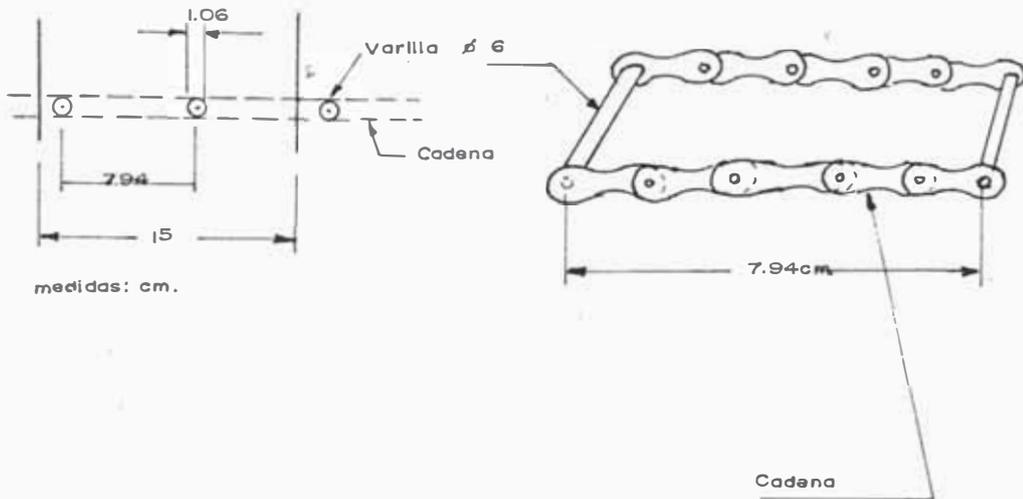
$$\underline{h_{P6-10} = 26.98 \text{ m N}_2}$$

Accesorio N° 11

(Expansión brusca; fricción en las paredes, varillas)



⋈ cadena
⋈ bandeja 2



Medidas : cm

Fig. (4-46)

Por haber flujo de N_2 por s y s' , (fig.sup.derecha)

$$h_p = 0 \text{ m } N_2$$

Accesorio N° 12

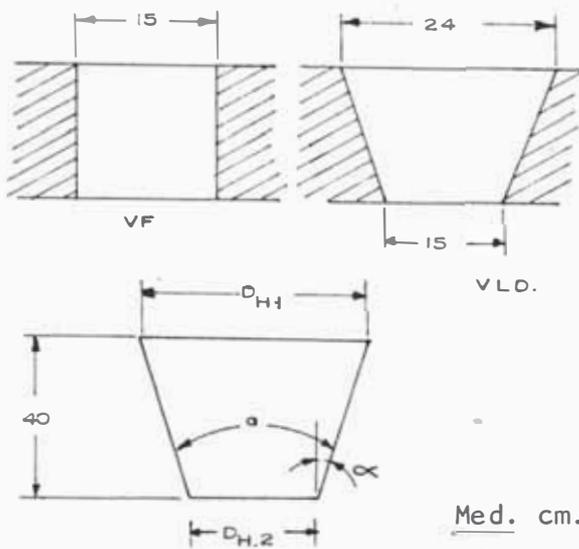


Fig. (4-47).

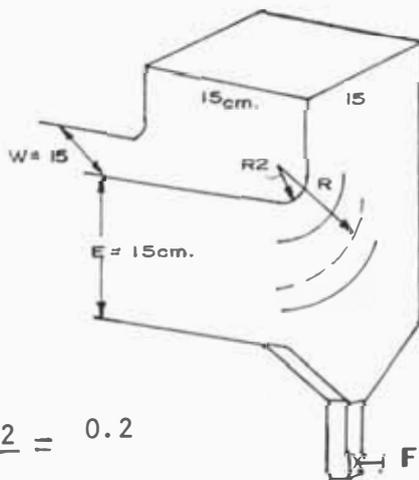
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D_{H1} - D_{H2}}{2 \cdot (40)}$$

$$\alpha = 2.5^\circ$$

$$h_p = 0.019 \frac{0.40 \cdot (10.32)^2}{0.167 \cdot 19.62}$$

$$h_p = 2.47 \text{ m N}_2$$

Accesorio N° 13



$$\frac{R_2}{E} = 0.2$$

De Tabla (4-33), N°aletas = 2

$$h_p 13 = 3.32 \text{ m N}_2$$

Fig (4-48)

$$Q = 0.22 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = (15 \times 24) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D_{H1} = 0.185 \text{ m}$$

$$A_{H1} = 268 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_1 = 8.21 \text{ m/s}$$

$$A_2 = (15 \times 15) \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D_{H2} = 0.15$$

$$A_{H2} = 177 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$V_2 = 12.43 \text{ m/s}$$

$$V_m = 10.32 \text{ m/s}$$

$$D_{Hm} = 0.167 \text{ m}$$

$$\nu = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \dots \dots$$

... (a - 6.66 °C)

$$Re = 1.381 \times 10^5$$

$$\frac{\epsilon}{D_m} = 0.0003$$

$$f = 0.019$$

$$W = 1$$

$$\frac{R}{E}$$

$$= 0.5$$

$$\text{De 1a Tabla (4-34)} \quad \frac{L}{E} = 15$$

$$L = 2.25 \text{ m}$$

$$D_H = 0.15 \text{ m}$$

$$V = 12.45 \text{ m/s}$$

$$\frac{\epsilon}{D_H} = 0.0003$$

$$\nu = 1.25 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Re = 1.494 \times 10^5$$

$$f = 0.028$$

4.10.3 Determinación de la Altura Total de Pérdidas y Altura Diseño.

ACCESORIO N°	PERDIDA EN m N ₂
1	0.24
2	2.33
3 (a,b)	2.48
4	0.08
5 (1°, 2°)	7.34
6, 7, 9, 10	26.98
11	0
12	2.47
13	3.32
$\sum h_p$	45.24 m N ₂

Tabla (4-37)

Δh por pérdidas no consideradas \cong 5%

$$h_{TOTAL} = (h_p + \Delta h)$$

$$H_{dis} = 1.1 \times h_{TOTAL}$$

$$H_{dis} = 52.00 \text{ m N}_2$$

NOTA : Pérdidas no consideradas

- Expansión por cambio de sección en algunos accesorios y transformación antes del ventilador (entrada al ventilador).
- Flujo a través de las varillas de la cadena .
- Llaves (compuertas) de control de dirección - del flujo.

4.11 CALCULO DE LA POTENCIA DEL MOTOR UTILIZADO PARA LA RECIRCULACION DEL N₂

Teniendo en cuenta que, cuando la densidad del N₂ varia, se produce un cambio proporcional en la potencia absorbida por el ventilador de flujo constante; pudiendo presentarse dos situaciones extremas para el motor.

- a) Que el N₂ recircule a baja temperatura, mientras se prepara el túnel para su uso (Temp. N₂ ≥ - 196 °C)
- b) Que el N₂ recircule a "baja temperatura" mientras se procesa el producto, Temp. de recirculación = -6.66 °C.

De las dos anteriores se concluye que a) es más desfavorable.

4.11.1 Cálculo de la Potencia Consumida por el Ventilador para el Caso a).

El N₂ pulverizado sale a (- 196 °C) en cantidades pequeñas. Sin embargo consideraremos que por no haber producto que se este procesando el gas que recircula lo hará a T_{rec.} = -186 °C.

$$\text{Pot}_M = \frac{\gamma \cdot Q' \cdot H}{76 \cdot \eta} \quad (\text{HP}) \quad \dots \quad \text{Pot. entregada por el motor (Q' \cdot H. = cte.)}$$

$$\text{Sea } T_{\text{rec.}} = -184.4 \text{ °C, } \rho_{\text{N}_2} = 4.01 \text{ Kg/m}^3$$

NOTA : Un ventilador acoplado a un sistema dado, trabaja siempre en el mismo punto de la curva característica e inyecta un volumen constante, sea cual fuere la densidad (Ref. R6).

$$H = H_{dis} = 52 \text{ m N}_2$$

$$Q' = Q_{dis} = 0.242 \text{ m}^3/\text{s} \dots (\text{ Cap. 4.6.2 })$$

$\eta = 0.7$ Según el tipo de ventilador que sea, su eficiencia será: $e \in \langle 45, 75\% \rangle$ (Ref. R6)

$$Pot_M = \frac{(4.01 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}) (0.242 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}) (52 \text{ m N}_2)}{(76) (0.7)}$$

$Pot_M = 0.95 \text{ HP}$ Pot. entregada por el motor.

