

**Universidad Nacional de Ingenieria**



**“ Diseño de una Planta Industrial de Extracto de  
Achiote de 200 KG/BATCH de Capacidad ”**

**T E S I S**

**INGENIERO MECANICO**

**OSWALDO ABEL LOAYZA SEVILLANO**

**LIMA PERU 1990**

# I N D I C E

|  | <u>Pag</u> |
|--|------------|
| PROLOGO  | 1          |
| 1. INTRODUCCION  | 4          |
| 1.1 Ubicación Geográfica del Achiote en el <u>Pe</u><br>ru.  | 5          |
| 1.2 Formas de Extracción del Colorante.  | 6          |
| 1.2.1 Lixiviación con Agua.  | 8          |
| 1.2.2 Lixiviación con Carbonato de Sodio.  | 9          |
| 1.2.3 Lixiviación con Hidróxido de Sodio.  | 9          |
| 1.2.4 Extracción con Solventes.  | 9          |
| a) Con aceite comestible.  | 9          |
| b) Con glicol propileno.   | 10         |
| c) Con alcohol etílico y tricoletí<br>lenc.  | 10         |
| d) Extracción con cloroformo.  | 10         |
| 1.3 Requerimientos Técnicos del Extracto de <u>A</u><br>chiote.  | 12         |
| 1.4 Justificación de la Capacidad de la Planta.  | 13         |
| 2. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PRODUCCION   | 15         |
| 2.1 Diagrama de Flujo de los Procesos de Ex-<br>tracción.  | 15         |
| 2.2 Descripción de los Procesos de Extracción.   | 15         |
| 2.2.1 Datos de Diseño.   | 17         |
| 2.2.2 Proceso Tecnológico Esquemático<br>para la Obtención de Extracto de <u>A</u><br>chiote en Polvo. | 18         |

|   | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| 2.2.3 Balance de Materiales para la Ob-<br>tención del Extracto de Achiote en<br>Polvo en una Planta Industrial de<br>200 Kg/Batch. | 18          |
| 2.3 Relación de Equipos y Componentes de la<br>Planta.  | 18          |
| 2.4 Distribución de la Planta Industrial.   | 22          |
| 3. CALCULO Y DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO<br>Y PROCESO   | 24          |
| 3.1 Cálculo y Diseño del Tanque Extractor.  | 25          |
| 3.1.1 Cálculo de la Capacidad y Dimensio-<br>nes del Tanque.  | 25          |
| 3.1.2 Cálculo del Espesor de Plancha.   | 27          |
| 3.1.3 Cálculo y Diseño de las Patas de<br>Apoyo.  | 33          |
| 3.1.4 Selección del Sistema de Agitación.   | 34          |
| 1) Cálculo de la Potencia.  | 34          |
| 2) Selección del Moto-reductor.   | 36          |
| 3) Selección del Agitador.  | 36          |
| 4) Cálculo del Eje del Agitador.  | 38          |
| 5) Bastidor del Agitador del Tanque<br>Extractor.   | 41          |
| 3.2 Cálculo y Diseño del Cernidor Manual.   | 41          |
| 3.2.1 Cálculo de la Capacidad y Dimensio-<br>nes del Cernidor.  | 41          |

|   | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| 3.2.2 Cálculo del Espesor de Plancha.                               | 44          |
| 3.2.3 Cálculo y Diseño de las Patas de Apoyo.                       | 44          |
| 3.3 Cálculo y Diseño de los Tanques de <u>Extrac</u> to.            | 45          |
| 3.3.1 Cálculo de la Capacidad y Dimensiones del Tanque de Extracto. | 45          |
| 3.3.2 Cálculo del Espesor de Plancha.                               | 46          |
| 3.3.3 Cálculo y Diseño de las Patas de Apoyo.                       | 46          |
| 3.4 Cálculo y Diseño del Tanque Precipitador.                       | 46          |
| 3.4.1 Cálculo de la Capacidad y Dimensiones del Tanque.             | 46          |
| 3.4.2 Cálculo del Espesor de Plancha.                               | 48          |
| 3.4.3 Cálculo y Diseño de las Patas de Apoyo.                       | 48          |
| 3.4.4 Selección del Sistema de Agitación.                           | 50          |
| 1) Cálculo de la Potencia   | 50          |
| 2) Selección del Moto-reductor.                                     | 51          |
| 3) Selección del Agitador.  | 51          |
| 4) Cálculo del Eje del Agitador.                                    | 53          |
| 5) Bastidor del Agitador del Tanque.                                | 56          |
| 3.4 5 Consideraciones Constructivas.                                | 56          |
| 3.5 Selección del Sistema de Bombeo.                                | 56          |
| 3.5.1 Bomba de Alimentación de Agua.                                | 56          |

|   | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| 3.5.2 Bomba de Trasiego del Tanque Ex-<br>tractor al Cernidor Manual.                               | 58          |
| 3.5.3 Bomba de Trasiego del Tanque Cer-<br>nidor al Tanque Precipitador ó -<br>Tanques de Extracto. | 58          |
| <br>  |             |
| 4. CALCULO Y SELECCION DEL MOLINO DE MARTILLOS Y<br>DEL FILTRO PRENSA                               | 60          |
| 4.1 Diseño del Molino de Martillos.   | 60          |
| 4.1.1 Generalidades.  | 60          |
| 4.1.2 Movimiento del Material en el De-<br>sintegrador.   | 61          |
| 4.1.3 Relaciones Fundamentales  | 63          |
| a) Velocidad Lineal de los Discos<br>con los Martillos.   | 63          |
| b) Acción Trituradora.  | 64          |
| 4.1.4 Características Fundamentales.  | 64          |
| 1) Consideraciones Básicas.   | 64          |
| 2) Factores de la Trituración.  | 66          |
| 3) Dimensiones del Disco y los Mar-<br>tillos.  | 67          |
| 4) Dimensionado del Disco y los -<br>Martillos.   | 69          |
| 5) Capacidad de Alimentación, Capa-<br>cidad de Trituración y Capacidad<br>de Descarga.             | 72          |

|  | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| a) Capacidad de Alimentación.                                      | 72            |
| b) Capacidad de Trituración.                                       | 73            |
| c) Capacidad de Descarga.  | 83            |
| 4.1.5 Selección del Motor del Molino y del Sistema de Transmisión. | 85            |
| 1) Selección del Motor Eléctrico.                                  | 85            |
| 2) Cálculo de la Transmisión de Pa<br>jas en "V".                  | 85            |
| 4.1.6 Cálculo del Diámetro del Eje del Molino.                     | 88            |
| 4.1.7 Consideraciones Constructivas.                               | 97            |
| 4.2 Selección del Filtro Prensa.                                   | 97            |
| 4.2.1 Tiempo de Filtrado.  | 99            |
| 5. CALCULO Y DISEÑO DEL DESHIDRATADOR                              | 101           |
| 5.1 Parámetros de Diseño.  | 101           |
| 5.1.1 Proceso de Secado.   | 101           |
| 5.1.2 Fundamentos Teóricos del Cálculo de un Secador de Bandejas.  | 102           |
| 5.1.3 Datos Experimentales del Secado de la Bixina.                | 105           |
| 1) Análisis de datos.  | 106           |
| 2) Condiciones de Trabajo.   | 108           |
| 5.2 Diseño de la Cámara del Deshidratador.                         | 109           |
| 5.2.1 Cálculo del Flujo de Aire del Ventilador.                    | 109           |

|  | <u>Pag.</u> |
|--|-------------|
| 1) Para condiciones del Aire a 60 C.                           | 110         |
| 2) Para condiciones del Aire a 90 C.                           | 113         |
| 5.2.2 Cálculo del Calor Requerido en el Calentador.            | 116         |
| 1) Para condiciones del Aire a 60 C.                           | 116         |
| 2) Para condiciones del Aire a 90 C.                           | 118         |
| 5.2.3 Dimensiones y Estructura Interna.                        | 120         |
| 5.2.4 Cálculo del Espesor de Aislamiento en Puertas y Paredes. | 120         |
| 5.3 Selección del Ventilador del Deshidratador.                | 121         |
| 5.3.1 Selección de la Transmisión por Fasas en "V".            | 122         |
| 5.4 Cálculo y Diseño del Intercambiador de Calor.              | 124         |
| 5.5 Selección del Quemador y Controles Automáticos.            | 132         |
| 5.6 Diseño de la Cámara de Combustión.                         | 134         |
| 5.6.1 Selección del Aislante.                                  | 134         |
| 5.6.2 Cálculo de la Chimenea.                                  | 135         |
| 5.6.3 Balance Térmico.   | 139         |
| 5.7 Consideraciones Constructivas.                             | 140         |
| 6. OBRAS DE INGENIERIA   | 142         |
| 6.1 Obras Civiles.   | 142         |
| 6.2 Obras Complementarias.                                     | 150         |
| 6.2.1 Energía Eléctrica.                                       | 151         |
| 6.2.2 Agua y Desague.  | 153         |

|  | <u>Pag.</u> |
|--|-------------|
| 7. INVERSIONES   | 155         |
| 7.1 Equipos y Maquinarias.   | 155         |
| 7.1.1 Otros Equipos.   | 168         |
| 7.2 Obras Civiles y Complementarias.   | 169         |
| 7.2.1 Local Industrial.  | 169         |
| 7.2.2 Energía Eléctrica.   | 169         |
| 7.2.3 Otras Obras Complementarias.   | 171         |
| 7.2.4 Mobiliario.  | 172         |
| CONCLUSIONES   | 173         |
| BIBLIOGRAFIA   | 177         |
| PLANOS   |             |
| 1. Distribución de la Planta Industrial.   |             |
| 2. Tanque Extractor.   |             |
| 3. Cernidor Manual y Tanque de Extracto.   |             |
| 4. Tanque de Precipitado.  |             |
| 5. Tanques del Proceso y Sistema de Tuberías.                                    |             |
| 6. Molino de Martillos.  |             |
| 7. Detalle del Eje del Molino.   |             |
| 8. Filtro Prensa.  |             |
| 9. Ensemble del Secador.   |             |
| 10. Estructura del Secador.  |             |
| 11. Conjunto Cámara de Combustión é Intercambiador de Calor.                     |             |
| 12. Puerta del Deshidratador.  |             |
| 13. Carro Portabandejas.   |             |
| 14. Detalles de Ductos del Secador.  |             |
| 15. Sub-estación Compacta - Diagrama Unifilar.                                   |             |
| 16. Diagrama Unifilar del Tablero de Distribución de Alumbrado y Tomacorrientes. |             |
| 17. Instalaciones Eléctricas de la Planta.                                       |             |
| 18. Control Central de Motores - Diagrama Unifilar.                              |             |
| 19. Instalaciones Eléctricas de los Motores de la Planta.                        |             |



## PROLOGO

El empleo de la semilla de achiote en el Perú, se conoce desde tiempos remotos, en múltiples formas pero sin mayores fundamentos teóricos.

El árbol de achiote es nativo de América. Los Incas usaban la semilla de achiote para el teñido de sus mantos con resultados que hasta el día de hoy saltan a la vista.

Actualmente el uso de colorantes naturales para la Industria alimenticia y textil, a nivel mundial es preferido por ser inocuo, no cancerígeno y por estas razones es muy requerido por los Institutos de Control de Calidad extranjeros. Uno de estos colorantes se extrae de las semillas de achiote mediante un proceso descrito en ésta tesis.

El achiote es una planta que crece desde el nivel del mar hasta los 3,000 a 4,000 pies de altura y por presentar esta facilidad de adaptación, se facilita su cultivo en zonas tropicales, así como en los valles de la Costa Norte Peruana, - como también en los departamentos de Cuzco, Ayacucho y en - Junín.

El objetivo principal de ésta tesis es la de incentivar la industrialización de este producto, teniendo en cuenta una demanda asegurada, la cual se mostrará más adelante en

el cuadro No.1 ( Producción Anual de semillas de achiote ), presentada por el Ministerio de Agricultura. A continuación el autor explicará el contenido de cada capítulo.

En el capítulo No.1, se explica brevemente las características del achiote, su ubicación geográfica en el Perú, así como las diferentes formas de extracción del colorante. También se dá a conocer los requerimientos técnicos del extracto y se justifica la capacidad de la Planta.

En el capítulo No.2, se describe el sistema de producción más adecuado para la industrialización de las semillas de achiote. Se presenta un diagrama de flujo de los procesos de extracción y se dá una pequeña descripción de estos; como también de los equipos y componentes de la Planta.

En el capítulo No.3, se hace el cálculo y diseño de los Tanques de Almacenamiento y Proceso. Se hacen cálculos de la capacidad de estos, se calcula el espesor de plancha así como las patas de apoyo. Tanto en el Tanque Extractor como en el Tanque de Precipitado se diseñan sistemas de agitación, como también se selecciona el sistema de bombeo para asegurar la recirculación del extracto.

En el capítulo No.4, se diseña un Molino de Martillos para asegurar la molienda del extracto, así también se selecciona un Filtro Prensa para su posterior purificación ó filtrado.

En el capítulo No.5, se vé el diseño del secador de bandejas, se dimensiona la estructura interna de éste, como también se calcula el aislamiento de puertas y paredes. Se calcula el flujo de aire que circulará en el secador para luego seleccionar el ventilador que hará recircular dicho flujo de aire. Se vé todo lo concerniente al intercambiador de calor, como también se selecciona el quemador y los controles automáticos. También se diseña la cámara de combustión, como también el tiro de la chimenea.

Finalmente en los capítulos No.6 y No.7 se ven las obras civiles y complementarias como también lo que se invertirá en equipos y obras respectivamente.

El autor desea expresar su agradecimiento a los ingenieros asesores de ITINTEC y de SABORES GLOVE del PERU S.A., que de algún modo han colaborado con la edición del presente trabajo. De igual manera mi reconocimiento especial al Ing. Luis Moreno F. por su valioso asesoramiento.

## C A P I T U L O 1

### I N T R O D U C C I O N

El presente trabajo tiene por finalidad encontrar una solución para la extracción industrial de extracto de achiote (annato) en polvo. Planteando el diseño de una Planta Industrial, tomando en cuenta diversos factores como: flujo de material, características del mismo, factores ambientales, etc.

Debemos considerar además, que la Planta Industrial sea funcional, económica y que se realice con tecnología nacional.

Este producto de exportación no tradicional es requerido por los países desarrollados (en Europa como también Estados Unidos), como materia colorante en la Industria alimenticia, debido a que no es cancerígeno y es inocuo.

En la actualidad la mayor cantidad de semillas de achiote son exportadas para ser procesadas en el extranjero, con un precio de \$ 1 US Fob por kilogramo en el Mercado Internacional. El extracto de achiote tiene un precio de \$18 US Fob por kilogramo, a parte que ofrece mayores ventajas para el transporte ya que el achiote como extracto ocupa menor espacio y también el envasado de éste facilita su comercialización, generando mayores divisas al Estado.

Cabe resaltar que después de haber investigado los diferentes métodos de extracción de achiote, el método aplicado en esta tesis, por medio del hidróxido de sodio, resultó más aconsejable por su bajo costo de operación y por ser el único solvente que económicamente es rentable la extracción ya que presenta mayores ventajas de recuperar los costos de inversión.

La Planta, básicamente, está constituida por Tanques de acero inoxidable con agitadores cuyo diseño está especificado. También tiene bombas para el rápido transporte entre los procesos, un Molino de Martillos y un Filtro Prensa para el lavado y filtrado del extracto.

La parte más crítica del diseño está en el deshidratador que secará el extracto hasta una humedad entre 6 y 8% en un tiempo aproximado de 12 a 16 horas, teniendo en cuenta que la temperatura de secado máxima sea de 90°C. Se considera el diseño y cálculo de los componentes con sus respectivos planos, costos de fabricación, conclusiones y recomendaciones.

#### 1.1 Ubicación Geográfica del achiote en el Perú:

El achiote es un árbol bajo, de copa redonda nativo de America, su altura está entre 3 y 4 metros con un diámetro de tallo de 30 cm. El fruto es una cápsula de forma hemisférica, ovoide, elipsoidal ó cónica. El porcentaje de colorante en los de forma hemisférica es de 5%, cónicos de 3.5% y ovoides de 1.5 a 2%.

El fruto tiene de 30 a 40 semillas y su rendimiento es de 600 a 2,000 Kg/Ha.

Este es un producto cuyo árbol crece desde el nivel del mar hasta cerca de 3,000 a 4,000 pies de altura. En el Perú crece en forma natural en Tingo María, Pucallpa, Iquitos, Pichari, Quillabamba, Oxapampa, Chanchamayo, Satipo y Tumbes. Según el Ministerio de Agricultura, la mayor producción agrícola se desarrolla en los departamentos de Cuzco, Ayacucho y Junín, pero en general la zona tropical es adecuada para su cultivo, así como los valles de la Costa Norte Peruana.

En el Cuadro No.1 podemos apreciar las producciones agrícolas por año en diferentes departamentos según el Ministerio de Agricultura.

El achiote se usa para especería, pero su principal uso industrial, es para la extracción de Norbixina y Bixina, que se emplean como material colorante en la Industria Alimentaria, también es usado en medicina como repelente de insectos aplicándolo directamente sobre la piel. También en la Industria Cosmetológica para preparar esmaltes de uñas y para lacas bronceadoras y aceites para el cabello.

#### 1.2 Formas de extracción del colorante:

La extracción de un constituyente soluble de un sólido por intermedio de un solvente, es conocido como LÍXI-

Cuadro No.1 Estadística de producción agrícola de achote por Dpto/año  
(Fuente: Ministerio de Agricultura. Oficina sect. de Información y Estadística)  
Producción por kilogramo de semilla de achote.

| Año           | 1983    | 1984    | 1985    | 1986    | 1987    | 1988    |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Departamento  | (Kg)    | (Kg)    | (Kg)    | (Kg)    | (Kg)    | (Kg)    |
| Amazonas      | 4,000   | 4,000   | 4,000   | 4,000   | 4,000   | 4,000   |
| Cajamarca     | 43,176  | 47,520  | 43,520  | 24,000  | 24,000  | 27,000  |
| La Libertad   | 6,000   | 6,975   | 6,750   | 6,300   | 7,200   | 7,200   |
| Lambayeque    | 1,500   | 1,500   | -       | -       | -       | -       |
| Piura         | -       | -       | -       | 1,000   | 950     | 960     |
| Junín         | 50,400  | 54,320  | 55,000  | 50,600  | 40,300  | 39,750  |
| Huánuco       | 26,425  | 26,250  | 26,200  | 4,086   | 3,300   | 3,900   |
| Ayacucho      | 83,160  | 97,500  | 104,000 | 78,600  | 91,700  | 91,700  |
| Cuzco         | 672,000 | 672,000 | 660,000 | 664,950 | 660,000 | 660,000 |
| Madre de Dios | 9,000   | 8,600   | 9,000   | 8,800   | 9,000   | 8,600   |
| Pasco         | 12,400  | 12,000  | 10,000  | 5,000   | 5,000   | 5,000   |
| Puno          | 11,600  | 12,500  | 12,500  | 10,000  | 7,500   | 5,000   |
| Loreto        | 1,500   | -       | -       | -       | -       | -       |
| San Martín    | -       | -       | -       | 5,000   | 5,000   | 5,000   |
| TOTAL         | 921,161 | 942,726 | 931,020 | 862,336 | 858,760 | 858,710 |

VIACIÓN, sin embargo es costumbre referirse a extracción con un medio acuoso, como lixiviación, y con un solvente como extracción solvente.