4.11.2 De los Catálogos de Delcrosa S.A. se tiene :

T I P O	H P	RPM a 1/1	Nº DE POLOS	PESO (KG)
NV 80 a 2	1.2	3440	2	14.3
NV 80 b 4	1.2	1700	4	15.4
NV 80 La 6	1.2	1140	6	20.8
NV 100 La 8	1.2	840	8	29.0

Tabla (4-38)

Seleccionamos Motor con Pot. = 1.2 HP dado que en el mercado no hay de 1 HP con 60 Hz.

4.11.3 Selección del Motor

Del cuadro anterior el motor seleccionado es :

NV 80 b 4 de 1.2 HP y 1700 rpm. por ser relativamente barato y rpm no muy elevado.

4.12 CALCULO DEL VENTILADOR REQUERIDO

En las condiciones normales de operación se tiene :

$$\Delta P = 52 \text{ m N}_2$$

$$\gamma_{N_2} = 1.336 \text{ Kg/m}^3 \text{ a Top} = -6.66 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\eta = 0.7$$

$$Q' = Q_{dis} = 0.242 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.12.1 Potencia Requerida por el Ventilador

$$Pot = \frac{\gamma \cdot Q' \cdot H}{76 \cdot \eta} = \frac{1.336 \times 0.242 \times 52}{76 (0.7)}$$

$$Pot = 0.316 \text{ HP}$$

4.12.2 Selección del Tipo de Ventilador

De acuerdo con lo calculado en 4.12 el motor seleccionado es DELCROSA NV 80 b 4, (Pot = 1.2 HP, RPM = 1700, 60 Hz).

.*. El número específico de caudal (N_q) es :

$$N_q = \frac{N \cdot \sqrt{Q'}}{H^{3/4}} = \frac{1700 \sqrt{0.242}}{(52)^{3/4}}$$

$$N_q = 43.18$$

Para valores de $N_q \in \langle 20, 50 \rangle$ el tipo de ventilador recomendado es : CENTRIFUGO CON ALABES CURVADOS HACIA ATRAS.

De los valores recomendados se tiene :

N_q	20	30	40	50
ψ	1.1	1.05	0.97	0.9

ψ = cifra de presión.

Tabla (4-39)

Interpolando para $N_q = 43.19$, $\psi = 0.949$

4.12.3 Diámetro Exterior del Rotor (D_2) y Velocidad (U_2)

$$\psi = \frac{2 \cdot g \cdot H}{U_2^2} = \frac{2 \cdot g \cdot H}{\left(\frac{\pi \cdot D_2 \cdot N}{60} \right)^2}$$

donde : $N = 1700$ RPM

$H = \Delta P = 52$ m N_2

$g = 9.81$ m/s²

$$D_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H \cdot 60}{\psi \cdot \pi^2 \cdot N^2}}$$

$D_2 = 0.368$ m

Velocidad tangencial (U_2) :

$$U_2 = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot N}{60} = \frac{\pi \cdot (0.368) \cdot (1700)}{60}$$

$U_2 = 32.75$ m/s

4.12.4 Diámetro Interior (D_1) y Número de Alabes (Z) del

Rotor :

Para el tipo de ventilador, de paletas inclinadas ha
cia atras, se tiene :

$$\frac{D_1}{D_2} \in \langle 0.5 , 0.65 \rangle \dots \text{Recomendado}$$

$$\frac{D_1}{D_2} \geq 1.063 \sqrt[3]{\frac{\varphi}{\text{tg } B_1}}$$

donde . . $\varphi = \frac{Q'}{(\frac{\pi \cdot D_2^2 \cdot U_2}{4})} = \frac{0.242}{\frac{\pi}{4} (0.368)^2 (32.76)}$

$$\varphi = 0.0695$$

$$\therefore D_1 \geq D_2 \times 1.063 \times \sqrt[3]{\frac{0.0695}{\text{tg } B_1}}$$

$$D_1 \geq \frac{0.161}{\sqrt[3]{\text{tg } B_1}} \text{ m} \dots (1)$$

El Número de Alabes del Rotor :

$$Z = K \cdot \frac{1 + D_1 / D_2}{1 - D_1 / D_2} \cdot \text{sen} \left(\frac{B_1 + B_2}{2} \right)$$

donde $K \in \langle 6.5 , 8 \rangle$

$K = 6.5$. . . Para espesores de álabe ligeramente grueso.

$$Z = 6.5 \left(\frac{1 + D_1 / D_2}{1 - D_1 / D_2} \right) \cdot \text{sen} \frac{B_1 + B_2}{2} \dots (2)$$

donde $Z \in \langle 6, 16 \rangle$. . . Vent. centrífugo con álabes incli
nados hacia atras.

$B_1 = (30 \text{ a } 35^\circ)$. . B_1 para gases toma valores gran
des.

$B_2 = (60 \text{ a } 70^\circ)$

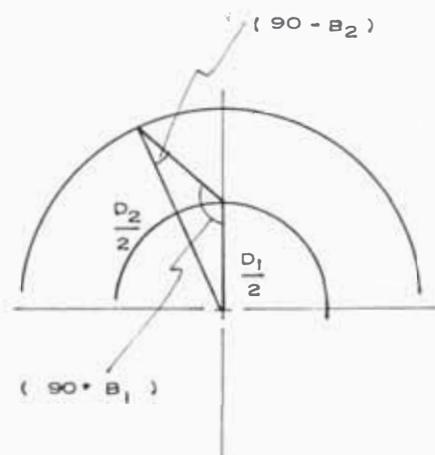
Para reducir el costo de fabricación del ventilador se
leccionamos

VENTILADOR DE ALABES RECTOS

Para el ventilador con
álabes rectos inclina
dos hacia atras, se
tiene :

$$\cos B_1 = \frac{D_2/2}{D_1/2} \cos B_2$$

donde $D_2 = 0.368 \text{ m}$



. . se obtiene :

(Para B_2 prácticos,

Tabla (4-40)

Fig. (4-49)

B_2 (°)	D_1 (m) Asumido	B_1 (°) Calculado	D_1 / D_2	Z	En Ec. (1) D_1 (m)
60	0.19	14.4	0.52	12	0.253
	0.20	23.1	0.54	14	0.214
	0.21	28.8	0.57	17	0.197
	0.22	33	0.60	19	0.186
	0.23	37	0.63	21	0.177
65	0.18	30.2	0.49	14	0.193
	0.185	33.3	0.50	15	0.185
	0.19	35.1	0.52	16	0.181
	0.20	39.0	0.54	17	0.173
	0.21	42.2	0.57	19	0.166
	0.22	45.0	0.60	21	0.161
	0.23	47.5	0.63	22	0.156

Tabla (4-40)

Del cuadro anterior, la única alternativa que cumple con la ecuación (1) y las recomendaciones para D_1/D_2 , ..
.. Z, B_1 , B_2 es :

$$\text{Para } B_2 = 65^\circ \quad D_1 = 0.185$$

$$B_1 = 33^\circ$$

$$Z = 15$$

4.12.5 Velocidad del Gas (N_2) a la Entrada del Ventilador (C_s) :

$$C_s = \epsilon \cdot C \quad \text{donde } C = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

$\epsilon \in \langle 0.1, 0.3 \rangle$, coeficiente entrada.

H = altura de elevación

(ϵ Toma los valores más altos para gases)

Sea $\epsilon = 0.3$

$$C_s = 0.3 \sqrt{2 \times 9.81 \times 52}$$

$$C_s = C_{mo} = 9.58 \text{ m/S}$$

$$\frac{\pi \cdot D_s^2}{4} = \frac{Q}{C_s} = \frac{0.22}{9.58}$$

$$D_s = 17.1 \text{ cm}$$

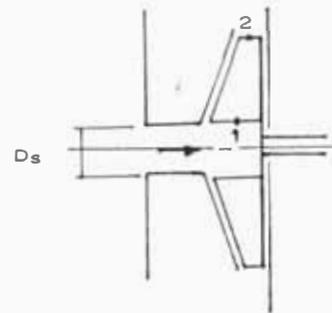


Fig. (4-50)

4.12.6 Anchos del Rotor b_1 , b_2 y altura efectiva

Considerando la sección constante, $cm_1 = cm_2$

$$Cm_1 = Cmo \cdot \frac{t_1}{t_1 - s_1} \dots \dots (3)$$

factor de estrechamiento.

donde :

MATERIAL: Plástico refor
mado con fibra
de vidrio.

$$a) t_1 = \frac{\pi \cdot D_1}{Z}$$

$$b) S_1 = \frac{e}{\text{sen } B_1}$$

$e \in \langle 1.6 \text{ a } 2 \rangle$ mm.
Sea $e = 2.0$ mm.

$$c) \frac{t_1}{t_1 - S_1} \leq 1.1 \dots \dots \dots (\text{Ref. 17})$$

Para el cálculo de t_2 , S_2 , similar que en a) , b)

$$b_1 = \frac{Q'}{(\pi \cdot D_1 - Z \cdot S_1) \cdot C m_1} \dots \dots \dots (4)$$

$$b_2 = \frac{Q'}{(\pi \cdot D_2 - Z \cdot S_2) \cdot C m_2} \dots \dots \dots (5)$$

Para $C m_0 = 9.58$ m/S $\dots \dots \dots$ (Calculado)

- Z = 15
- $D_1 = 185$ mm, $B_1 = 33^\circ$
- $D_2 = 368$ mm, $B_2 = 65$
- e = mm.