Hasta el momento los términos empleados anteriormente nos servirán para comenzar las pruebas de extracción del colorante básico de la Bixa Orellana: el Annato, y para esto debemos de tener en consideración los siguientes factores:

- Tamaño de grano.
- Solvente adecuado.
- Temperatura óptima.
- Agitación.

Existen varios métodos de extracción del annato, pero cabe resaltar que todos estos métodos son usados para extraerle el colorante a la semilla de achiote y difieren entre sí por su economía y por su eficacia. Todos estos métodos que a continuación veremos cumplen con la primera etapa de la extracción, ya que la segunda será igual para todos, que consiste en que al colorante extraído se le precipita, se le filtra, se le deshidrata para luego pasar por la molienda para su posterior empaque. A continuación se hará una breve explicación sobre los métodos de extracción del colorante:

#### 1.2.1 Lixiviación con agua:

Consiste en macerar las semillas de achiote con agua (como solvente), los cuales en algunos



casos será fría ó caliente. La suspensión de color se formará al cabo de cierto tiempo, lo cual indicará que se debe tamizar las semillas de achiote. El líquido coloreado desprovisto de sólidos - por el tamizado, será dejado en reposo un tiempo a determinarse, para luego por decantación, separar los colorantes del agua.

#### 1.2.2 Lixiviación con carbonato de sodio:

Las muestras de extracto de la semilla de achiote se mezclan con variadas concentraciones de carbonato de sodio y se agitan mecánicamente hasta encontrar la concentración adecuada que dé un extracto de colorante (bixina) de óptima calidad.

#### 1.2.3 Lixiviación con hidróxido de sodio:

Una muestra de semillas se mezcla con 1% de concentración de hidróxido de sodio durante un determinado tiempo, se hace nuevos lavados con NaOH - con una concentración de 0.5% para finalmente lavarlo con agua.

#### 1.2.4 Extracción con Solventes:

##### a) Con aceite comestible:

La semilla de achite sufre un pre calentamiento que puede ser agua ó vapor. Las semillas de achiote hinchadas son extraídas después con aceite vegetal frío ó caliente. La solución obtenida es filtrada y luego diluida para ser

plicada en coloración de margarinas ú otros aceites grasos.

b) Con glicol propileno:

Las semillas de achiote son extraídas con hidróxido de potasio glicol propileno. A la solución obtenida se le filtra y este producto puede ser aplicado para colorear grasas y quesos.

c) Con alcohol etílico y tricoletileno:

Esta mezcla de solventes volátiles son aplicados después del tamizado y son removidos - por destilación dando lugar a un concentrado de masa colorante.

d) Extracción con cloroformo:

Se disuelve la semilla en diferentes concentraciones de cloroformo en alcohol, la mínima será de 25% de cloroformo en etanol por 5 gramos de semilla, a esto se añade 5, 10, 15 y 20 ml. de  $\text{CHCl}_3\text{-C}_2\text{H}_5\text{OH}$  de 1:3 y se agita mécanicamente la cantidad de pigmentos disueltos en diferentes volúmenes de solvente, en un tiempo estimado de 1 a 3 horas. Repetir las extracciones usando solvente fresco cada vez.

A continuación se va a mostrar en la Tabla No.1 donde se ha tomado muestras de semillas de las zonas más representativas del País como son Junín, Cuzco y Huánuco por la cantidad de semillas que se producen en estos departamentos. Para t

dos los casos de aquí en adelante la siguiente nominación será la representativa:

- (A) Lixiviación con agua.
- (B) Lixiviación con hidróxido de sodio.
- (C) Extracción por medio de glicol-propileno.
- (D) Extracción por medio de alcohol etileno y tricloro etileno.
- (E) Extracción por medio del cloroformo.

Es importante citar que los resultados aquí expresados pueden ser optimizados, de acuerdo a la buena disposición del material de trabajo y al reemplazo de equipos e instrumentos que faciliten y mejoren los métodos:

Tabla No.1 Composiciones del annato en los diferentes métodos.

| Departamento | Método (annato en grs/100 gr semilla) |    |    |    |       |
|--------------|---------------------------------------|----|----|----|-------|
|              | A                                     | B  | C  | D  | E     |
| Junín        | 15                                    | 35 | 60 | 16 | 12    |
| Cuzco        | 16                                    | 38 | 50 | 13 | 12    |
| Huánuco      | 12                                    | 32 | 55 | 16 | 12.2  |
| PROMEDIO     | 14.33                                 | 35 | 55 | 15 | 12.06 |

Teniendo en cuenta lo expuesto, tanto en la parte teórica como práctica, se puede establecer dos métodos convenientes de extracción:

- Lixiviación con hidróxido de sodio.
- Extracción con el glicol-propileno.

Si sólo consideramos la parte de la investigación

se podría decir que el segundo método es el más satisfactorio, por las considerables ventajas mostradas en la calidad del producto terminado, pero esto desde el punto de vista basado en la investigación. Nosotros, los que hacemos Ingeniería, tenemos que a la par de estos resultados, establecer un factor muy importante en la implementación de una planta industrial, el cual es el análisis de costos.

El método de extracción glicol-propileno resulta anti-económico, no solamente por el costo del solvente, sino también por la dificultad en conseguir dicho producto, lo que hace nula su utilización como solvente en elaboraciones similares a la del achiote y mucho más si se le considera en una planta industrial para extraer colorantes del achiote.

Por lo tanto, considero, teniendo en cuenta a los factores expuestos, al método de "Lixiviación con solución de hidróxido de sodio", como el más óptimo a saber.

### 1.3 Requerimientos técnicos del extracto de achiote:

Según la F.D.A. (Food and Drug Administration), las especificaciones técnicas del annato en polvo son:

- Pigmentos totales: 30% en peso.
- Bixina: 24% en peso.

- Tamaño de partícula: 2.4 mm.
- Color: rojo oscuro.
- Humedad: 5 a 8%.
- Además la comisión ONU-FAO establece como límites máximos de impurezas para el achiote: 5 mg. de arsénico por kilogramo y 20 mg. de plomo por kilogramo.
- El producto se deteriora más rápidamente en frascos de vidrio que en envases de acero, siendo en estos últimos las pérdidas del orden del 10% en 3 años. Dendy (1,966), sugiere envases de metal y observa que en pequeñas cantidades los envases de plástico son mejores comercialmente. Según Rose (1969), estima la conveniencia que se envasen en cajas. Estas deben ser guardadas en lugar frío y seco, resguardándolas de la luz.
- El extracto es sensible a la luz difusa, decolorándose con mayor rapidez a la luz directa del sol en exposiciones de 6 a 8 días.

#### 1.4 Justificación de la capacidad de la Planta:

La producción agrícola de achiote en el Perú en el año - 1,988 fue de 858,710 Kg. de semillas de achiote (ver cuadro No.1). Según el FOPEX (Fondo de Promoción de Exportaciones no Tradicionales), el 25% de esta producción se usa para especería y el resto es exportado. Si asumimos un 50% de esta producción destinada a extraerle el annato y tomando en cuenta 6 Batch/día como máximo (según - las pruebas realizadas en ITINTEC y Sabores Globe del Perú SA), tendremos que la cantidad de semillas por Batch será:

$$\frac{858,710 \times 35\% \text{ Kg semilla}}{305 \text{ días} \times 6 \text{ Batch/día}} = 164.2 \text{ Kg semilla/Batch}$$

Añadimos un 25% por posibles aumentos de la demanda:

.. Capacidad de Planta = 200 Kg semilla/Batch.

Donde definimos a un BATCH, como a un ciclo de producción, desde el momento en que se agregan los 200 Kg de semillas de achiote al tanque extractor hasta el momento en que sale el extracto seco del deshidratador de bandejas listo para la molienda.

## C A P I T U L O 2

### 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN:

El sistema de producción de la Planta de Extracto de Achiote, tiene las siguientes características:

- Versatilidad.- La Planta por su característica modular, - puede trabajar, a parte del achiote, palillo ó otro producto.
- Elasticidad.- El proceso permite la fácil ampliación de la capacidad de producción, agregando unidades adicionales de extracción ó precipitación.
- Simplicidad.- de operación, que permite una baja incidencia de mano de obra directa.
- Facilidad de mantenimiento.
- Bajo índice de contaminación por la facilidad de limpieza y operación del material inoxidable del equipo.

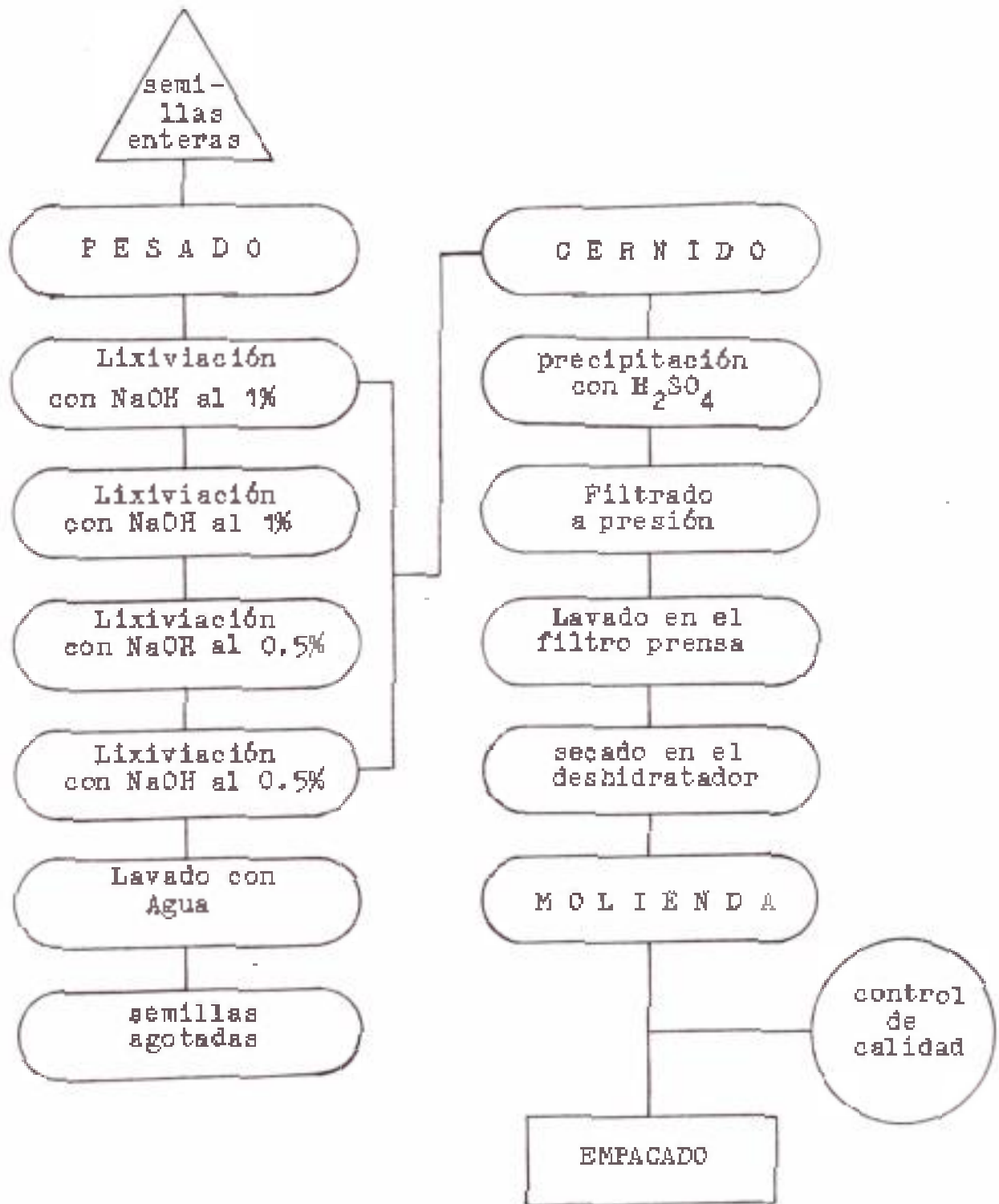
#### 2.1 Diagrama de Flujo de los Procesos de Extracción:

A continuación, en la figura No.1, se detalla el Diagrama de Flujo del Proceso de Extracción.

#### 2.2 Descripción de los Procesos de Extracción:

La semilla de achiote es colocada en un Tanque Extractor donde se adiciona agua ( $H_2O$ ) ó hidróxido de sodio ( $NaOH$ ) por espacio de 5 minutos por lavado ó extracción; esta operación se repite 5 veces, en las 2 primeras se usa  $NaOH$  al 1% y en la tercera y cuarta extracción ó lavado al 0.5% de concentración de  $NaOH$ . La quinta se

Figura No.1 Diagrama de Flujo de los Procesos de Extracción del colorante.





hace con agua pura y el agua restante se utiliza para el segundo batch.

El agua de los 04 lavados ó extractos es pasada por un cernidor manual que elimina las pajas ó restos de semilla que hayan quedado y luego el producto es bombeado al Tanque precipitador ó en su defecto a los Tanques de Extracto.

A este extracto limpio se le adiciona ácido sulfúrico técnico concentrado poco a poco y en movimiento hasta que el PH de la solución llegue aproximadamente a - 2.5, donde comienza a provocar la precipitación del extracto del colorante.

El precipitado es filtrado, reduciéndose el contenido de agua y luego secado a temperatura de 60°C por espacio de 10 a 14 horas, lográndose un producto con 5% de humedad aproximadamente.

Finalmente, el extracto de achiote es molido, obteniéndose al final un producto listo para ser envasado.

#### 2.2.1 Datos de Diseño:

Consumos específicos por tonelada métrica (TM) de achiote en polvo:

- Semilla de achiote: 11.904 TM.
- Hidróxido de sodio en escamas: 0.655 TM.
- Acido sulfúrico técnico concentrado: 1.190 TM.

- Agua de proceso:  $97.7 \text{ m}^3$ .

Estos datos han sido establecidos en ensayos de la  
boratorio del Itintec y Sabores Globe del Perú SA.

2.2.2 Proceso Tecnológico Esquemático para la obten-  
ción de Extracto de Achiote en Polvo:

Ver figura No.2.

2.2.3 Balace de Materiales para la obtención del Ex-  
tracto de Achiote en Polvo en una Planta Indus-  
trial de 200 Kg/Batch:

Ver figura No.3

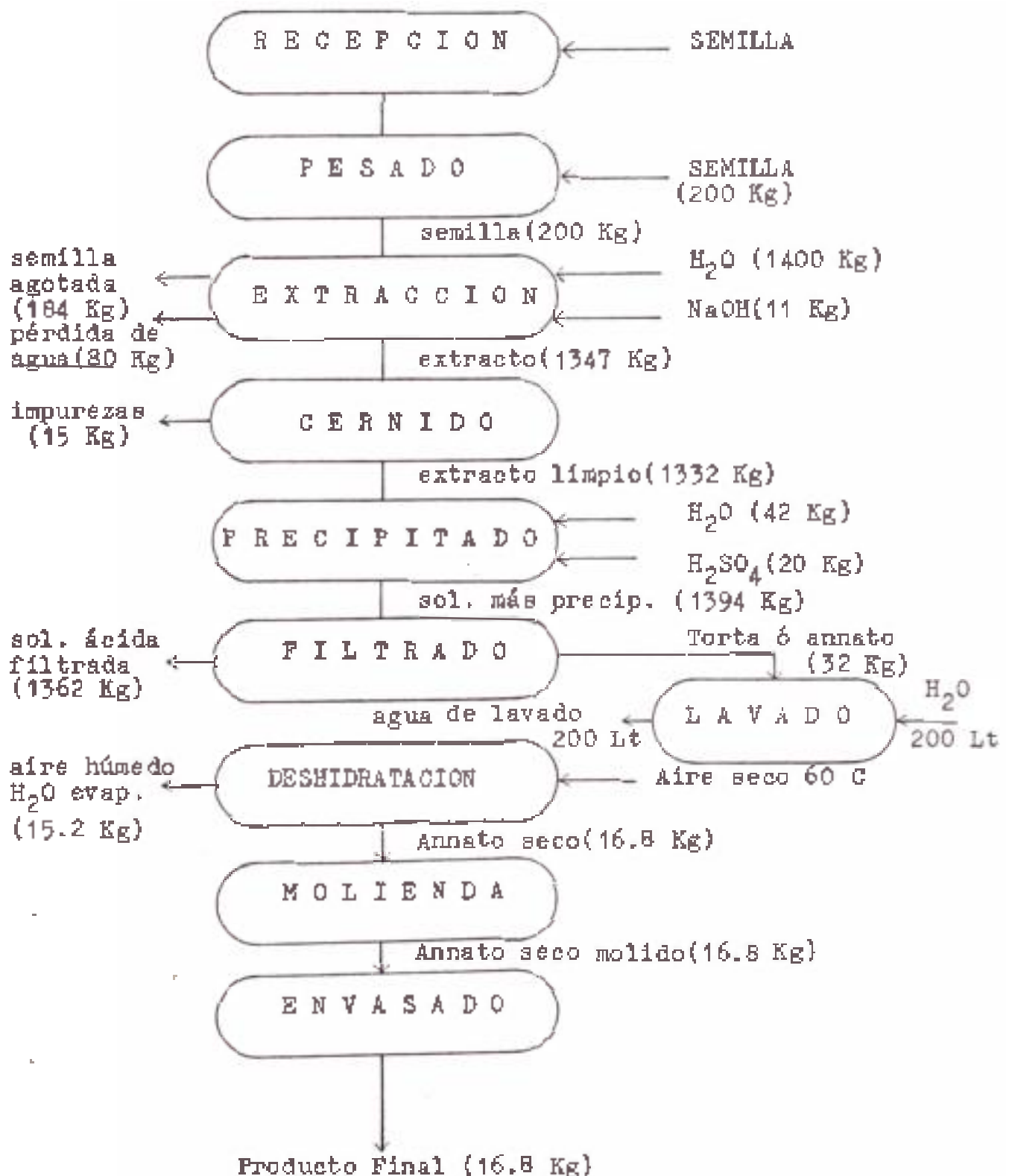
2.3 Relación de Equipos y Componentes de la Planta:

- 1) Balanza: Se requiere una balanza de brazo de 500 Kg. -  
de capacidad, con una aproximación de 0.5 Kg.
- 2) Tanque Extractor: Cantidad 01. Con una capacidad de -  
900 litros que servirá para:
  - 200 kilogramos de semilla/batch.
  - 300 a 350 litros de agua por lavado.
  - 11 kilogramos de hidróxido de sodio por batch en es-  
camas.

Condiciones de trabajo: agua con NaOH al 1%, volumen  
de semilla, agua y soda en las condiciones y cantida-  
des indicadas. Requiere de agitación lenta pero cong-  
tante de 100 RPM. El producto (semilla), debe ser cu-  
bierto por la solución de NaOH en forma total.

- 3) Cernidor Manual: Cantidad 01. Capacidad de 400 litros.  
Condiciones de trabajo: se operará con una solución de  
NaOH diluida al 1%, en volúmenes aproximados de 300 a

Figura No.3 Balances de Materiales para la obtención del Extracto de Achiote en polvo en una Planta Industrial de 200 Kg/Batch.



350 litros. Se requiere de una malla No.100 ó 120 - ASTM para separar las impurezas.

- 4) Bombas: Cantidad 03. Tipo centrífugas. Condiciones de trabajo: para facilitar el transporte de la solución de extracto de achiote que contiene NaOH al 1% de concentración.
- 5) Tanques de Extracto: Cantidad 04, tipo vertical, con una capacidad de 500 litros. Condiciones de trabajo: se operará con una solución de extracto de achiote - que contiene NaOH al 1% de concentración.
- 6) Tanque de Precipitado: Cantidad 01, con una capacidad de 2,000 litros. Condiciones de trabajo: al inicio se maneja extracto de achiote con NaOH al 1%, al agregar el  $H_2SO_4$  se trabaja con un líquido que llega hasta un PH igual a 2.5, precipitándose las sustancias colorantes.
- 7) Filtro Prensa: Cantidad 01, tipo: prensa de placas. Capacidad: 1,400 litros de extracto para tener máxima recuperación. Condiciones de trabajo: se operará con un precipitado que contiene  $H_2SO_4$  diluido hasta un PH igual a 2.5
- 8) Deshidratador: Cantidad 01, con una capacidad de 650 Kg de carga y 250 Kg de descarga. Temperatura aproximada de 90°C. Tipo: tunel de aire caliente con bandejas. Condiciones de trabajo: el producto obtenido del filtro prensa tiene 50% de agua aproximadamente, el cual se coloca en bandejas de acero inoxidable - dentro de una cabina donde circula aire caliente, el cual es calentado al paso por un intercambiador de -

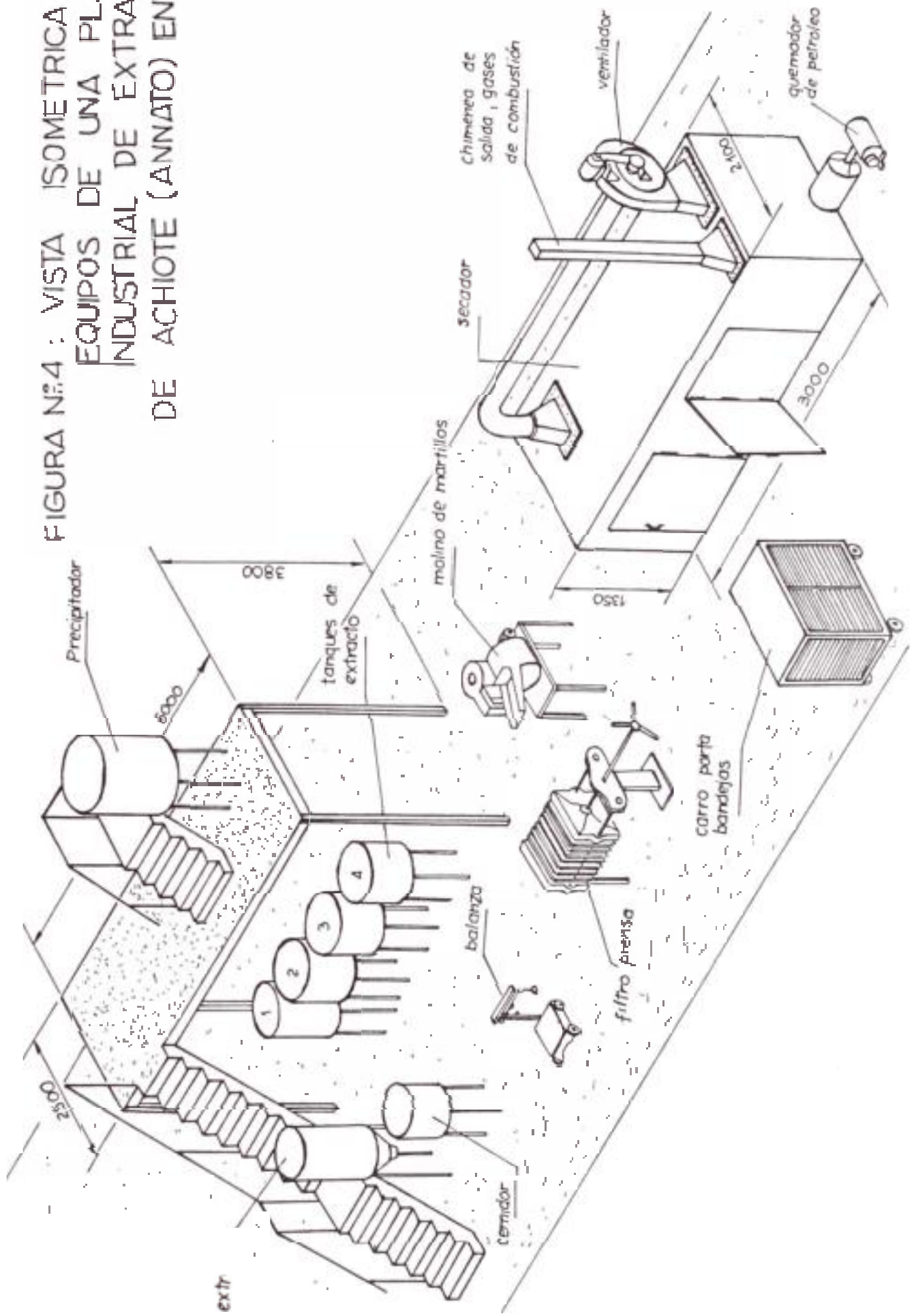
calor que recibe como fuente de calor los gases de combustión de un quemador. Estos gases no se mezclan con el producto. La humedad final del extracto será de 5% aproximadamente.

- 9) Molino: Cantidad 01, con una capacidad de 500 Kg/Hr. Tipo: molino micro pulverizador de martillos. Condiciones de trabajo: muele el producto obtenido del deshidratador hasta determinado tamiz y su posterior envasado.

#### 2.4 Distribución de la Planta Industrial:

Ver figura No.4, vista isométrica de la planta industrial. Para mayores detalles ver el Plano No.01

FIGURA N.º 4 : VISTA ISOMETRICA  
 EQUIPOS DE UNA PLANTA  
 INDUSTRIAL DE EXTRACTO  
 DE ACHIOTE (ANNATO) EN POLVCO



### C A P I T U L O 3

#### 3. CALCULO Y DISEÑO DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y PROCESO:

Los Tanques de almacenamiento y proceso, que se utilizan en la Planta Industrial, tendrán como material de construcción: plancha de acero inoxidable AISI 316 que tiene la siguiente composición:

| Elemento | %          |
|----------|------------|
| C        | 0.08 max.  |
| Mn       | 2.0        |
| Cr       | 16 - 18    |
| Ni       | 10 - 14    |
| P        | 0.045 máx. |
| S        | 0.030 *    |
| Mo       | 2 - 3 *    |

Este material tiene alta resistencia a la corrosión y es apropiado para equipos procesadores de alimentos. Las uniones por soldadura que estén en contacto con el producto serán soldadas con soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) en ambiente de gas argón utilizando electrodo de tungsteno toriado. El acabado de las uniones soldadas será decapado, esmerilado y pulido con abrasivos (piedra Norton, discos de lija y fieltro), para ser pasivadas con solución de ácido nítrico y fluor-hídrico (10 partes de  $\text{HNO}_3$  y 01 parte de HF y el resto agua a 20 °C).

Las uniones soldadas que no estén en contacto alguno con el producto ó parte del proceso, serán soldadas con electrodos de acero inoxidable AWS E316-16 ó DIN 8556 E1912eR26 (INOX BW en Cerlikon, E125 en Fontargen). Los Tanques irán -

apoyados en 03 patas hechas de tubos de acero, que irán soldados y anclados al piso; a excepción del tanque de precipitado, que debido a su volumen irá apoyado en 04 patas, además irá anclado sobre una plataforma hecha de perfiles estructurales.

### 3.1 Cálculo y diseño del Tanque Extractor:

El tanque tendrá que procesar 200 Kg de semilla y 350 litros de agua por lavado, más 11 Kg/batch de NaOH.

#### 3.1.1 Cálculo de la Capacidad y dimensiones del Tanque:

La base del tanque será tronco-cónica, debido a que tiene una compuerta de salida de 5 pulg de diámetro para evacuar rápidamente las semillas sin que se obstruya; además tiene una válvula de salida con una malla que impide que las semillas pasen. Debido a que el volumen de semilla, agua y soda en las cantidades antes indicadas, requiere de agitación constante y lenta de 100 RPM, dimensionamos el tanque con un 40% más del volumen del producto para evitar derrames, tener facilidad para agregar semillas y evitar que debido a la forma de la base del tanque, se concentren las semillas en el fondo. Luego, la capacidad del tanque será:

- Tomando como:  $\gamma_{\text{achiote}} = 720 \text{ Kg/m}^3$  y

$$\gamma_{\text{NaOH}} = 960 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{VOLUMEN} = \text{Vol}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{Vol}_{\text{achiote}} + \text{Vol}_{\text{NaOH}}$$



$$= 350/1 + 278/1 + 12/4$$

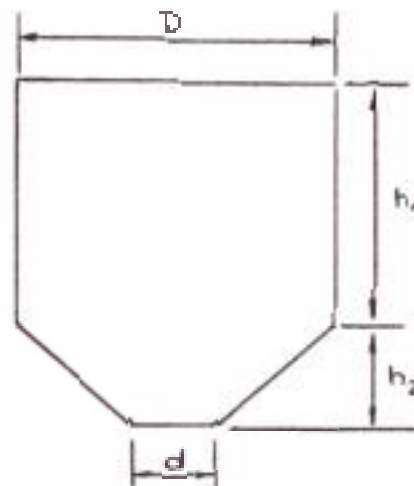
VOLUMEN = 631 litros

Agregamos un 40% para evitar derrames:

VOLUMEN DEL TANQUE = 910 Litros

Luego, la forma del tanque será: (ver fig. No. 5).

Figura No. 5: Forma del Tanque Extractor



La capacidad del tanque extractor se calcula sumando el volumen de la parte cilíndrica y del tronco-cono:

$$\text{CAP. NETA} = \frac{\pi D^2 h_1}{4} + \frac{\pi h_2}{3} \left[ \left(\frac{D}{2}\right)^2 + \frac{Dd}{4} + \left(\frac{d}{2}\right)^2 \right] \quad (1)$$

Operando:

$$\boxed{\text{Capacidad neta} = 0.910 \text{ m}^3}$$

Del libro: "Cálculo de Silos" por Reimbert:

Para silos ó tanques pequeños:

$$0.5 \leq \frac{D}{h} \leq 2.0$$

$$\text{Asumimos: } \frac{D}{h_1} = 1.4 \implies h_1 = \frac{D}{1.4}$$

$$\frac{D}{h_2} = 1.7 \implies h_2 = \frac{D}{1.7}$$

Además, asumimos un  $d = 8.5$  pulg. para facilitar la limpieza del tanque al retirar las semillas. Luego reemplazando estos valores, se tiene:

$$0.715 D^3 + 0.031 D^2 + 0.0062 D = 0.910$$

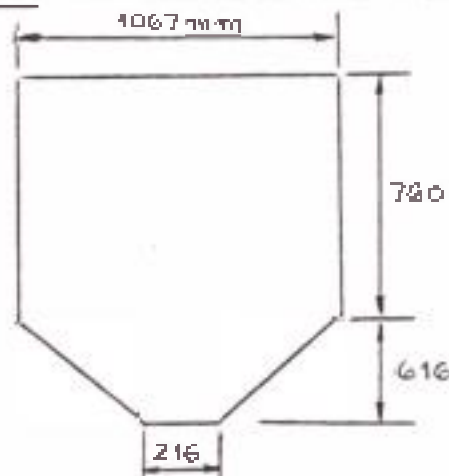
Resolviendo la ecuación:

$$D = 1,067 \text{ mm.}$$

$$h_1 = 760 \text{ mm.}$$

$$h_2 = 616 \text{ mm.}$$

Figura No.6: Dimensiones del Tanque Extractor.



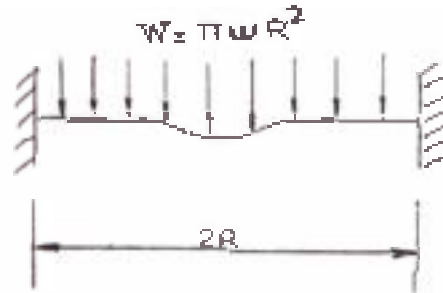
El tanque extractor será reforzado en su borde superior con un anillo de perfil angular, para mantener la rigidez del tanque abierto. Igualmente, a la hora de rolar el tanque se le hará ciertas nervaduras en el cuerpo para darle mayor rigidez.

### 3.1.2 Cálculo del espesor de Plancha:

Para calcular el espesor de plancha en la base consideramos esta como placa circular sometida

a carga uniformemente distribuida con bordes em-  
potrados.

Figura No.7: Placa circular sometida a carga uni-  
formemente distribuida.



Donde:  $\sigma_{\text{máx}} = \frac{3W}{4\pi t^2}$  (Stress and Strain  
de R.J. Roark)

$$w = \frac{\text{carga}}{\text{area}} = \frac{\text{carga}}{\pi R^2}$$

Despejando el espesor  $t$  :

$$t = \sqrt{\frac{3 \text{ carga } \pi R^2}{4 \pi^2 R^2 \sigma_{\text{máx}}}} \quad (2)$$

El esfuerzo de fluencia de la AISI 316 es 40,000  
psi. Aplicando un factor de seguridad de 2:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{40,000}{2} = 20,000 \text{ psi}$$

$$t = \sqrt{\frac{3 \text{ carga (lbs)}}{4\pi 20,000 \text{ (psi)}}} \quad (3)$$

Luego, para una carga de 550 Kg (1,210 lbs), el  
espesor "t" es igual a 0.12 pulg, redondeándolo  
a un espesor comercial de 1/8" (0.125"), utili-  
zamos plancha de acero inoxidable AISI 316 de -  
1/8" de espesor.

Ahora vamos a analizar el espesor de plancha en la base tronco-cónica. Del libro: "Diseño de Silos" por Reimbert, se tiene que para silos cilíndricos:

Empuje lateral máximo:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{\gamma D}{4 \tan \phi} \quad (4)$$

donde:  $\gamma$  = peso por  $m^3$  de material ensilado.

$D$  = diámetro.

$\phi$  = ángulo de rozamiento interno =  $45^\circ$

luego:

$$P_{m\acute{a}x} = \frac{1,000 \times 1.067}{4 \tan 45^\circ}$$

$$P_{m\acute{a}x} = 266.75 \text{ Kg/m}^2$$

Abcisa característica:

$$A = \frac{D}{4 \tan \phi \tan^2 \left[ \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right]} - \frac{h}{3} \quad (5)$$

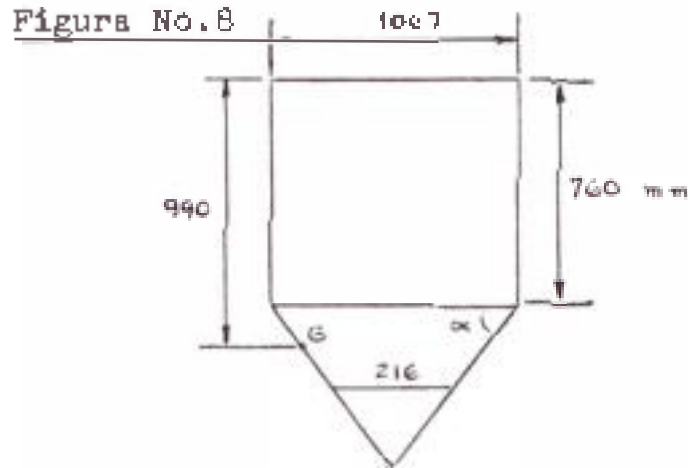
donde:  $h$  = altura del cono superior del silo, en nuestro caso igual a cero.

reemplazando:  $A = 1.55$  mts.

Como vamos a analizar la base tronco-cónica, ha llamos su centro de gravedad y analizamos los es fuerzos que se presentan.

Figura No.8: Ubicación del Centro de Gravedad de la base tronco-cónica.

El detalle de la figura No.8 se verá en la siguiente página:



El empuje lateral unitario sobre las paredes a una profundidad  $z = 0.99$  mts será:

$$p_z = p_{\text{máx}} \left[ 1 - \left( \frac{z}{A} + 1 \right)^{-2} \right] \quad (6)$$

$$p_z = 160 \text{ Kg/m}^2$$

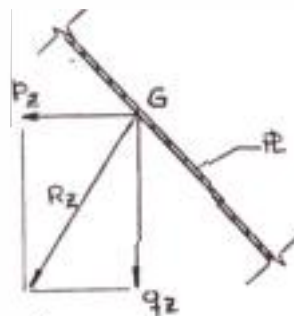
La presión vertical unitaria media sobre el fondo será:

$$q_z = \gamma \left[ z \left( \frac{z}{A} + 1 \right)^{-1} + \frac{h}{3} \right] \quad (7)$$

para  $z = 0.99$  mts:

$$q_z = 604 \text{ Kg/m}^2$$

Figura No.9. Resultante de fuerzas coplanares.