Se obtiene de a), b), c), 3) 4), 5)

$$t_1 = 38.7 \text{ mm}, t_2 = 72.3 \text{ mm.}$$

$$S_1 = 3.8 \text{ mm}, S_2 = 2.2 \text{ mm.}$$

$$\therefore \frac{t_1}{t_1 - S_1} = 1.1$$

$$\begin{aligned}
 c_{m1} &= 10.54 \text{ m/s} & , & & c_1 &= c_{m1} = c_{m2} \\
 b_1 &= 44 \text{ mm} & , & & U_1 &= 16.47 \text{ m/s} \\
 b_2 &= 20 \text{ mm} & , & & U_2 &= 32.76 \text{ m/s} \\
 \operatorname{tg} B_2 &= \frac{c_{m2}}{w_{2u}} \longrightarrow & w_{2u} &= 4.91 \text{ m/s} \\
 c_{2u} &= U_2 - w_{2u} \longrightarrow & c_{2u} &= 27.85 \text{ m/s} \\
 \operatorname{tg} \alpha_2 &= \frac{c_{m2}}{c_{2u}} \longrightarrow & \alpha_2 &= 20.7^\circ \\
 c_2 &= \frac{c_{2u}}{\cos \alpha_2} \longrightarrow & c_2 &= 29.78 \text{ m/s} \\
 w_2 &= \frac{c_{m2}}{\operatorname{sen} B_2} \longrightarrow & w_2 &= 11.63 \text{ m/s} \\
 w_1 &= \frac{U_1}{\cos B'_1} \longrightarrow & w_1 &= 19.64 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

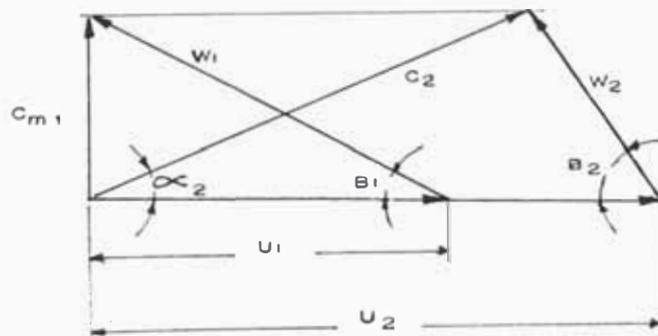


Fig. (4 - 51)

$$H_{R\alpha} = H_{din.} + H_{est.}$$

$$H_{R\alpha} = \frac{C_2^2 - C_1^2}{2g.} + \left(\frac{U_2^2 - U_1^2}{2g.} + \frac{W_1^2 - W_2^2}{2g.} \right)$$

$$H_{R\alpha} = \frac{29.78^2 - 10.54^2}{19.62} + \left(\frac{32.76^2 - 16.47^2}{19.62} + \frac{19.64^2 - 11.63^2}{19.62} \right)$$

$$H_{R\alpha} = 39.54 + (53.64) \text{ m N}_2$$

$$H_{R\alpha} = 93.18 \text{ m N}_2$$

$$R_{\alpha} = \frac{H_{est}}{H_{R\alpha}} = 0.58 \quad , \quad R \in \langle 0.5, 1 \rangle$$

$$\mu = \frac{1}{1 + \xi} \dots \dots \text{(coef. de resbalamiento)}$$

$$\text{Para } \frac{D_1}{D_2} \geq 0.5 \quad , \quad \xi = \left(0.4 + 1.2 \frac{D_1}{D_2} \right) \cdot \dots \cdot \left(\frac{2}{Z} \cdot \frac{1}{1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2} \cdot K_1 \right)$$

$$\text{donde : } \dots \cdot K_1 = 0.55 + 0.6 \text{ Sen } B_2$$

$$\text{Con los valores obtenidos, } B_2 = 65^\circ, \frac{D_1}{D_2} = 0.503$$

$$K_1 = 1.094 \quad , \quad \xi = 0.196$$

$$\mu = 0.84$$

$$H_R = \mu \cdot H_{R\alpha} \longrightarrow H_R = 78.27 \text{ m N}_2$$

$$\eta = \eta_m \cdot \eta_h \cdot \eta_v$$
$$\eta_h = \frac{\eta}{\eta_m \cdot \eta_v}$$
$$\eta_h = \frac{0.7}{0.98(1)} = 0.71$$
$$\eta_m = \text{Rend. mecánico} = 0.98$$
$$\eta_h = \text{Rend. manométrico} = H/H_R$$
$$\eta_v = \text{Rend. volumétrico} = Q / (Q + Q_i)$$
$$\eta = \text{Rend. Total} = \frac{Pot_u}{P_{eje}}$$

$$H_c = \eta_h \cdot H_R$$

H_c = Altura de diseño obtenido.

$$H_c = 55.57 \text{ m } N_2$$

Comprobación :

a) Se recomienda que . . . $\frac{|H_c - H|}{H} < 3\%$

b) y que $\frac{b_1}{D_1} \in \left\langle \frac{1}{4.8}, \frac{1}{4} \right\rangle$ (Rango recomendado)

Reemplazando valores :

$$\frac{|55.57 - 52|}{52} = 0.068$$

- No cumple, pero la altura obtenida es muy aceptable para el fin deseado.

$$\frac{b_1}{D_1} = \frac{1}{4.2} \dots \dots \dots \text{ ¡ BIEN !}$$

c) Para $e = 1.6 \text{ mm} \rightarrow H_c = 55.85 \text{ m } N_2$

$\therefore e \in \langle 1.6, 2 \rangle \text{ mm}$

4.12.7 Cálculo de la Espiral y Dimensiones de la Boca de Salida del Ventilador

El cálculo moderno permite una amplia variación del área de salida del ventilador. Una buena proporción es:

$$A_s = 10\% \times 1.5 \times D_2^2 \quad \dots\dots * \text{Recomendación}$$

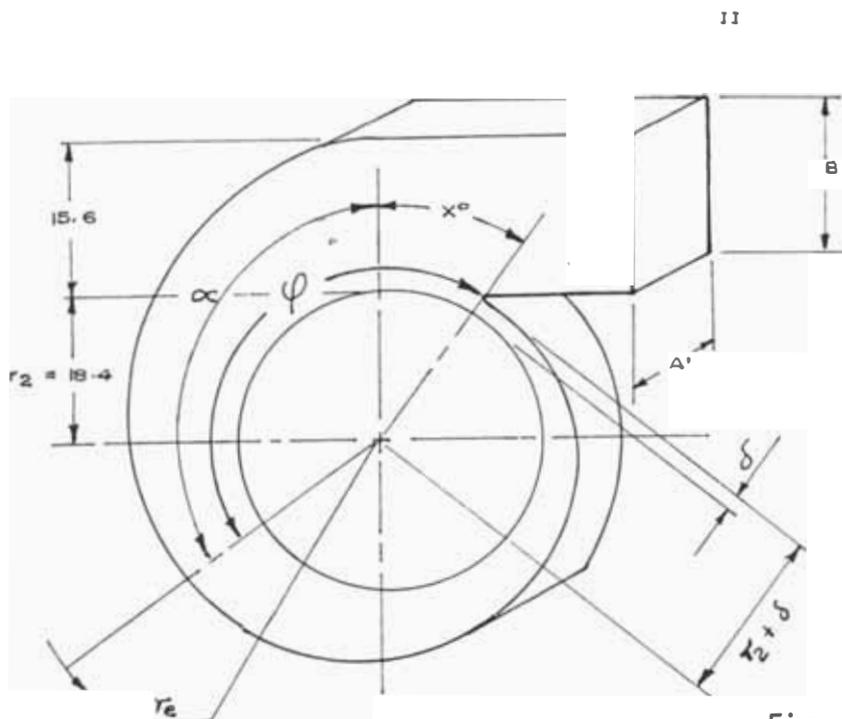


Fig. (4-52)

A' y B' son lados de la boca de salida del ventilador.

* Proporción adoptada como estándar por la National Association of Fan Manufacturers.

Reemplazando valores

$$A_s = 0.1 \times 1.5 \times (0.368)^2 = 203 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\frac{B'}{A'} = (1.2 \text{ a } 1.4) \dots \text{Recomendación: Sea } \frac{B'}{A'} = 1.3$$

$$\therefore A_s = 1.3 (A')^2 \longrightarrow A' = 0.125 \text{ m y } B' = 0.162 \text{ m}$$

(Valores referenciales)

$$\left. \begin{aligned} A' &= 13 \text{ cm} \\ B' &= 15.6 \text{ cm} \end{aligned} \right\} \text{ (Valores seleccionados)}$$

$$K = \frac{B'}{A'} = 1.2$$

$$C_{II} = \frac{Q}{A_s} = \frac{0.22 \text{ m}^3 / \text{s}}{203 \times 10^{-4} \text{ m}^2}$$

$$C_{II} = 10.84 \text{ m/s} \dots \text{Veloc. a la salida del vent.}$$

$$C_{II} \in \langle 10, 14 \rangle \text{ m/s} \dots \text{Recomendación, (por limitaciones de ruido).}$$

N_q	10	20	30	40	50	60
$\frac{\delta}{D_2} \cdot 100$	5	10	14	18	22	26

Tabla (4-41)

$$\text{Interpolando para } N_q = 43.18, \frac{\delta}{D_2} \cdot 100 = 19.27$$

$$\dots \delta = 19.27 \frac{D_2}{100} = 7.1 \text{ cm.}$$

$$\dots r_2 + \delta = 25.5 \text{ cm.}$$

$$\cos (X^\circ) = \frac{r_2}{r_2 + \delta} = \frac{18.4}{25.5}$$

$$(X^\circ) = 44^\circ$$

Se conoce también :

$$\varphi = \frac{360 \text{ K b}}{Q} \cdot \ln \left(\frac{r_e}{r_2} \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$K_p = \frac{\ln \left(\frac{r_{e \text{ max.}}}{r_2} \right)}{360 + \infty} \dots \dots \dots (2)$$

$$r_e = r_2 \cdot e^{K_p \cdot \varphi} \dots \dots \dots (3)$$

donde $r_{e \text{ max.}} = (1 \text{ a } 1.12 D_2)$, $D_2 = 36.8 \text{ cm}$
(recom.) = (36.8 a 41.22) cm.

$$\text{Sea } r_{e \text{ max.}} = (r_2 + B') = (18.4 + 15.6) \text{ cm}$$
$$\frac{r_{e \text{ max.}}}{r_2} = \frac{34}{18.4} < r_{e \text{ max.}} \text{ (recom.)}$$

De (2) :

$$K_p = \frac{\ln \left(\frac{r_{e \text{ max.}}}{r_2} \right)}{360 + \infty} \dots \dots \dots (4)$$

$$K_p = \frac{\ln \left(\frac{r_2 + \delta}{r_2} \right)}{44 + \infty} \dots \dots \dots (5)$$

Reemplazando valores e igualando (4) y (5)

$$K_p = \frac{\ln \left(\frac{34}{18.4} \right)}{360 + \infty} = \frac{\ln \left(\frac{25.5}{18.4} \right)}{44 + \infty}$$

$$K_p = \frac{\ln\left(\frac{34}{18.4}\right)}{360 + \infty} = \frac{\ln\left(\frac{25.5}{18.4}\right)}{44 + \infty}$$

$$\frac{0.614}{360 + \infty} = \frac{0.326}{44 + \infty}$$

de donde $\infty = 313.7^\circ$

$$\therefore K_p = 0.00091$$

$$\varphi = (\infty + x^\circ) = (313.7 + x^\circ)$$

x°	φ	r_e (cm)	x°	φ	r_e (cm)
44	358	25.5	210	524	29.7
60	374	25.9	240	554	30.5
90	404	26.6	270	584	31.3
120	434	27.3	300	614	32.2
150	464	28.1	330	644	33.1
180	494	28.9	360	674	34.0

Tabla (4-42)

4.13 CALCULO DE LA TUBERIA TANQUE-TUNEL.

4.13.1 Cálculo del Diámetro Mínimo de la Tubería a ser Utilizado desde el Tanque al Túnel

Considerando que el flujo de N_2 Liq. dentro de la tubería debe ser laminar. (Re 2000)

$$Re = \frac{V \times D}{\nu}$$

$$Re = \frac{4 \times Q}{\pi \times D \times \nu}$$

Donde :

$$Q = 1.162 \times 10^{-5} \frac{m^3}{s} \dots \dots \text{Consumo de } N_2 \text{ (272.12 Kg. } N_2 / \text{día)}$$

$$Re = 2000$$

$$\nu_{-196^\circ C} = 0.116 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s} \quad \nu_{-196} = 1.23 \times 10^{-3} \frac{m^3}{Kg}$$

D = Diámetro de la Tubería

$$D = \frac{4 (1.162 \times 10^{-5})}{\pi \times 2000 \times 0.116 \times 10^{-5}} \text{ m}$$

$$D = 0.00638 \text{ m} \approx \left(\frac{1''}{4} \right)$$

4.13.2 Cálculo de la Velocidad Promedio de Salida del N_2 Líquido de los balones (PGS)

$$V = \frac{\text{Consumo (} m^3 / s \text{)}}{A \text{ } m^2}$$

$$V = \frac{1.162 \times 10^{-5}}{\frac{\pi \times 0.00635^2}{4}}$$

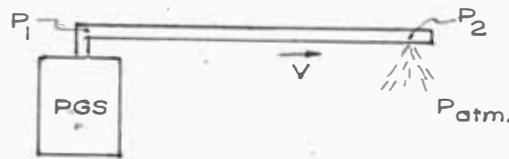
$$V = 0.367 \frac{m}{s}$$

4.13.3 Cálculo de los Pulverizadores :

El consumo de N_2 liq. = $0.697 \frac{dm^3}{min} = 0.0116 \frac{dm^3}{s}$

Según productores de N_2 los PGS (Balones de N_2 liq.) poseen válvula de alivio de 22 Psi (1.55 Kg / cm^2), siendo esta última mucho mayor para los balones de N_2 gaseoso 235 Psi (16.55 Kg/ cm^2).

Para garantizar la pulverización del N_2 liq. deberá mantenerse la tubería de pulverización a la presión interior mayor posible; es posible presurizar la tubería si se disminuye el diámetro de los orificios en los pulverizadores o el número de orificios.



$$V = C_d \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$$

$$Q = V \cdot A.$$

donde $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$

V = Veloc. del flujo de N_2 liq. a la salida del pulverizador .

$$C_d = 0.61$$

$$\Delta h = (P_2 - P_{atm}) = 10 \frac{4Kg}{m^2}$$

$$\rho_{N_2 \text{ liq.}} = 808 \text{ Kg/m}^3$$

$$P_{atm.} = 1.033 \text{ Kg/cm}^2$$

Ver resultados obtenidos en la Tabla (4-43), adjunta.

De la tabla anterior, se obtienen dos posibilidades; 4 orificios de $\varnothing 1/32''$ (0.79 mm), $\Delta h \cong 0.40 \frac{Kg}{cm^2}$ ó (3 orificios de $\varnothing 1 \text{ mm}$, $\Delta h = 0.27 \text{ Kg/cm}^2$); de los cuales - seleccionamos ésta última, considerando la posibilidad

CAUDAL QUE SALE POR CADA UNO DE LOS ORIFICIOS DEL

PULVERIZADOR

Δh (Kg / cm ²)	Q (dm ³ /s) $\emptyset \frac{5''}{64}$ (1.98mm)	Nº orif. req.	Q (dm ³ /s) $\emptyset \frac{1}{16}$ (1.58mm)	Nº orif. req.	Q (dm ³ /s) $\emptyset 1$ mm	Nº orif. req.	Q (dm ³ /s) $\emptyset \frac{1''}{32}$ (0.79 mm)	Nº orif. req.
1.50	0.0358	0.32	0.230	0.50	0.0091	1.27	0.0058	2.01
1.00	0.0293	0.40	0.0188	0.62	0.075	1.55	0.0047	2.47
0.50	0.0207	0.56	0.0133	0.87	0.0053	2.20	0.0033	3.49
0.40	0.0185	0.63	0.0188	0.98	0.0047	2.46	0.0030	3.90
0.30	0.0160	0.72	0.0103	1.13	0.0041	2.84	0.0026	4.50
0.20	0.0131	0.89	0.0084	1.38	0.0033	3.47	0.0021	5.51
0.10	0.0093	1.25	0.0059	1.95	0.0024	4.91	0.0015	7.86

Tabla (4-43)

∴ Seleccionamos:

$\emptyset 1$ mm

Nº orificios = 3

$$Q \left(\frac{dm^3}{s} \right) = 0.0039$$

$$\Delta h \left(\frac{Kg}{cm^2} \right) = 0.27$$

de requerir un congelamiento en condiciones ideales.