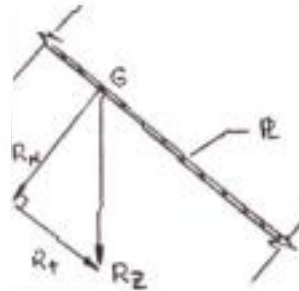
De la figura No.9, hallamos la resultante  $R_z$  :

$$R_z = \sqrt{p_z^2 + q_z^2}$$

$$R_z = 627 \text{ Kg/m}^2$$

Descomponiendo este empuje resultante en las direcciones perpendicular y paralela a la plancha como se muestra en la figura No.10.

Figura No.10: Descomposición del empuje resultante.



se tendrá:  $R_n = 589 \text{ Kg/m}^2$

$$R_t = 214 \text{ Kg/m}^2$$

Ahora vamos a calcular el peso por unidad de área que resiste la base tronco-cónica:

Sea  $P' = 1,000 \text{ Kg}$ .

El área lateral de la base tronco-cónica será:

$$A_{lat} = \pi (0.425 + 0.108) 0.75$$

$$A_{lat} = 1.25 \text{ m}^2$$

Luego, el peso por unidad de área  $P$  será:

$$P = \frac{1,000}{1.25} = 800 \text{ Kg/m}^2$$

Descomponiendo este empuje en las direcciones perpendicular y paralela a la plancha se tiene:

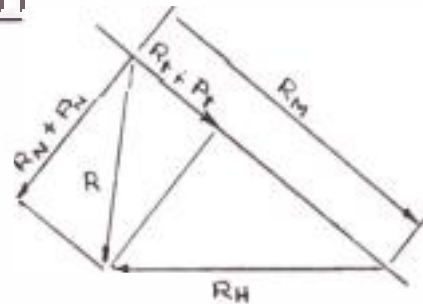
$$P_n = 656 \text{ Kg/m}^2$$

$$P_t = 456 \text{ Kg/m}^2$$

Conociendo los esfuerzos normales ( $R_n + P_n$ ) y tangenciales ( $R_t + P_t$ ) a la dirección de la tol

va, como se muestra en la figura No.11:

Figura No.11



Luego:  $R = \sqrt{(1245)^2 + (670)^2}$

$R = 1,414 \text{ Kg/m}^2$

Esta resultante la proyectamos en la dirección de la plancha y hallamos  $R_h$  :

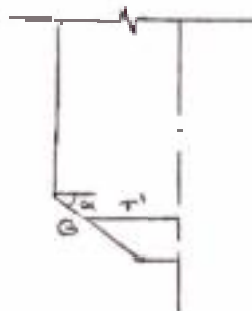
$R_h = 2,169 \text{ Kg/m}^2$

Ahora, para calcular el espesor de la plancha, se asume un esfuerzo de tracción de  $1,400 \text{ Kg/cm}^2$  para el acero, se tendrá un espesor de plancha:

$$e(\text{cm}) \geq \frac{R_h \times r'}{100 \times 1,400 \text{ sen}\alpha}$$

donde  $r'$  es la distancia del centro de gravedad al eje que pasa por el centro del tanque:

Figura No.12



de la figura:  $r' = 0,178 \text{ mts.}$

$\alpha = 35^\circ$

reemplazando:  $e \geq 0,05 \text{ mm.}$

Analizando la pared lateral del tanque aplicando la fórmula  $t = P.D/2.S$  para una presión  $P$  a una altura de 0.760 mts y un diámetro de 1.067 mts y un esfuerzo permisible de 20,000 psi, reemplazando estos valores, resulta  $t = 0.03$  mm.

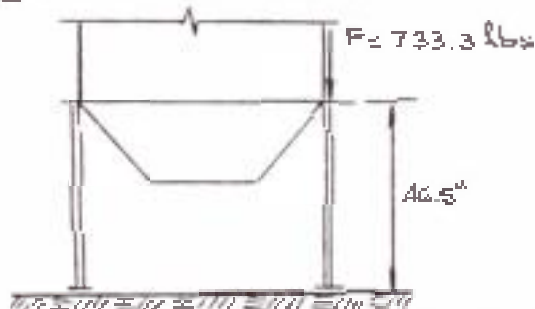
Con lo cual se concluye que la base del tronco-cónico es la más crítica, por lo tanto se asume un espesor de plancha para todo el tanque de 1/8 pulg de plancha de Acero Inoxidable AISI 316.

### 3.1.3 Cálculo y diseño de las patas de apoyo:

Soportan al tanque extractor y son 03. Consideramos una fuerza axial  $F'$  igual a:

$$F' = 550 \text{ Kg(carga)} + 180 \text{ Kg(tanque)} + 180 \text{ Kg (operarios)} + 90 \text{ Kg(accesorios)}$$
$$F' = 1,000 \text{ Kg} = 2,200 \text{ Lbs}$$

Figura No.13: Patas de Apoyo.



Como el número de patas es 03, cada una de ellas resistirá una fuerza  $F = 733.3$  Lbs.

Ahora, asumimos un  $\sigma_{adm} = 12,500 \text{ Lb/pulg}^2$

El área del tubo será:

$$A = \frac{733.3}{12,500} = 0.06 \text{ pulg}^2$$

Del Manual del Steel Construction, seleccionamos



el tubo redondo standard de 3 pulg. de diámetro: - espesor= 0.216 pulg

$$- \text{área} = 2.23 \text{ pulg}^2$$

$$- s = 1.72 \text{ pulg}^3$$

$$- r = 1.16 \text{ pulg.}$$

Según fórmulas de la AISC:

para  $E = 29 \times 10^6$  psi

$$S_y = 36,000 \text{ psi}$$

para aceros:  $C_c = 126.1$

Cálculo de  $KL/r$ :

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 46.5}{1.16} = 40 < C_c$$

Se usará la siguiente fórmula:

$$S_{\text{perm}} = \frac{\left[ 1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2} \right] S_y}{\frac{5}{3} + \frac{3KL/r}{8C_c} + \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} \quad (8)$$

Reemplazando:

$$S_{\text{perm}} = 19,205 \text{ Lb/pulg}^2$$

Luego:  $F_{\text{adm}} = 19,205 \times 2.23 = 42,827 \text{ Lbs.}$

Como vemos esta fuerza es mayor que la fuerza actuante.

### 3.1.4 Selección del Sistema de Agitación:

#### 1) Cálculo de la Potencia:

Del Manual del Perry ( Manual del Ingeniero

$$P = 24 C L^3 S N^3 D^{1.1} W^{0.3} H^{0.6}$$

$$\frac{L^2 N S}{Z}$$

$$C = 0.000023$$

Ahora, para el cálculo de la potencia, reemplazamos en la fórmula (9) los siguientes valores:

$$D = 1.0668 \text{ mts}$$

$$H = 0,8 \text{ mts}$$

$$W = 0.05 \text{ mts}$$

$$\text{Se tendrá: } P = 0.203 \text{ HP}$$

## 2) Selección del Moto-reductor:

Para el tanque extractor, el motor de 0.4 HP es el más cercano, tomando en cuenta la eficiencia de éste, luego seleccionamos el reductor "Hidromar" modelo 2.5 PHV 17.5/7 con motor eléctrico de 0.4 HP y 1660 RPM con una salida de 95 RPM.

## 3) Selección del Agitador:

Del Manual del American Institute of Chemical Engineers (AIChE). Equipment testing procedure. Mixing Equipment.

El procedimiento es el siguiente:

Calculamos el número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{L^2 N S}{\mu} \quad (10)$$

donde: L = diámetro de las paletas (mts)

N = velocidad de rotación (rad/seg)

S = densidad del líquido (Kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = viscosidad (Pa-sec)

$$N_{Re} = \frac{0.159 (0.5)^2 95 \times 1,000}{60 \times 10^{-3} \times 9.8067}$$

$$N_{Re} = 6,418$$

Número Específico de Potencia:

$$N_p = \frac{P \times g_c}{SN^3L^5} \quad (11)$$

donde: P = potencia (Kw)

S = densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

N = velocidad de rotación (RPS)

L = diámetro de las paletas (mts)

$$g_c = 2.48 \times 10^5$$

reemplazando estos valores en la fórmula (11)

y operando se tendrá:

$$N_p = 348$$

luego, de los diferentes tipos de agitadores lo seleccionaremos de acuerdo al  $N_p$ .

$$\text{Low: } 0.1 < N_p < 0.5$$

for axial flow impellers, propellers high efficiency impeller, etc.

$$\text{Middle: } 0.5 < N_p < 3.0$$

for mixed flow impellers: pitched-blade turbine, simple paddles, etc.

$$\text{High: } N_p > 3.0$$

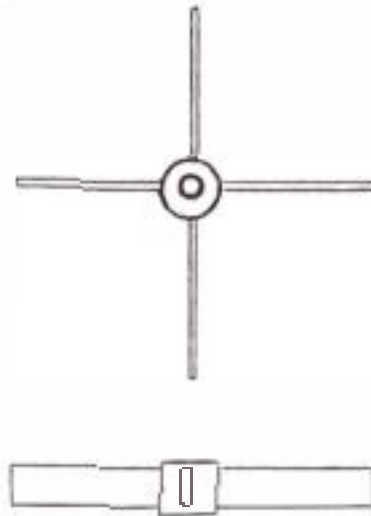
for radial flow impeller: straight-blade turbines, disk-style turbine, etc.

De esta condición, sacogemos:

Straight-blade turbine.

En la figura No.14 se muestra la forma de este tipo de agitador.

Figura No.14: Agitador tipo straight-blade turbine.



Del libro: "Mezcla" por Uhl Vincent, este tipo de agitadores (turbinas) los subdivide en:

- Flat blade.
- Disk flat blade.
- Pitched vane.
- Curved blade.
- Tilted blade, etc.

De estos el que de acuerdo a sus características se adapta a nuestras condiciones de trabajo es el tipo Flat Blade, cuya velocidad periférica de operación está entre los 600 a - 900 pies/min. Además de la paleta es generalmente de 1/5 a 1/10 del largo de estas.

4) Cálculo del eje del Agitador:

a) Por Torsión:

De la fórmula del torque:

$$T = \frac{727.65 \times HP}{RPM} \quad (12)$$

Para 0.4 HP y 95 RPM, se tendrá:

$$T = 291.06 \text{ Kg-cm.}$$

Aplicando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{\phi \cdot J \cdot G}{L} \quad (13)$$

donde: L = longitud del eje (cm)

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

$$G = 805,000 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (para aceros)}$$

$\phi$  = ángulo en radianes

luego reemplazando estos valores en la fórmula No.13 se tendrá:

$$d^4 = \frac{32 \cdot T \cdot L}{G} \quad (14)$$

Asumimos como requisito  $\phi = 0.35^\circ$  por metro de eje ( Machine Elements de Dobrowolsky ).

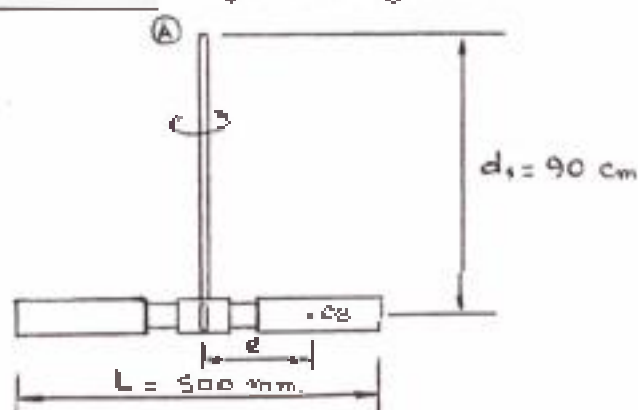
Efectuando las operaciones correspondientes se tendrá:

$$d = 0.98 \text{ pulgadas}$$

Asumimos:  $d = 1 \text{ pulg.}$  en acero inoxidable AISI 316.

b) Por Máximo Esfuerzo Cortante:

Figura No.15: Eje del Agitador



5) Bastidor del Agitador del Tanque Extractor:

El bastidor del agitador será construido de tubos, planchas y ángulos de Acero. Para mayores detalles ver el Plano No.02

3.2 Cálculo y Diseño del Cernidor Manual:

Este tanque procesará 400 litros de solución de NaOH con extracto de achiote y tendrá una malla de acero inoxidable ASTM No.100, con la finalidad de separar las impurezas, como, pajas, semillas partidas, residuos de cáscaras y otro tipo de residuos sólidos que pasan del tanque extractor.

Se operará con soluciones de NaOH diluida al 1% en volúmenes de 350 litros. La malla irá en la parte superior del tanque y es desmontable, para facilitar su operación y mantenimiento, limpieza, etc.

El líquido cernido, será evacuado a una Bomba que lo trasladará al tanque precipitador ó en su defecto a los tanques de extracto, a través de un orificio de salida en la parte central del fondo del tanque. El fondo de éste será boleado y rebordeado para obtener una mayor rigidez. El tanque estará apoyado en 03 patas de tubos standard y la malla irá soldada por puntos a un anillo metálico, el cual se apoyará en unos topes soldados en el interior del tanque.

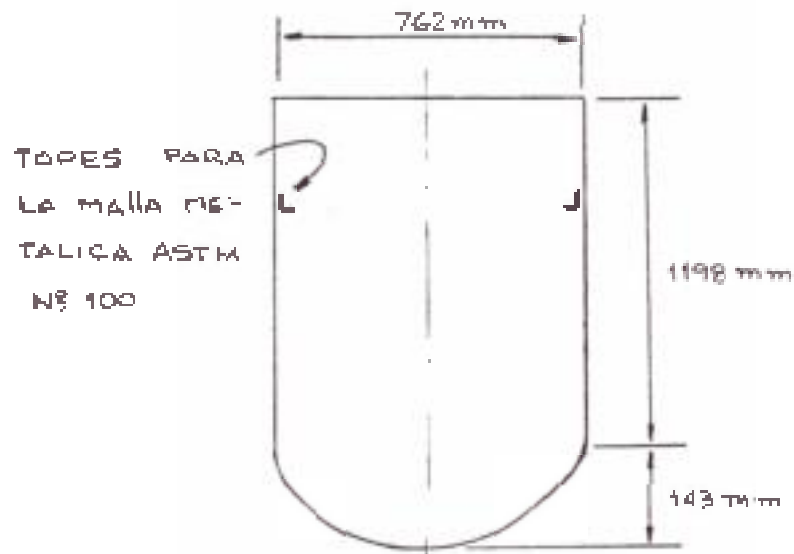
3.2.1 Cálculo de la Capacidad y Dimensiones del Cerni-

don:

Dimensionaremos el tanque con un 40% más del volumen de producto, para facilitar la operación y evitar derrames. Este tanque no necesita de agitación.

El diámetro externo del tanque lo asumimos de 30 pulgadas (762 mm) y las dimensiones de la base ó fondo son de acuerdo al Manual de la API (American Petroleum Institute), "Aplicaciones y Recomendaciones Prácticas para Tanques".

Figura No.16: Dimensiones del Cernidor.



Para calcular la capacidad neta del tanque - cernidor se suma el volumen del cuerpo ó cilindro más el volumen de la base.

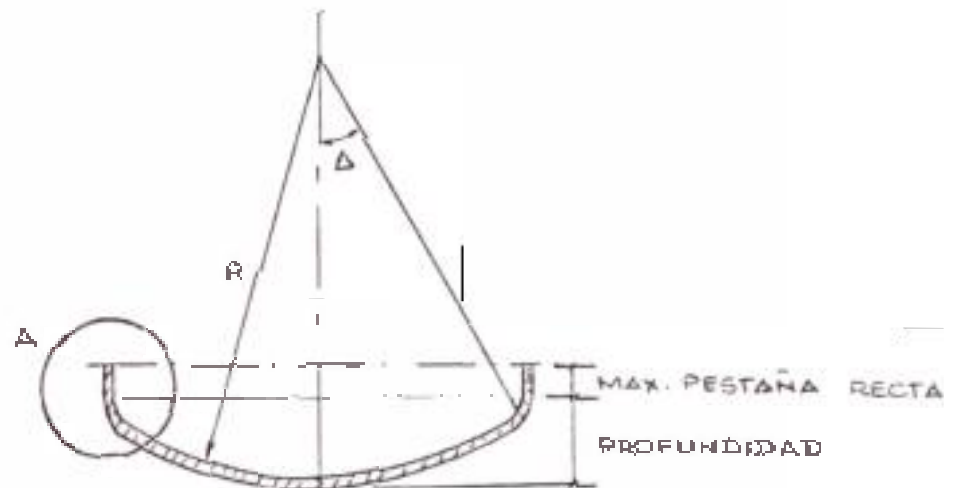
$$\text{CAPACIDAD NETA} = \frac{\pi(762)^2 \cdot 1198}{4} + \text{VOL}_{\text{base}}$$

Según el Manual de la API: "Aplicaciones y re

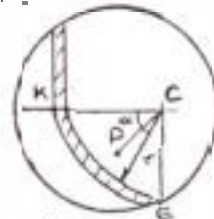


comendaciones prácticas para tanques<sup>n</sup>, el volumen de la tapa boleada y rebordeada se calcula de la siguiente manera:

Figura No.17: Detalle de la base del Cernidor.



DETALLE A :



Donde: P es el CG del sector CGK.

$$\alpha = \pi \frac{90 - \Delta}{2} \quad (\text{grados})$$

$$\alpha_r = 0.0174533\alpha \quad (\text{radianes})$$

$$VOL = 2\pi \left[ (R - r)\text{sen}\Delta + 2r \frac{\text{sen}\alpha \cos\alpha}{3\alpha_r} \right]$$

De tablas del Manual de la API:

$$R = 30 \text{ pulg}$$

$$r = 3/8 \text{ pulg}$$

$$VOL = 1530 \text{ pulg}^3$$

$$\text{Máx. pestaña recta} = 1.5 \text{ pulg.}$$

Luego, la capacidad neta del tanque será:

$$\text{CAPACIDAD NETA} = 0.571 \text{ m}^3$$

### 3.2.2 Cálculo del espesor de plancha:

Para calcular el espesor de plancha del cernidor vamos a analizar la base que es la parte más crítica del tanque. Para calcular el espesor de plancha de la base, vamos a considerarla como una placa circular sometida a carga uniformemente distribuida con bordes empotrados.

De la fórmula:

$$t = \sqrt{\frac{3 \cdot \text{Carga}}{4\pi \cdot 20,000}}$$

Para una carga de 880 libras:  $t = 0.102$  pulg como las tapas ó bases se adelgazan durante el conformado, consideramos  $1/16''$  adicional al espesor de la plancha. Por lo tanto, se tendrá:

- Base: de plancha de acero inoxidable AISI 316 de espesor igual a  $3/16$  pulg.
- Cuerpo : de plancha de acero inoxidable AISI 316 de espesor igual a  $1/8$  pulg.

### 3.2.3 Cálculo y diseño de las patas de apoyo:

Las patas del cernidor manual serán 03 y co- la carga que soportan es casi similar a la que está soportando el tanque extractor, asumimos tubos de 3 pulg. de diámetro.

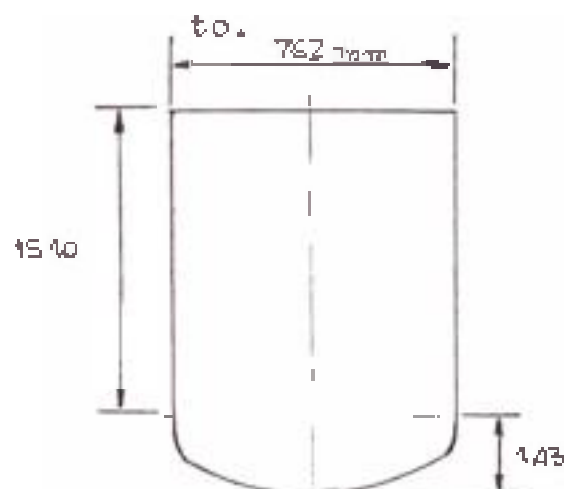
### 3.3 Cálculo y Diseño de los Tanques de Extracto:

Los tanques de extracto son 04 y tienen la base boleadada y rebordeada como el cernidor manual. Cada tanque procesará 500 litros de producto y considerando un 40% de exceso de volumen para facilitar las operaciones y evitar derrames.

#### 3.3.1 Cálculo de la capacidad y dimensiones del tanque de extracto:

Para uniformizar los diámetros, tomamos un diámetro externo de 30 pulg, además en la base se tendrá un orificio de salida de 1 1/2 pulgadas de diámetro. Dimensionando el tanque tenemos que:

Figura No.18: Dimensiones del tanque de extracto



$$\text{CAPACIDAD NETA} = \frac{\pi(762)^2}{4} 1510 + \text{VOL}_{\text{base}}$$

El volumen de la base es idéntico al del cernidor manual, obteniendo según cálculos:

$$\text{CAPACIDAD NETA} = 0.714 \pi^3$$

### 3.3.2 Cálculo del Espesor de Plancha:

Las dimensiones de los tanques de extracto son similares a las del cernidor manual, por lo tanto las planchas de acero inoxidable AISI 316 que se usarán en los tanques de extracto son :

- Cuerpo : espesor 1/8 pulg.
- Base : espesor 3/16 pulg.

### 3.3.3 Cálculo y diseño de las Patas de Apoyo:

Las patas del tanque de extracto serán 03 y de 3 pulg. de diámetro (tubo standard).

## 3.4 Cálculo y Diseño del Tanque de Precipitado:

El tanque recibirá 2,000 litros de producto que será agitado a 100 RPM mientras se le adiciona ácido sulfúrico hasta que precipite totalmente la solución.

En este tanque se precipitarán las sustancias colorantes, por lo tanto se necesitará un orificio de salida de 1 1/2 pulg de diámetro que se encontrará en el fondo de la base del tanque. La base de este tanque será boleada y rebordeada, también consideraremos un 40% de volumen adicional para facilitar el proceso y evitar posibles derrames.

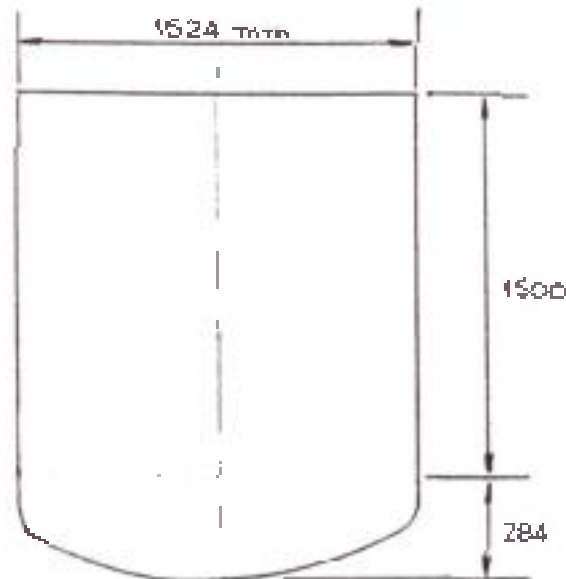
### 3.4.1 Cálculo de la Capacidad y Dimensiones del Tanque:

Asumimos un diámetro externo de 60 pulg. pa-

ra obtener un tanque que cumpla con la relación:

$$\frac{D}{h} \approx 1$$

Figura No.19: Dimensionando obtenemos.



$$\text{CAPACIDAD NETA} = \frac{\pi (1524)^2}{4} 1500 + \text{VOL}_{\text{base}}$$

El volumen de la base la obtenemos del Manual de la API (Aplicaciones y Recomendaciones prácticas para Tanques), al igual que las dimensiones de la base boleada y reborderada.

$$\text{VOL}_{\text{base}} = 12,040 \text{ pulg}^3$$

Además:  $R = 60 \text{ pulg.}$

$r = 1/2 \text{ pulg.}$

Máxima pestaña recta = 3 pulg.

Profundidad = 8.18 pulg.

Luego, la capacidad neta del tanque será:

$$\text{CAPACIDAD NETA} = 2.93 \text{ m}^3$$

### 3.4.2 Cálculo del Espesor de Plancha:

Vamos a calcular el espesor de plancha de la base ya que es ésta la que resiste mayor carga. Considerándola como una placa circular sometida a carga uniformemente distribuida con bordes empotrados. De la fórmula:

$$t = \sqrt{\frac{3 \text{ Carga}}{4\pi \cdot 20,000}}$$

Para una carga de 2,000 Kg (4,400 Lbs):

$$t = 0.22 \text{ pulg.}$$

Asumimos una plancha de acero inoxidable AISI

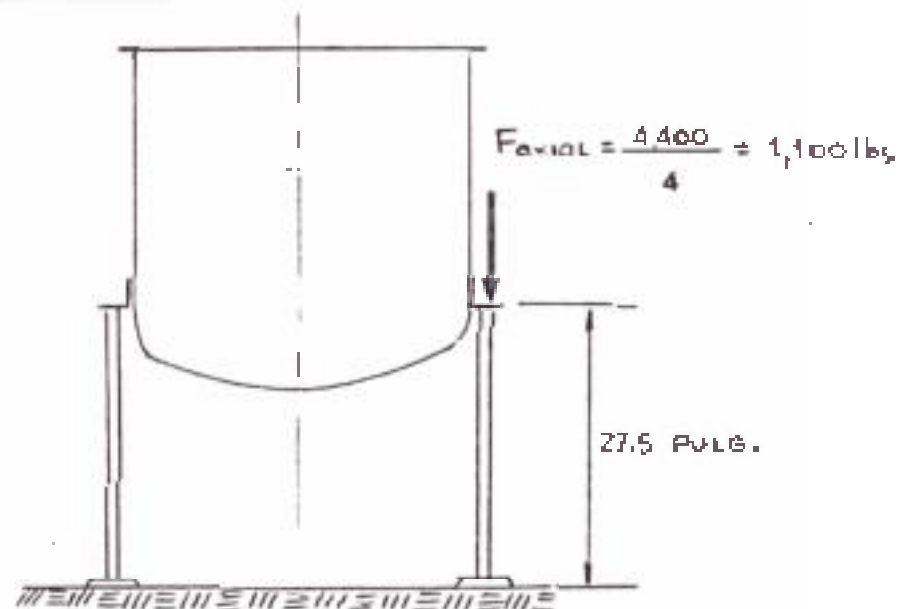
316 cuyos espesores serán:

- Cuerpo : espesor 3/16 pulg.
- Base : espesor 1/4 pulg.

### 3.4.3 Cálculo y Diseño de las Patas de Apoyo:

Para una mayor estabilidad, el tanque de precipitado constará de 04 patas de tubo standard.

Figura No.20: Disposición de las patas de apoyo.



Asumimos un  $\sigma_a = 12,500 \text{ Lb/pulg}^2$

El área del tubo será:

$$A = \frac{1,100}{12,500} = 0.088 \text{ pulg}^2$$

Del Manual del Steel Construction, seleccionamos el tubo redondo standard de 3 pulg de diámetro: - espesor = 0.216 pulg.

- área = 2.23 pulg<sup>2</sup>

- S = 1.72 pulg<sup>2</sup>

- r = 1.16 pulg.

Según fórmulas de la AISC, para :

$$E = 29 \times 10^6 \text{ psi}$$

$$S_y = 36,000 \text{ psi}$$

$$C_c = 126.1 \text{ para aceros}$$

Cálculo de KL/r:

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 27.5}{1.16} = 23.7 < C_c$$

Se usará la siguiente fórmula:

$$S_{perm} = \frac{\left[ 1 - \frac{(KL/r)^2}{2 C_c^2} \right] S_y}{\frac{5}{3} + \frac{3KL/r}{8C_c} + \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} \quad (15)$$

Reemplazando y efectuando operaciones:

$$S_{perm} = 20,455 \text{ Lb/pulg}^2$$

Luego:  $F_{adm} = S_{perm} \times A_{tubo}$

Reemplazando:  $F_{adm} = 45,615 \text{ Lbs}$

Como vemos esta fuerza es mayor que la actuante.

### 3.4.4 Selección del Sistema de Agitación:

Se necesitará un agitador que tenga una velocidad de 100 RPM según Cabezudo S.G. "Extracción de Colorantes a partir del Achiote". Lima - Perú 1973 (Tesis de Ingeniería en Industrias Alimentarias - Universidad Nacional Agraria).

#### 1) Cálculo de la Potencia:

Del Manual del Ingeniero Químico, "Potencia que necesitan los Mezcladores de Líquidos".

$$P = 24 C L^3 S N^3 D^{1.1} W^{0.3} H^{0.6} \quad (16)$$

donde:

P = potencia absorbida (CV)

C = coeficiente de potencia

D = diámetro del recipiente (mts)

H = altura del líquido (mts)

L = longitud de la paleta (mts)      L = D/3

N = velocidad de la paleta (RPS)

S = densidad del líquido (Kg/m<sup>3</sup>)

W = ancho de la paleta (mts)      W = L/6

Z = viscosidad absoluta (Kg/m-seg)

Para hallar "C" hay que calcular  $\frac{L^2 N S}{Z}$  y entrar al gráfico  $L^2 NS/Z$  vs C.

Del Manual del Perry:

para: L = 0.7 mts

N = 100/60 RPS

S = 1,000 Kg/m<sup>3</sup>



$$Z = 10^{-3} \text{ Kg/m-seg.}$$

Reemplazando estos valores y entrando al gráfico  $L^2NS/Z$  vs  $C$ , se tiene:

$$C = 0.000019$$

Ahora, para el cálculo de la potencia, reemplazamos en la fórmula (16) los siguientes

valores:  $D = 1.524$  mts

$E = 1.2$  mts

$W = 0.09$  mts

se tendrá:  $P = 1.039$  HP

## 2) Selección del Moto-reductor:

Para el tanque precipitador, el motor de 1.2 HP es el más cercano, tomando en cuenta la eficiencia de éste. Luego, seleccionamos el reductor "Hidromar" modelo 3 HV 17.5/80b con motor eléctrico de 1.2 HP y 1,700 RPM con una velocidad de salida de 97 RPM.

## 3) Selección del Agitador:

Del Manual del American Institute of Chemical Engineers (AICRE), Equipment testing Procedure for Mixing Equipment.

El procedimiento es el siguiente:

Calculamos el número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{L^2 N S}{\mu} \quad (17)$$

donde:  $L$  = diámetro de las paletas (mts)

N = velocidad de rotación (rad/seg)

S = densidad del líquido (Kg/m<sup>3</sup>)

$\mu$  = viscosidad (Pa-sec)

$$N_{Re} = \frac{0.159 (0.7)^{2.97} \times 1,000}{60 \times 10^{-3} \times 9.8067}$$

$$N_{Re} = 12,844$$

Número Específico de Potencia:

$$N_p = \frac{P \times g_c}{SN^{3.5} L^5} \quad (18)$$

donde: P = potencia (Kw)

S = densidad (Kg/m<sup>3</sup>)

N = velocidad de rotación (RPS)

L = diámetro de las paletas (mts)

$$g_c = 2.48 \times 10^5$$

reemplazando estos valores en la fórmula (18)

y operando se tendrá:

$$N_p = 331$$

luego, de los diferentes tipos de agitadores

lo seleccionaremos de acuerdo al  $N_p$ .

$$\text{Low: } 0.1 < N_p < 0.5$$

for axial flow impellers, propellers high efficiency impeller, etc.

$$\text{Middle: } 0.5 < N_p < 3.0$$

for mixed flow impellers: pitched-blade turbine, simple paddles, etc.

$$\text{High: } N_p > 3.0$$

for radial flow impeller: straight-blade turbines, disk-style turbine, etc.

De esta condición escogemos:

Straight-blade turbine.

Este tipo de agitador es similar al del tanque extractor. En el capítulo 3.1.4 figura + No 14 se muestra la forma de este tipo de agitador.

Del libro: "Mezcla" por Uhl Vincent, este tipo de agitadores (turbines), los subdivide en:

- Flat blade.
- Disk flat blade.
- Pitched vane.
- Curved blade.
- Tilted blade, etc.

De estos tipos de agitadores el que de acuerdo a sus características se adapta a nuestras condiciones de trabajo es el tipo Flat-Blade, cuya velocidad periférica de operación está entre los 600 a 900 pies/min. Además, el ancho de la paleta es generalmente de  $1/5$  a  $1/10$  del largo de estas.

#### 4) Cálculo del eje del agitador:

##### a) Por Torsión:

De la fórmula del torque:

$$T = \frac{727.65 \times \text{HP}}{\text{RPM}} \quad (19)$$

Para 1.2 HP y 97 RPM, se tendrá:

$$T = 873.18 \text{ Kg-cm.}$$

Aplicando la siguiente fórmula:

$$T = \frac{\varphi \cdot J \cdot G}{L} \quad (20)$$

donde: L = longitud del eje (cm)

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

$$G = 805,000 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (para aceros)}$$

$\varphi$  = ángulo en radianes.

Luego, reemplazando estos valores en la fórmula No.20 se tendrá:

$$d^4 = \frac{32 \cdot T \cdot L}{G} \quad (21)$$

Asumimos como requisito  $\varphi = 0.35$  por metro de eje (Machine Elements de Dobrorolsky).

Efectuando las operaciones correspondientes se tendrá:

$$d = 1.44 \text{ pulg.}$$

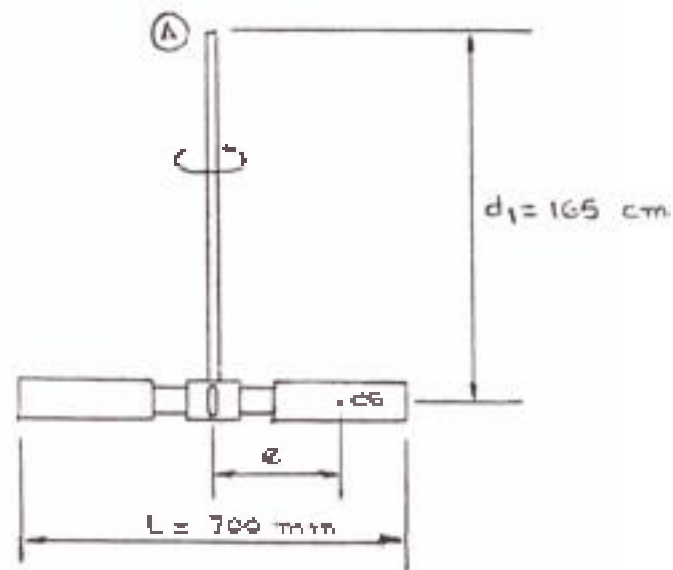
Asumimos:  $d = 1.5$  pulg. en acero inoxidable AISI 316.

b) Por Máximo Esfuerzo Cortante:

Teniendo un torque  $T = 873.18 \text{ Kg-cm}$

$$T = F \times e \implies F = \frac{T}{e} = \frac{873.18}{\frac{330}{10}} = 26.5 \text{ Kg}$$

Figura No.21: Eje del Agitador.



Analizando el eje (ver figura No.21, el extremo superior (sección A) será la más crítica. Luego:

b-1) Momento Flector:

$$M = F \times d_1 = 26.5 \times 165 = 4372.5$$

$$M = 4,372.5 \text{ Kg-cm.}$$

b-2) Momento Torsor:

$$T = 873,18 \text{ Kg-cm.}$$

b-3) Esfuerzo Normal:

$$\sigma_x = \frac{M \cdot e}{I} = \frac{32 M}{\pi d^3} = \frac{44,538}{d^3}$$

b-4) Esfuerzo de Corte:

$$\tau_{xy} = \frac{T \cdot e}{J} = \frac{16 T}{\pi d^3} = \frac{4,447}{d^3}$$

Para el acero  $S_y = 44 \text{ Kg/mm}^2$ , se sabe que el esfuerzo de corte máximo

es:  $S_{sy} = 0.5 S_y = 2,200 \text{ Kg/cm}^2$

$$\tau_{\text{máx}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

Reemplazando:

$$(2,200)^2 = \left( \frac{44,538}{2d^3} \right)^2 + \left( \frac{4,447}{d^3} \right)^2$$

Efectuando:  $d = 2.15$  cm

Asumiremos un eje de acero inoxidable  
AISI con un diámetro:

$$d = 1.5 \text{ pulg.}$$

#### 5) Bastidor del Agitador del Tanque:

El bastidor del agitador será construido de tubos, planchas y ángulos de acero. Para mayores detalles ver el plano No.04

#### 3.4.5 Consideraciones Constructivas:

El tanque precipitador estará anclado sobre una torre construida de perfiles y planchas de acero, como se muestra en la Figura No.4 : Vista Isométrica de una Planta Industrial de Extracto de Achiote en Polvo.

#### 3.5 Selección del Sistema de Bombeo:

Se ha dispuesto la selección de un sistema de bombeo para asegurar la recirculación del extracto por el sistema de tuberías. Estas bombas serán del tipo "Sanitarias" y estarán dispuestas como a continuación se describen.