4.13.4 Cálculo de la Presión a la Entrada de la Tubería que une el Tanque (PGS) con el Túnel

$$P_{\text{salida del PGS}} = (\Delta h + h_{p \text{ TANQUE TUNEL}} + P_{\text{atm.}})$$

donde : $\Delta h = 0.27 \text{ Kg/cm}^2$

$L = 7 \text{ m}$

$$h_{p \text{ TANQUE TUNEL}} = f \frac{L v^2}{D 2.g}$$

$D = 6.35 \times 10^{-3} \text{ m}$

$v = 0.367 \text{ m/s}$

$= 0.227 \text{ m N}_2$

$f = 0.03$

$= 0.018 \text{ Kg/cm}^2$

$P_{\text{salida del PGS}} = 1.321 \text{ Kg/cm}^2 \dots \dots (\text{Pres. estática})$

4.14 Cálculo de la Proporción Real (Kg N₂/Kg LANG.)

Se requiere congelar (5845 Kg LANG/Mes) Ref. (4.1)

Se determinó que la proporción teórica de consumo es ..

... 0.919 (Kg N₂/Kg LANG) Ref.(4.3.10)

4.14.1 El consumo teórico de N₂ líquido es:

$$5845 \frac{\text{Kg. LANG}}{\text{Mes}} \times 0.919 \frac{\text{Kg. N}_2}{\text{Kg LANG}} = 5372 \frac{\text{Kg N}_2}{\text{Mes}}$$

4.14.2 Pérdida de la refrigeración disponible en la tubería que conecta el tanque de almacenamiento con el túnel (Long. de Tubería = 7 m)

a) Determinación del espesor económico

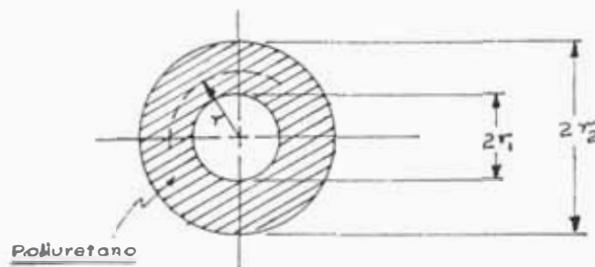


Fig. (4-53)

$$T_{\infty e} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{prom}} = -85.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_i = -196 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$K_{\text{ais.}} = 0.00582 \frac{\text{W}}{\text{m.}^\circ\text{C}} \quad (r_{\text{prom}})$$

$$h_e = 8.4 \frac{\text{W}}{\text{m.}^\circ\text{C}}$$

$$r_1 = \left(\frac{6.35}{1000} \right) \text{ m}$$

$$r_2 = \left(\frac{r}{1000} \right) \text{ m} \quad ; \quad r \text{ (mm)}$$

(Q₁=Calor transf. por las paredes de la Tub)

$$Q_1 = \frac{221}{\frac{\ln\left(\frac{r}{6.35}\right)}{2 \times \pi \times (0.00582) (7)} + \frac{1}{8.4 \times 2 \times \pi \times \left(\frac{r}{1000}\right) (7)}} \text{ W}$$

r (mm)	CALOR TRANSFERIDO			
	Q ₁ (W)	Soles/h x 10 ³	Soles/Mes x 10 ⁶	Soles/Año x 10 ⁶
6.35	518.45	99.712	20.740	291.022
7	287.99	55.386	11.520	161.652
10	108.08	20.786	4.323	60.666
15	62.46	12.012	2.499	35.059
20	47.86	9.204	1.914	26.864
25	40.46	7.781	1.619	22.711
30	35.90	6.904	1.436	20.151
40	30.45	5.856	1.218	17.092
50	27.23	5.237	1.089	15.284
60	25.06	4.820	1.002	14.060
70	23.47	4.515	0.939	13.176

Tabla (4-44)

r (m)	V (m ³)	COSTO ACTUAL (soles) x 10 ³	(Soles/Año) x 10 ⁶	CALOR CED. POR EL AISLANTE		Costo Fijo (Soles) x 10 ⁶
				(W-h/Mes)	(Soles/Año) x 10 ⁶	
6.35	0	0	0	0	0	0
7	0.191	0.688	0.003	9.17	0.025	0.025
10	1.312	4.716	0.002	63.08	0.170	0.172
15	4.061	14.588	0.007	195.21	0.528	0.535
20	7.910	28.416	0.013	380.18	1.207	1.040
25	12.858	46.200	0.022	618.01	1.668	1.690
30	18.905	67.912	0.035	908.69	2.454	2.488
40	34.299	123.202	0.061	1648.59	2.448	4.509
50	54.091	194.298	0.094	2599.91	7.015	7.109
60	78.281	281.188	0.138	3762.62	10.154	10.292
70	106.870	383.881	0.188	5136.73	13.861	14.049

Tabla (4-45)

De la Tabla (4-44) y (4-45)

r (mm)	COSTO ANUAL TOTAL Soles x 10 ⁶	r (mm)	COSTO ANUAL TOTAL Soles x 10 ⁶
6.35	291.022	30	22.639
7	161.677	40	21.601
10	60.838	50	22.393
15	35.594	60	24.352
20	27.904	70	27.225
25	24.401		

Tabla (4-46)

b) Cálculo de la temperatura de la superficie exterior del aislante empleado

Para $r_2 = 40$ mm (Radio exterior del aislante)

$$Q_1 = 30.45 \text{ W} \dots (\text{Calor transferido})$$

$$Q_1 = \frac{T_{s2} - T_{s1}}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi kL}} \longrightarrow T_{s2} = 22.93 \text{ }^\circ\text{C}$$

c) Pérdida de la refrigeración disponible

El calor transferido = 30.45 W ...Ref. (Tabla 4-44)

El calor transferido = 6334 $\frac{\text{W-h}}{\text{Mes}}$...Ref. (Tabla 4-45)

El calor cedido = 1649 $\frac{\text{W-h}}{\text{Mes}}$

∴ El calor total (Transferido + cedido) =

$$\dots\dots 7983 \frac{\text{W-h}}{\text{Mes}}$$

como 1 Kg N_2 = 114 W-h (Refrig. disponible)

$$\left[\begin{array}{l} \text{El calor transferido + cedido} \\ \text{por la tubería que une el} \\ \text{Tanque - Túnel} \end{array} \right] = 70.03 \frac{\text{Kg} \cdot \text{N}_2}{\text{Mes}}$$

4.14.3 Cálculo del calor cedido y transferido a través de las paredes del túnel

a) Calor transferido (Q_a):

Para $e = 12.50 \text{ cm}$

$$Q_a = 56.66 \text{ W} \dots \text{Ref. Tabla (4-16)}$$

$$= 11785.28 \frac{\text{W-h}}{\text{Mes}}$$

Como $1 \text{ Kg } N_2 = 114 \text{ W-h}$

$$Q_a = 103.38 \frac{\text{Kg } N_2}{\text{Mes}}$$

b) Calor cedido (Q_b)

Para $e = 12.5 \text{ cm}$

$$Q_b = 225.26 \frac{\text{W-h}}{\text{día}} \dots \text{Ref. Tabla (4-18)}$$

$$= 5856.81 \frac{\text{W-h}}{\text{Mes}}$$

$$Q_b = 51.38 \frac{\text{Kg } N_2}{\text{Mes}} ; (1 \text{ Kg } N_2 = 114 \text{ W-h})$$

c) Calor total

$$Q_{\text{TOTAL}} = (Q_a + Q_b)$$

$$= 154.76 \frac{\text{Kg. } N_2}{\text{Mes}}$$

4.14.4 Pérdida de la refrigeración disponible por exfiltración del gas de nitrógeno e infiltración de aire caliente

a) Exfiltración del Gas de N_2 por el lado izquierdo:

Por el lado izquierdo del túnel saldrá -

aproximadamente el 1% del N_2 consumido.

$$1\% \dot{m} = 0.340 \frac{\text{Kg } N_2}{h} \dots\dots\dots \text{Ref. (4.4.4)}$$

$$T_{\text{salida}} = -17.8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{amb.}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p T_{\text{prom}} = 0.29 \frac{\text{W-h}}{\text{Mes}} \dots\dots\dots \text{Ref. (4.3.1)}$$

$$Q = 0.340 \times 0.29 \times (25 + 17.8) \text{ W}$$
$$= 4.22 \text{ W}$$

$$Q = 877.76 \frac{\text{W-h}}{\text{Mes}}$$

$$Q = 7.70 \frac{\text{Kg } N_2}{\text{Mes}} ; (1 \text{ Kg } N_2 = 114 \text{ W-h})$$

b) Por exfiltración del Gas de N_2 por el lado derecho

Por el lado derecho saldrá aproximadamente el 99% del N_2 consumido.