##### 3.5.1 Bomba de Alimentación de Agua (B1):

Se ha previsto una bomba de alimentación general de agua potable para ser utilizada principalmente en el tanque extractor, lavado del filtro prensa y otros usos auxiliares. Se bombeará agua desde un pozo que tendrá una reserva de agua suficiente para casos de corte de ésta, hasta el tanque extractor y el filtro prensa.

a) Caudales:

- Llenado del tanque extractor  
en 05 minutos (400 Lt/5.min) ..... 80 lt/m
  - Lavado del filtro prensa ..... 35 Lt/m
  - Lavado de tanques ..... 20 Lt/m
  - Margen para ampliaciones ..... 40 Lt/m
- TOTAL = 175 Lt/min

Asumimos una altura máxima de 30 metros de columna de agua debido a desniveles, pérdidas de presión por longitud de tubería y por accesorios.

b) Diámetro de Succión:

Para una velocidad de ingreso de aproximadamente 1 mt/seg. Diámetro de succión de 2.5 pulg con una longitud de 1.5 metros de succión.

c) Potencia de la Bomba:

$$POTENCIA = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{\eta \cdot 76} \quad (22)$$

Asumiendo una eficiencia  $\eta = 0.7$

$$Potencia = \frac{175 \times 30}{60 \times 0.7 \times 76} = 1.64 \text{ HP}$$

Con estos requerimientos, seleccionamos una bomba Alfa Laval sanitaria tipo ALC-1/162 de acero inoxidable con un motor de 3 Kw de potencia.

3.5.2 Bomba de Traslado del Tanque Extractor al Cernidor Manual (B2):

Para acelerar el proceso, se ha utilizado una bomba que trasiega del tanque extractor al cernidor en un período de aproximadamente 05 minutos. Esta bomba trabajará bombeando agua con NaOH al 1% y con extracto de achiote con un caudal de 400 Lt/5 min = 80 Lt/min.

Asumiendo una caída de presión de 10.33 mts de agua debido a desniveles, pérdidas por longitud de tubería y por accesorios. Luego, la potencia de la bomba será:

$$\text{Potencia} = \frac{80 \times 10.33}{60 \times 0.7 \times 76} = 0.25 \text{ HP}$$

Para estas condiciones de operación, seleccionamos una Bomba Centrífuga Alfa Laval, sanitaria tipo FM-0/95 de acero inoxidable de 1.1 Kw de potencia.

3.5.3 Bomba de traslado del Tanque Cernidor al Tanque Precipitador ó Tanques de Extracto (B3):

Para acelerar el proceso, se ha incluido una bomba que trasiega del cernidor manual a los tan



ques de extracto ó en su defecto al tanque precipitador siempre y cuando los tanques de extracto esten llenos. Ambos procesos se deben de realizar en un período de 05 minutos aproximadamente. Por lo tanto el caudal será de 400 Lt. en 05 min = 80 Lt/min.

Asumimos una caída de presión de 20.6 mts de agua. Luego, la potencia de la bomba será:

$$\text{Potencia} = \frac{80 \times 20.6}{60 \times 0.7 \times 76} = 0.52 \text{ HP}$$

La bomba trabajará bombeando agua con NaOH al 1% y extracto de colorante. Con estas condiciones de operación, seleccionamos una Bomba - Centrífuga Alfa Laval Sanitaria tipo FM-O/115 de acero inoxidable de 1.1 Kw de potencia.

Detalles del Sistema de Bombeo se muestra en el Plano No.05

## C A P I T U L O 4

### 4. CALCULO Y SELECCION DEL MOLINO DE MARTILLOS Y DEL FILTRO - PRENSA:

#### 4.1 Diseño del Molino de Martillos:

##### 4.1.1 Generalidades:

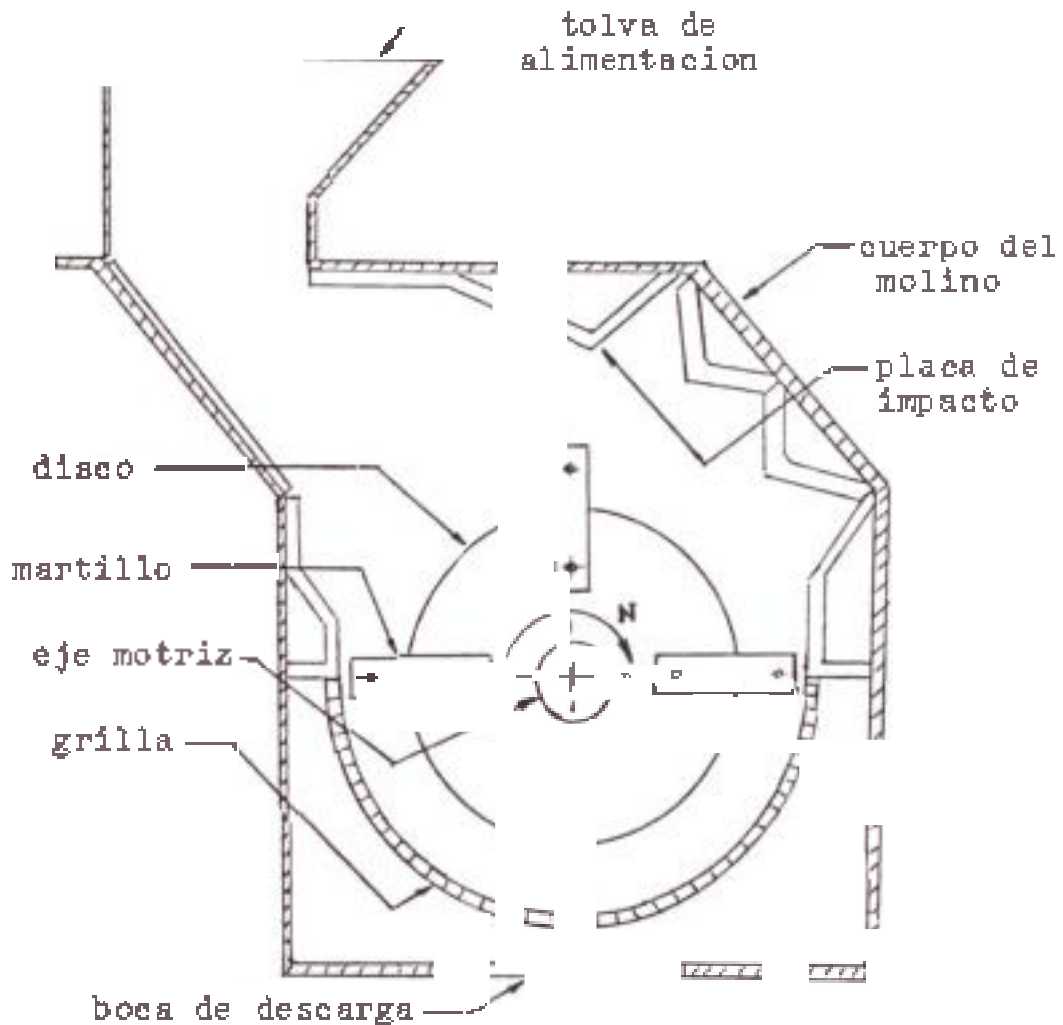
La molienda es una etapa de suma importancia dentro del proceso de producción del Extracto - de Achiote en polvo, pues la calidad de éste se ve reflejada en la fineza de grano obtenida.

De la gran variedad de molinos existentes, los molinos de choque ó impacto como el molino de martillos son los más usados para este tipo de molienda, ya que con estos se obtiene un mejor pulverizado. El Molino de Martillos (ver Figura No.22), es una máquina de percusión que se basa en el Principio de la transformación de la fuerza viva del golpe, en trabajo de trituration, que constituye el resultado de la compresión del cuerpo más allá del límite de elasticidad. Al ingresar los terrones del material, son impactados contra las paredes del bastidor por medio de los martillos.

Dada la consistencia muy delesnable de los terrones, se conseguirá fácilmente deshacer el material previamente seco, en unos cuantos gol-

pes de los martillos, pero lo importante es conseguir la malla deseada para poder obtener la mejor mezcla homogénea posible.

Figura No.22: Molino de Martillos.



#### 4.1.2 Movimiento del Material en el Desintegrador:

Imaginándose un corte de los martillos transversal y paralelo a los discos, como se muestra en la Figura No.22. Suponiendo que las partes - A1, A2, A3, etc (formando parte del martillo A) se mueven en sentido horario y las partes B1, B2, B3, etc a la inversa (forman parte del mar-

tillo B). "w" es la velocidad de ambos discos con sus respectivas distancias  $r_1, r_2, r_3$ , etc, luego las respectivas velocidades son  $r_1w, r_2w$ , etc. La partícula "m" al entrar se encuentra con A1 y es rechazada tangencialmente con  $r_1w$ , en su trayecto choca con B1 y es lanzada tangencialmente sobre A2 con velocidad  $r_2w$ . En el momento del encuentro de la partícula con A2 la velocidad del golpe es:  $V1 = r_1w + r_2w \cdot \cos \alpha_1$ , se puede aproximar  $r_1 = r_2 \cdot \cos \alpha_1$ , luego  $V1 = 2r_1w$ . Analizando los choques con A2, B2, etc, tenemos:

$$V2 = 2r_2w \quad V3 = 2r_3w \quad V4 = 2r_4w.$$

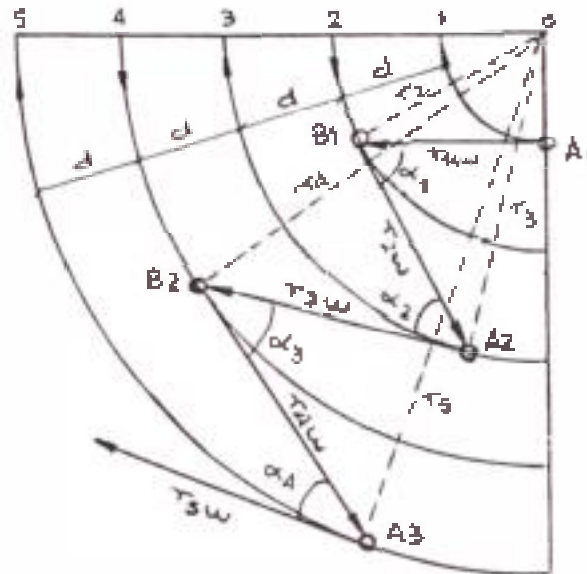
Designando las distancias radiales entre A1, B1; A2, B2; etc por "d" resultará:

$$V1 = 2r_1w ; V2 = 2(r_1+d)w ; V3 = 2(r_1+2d)w ; \text{etc.}$$

Es decir las velocidades del golpe aumentan a medida que la partícula avanza hacia afuera en progresión aritmética de razón "2dw" y por lo tanto crece la fuerza del golpe.

Si la Ley de Velocidades establecida no fuera alterada por pérdida del golpe de algunos martillos (variación de "d"), se podría hacer un cálculo exacto del número de revoluciones del y de "d", para que la partícula se desmenuzara y salga del tamaño uniforme. En la práctica esto no se produce. En la siguiente página se muestra en la Figura No. 22 el movimiento seguido.

Figura No.22: Movimiento del Material en el Molino de martillos.



#### 4.1.3 Relaciones Fundamentales:

##### a) Velocidad Lineal de los Discos con los Martillos:

Para que se produzca la rotura del grano en el momento del golpe, el martillo debe desarrollar una velocidad lineal suficientemente grande. Esta se puede hallar aproximadamente de la Ley de Cantidad de Movimiento de un punto en un cierto tiempo; es igual a la suma de los impulsos de las fuerzas exteriores aplicadas durante el mismo tiempo.

$$m(V2 - V1)$$

donde V1 y V2 son las velocidades de partículas después del golpe. Al penetrar los trozos en la máquina, caen según una vertical y

velocidad horizontal es cero ( $V_1 = 0$ ). Luego los trozos adquieren con el golpe la velocidad  $V_2$  de la fuerza de choque del martillo sobre la partícula ( $Ft_1$ ), " $F$ " es el valor medio de la fuerza instantánea de resistencia de la partícula a la rotura,  $t_1$  es la duración del golpe. Luego:

$$m.V_2 = F.t_1$$
$$V_2 = \frac{F.t_1}{m} \quad (23)$$

b) Acción Trituradora:

La acción trituradora de los martillos se determina por la reserva de la energía cinética en el momento del golpe sobre el trozo de material, lo cual se calcula por:

$$\frac{m.V^2}{2.g} \quad (\text{Kg-m}) \quad (24)$$

4.1.4 Características Fundamentales:

1) Consideraciones Básicas:

El bastidor, refiriéndose al tamaño, está de acuerdo con el tamaño de los martillos.

La boca de alimentación, depende del máximo tamaño de los terrones y el dimensionado de esta parte tendrá en cuenta que estos terrones no sobrepasen de 1/2 pulg de tamaño.

Las paredes del bastidor serán de chapa de acerosoldado y para efecto de disminuir el

desgaste y protegerlo de los golpes de los trozos que se trituran, se les revestirá - con placas de acero empernadas (acero inoxidable AISI 316). El espesor es variable, las paredes en sí serán de chapa de 3/8 pulg reforzadas con nervaduras de plancha del mismo espesor; las placas de impacto serán de 5/8 pulg.

Habrán aberturas para la colocación de - puertas de inspección que permitirán el acceso fácil del cambio de la rejilla y reemplazo de los martillos.

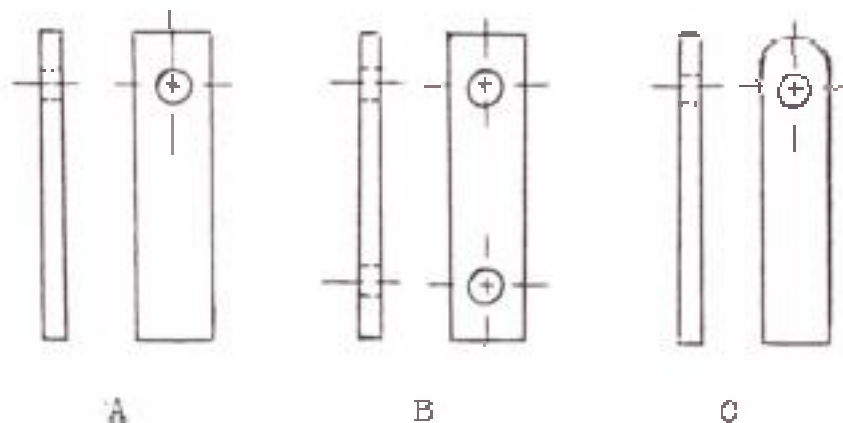
a) Discos:

El número de discos depende del número de martillos a elegir, a veces tienen huecos los martillos a una misma distancia - de la placa de trituración; pero en el presente caso se dispondrán en forma de círculo.

b) Martillos:

Las dimensiones y la forma de los martillos se elige con las propiedades físicas del material y el tamaño de los trozos dentro de la amplia gama de formas y tamaños para martillos, los que se muestran a continuación son los más adecuados para materiales débiles y de poca resistencia.

Figura No.23: Tipos de Martillos.



Ahora, el tipo de martillo B admite la posibilidad de cambiarlo de posición 4 veces a medida que se desgasten cada uno de sus bordes, por esta ventaja, este será el tipo de martillo escogido.

c) Tamices:

Se usan también tamices de acero con perforaciones que estén de acuerdo a la malla que se desea conseguir.

Los tamices delgados son más fáciles de fabricar, el material pasa más fácilmente por los tamices delgados, pero la vida de estos es más corta que los tamices gruesos.

2) Factores de la Trituración:

Son inherentes las características y propiedades del material como por ejemplo:

a) Resistencia Mecánica:

El extracto posee una resistencia mecánica muy pequeña fácilmente desmenuzable. Para poder moler completamente el Extracto se ne-



cesita un Esfuerzo de Compresión de 180 Lb/pulg<sup>2</sup> según: Cabezudo Surca Guillermo, "Extracción de Colorantes a partir del Achiote". Tesis de Titulación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de La Universidad Nacional Agraria.

b) Dureza:

El extracto una vez seco, tiene una dureza muy baja, aproximadamente uno (01) - en la escala de Mohs.

c) Consistencia:

Blanda, propia de este tipo de extractos.

d) Grado de Humedad:

El extracto en polvo sale del deshidratador con una humedad de 5 a 7% aproximadamente. Las características del material influyen en el rendimiento de la máquina.

Son apropiados para estos trituradores ó molinos, materiales que no sobrepasen - el 15% de humedad.

3) Dimensiones del Disco y los Martillos:

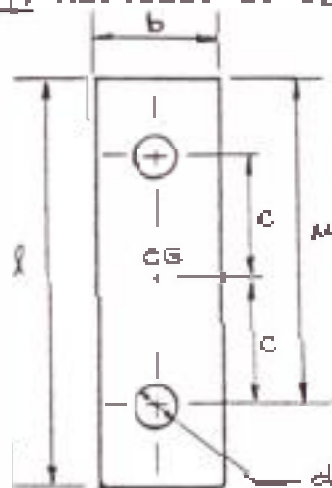
El cuadrado del radio de inercia  $r^2$  del martillo con respecto al punto de suspensión en el disco, es igual al producto de la distancia "c" del centro de gravedad del martillo al eje de su suspensión, por la distancia "u" de este eje al extremo opuesto del -

martillo (Referencia: Waganoff. "Trituración y Molienda"). Más adelante comprobaremos esta afirmación.

Observando esta condición, el centro del golpe sobre la partícula coincide con el centro de oscilación del martillo, es decir, - con el punto de suspensión del mismo en el disco; de esta manera la fuerza del golpe no se transmitirá a la articulación del martillo, ni por consiguiente sobre el árbol y los cojinetes del Molino.

Las dimensiones de los martillos pueden calcularse por la siguiente fórmula para un martillo de 02 aberturas.

Figura No.24: Martillo de 02 aberturas.



$$c^2 + \left( \frac{bl^2}{nd^2} - \frac{l}{2} \right) c - \frac{bl(b^2 + l^2)}{6d^2n} + \frac{d^2}{8} = 0 \quad (25)$$

Para equilibrar dinámicamente el disco de martillos deben ponerse simétricamente.

4) Dimensionado del Disco y los Martillos:

W. Waganoff, en su libro "Trituración y Molienda" recomienda velocidades de rotación entre 1,000 y 1,500 RPM para este tipo de molinos, teniendo en cuenta las características del material. A continuación vamos a asumir las siguientes dimensiones del martillo basándonos en modelos ya hechos.

De la figura No.24, tomamos:

$$l = 6 \text{ pulg.}$$

$$b = 1.75 \text{ pulg.}$$

$$d = 0.5 \text{ pulg.}$$

Reemplazando estos valores en la fórmula No.25, se tendrá:

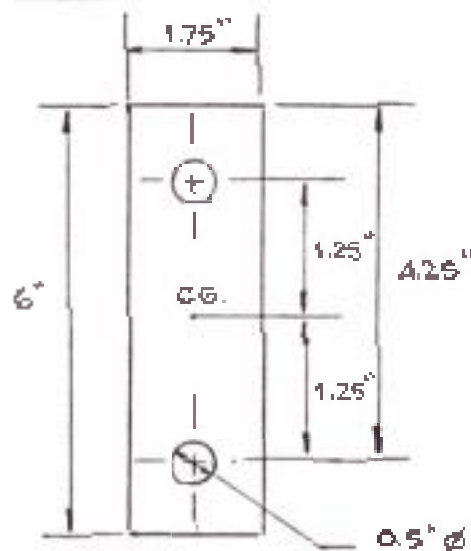
$$c^2 + 77.2 c - 87 = 0$$

Resolviendo la ecuación:

$$c = 1.25 \text{ pulg.}$$

Tomando estos valores se tendrá:

Figura No.25: Dimensionado del Martillo.



A continuación vamos a comprobar la afirmación:  $r^2 = c.u$

De la teoría de momento de inercia para placas, se tendrá:

$I_r$  = momento de inercia del conjunto.

$$I_r = \frac{1}{12} m_1 (a^2 + b^2) - 2 \left[ \frac{1}{2} m_2 R^2 + \frac{1}{2} m_2 c_2^2 \right] \quad (26)$$

con respecto al centro de gravedad.

donde:  $a = 6$  pulg.

$b = 1.75$  pulg.

$R = 0.5/2$  pulg.

$m_1$  = masa del martillo.

$m_2$  = "masa" de los agujeros.

Tomando un espesor de martillo de  $3/8$  pulg y  $\gamma_{\text{acero}} = 787 \text{ Lb/pie}^3$ , se tendrá:

$$m_1 = 6 \times 1.75 \times \frac{3}{8} \times \frac{787}{1728} = 1.8 \text{ Lbs.}$$

$$m_2 = \frac{\pi (0.5)^2}{4} \times \frac{3}{8} \times \frac{787}{1,728} = 0.034 \text{ Lbs.}$$

Luego, reemplazando estos valores en la fórmula No.26, se tendrá:

$$I_r = 6.195 \text{ Lbs-pulg}^2$$

Pero este momento de inercia hay que trasladarlo con respecto al eje de suspensión - del martillo en el disco, luego:

$$I_r = 6.195 - (m_1 - 2m_2) \cdot c^2$$

Reemplazando:

$$I_r = 8.9 \text{ Lb-pulg}^2$$

Luego:  $r = \sqrt{\frac{Ir}{m}}$

para:  $Ir = 8.9 \text{ Lb-pulg}^2$

$m = 1.73 \text{ Lbs.}$

resulta:  $r = 2.27 \text{ pulg.}$  ( $\alpha$ )

Este valor se comprobará con:

$r^2 = c.u$

para:  $c = 1.25 \text{ pulg.}$

$u = 4.25 \text{ pulg.}$

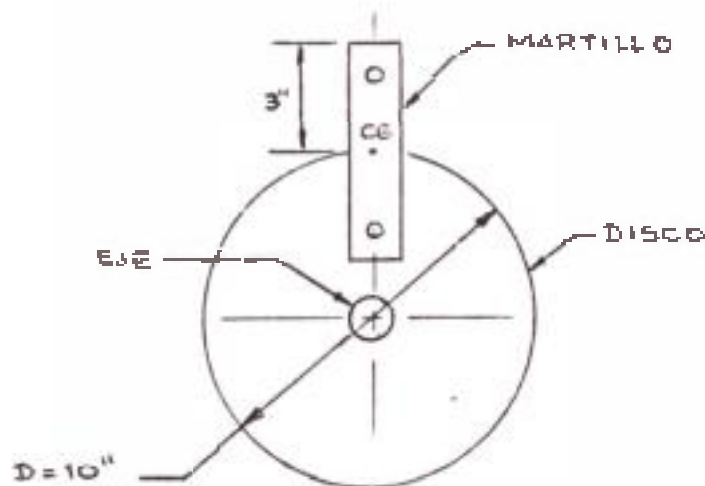
resulta:  $r = 2.30 \text{ pulg.}$  ( $\beta$ )

De ( $\alpha$ ) y ( $\beta$ ) queda demostrada la afirmación que en un principio se mencionó.

Luego, asumimos un diámetro del disco:

$D = 10 \text{ pulg.}$

Figura No.26: Disposición del martillo en el disco.



Espesores:

- Para martillos: 3/8 pulg.
- Para discos: 1/2 pulg.
- Material: plancha de acero inoxidable AISI

5) Capacidad de Alimentación, capacidad de trituración y capacidad de descarga:

a) Capacidad de Alimentación:

Se empleará la siguiente fórmula:

$$Q = 3,600 S.V.u.Y \quad (27)$$

donde: Q = rendimiento horario (Lb/Hr)

S = sección neta de paso (pie<sup>2</sup>)

V = velocidad lineal (pies/seg)

u = coeficiente de aflojamiento del material (0.4 a 0.7), asumimos u = 0.45. Ref: Materials Handling and Processing Equipment "Link-Belt".

Y = peso específico del extracto seco, Y = 62.4 Lb/pie<sup>3</sup>

Considerando que el material cae por caída libre de la tolva de alimentación y considerando una altura de caída de 2 pies.

$$V = V_0 + g \cdot t \quad (*)$$

pero:  $h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$  donde: h = 2 pies.

despejando t de la expresión: t = 0.36 seg.

reemplazando en (\*):

$$V = 5.79 \text{ pie/seg.}$$

Asumiremos una capacidad del molino de 500 Kg/hora. Por lo tanto:

$$Q = 1,100 \text{ Lb/hora}$$

Despejando "S" de la fórmula No.27:

$$S = 0.001879 \text{ pie}^2 = 0.27 \text{ pulg}^2$$

lo cual nos indica que necesitamos una boca de entrada de por lo menos 3/4 pulg de diámetro. Asumimos una boca de entrada de 2 pulg de diámetro.

b) Capacidad de Trituración:

Es necesario hallar el radio "R" equivalente de un cubo sólido para encontrar el efecto volante  $\omega R^2$  del conjunto.

Asumiremos un conjunto de 4 martillos por disco (más adelante se comprobará que es la mejor alternativa). Por lo tanto el volumen de un disco con sus 4 martillos - es aproximadamente:

$$\begin{aligned} \text{Vol}_{\text{conj.}} &= \text{Vol}_{\text{disco}} + 4\text{Vol}_{\text{mart.}} \\ &= 37.7 + 4(3.375) \\ \text{Vol}_{\text{conj.}} &= 51 \text{ pulg}^3 \end{aligned}$$

Luego:

$$\frac{\pi D^2}{4} = 51 \quad D = 8 \text{ pulg.}$$

La energía cinética de rotación almacenada por el conjunto será:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (28)$$

donde:  $m$  = masa del conjunto (tomando 06 discos de 4 martillos c/u)

V = velocidad tangencial (pie/seg)

g = gravedad (32.2 pie/seg<sup>2</sup>).

Luego:  $m = 6(17) + 24(1.537)$

$$m = 138 \text{ Lbs}$$

Asumiremos una velocidad de rotación del conjunto:  $N = 1,200 \text{ RPM}$ , ya que W. Wagnoff, en su libro: "Trituración y Molienda" recomienda velocidades de rotación comprendidas entre 1,000 y 1,500 RPM.

Entonces, se tendrá:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60 \times 12} = \frac{\pi \cdot (8) \cdot 1200}{60 \times 12} = 42 \text{ pie/seg.}$$

Reemplazando estos valores en la fórmula No.28, se tiene:

$$E_c = 3,780 \text{ Lb-pie}$$

Suponiendo que esta energía se va almacenando a lo largo del conjunto (discos + martillos) y que recién al cabo de 02 seg se desarrolla toda esta energía:

Por lo tanto, la potencia que desarrollará el conjunto será:

$$\text{Pot} = \frac{3,780}{2 \times 550} = 3.43 \text{ HP}$$

Esta potencia se debe verificar con la que necesitan los granos de extracto para desintegrarse

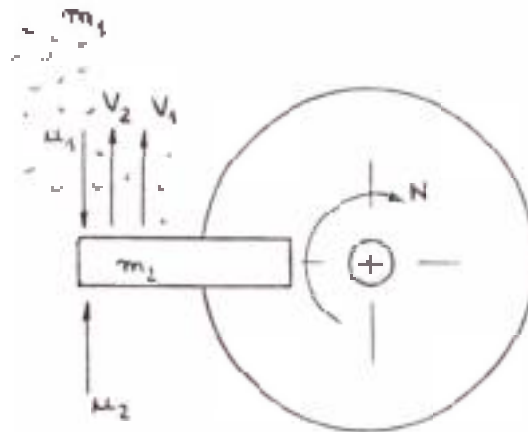
- Potencia que necesitan los granos de extracto para desintegrarse:



Por la teoría de choques:

Suponemos choque elástico, o sea que no intervienen fuerzas externas como la gravedad, rozamiento, etc.

Figura No.27: Velocidad del Material.



donde:  $m_1$  = masa de extracto por golpe.

$m_2$  = masa del martillo.

$u_1$  = velocidad del extracto antes del golpe.

$u_2$  = velocidad tangencial del martillo antes del golpe.

$V_1$  = velocidad del extracto después del golpe.

$V_2$  = velocidad del martillo después del golpe.

Como vamos a tener un flujo de masa de -  
500 Kg/hora, entonces:

$$\dot{m} = 500 \frac{\text{Kg}}{\text{hora}} \times \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}} \times \frac{2.2 \text{ Lb}}{1 \text{ Kg}} = 18.33 \frac{\text{Lb}}{\text{min}}$$

Suponiendo que los 24 martillos golpean

toda la masa que está ingresando y como estos están girando a 1,200 RPM, se tendrá:

$$m_1 = \frac{18.33 \text{ Lb/min}}{24 \text{ golpes} \cdot 1200 \text{ RPM}} = 0.0006364 \text{ Lb/golpe}$$

ya que en un minuto entra 18.33 Lbs y los martillos darán en ese minuto 1,200 golpes por 24 martillos.

Ahora, si el martillo gira a 1,200 RPM, entonces va a dar 1,200 golpes/min, luego la frecuencia de cada golpe será:

$$T = \frac{1}{1,200 \text{ golpes/min}} \times \frac{60 \text{ seg}}{1 \text{ min}} \times \frac{1}{4 \text{ mart.}}$$

$$T = 0.0125 \text{ seg} \quad \text{que quiere decir que}$$

cada 0.0125 seg, un martillo va a dar un golpe. Es lógico que la duración del golpe es menor. Suponemos que sea la tercera parte. Entonces:

$$t = 0.0042 \text{ seg}$$

Por el Principio de la Conservación de la Cantidad de Movimiento, obtenemos:

$$m_1 \cdot u_1 + m_2 \cdot u_2 = m_1 V_1 + m_2 \cdot V_2$$

y de la Conservación de la Energía Cinética, obtenemos:

$$\frac{1}{2} m_1 u_1^2 + \frac{1}{2} m_2 u_2^2 = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2$$

La ecuación de la Cantidad de Movimiento se puede escribir:

$$m_1(u_1 - V_1) = m_2(V_2 - u_2) \quad (29)$$

y la ecuación de la Energía se puede escribir:

$$m_1(u_1^2 - V_1^2) = m_2(V_2^2 - u_2^2) \quad (30)$$

Dividiendo miembro a miembro la ecuación (30) entre la ecuación (29), obtenemos:

$$u_1 + V_1 = V_2 + u_2 \quad (31)$$

donde:  $u_1 = 5.8$  pies/seg

$u_2$  = tomamos la velocidad tangencial máxima y esta se va a realizar en el extremo del martillo.

$$u_2 = \frac{\pi \cdot 16.1200}{60.12} = 84 \text{ pies/seg}$$

$$V_1 = ??$$

$V_2$  = al chocar el martillo con el extracto, no vá a afectar la magnitud de la velocidad.

Por lo tanto:

$$V_2 = 84 \text{ pies/seg.}$$

Luego, la velocidad del extracto después del golpe con el martillo será:

De (31): tomando sentido positivo las velocidades que van hacia arriba:

$$-u_1 + V_1 = V_2 + u_2$$

Despejando  $V_1$  y reemplazando valores, se tendrá:

$$V_1 = 173.8 \text{ pies/seg}$$

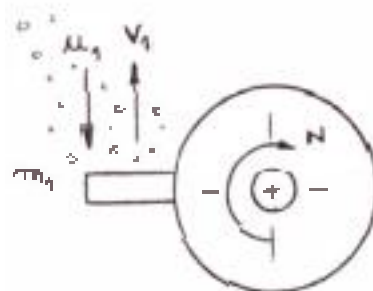
Ahora, definimos "J" como impulso, que viene a ser la variación de la Cantidad de Movimiento que experimenta un cuerpo al chocar contra otro.

Se tiene que el extracto tiene una velocidad de 5.8 pies/seg antes de chocar con el martillo y adquiere una velocidad de 173.8 pies/seg después del impacto.

$$J = m_1(V_1 - u_1) \quad (32)$$

donde:  $V_1$  = velocidad del extracto después del choque = 173.8 pie/sg  
 $u_1$  = velocidad del extracto antes del choque = 5.8 pie/seg.

Figura No.28: Sentido de las velocidades.



Tomando sentido positivo hacia arriba:

$$J = \frac{W}{g} [V_1 - (-u_1)] = \frac{0.0006364}{32.2} [173.8 + 5.8]$$

$$J = 0.0035 \text{ Lb-seg}$$

Y suponiendo un tiempo  $t = 0.0042$  seg.  
que viene a ser el tiempo que están en  
contacto el martillo con el extracto.

La fuerza media durante ese tiempo se  
rá :

$$F = \frac{J}{\Delta t} = \frac{0.0035}{0.0042} = 0.833 \text{ Lb.}$$

Que viene a ser el valor medio de la  
reacción que sufre el martillo al chocar  
con el extracto, y este valor lo transmi  
te al eje produciendo un par.

Luego, la potencia que necesita el mo  
tor del Molino para desintegrar los gra  
nos de extracto será:

$$\text{Pot} = \frac{F.R.RPM.24 \text{ martillos}}{63,000} \quad (33)$$

para:  $F = 0.833$  Lbs.

$R = 8$  pulg. (medido desde el eje mo  
triz al extremo del mar  
tillo)

$$\text{RPM} = 1,200$$

Reemplazando estos valores en (33) se ten  
drá:

$$\text{Pot} = 3.05 \text{ HP}$$

Con lo cual comprobamos que la poten  
cia debido a la inercia del conjunto es  
mayor que la potencia requerida.

Ahora vamos a calcular la fuerza con  
que el martillo golpea al extracto.

- Fuerza Actuante durante el choque:

De la fórmula de Cantidad de Movimiento:

$$F \cdot t = m_2 \cdot V$$

donde:  $F$  = fuerza con que el martillo golpea al extracto.

$m_2$  = masa del martillo que golpea al extracto.

$V$  = velocidad lineal del martillo.

$t$  = duración del golpe = 0.0042 sg.

La parte del martillo que golpea ó que está en contacto con el extracto es la mitad de éste. Entonces:

$$m_2 = 3 \times 1.5 \times 3/8 \times \frac{1}{1,728} \times 787$$

$$m_2 = 0.768 \text{ Lbs}$$

La velocidad " $V$ " será igual a:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{60 \times 12} = \frac{\pi \cdot 8 \times 1,200}{60 \times 12} = 42 \text{ pie/sg.}$$

Luego, la fuerza " $F$ " es igual a:

$$F = \frac{m \cdot V}{t \cdot g} = \frac{0.768 \times 42}{0.0042 \times 32.2} = 238 \text{ Lbs.}$$

Que es la fuerza con la cual el martillo impacta al extracto, garantizando el pulverizado debido a su baja resistencia mecánica.

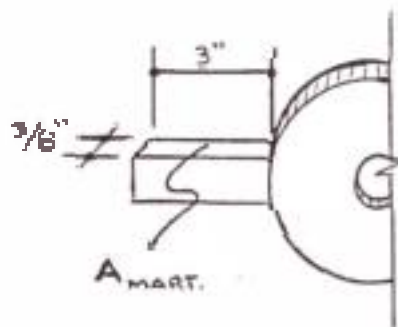
Ahora, como se necesita un Esfuerzo de 180 Lb/pulg<sup>2</sup>, el cual garantiza la rotura

del grano (Referencia: Boletín Informativo de Investigación emitido por la Universidad Nacional Agraria). A continuación vamos a calcular la fuerza mínima que se necesitará y compararla con la fuerza que está actuando.

$$F_{\text{mín}} = \bar{\sigma}_a \times A_{\text{mart}} \quad (34)$$

donde:  $A_{\text{mart}} = 3 \times 3/8 = 1.125 \text{ pulg}^2$

Figura No.29: Detalle del Martillo.



$$\bar{\sigma}_a = 180 \text{ Lb/pulg}^2$$

Reemplazando estos valores en (34), se tendrá:

$$F_{\text{mín}} = 202.5 \text{ Lbs}$$

Comparando este valor con la fuerza actuante, vemos que se cumple la condición:

$$F_{\text{act}} > F_{\text{mín}} \quad \text{OK!}$$

Luego, analizando el procedimiento de cálculo vemos que si trabajamos con RPM menores de 1,200, la fuerza actuante en el martillo no será suficiente como para garantizar la rotura del grano (como a conti-

nación se mostrará). Ahora, si trabajamos con RPM mayores de 1,200 vá a generar un aumento en la potencia del motor, lo cual resulta anti-económico.

A continuación se muestra la variación de los diferentes parámetros que intervienen en el cálculo:

1) Variando las RPM.

2) Disminuyendo el número de discos.

1) Para  $N = 1,000$  RPM.

- Masa extracto por golpe: 0.00076 Lb.

- Energía Cinética: 2,625 Lb-pie.

- Potencia debido a la Energía Cinética: 2.38 HP.

- Fuerza de reacción que sufre el martillo al romper el grano: 0.586 Lb.

- Potencia necesaria para romper el grano: 2.19 HP.

- Fuerza actuante con que el martillo golpea al extracto: 188 Lbs.

Comentario:

Vemos que para  $N = 1,000$  RPM no cumple ya que la fuerza actuante con que el martillo golpea al extracto no es suficiente, ya que la fuerza mínima que garantice la rotura del grano de extracto es de 202.5 Lbs.

2) Usando 05 discos de 4 martillos c/u:

- Masa del conjunto: 115.75 Lbs.