$$99\% \dot{m} = 33.66 \frac{\text{Kg } N_2}{h}$$

$$T_{\text{salida}} = -6.66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{amb.}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p T_{\text{prom}} = 0.29 \frac{\text{W-h}}{\text{Mes}}$$

$$Q = 33.66 \times 0.29 \times (25 + 6.66) \text{ W}$$
$$= 309.05 \text{ W}$$

$$Q = 64282.40 \frac{\text{W-h}}{\text{Mes}}$$

$$Q = 563.88 \frac{\text{Kg } N_2}{\text{Mes}}$$

c) Infiltración del aire ambiente: (mantenidas al mínimo)

Asumiremos que es igual al 10% del valor calculado en 4.14.4 a)

$$Q = 10\% \times 7.70 \frac{\text{Kg N}_2}{\text{Mes}}$$

$$Q = 0.77 \frac{\text{Kg N}_2}{\text{Mes}}$$

4.14.5 Calor cedido por la cadena transportadora provista de varillas

L = 11.31 m(Long. total aprox. de las dos cadenas utilizadas)

w = 1.04 $\frac{\text{Kg}}{\text{m}}$ (Cadena ASA N° 50)

C_p = 0.130 $\frac{\text{W-h}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. (Cadena del tipo Cromo-Manganeso, Templado-Revenido)

T_{amb} = 25 °C

N° de varillas = 71 (Material Bronce)

Longitud de c/varilla = 0.22 m

∅ de c/varilla = 6 mm

$$\rho_{\text{Bronce}} = 8000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

a) Calor cedido por las cadenas

$$Q_{\text{cad}} = 1.04 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \times 11.31 \text{ m} \times 0.13 \frac{\text{W-h}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (25+157)^\circ\text{C}$$

$$= 278 \frac{\text{W-h}}{\text{día}}, \quad (63.4 \frac{\text{Kg N}_2}{\text{mes}})$$

b) Calor cedido por las varillas

$$\begin{aligned} Q_{\text{var}} &= \rho \times V \times c_p \times \Delta T \\ &= 8,000 \times (71 \times 0.22 \times \pi \times \frac{0.006^2}{4}) \times 0.13 \times \dots \\ &\dots \dots \dots (25 + 157) \\ &= 84 \frac{\text{W-h}}{\text{día}}, \quad (19.2 \frac{\text{KgN}_2}{\text{Mes}}) \end{aligned}$$

c) Calor cedido por el transportador

$$\begin{aligned} Q_{\text{TRANSP.}} &= Q_{\text{cad}} + Q_{\text{var}} \\ Q_{\text{TRANSP.}} &= 362 \frac{\text{W-h}}{\text{día}} \\ Q_{\text{TRANSP.}} &= 82.6 \frac{\text{KgN}_2}{\text{Mes}} \end{aligned}$$

4.14.6 Calor cedido por el ventilador

$$\begin{aligned} \text{Pot} &= \frac{\gamma \times Q \times H}{76} = 0.222 \text{ HP} \dots \text{Ref. (4.12.1)} \\ \text{Pot} &= 0.165 \text{ KW} \\ &= 34320 \frac{\text{W-h}}{\text{Mes}} \\ \text{Pot} &= 301 \frac{\text{KgN}_2}{\text{Mes}} \quad ; \quad (1 \text{ Kg N}_2 = 114 \text{ W-h}) \end{aligned}$$

4.14.7 Calor cedido por accesorios adicionales tales como guías de las cadenas, catalinas, filtros, etc.

$$Q = 100\% \times (\text{Calor cedido por las cad. del transp})$$

$$= 100\% \times (278) \frac{W-h}{\text{día}}$$

$$Q = 63.4 \frac{\text{KgN}_2}{\text{Mes}}$$

4.14.8 Pérdidas por evaporación normal diaria del N₂ en los PGS

- La evaporación diaria = 2.4% de la cap. del PGS
- Abastecimiento de los PGS, 2 veces por semana

S E M A N A						
Día.	LUN.	MAR.	MIER.	JUEV.	VIER.	SAB.
CAP (GAL.)	267	178	89	267	178	89
N° PGS	6	4	2	6	4	2
PERDS. (GAL.)	6.41	4.27	2.14	6.41	4.27	2.14
TOTAL PERDS. (GAL) 25.64						

Tabla (4-47)

La pérdida total en una Semana = 25.64 Gal.

∴ Pérdida = 313.6 Kg N₂/Mes

4.14.9 Consumo real de N₂ requerido para procesar el

a) Consumo real

De acuerdo a los acápites anteriores se tiene:

c) Cálculo de la proporción de consumo en condiciones ideales para su conservación

$$(T_{\text{recirc.}} = -12.2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Para la temp. de recirc. = -12.2°C (10°F):

$$\text{El consumo teórico} = 5610 \text{ (Kg N}_2\text{/Mes)}$$

$$\text{El consumo REAL} = 7269.6 \text{ (Kg N}_2\text{/Mes)}$$

$$\text{Proporción REAL} = 1.244 \text{ (Kg N}_2\text{/Kg LANG)}$$

4.14.10 Eficiencia del congelador (η), para $T_{\text{recirc.}} = -6.66 \text{ } ^\circ\text{C}$

$$\eta = \frac{\text{Cons. teórico} + (\text{Pérdidas Tanque} - \text{Túnel})}{\text{Cons. teórico} + \text{Perds. Tanque-Túnel} + \text{Calor ced. por el vent.} + \text{Calor transf. Paredes} + \text{pérdidas por exfiltración e infiltración}}$$

$$\eta = \frac{(5372 + 70.03)}{(5372+70.03+301+103.38+7.70+563.88+0.77)}$$

$$\eta = 85\%$$

- Para las condiciones ideales de congelación ($T_{\text{recirc.}} = -12.2 \text{ } ^\circ\text{C}$) desde el punto de vista de conservación del producto, la eficiencia del congelador es 83%.
- La eficiencia del congelador en otros túneles es aproximadamente 80%

CAPITULO 5 : ANALISIS DE COSTOS

CAPITULO 5

ANALISIS DE COSTOS

COSTO DE IMPLEMENTACION DEL TUNEL

ACCESORIO	CANT.	MATERIAL	MEDIDAS	COSTO TOTAL (Soles)	PESO TOTAL (Kg.)
Aislante	1	Poliuretano	$582.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	2.092×10^6	20.380
Forro int. y ext. del Túnel	1	PRFV	$8.8 \text{ m}^2/e = 1.5 \text{ mm}$	1'584,000	23.760
Ejes para sist. transporte	1/1	Ac. SAE 1030 (calib. y pu- lido)	$\emptyset 3/4'' \times 600 \text{ mm}/$ $\emptyset 3/4'' \times 650 \text{ mm}$	324,500	16.25
Catalinas dentro del Túnel	4	Ac. SAE 1030	$\emptyset 81.4, Z = 16$ Ancho = 8 mm	524,000	2.000
Cadenas dentro del Túnel	2	ASA N° 50 (Cr- Mg)	Long.=5.65 m/Paso = 15.87 mm	2'892,800	11.760
Varillas conectoras entre Cadenas	71	Bronce	$\emptyset 6. \times 220 \text{ mm}$	247,320	3.000
Soporte de las guías ints.	8	Bronce	$\text{R} 1'' \times 1/8'' \times 180 \text{ mm}$	25,200	1.500
Deflector Hipocicloidal	1	PRFV	$100 \times 1.5 \times 500$	270	0.002
Pernos + Tornillos		Acero	$16 \emptyset 3/8'' \times 2''$ $20 \emptyset 5/32 \times \frac{1}{2}$	38,400 4,000	0.500
Guías int. (Sop. de cadenas)	4	Ac. SAE 1020	$L 3/4'' \times 3/4'' \times 1/8'' \times$ $2,620 \text{ mm}$	46,000	10.480
Rod. Y con sop. de pie, para el sist. de transm.	6	Ac./Fund.gris	$\emptyset \text{ agujero} = 20 \text{ mm}$	10'065,000	1.5
Filtros	4	Acero inox.	$80 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$	20,000	0.280
Pulverizadores (Tubería)	1	Bronce	$\emptyset 6. \times 8000 \text{ mm}$	155,000	2.500
Termómetro Digital	2	LCD de Platino	Rango: -200 a 800 °C	3'637,000	0.397

(Continuación ...)

Soportes esp. laterales del Túnel	1	Ac. SAE 1020	L 1"x1" x 1/8" x 2600mm	22,780	2.940
Chapas (Seguros)	2	Ac.-Cromado	1" x 2"	50,000	0.300
Eje del sist. de transmisión	1	Ac. SAE 1030 calib-pulido	Ø3/4" x 630 mm	162,270	8.114
SopORTE ext.inf. del Túnel	1	Ac. SAE 1020	L 1" x 1" x 1/8" x 25,080 mm	219,742	28.360
Catalinas del sistema de transmisión	4	ASA N° 40, Ancho 7 mm; 3 - de Ac. y 1 de F. Fdo.	Ac. Ø93.3, Ø53.1, Ø133.6 F. Fdo Ø222.5 mm	740,000	4.500
Cadenas del sistema de transmisión	2	ASA N° 40 (Ac. Cr., Mg.)	Paso = 12.7 mm Long.= 1,753 mm	802,000	1.980
Motorreductor	1	Según fabricante	0.4 HP, 5 RPM, 60 Hz. 12'956,380 te	146,650	77.000
SopORTE del Motorreductor	1	Ac. SAE 1020	370mm x 490mm x 1/4"	400,000	10.150
Ventilador	1	PRFV	Rotor D ₂ = 368 mm, Ancho de la espiral 130 mm	21,500	5.400
Eje del Ventilador	1	Ac.SAE 1030	Ø 1/2 x 300 mm	289,833	1.075
Plancha Sop. del Ventilador	1	Ac.SAE 1020	Ø 153/4 x 1/2 x 470 mm	1'557,321	8.357
Rod. Y con sop. de pie, para el eje del ventilador	1	Ac./Fund.gris	Ø 15 mm	1'627,270	0.190
Motor del ventilador	1	Según fabricante	1.2 HP, 1,700 RPM te	150,000	15.400
Acoplamiento de Brida	1	Ac.SAE 1020	Øagujero = 1/2 y 3/4		0.500

T O T A L 40'801,236 soles 258.575 Kg.

5.2 CALCULO DE LAS UTILIDADES

Consumo de $N_2 = 272.12 \text{ Kg. } N_2/\text{día}$

Proporción de consumo calculado = $1.186 \text{ Kg. } N_2/\text{Kg. LANG}$

Cantidad de producto a ser congelado

$$\begin{aligned} \text{Prod.} &= \frac{272.12 \text{ Kg. } N_2/\text{día}}{1.186 \text{ Kg. } N_2/\text{Kg. LANG}} = 229.49 \text{ Kg. LANG/día} \\ &= 5966 \text{ Kg. LANG/día} \end{aligned}$$

1) Gastos:

a) Compra del LANGOSTINO a ser congelado

Precio May. \rightarrow Min. = $133,330 \text{ soles/Kg. LANG}$

En $5,966 \text{ Kg. LANG/Mes}$

$$\text{Gasto}_a = 795.447 \times 10^6 \text{ soles/Mes}$$

b) Consumo de N_2

Consumo de $N_2 = 272.12 \text{ Kg. } N_2/\text{día}$

= $7,075.12 \text{ Kg. } N_2/\text{mes} \times 21,746.54 \text{ sol/Kg } N_2$

= $153.859 \times 10^6 \text{ soles/Mes}$

$$\text{Gasto}_b = 153.859 \times 10^6 \text{ soles/Mes}$$

c) Consumo de Energía Eléctrica

c₁) Consumo del Motorreductor

1 KWh = 1,728 soles (Uso Comercial)

Consumo = 0.4 HP (0.298 KW)

Consumo = 0.298 KW x 1,728 soles/KWh = 514.94 sol/h

Gasto_{c1} = 107,108 soles / Mes

c₂) Consumo del Motor Eléctrico del Ventilador

Consumo = 1.2 HP (0.894 KW)

= 0.894 KW x 1,728 soles/KWh

= 1,544.83 soles/h

Gasto_{c2} = 321,325 soles / Mes

II) Utilidades:

De 5,966 $\frac{\text{Kg. LANG}}{\text{Mes}}$ | 60% Medianos (42-50 Unids./Kg.)
| Precio de venta = 250,000 soles/Kg.
| 40% Pequeños (82-100 Unids./Kg.)
| Precio de venta = 180,000 soles/Kg.

Utilidad = 5,966 $\frac{\text{Kg. LANG}}{\text{Mes}}$ (0.6 x 250,000 Soles/Kg. LANG +
0.4 x 180,000 soles/Kg. LANG)

= 5,966 $\frac{\text{Kg. LANG}}{\text{Mes}}$ x 222,000 soles/Kg.

$$= 1,324.452 \times 10^6 \text{ soles/mes}$$

III) Utilidad Neta: (Sin considerar mantenimiento y mano de obra)

$$\text{Utilidad Neta} = \text{Utilidad (II)} - \text{Gastos (a, b, c1, c2)}$$

$$= (1,324.45 \times 10^6 - 949.734 \times 10^6) \text{ soles/mes}$$

$$\text{Utilidad Neta} = 374.718 \times 10^6 \text{ soles / mes}$$

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda la instalación de una termocupla, ubicada a la sa lida del ventilador la misma que irá conectada a una válvula que regula la intensidad de líquido pulverizado en el túnel.

Por ejemplo si la temperatura fuese muy alta el controlador au mentaría la cantidad de líquido pulverizado. Y si la temperatu ra fuese muy baja entonces el proceso sería contrario al ante rior mencionado.

- 2) El balance del gas dentro del túnel es muy importante, ya que de ella depende que se logre la máxima eficiencia del congelador.

El control de este balance opera independientemente del ventila dor de recirculación, es por eso que al final de la zona de equi_librio se recomienda ubicar una segunda termocupla, la misma que mide la temperatura de salida del gas y envía la señal respec tiva a un controlador. Si la temperatura registrada esta por de bajo de $-17.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, indicará que esta escapando mucho gas del sis tema, por tanto una compuerta será la que finalmente deje pasar menos gas por el lado izquierdo de la zona II₁. Si la temperatu ra es muy alta o superior a $-17.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ entonces aire caliente esta entrando al sistema, por tanto implicaría que no sólo se estaría congelando en forma ineficiente sino que también se formaría ro cío sobre el producto; en este caso el controlador hará que se aumente el flujo del gas N_2 en la zona II₁ para así poder corre_gir esta situación originada simplemente por la descompensación de presiones.

3) Por referencia dependiendo del tipo de producto a congelarse, la temperatura del nitrógeno gaseoso para la conservación ideal de los langostinos debe tener la siguiente distribución de temperaturas :

- Enfriamiento (lado derecho) ... $T_{prom.} = -12^{\circ}\text{C}$ a -73°C
- Temp. salida de gases (zona equilibrio) = (1% del N_2 consumido)
..... -17.8°C a -73°C

4) Se recomienda que solamente el 1% del gas pulverizado salga por zona de equilibrio (Zona IV), y que el 99% por el lado derecho del túnel.

5) Los controladores utilizados para los fines que se menciona en 1) y 2) detectan cambios de temperatura dentro de los $\pm 1.1^{\circ}\text{C}$.

6) Para el cálculo del incremento de temperatura en la zona de enfriamiento se determine que el área $A_{HA} = (\dot{m}_2 + 99\% \times \dot{m}_{consumida}) / \rho \times V_A$, donde la densidad depende del incremento de temperatura (asumida inicialmente en 5°C y velocidad mínima recomendada (6.1 m/s, dio como resultado que $A_A = (24 \times 10)\text{cm}^2$, (medidas redondeadas), debiendo ser ésta realmente (24 X 9.2).

7) Para $A_A = (24 \times 9.2)\text{cm}^2$, $V_A = 6.1$ m/s, $Q_V = 0.195$ m³/s.

8) Según 6) se recomienda no exceder demasiado las dimensiones del área de paso del gas N_2 ya que se consumía mayor cantidad de gas frío para bajar la temperatura promedio de recirculación por unidad de tiempo.

- 9) De acuerdo con la recomendación dadas en 7) se deberá tener en cuenta que la velocidad en todos los accesorios que se menciona en el acápite 4.10 será menor. Por ejem. en el Accesorio N° 4 - ($Q = 0.097 \text{ m}^3/\text{s}$, $V = 4.65 \text{ m/s}$)
- 10) El balance del gas dentro del túnel puede ser controlado sin ningún problema con las mismas compuertas ubicadas en el tramo de descarga del ventilador y el control de la pulverización manualmente mediante una válvula.
- 11) El rango de la temperatura de congelación para la carne de res varía de -1.11 a -51.11°C y ninguna oxidación será detenida mientras no se complete la congelación por debajo de -51.11°C . Sin embargo la congelación a temperaturas por debajo o igual a -12.22°C es suficiente para preservar la mayoría de las carnes por varios meses incluyendo los langostinos y langostas.
- 12) Para un buen congelamiento se recomienda que por cada 25 cm^2 de superficie en las bandejas se coloque solamente 2 langostinos (Coles)
- 13) La distancia mínima recomendada de los pulverizadores para túneles de mayor capacidad es de 4" (10 cm).
- 14) El uso de cortinas de jebe a los costados del túnel permitirá presurizar interiormente un poco más el túnel, detalle que permitiría un mayor intercambio de calor entre el producto y el gas.

- 15) Uno de los detalles que permite aprovechar al máximo la capacidad de refrigeración es exponer la mayor parte de la superficie del producto al refrigerante, en nuestro caso se logrará utilizando bandejas agujereadas.
- 16) Para la cadena transportadora se recomienda usar aceite en base a silicona cuyo costo es $(384,000.) \frac{\text{Soles}}{\text{Kg}}$.
- 17) La cadena transportadora puede ser de acero inoxidable, y de ser utilizado, el costo de implementación sería incrementado en 6'000,000.00 Soles aproximadamente.
- 18) El equipo de congelación con nitrógeno líquido, puede utilizarse también para otras especies y preparaciones, teniendo en cuenta que es preferible los --- días de pleno trabajo.

CONCLUSIONES RESPECTO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

- 1) - La cantidad real que podrá procesarse respecto a la supuesta inicialmente (224.85 Kg LANG/día) es :

$$CAP = \frac{272.12 \frac{\text{Kg. N}_2}{\text{día}}}{1.186 \frac{\text{Kg. N}_2}{\text{Kg. LANG}}} = 229.44 \frac{\text{Kg LANG}}{\text{día}}$$

- 2) - En las condiciones ideales para su conservación :

$$CAP = \frac{272.12 \frac{\text{Kg. N}_2}{\text{día}}}{1.244 \frac{\text{Kg. N}_2}{\text{Kg. LANG}}} = 218.75 \frac{\text{Kg LANG}}{\text{día}}$$

- 3) - La pérdida calculada en 4.14.8 (Evap. Normal) se ve incrementada en un 75% si se planificase el suministro a 1 vez por semana, la misma que significaría un equivalente a (5'114,000.00 soles/mes)

- 4) - Como la proporción de consumo calculado es $1.186 \frac{\text{Kg N}_2}{\text{Kg LANG}}$ y el de los túneles actualmente existentes 1.2 a $1.4 \frac{\text{Kg N}_2}{\text{Kg LANG}}$ se

concluye que el ahorro, de ser utilizado el túnel motivo de la presente tesis es aproximadamente $(1.780 \text{ a } 27.201) \times 10^6$ soles /mes.

- 5) - De la Tabla (4-8) y considerando que el flujo de gas no es 100% paralela a la dirección del recorrido del producto se puede estimar que los incrementos de temperatura en las zonas II₁ y II_D son aproximadamente 5°C y 3°C respectivamente.

6) - La altura de columna de agua recomendado en el codo de drenaje (de agua) es de 200 mm H₂O como mínimo.

7) - Al calcularse el espesor económico de aislante (e) por dos métodos se obtuvo e = 12.5 y 45 cm. con los METODOS 1 y 2 respectivamente, siendo :

METODO 1 : Costo Fijo = (Costo del Aislante + Costo de preparación del túnel).

METODO 2 : Costo Fijo = Costo del Aislante

	METODO 1	METODO 2
Calor Cedido (W-h/ día)	225.26	906
Calor Transf. (W-h)	56.66	26.01
Total (W-h/día)	678.84	1114.08

De donde se concluye que el espesor económico de aislante deberá ser calculado según el METODO 1, el cual nos da un ahorro - de 2'160,159. soles/mes si se compara con el gasto a ser efectuado según el otro método.

8) - Los túneles existentes en el Instituto de Investigación Tecnológica de Illinois poseen un espesor de aislante promedio de 4" (10 cm) debido a que la temperatura ambiental de diseño es mucho menor de 25°C y/o la temperatura de preparación del túnel es menor de -6.66°C. Recomendándose para nuestro país un espesor de aislante comprendido entre 11.5 a 13 cm.

- 9) - Según Reportes (Ref. R19), la carne congelada a -12.22°C esta libre de bacterias por 600 días en una profundidad de 0.2 in. (5 mm.) bajo su superficie. La carne congelada a -2.77°C mostró una penetración bacterial de 0.2 in (5mm) en 30 días. Es por eso que la congelación del langostino a temperaturas igual o inferior a -6.66°C dará buenos resultados y por períodos suficientemente largos como para permitir su comercialización.
- 10) - Existe la posibilidad de disminuir la temperatura promedio de recirculación del gas N_2 disminuyendo el caudal que circula - por el ventilador o aumentando ligeramente el consumo de N_2 - sin embargo es preferible esta última, ya que se mantendrá el intercambio de calor en óptimas condiciones y conservando la calidad del producto.
- 11) - De acuerdo a lo mencionado anteriormente de ser necesario aumentarse la temperatura promedio de recirculación será preferible hacerlo disminuyendo el consumo de N_2 .
- 12) - Se ha calculado que para la congelación en condiciones ideales, se deberá utilizar una proporción de 1.244 Kg. N_2 /Kg - LANG; esta proporción de consumo será posible si se incrementa la presión de salida del PGS en un 0.03 Kg/cm^2 , debiendo registrarse en el manómetro 1.351 Kg/cm^2 ubicado sobre el PGS.

BIBLIOGRAFIA

- R1 MANUAL DEL INGENIERO MECANICO 1° y 8° Edición
Lionel S. Marks
New York McGraw Hill Book Co., 1958
- R2 FUNDAMENTOS DE TERMODINAMICA (Sexta Edición)
Gordon J. Van Wilen y Richard E. Sontag
Editorial Limusa - México 1976
- R3 PROYECTO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS
M.F. Spotts
Editorial Reverte, S.A., 1966 - 1974
- R4 LA CARNE Y EL FRIO (Producción, transformación, comercialización)
Daniel Collin
Madrid, Paraninfo, 1977
- R5 THE FREEZING PRESERVATION OF FOODS
Tresley Van Arsdel (Tomo I y III)
Westport, Conn. The AVI. Pub. Co., Inc., 1968
- R6 GUIA PRACTICA DE LA VENTILACION
Woods
Editorial Blume, Tutset 17 - Barcelona 6, Rosario 17,
Madrid 5
- R7 CRYOGENIC ENGINEERING
J.H. Bell, Jr.
The Mc Milliam Press Ltd. 1971
- R8 RESISTENCIA DE MATERIALES
William A. Nash.
Libros MacGraw Hill de México, S.A. de C.V.
- R9 DIBUJO Y DISEÑO DE INGENIERIA
Jensen
Libros MacGraw Hill de México, S.A. de C.V.
- R10 DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS
ESFUERZOS Y DEFORMACIONES
Juan J. Horí A.
Uso interno de la UNI
- R11 HANDBOOK AIR CONDITIONING HEATING AND VENTILATING
Strock and Koral
New York, Industrial Press, Inc., 1965
- R12 AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION
Jennings - Lewis
México D.F., Cía. Ed. Continental, S.A., 1971

- R13 MECANICA DE LOS FLUIDOS
Ronald V. Giles
Libros McGraw Hill de México, S.A. de C.V.
- R14 MECANICA DE LOS FLUIDOS
Víctor L. Streeter
Libros McGraw Hill
- R15 DINAMICA DE LOS FLUIDOS
William F. Hughes
Libros McGraw Hill
- R16 FLUID MECHANICS WITH ENGINEERING APPLICATIONS
Robert L. Daugherty - Joseph B. Franzini
Tokyo, McGraw Hill Kogakusha, Ltd. 1977; (7° Edición)
- R17 BOMBAS CENTRIFUGAS Y TURBOCOMPRESORES
Carl Pfleiderer
- R18 MODERN PLASTICS ENCYCLOPEDIA
ENGINEERING DATA BANK
BUYER'S GUIDE Vol 53 N° 10A (International)
A McGraw Hill Publication, 1976
- R19 HANDBOOK OF REFRIGERATING ENGINEERING
Volumen II... Applications of Refrigerations and Cryogenics
Processing
W.R. Woolrich
Westport Cong. The AVI Pub. Co., Inc., 1965 - 66
- R20 TRANSFERENCIA DE CALOR APLICADA A LA INGENIERIA
James R. Welty
Editorial Limusa, México 1981
- R21 DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS
Hall Holowenko, Laughlin
Libros McGraw Hill
- R22 INGENIERIA ECONOMICA
Jorge A. Taylor
Editorial Limusa, México 1976
- R23 INFORMACION COMPLEMENTARIA OBTENIDA DE:
- Ministerio de Pesquería (Comercialización del Langostino)
 - Empresa SQUIL: Nitrógeno, Almacenamiento, Obtención, Aplicaciones, Materiales utilizados
 - Banco de Documentos del ITINTEC
 - Catálogo Cole Palmer International 1983