- Velocidad tangencial: 42 pie/seg.
- Masa de extracto por golpe: 0.000763 Lbs.
- Energía Cinética: 3,170 Lb-pie.
- Potencia debido a la Energía Cinética: 2.88 HP.
- Fuerza de reacción que sufre el martillo al romper el grano: 1.00 lbs.
- Potencia que necesita el motor del molino para romper el grano: 3.05 HP.

Comentario:

Vemos que cuando se usa 05 discos no cumple ya que se necesita una potencia de 3.05 HP para desintegrar el extracto, y la potencia debido a la Energía Cinética no es suficiente ya que ésta es igual a 2.88 HP.

Ahora la potencia del motor que necesita el molino con una eficiencia de 90% es:

$$\text{Pot. Motor} = \frac{3.43}{0.9} = 3.8 \text{ HP}$$

c) Capacidad de Descarga:

Vemos que la capacidad de trituración es suficiente como para procesar los 500 Kg/hora. Entonces, para el cálculo de la capacidad de descarga tomaremos este valor.

De la fórmula:

$$Q = 3,600 S.V.\gamma \quad (35)$$

donde:

$$Q = 500 \text{ Kg/hora} = 1,100 \text{ Lb/hora}$$

S = sección neta de paso.

V = velocidad lineal (pie/seg)

En el proceso de trituración del extracto, al ser impactado por el martillo, lo lanzará hacia las paredes del molino y cae por caída libre. Si tomamos una altura de caída de 2 pies:

$$V = 5.8 \text{ pies/seg.}$$

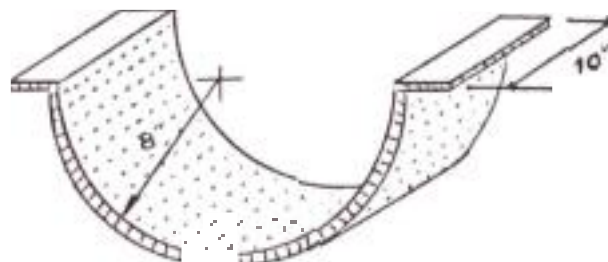
$$\gamma = 62.4 \text{ Lb/pie}^3$$

$$\gamma = \text{eficiencia del molino} = 80\%$$

Reemplazando estos valores en (35), y despejando "S", se tendrá:

$$S = 0.00105 \text{ pies}^2$$

Figura No.30: Dimensiones de la Grilla.



Desarrollando el semi-círculo que forma la grilla, se tendrá un área de  $638 \times 254 \text{ mm}^2$ , y sabiendo que tendrá agujeros de:

$\phi = 2.5 \text{ mm}$ , espaciados entre sí  $10 \text{ mm}$ .

Por lo tanto se tendrá: 1,260 agujeros.

El área de salida será:

$$S_r = \frac{\pi \cdot (2.5)^2}{4} \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(25.4)^2 \text{ mm}^2} \times \frac{1 \text{ pie}^2}{(12)^2 \text{ pulg}^2} \times 1260$$

$$S_r = 0.066 \text{ pie}^2$$

Con lo cual, vemos que estamos holgados - en la descarga, ya que:

$$S_r > S \quad \text{OK!}$$

#### 4.1.5 Selección del Motor del Molino y del Sistema de Transmisión:

##### 1) Selección del Motor del Molino:

De los catálogos Delcrosa, seleccionamos el motor NV 100 L4 con 4.8 HP y 1,740 RPM.

Ahora, como necesitamos una velocidad de salida de 1,200 RPM, vamos a calcular la reducción por medio de fajas en "V".

##### 2) Cálculo de la Transmisión de fajas en "V":

De "Diseño de Elementos de Máquinas" por Horí Asano, tenemos:

- De la tabla No.1, el motor eléctrico, se puede decir que es de clase 1, el factor de servicio será 1.3

La potencia de diseño será:

$$HP_d = 3.8 \times 1.3 = 4.94 \text{ HP}$$

- De la figura No.1 y con 4.94 HP y 1,740 RPM se tiene: Sección de la faja: "B"
- Relación de transmisión:

$$m_g = \frac{1,740}{1,200} = 1.45$$

- De la tabla No.3, teniendo en cuenta los diámetros recomendados y mínimos de la polea de menor diámetro, escogemos de la Tabla No.4 (poleas standares para fajas en "v"):

$$d = 4.8 \text{ pulg.}$$

El diámetro de la polea menor será:

$$D = 4.8 \times 1.45 = 6.96 \text{ pulg.}$$

Escogemos:  $D = 7 \text{ pulg.}$

- Asumiendo una distancia entre centros:  $c = 25 \text{ pulg.}$ , teniendo en cuenta la altura de la mesa donde irá apoyado el molino, además irá anclado en una repisa cerca del suelo. Pero "c" debe cumplir:

$$c \geq \frac{D + 3d}{2} \quad \text{y} \quad c \geq D$$

Verificando con  $c = 25 \text{ pulg.}$ , cumple ambas condiciones. Luego, el cálculo de la longitud aproximada de la faja utilizando la fórmula será:

$$L = 2c + 1.65(D+d)$$

Efectuando:

$$L = 69.47 \text{ pulg.}$$

De la tabla No.7, la longitud standard más próxima será B68, con una longitud de paso de 69.8 y  $K_1 = 0.95$ .

A continuación, calculo la distancia entre centros correcta por medio de la fórmula:

$$L = 2c + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4c} \quad (36)$$

Despejando "c" de (36) y reemplazando valores, se tendrá:

$$c = 25.4 \text{ pulg.}$$

- Factor de corrección por ángulo de contacto:  $(D - d)/c = (7.0 - 4.8)/25.4 = 0.08$

De la tabla No.5:

$$K_\theta = 0.99$$

- Potencia por faja:

De la tabla No.9 con 1,740 RPM y 4.8"

$$\text{HP/faja} = 4.01$$

- Potencia adicional por relación de transmisión. De la tabla No.6, para sección "B", 1.45 de relación de transmisión y 1,740 RPM.

$$\text{HP}_{ad} = \frac{0.03303 \times 1,740}{100} = 0.57$$

Luego la potencia que puede transmitir para las condiciones dadas:

$$\text{HP/faja} = (4.01 + 0.57) 0.95 \times 0.99$$

$$\text{HP/faja} = 4.30$$

- El número de fajas necesario será:

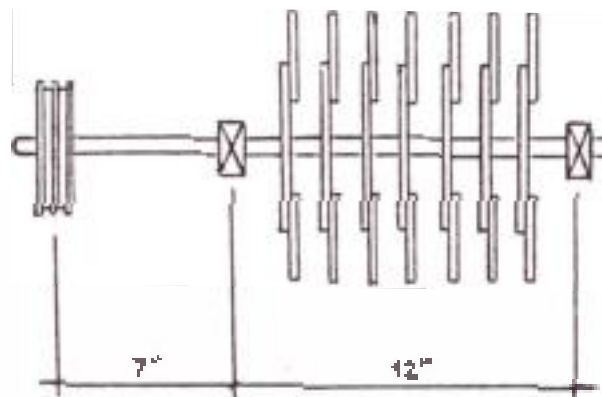
$$\text{No. de fajas} = \frac{4.94}{4.30} = 1.148$$

- Conclusión:

Usar 02 fajas B68 con poleas de 7 y 4.8 pulg. de diámetro. Distancia entre centros:  $c = 25.4$  pulg.

4.1.6 Cálculo del diámetro del eje del Molino:

Figura No.31: Eje motriz.



Condiciones:

Eje de acero inoxidable AISI 316.

-  $S_y = 40,000$  psi

-  $S_u = 65,000$  psi

- Probabilidad de falla: 0.1%

Referencia: Manual del Ing. Mecánico de Marks.

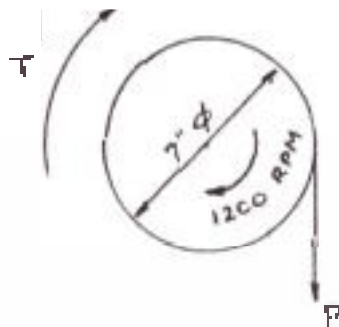
Solución:

Las poleas transmitirán la potencia del motor. Considerando un peso de polea de 50 Lbs.

De la figura No.32:

$$T = \frac{63,000 \times 3.8}{1,200} = 200 \text{ Lbs-pulg}$$

Figura No. 32: Fuerza que actua en la polea.



$$P = \frac{200}{\left(\frac{7}{2}\right)} = 57.2 \text{ Lbs}$$

1) Diagrama de Cuerpo Libre:

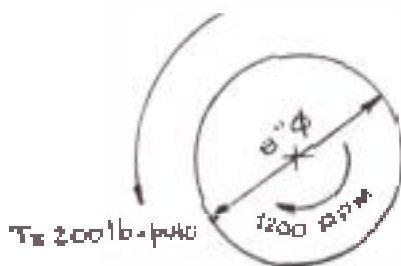


2) Fuerza en los Martillos:

Considerando un peso del conjunto (discos + martillos) de 138 Lbs. Esta masa la vamos a reemplazar por un disco cuyo diámetro será:

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = 51 \implies D = 8 \text{ pulg.}$$

$$T = \frac{63,000 \times 3.8}{1,200} = 200 \text{ Lb-pulg}$$



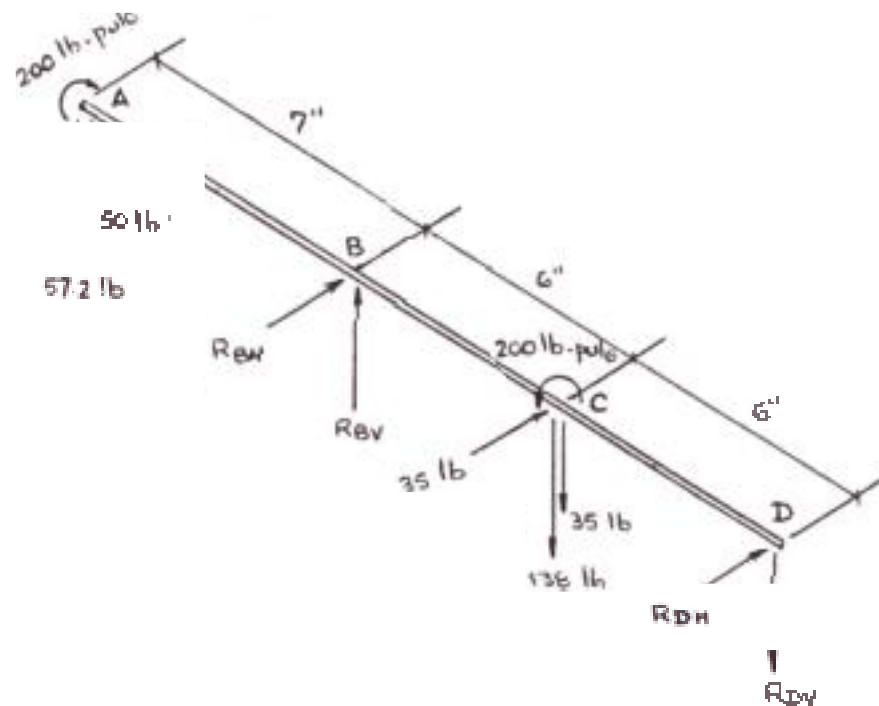
$$P = \frac{200}{\left(\frac{8}{2}\right)} = 50 \text{ Lbs.}$$

3) Diagrama de Cuerpo Libre:

Considerando la fuerza "P" como la reac-

ción del material (extracto seco) a la molienda con un ángulo de inclinación de  $45^\circ$  con respecto a la horizontal.

Figura No. 33: Diagrama de Cuerpo libre del eje.



4) Cálculo de las reacciones:

a) Plano horizontal:

$$\Sigma F_H = 0: \quad R_{BH} + 35 + R_{DH} = 0$$

$$R_{BH} + R_{DH} = -35 \quad (1)$$

$$\Sigma M_B = 0 + -35 \times 6 - R_{DH} \times 12 = 0$$

$$R_{DH} = -17.5 \text{ Lbs.}$$

$$\text{En (1): } R_{BH} - 17.5 = -35$$

$$R_{BH} = -17.5 \text{ Lbs.}$$

b) Plano Vertical:



$$\sum F_V = 0: R_{BV} - 57.2 - 50 - 35 - 138 = R_{DV}$$

$$R_{BV} - R_{DV} = 280.2 \text{ Lbs.} \quad (2)$$

$$\sum M_B = 0 \quad (+)$$

$$-(50 + 57.2)7 + (138 + 35)6 + 12.R_{DV} = 0$$

Efectuando:  $R_{DV} = -24 \text{ Lbs.}$

En (2):  $R_{BV} + 24 = 263.2$

$$R_{BV} = 239.2 \text{ Lbs.}$$

5) Cálculo de los Momentos Flectores:

a) Plano Vertical: (+)

$$M_{AV} = M_{DV} = 0$$

$$M_{BV} = -(57.2+50)7 = -750.4 \text{ Lb-pulg.}$$

$$M_{CV} = -(57.2+50)13 + 239.2 \times 6 = 41.6 \text{ Lb-pg.}$$

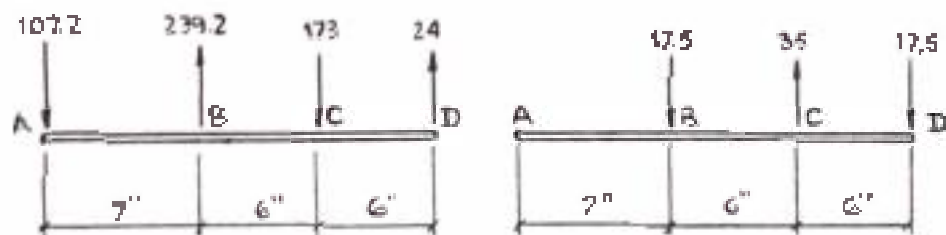
b) Plano Horizontal: (+)

$$M_{AH} = M_{DH} = 0$$

$$M_{BH} = 0$$

$$M_{CH} = -17.5 \times 6 = -105 \text{ Lb-pulg.}$$

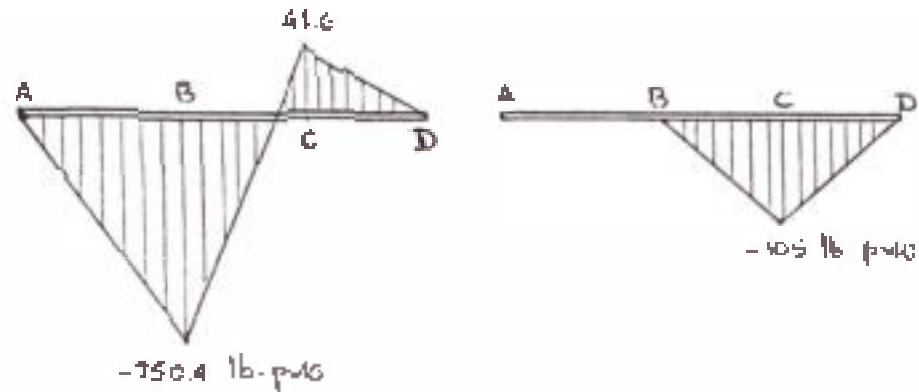
Figura No. 34: Diagrama de Cargas.



Plano Vertical

Plano Horizontal

Figura No.35: Diagrama de Momentos Flectores.

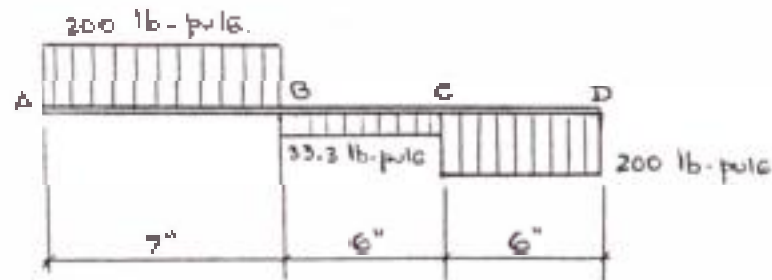


Plano Vertical

Plano Horizontal

6) Diagrama de Torques:

Figura No.36: Diagrama de Torques.



7) Sección Crítica:

Analizando los diagramas de momentos y torques, vemos que la sección "B" es la más crítica.

$$M_{BR} = 750.4 \text{ Lb-pulg}$$

$$T_{BR} = 200 \text{ Lb-pulg.}$$

8) Criterio de Falla por Fatiga - Criterio de Goodman Máxima Energía de Distorsión:(2 Met.)

- Esfuerzo de Flexión:

$$\sigma_{xa} = \frac{M_{BR} \cdot c}{I} = \frac{32 \times 750,4}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{7,644}{d^3}$$

- Esfuerzo de Torsión:

$$\tau_{xym} = \frac{T_{BR} \cdot c}{J} = \frac{16 \times 200}{\pi \cdot d^3}$$

$$\tau_{xym} = \frac{1,019}{d^3}$$

- Cálculo de los Esfuerzos de Trabajo:

$$\sigma_a = 1,6 \times 1,9 \sigma_{xa}$$

$$\sigma_a = 1,6 \times 1,9 \times \frac{7,644}{d^3} = \frac{23,238}{d^3}$$

$$\sigma_m = \sqrt{3} \cdot \tau_{xym} = \frac{1,765}{d^3}$$

- Cálculo del diámetro del Eje:

Existen 02 alternativas para realizar el cálculo según este método. A continuación veremos estas 02 alternativas :

- Cálculo del límite de fatiga correcto ( $S_e$ )

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot S'_e \quad (37)$$

Para aceros:

$$S'_e = 0,5 S_u \quad \text{si } S_u \leq 200,000 \text{ psi.}$$

9) Factores modificativos del Límite de Fatiga:

Del folleto: "Factores modificativos del -

límite de fatiga" preparado por el Ing. Ronald Cueva:

a) Acabado superficial ( $K_B$ ):

$$S_u = 65,000 \text{ psi.}$$

De figura 6.3  $K_B = 0.9$  (sup. rectificada)

b) Factor de Tamaño ( $K_D$ ):

Supongo:  $1" < d < 2"$  (luego se verifica)

Tabla 6.01  $K_D = 0.80$

c) Factor de Confiabilidad ( $K_C$ ):

$$K_C = 1 - 0.8 D$$

Tabla 6.02  $D = 3.1$  probabilidad 0.1%

$$K_C = 0.752$$

d) Factor de Temperatura ( $K_T$ ):  $K_T = 1.0$

e) Factor de efectos varios ( $K_e$ ):  $K_e = 1.0$

- Valor del Límite de Fatiga Correcto:

Reemplazando estos valores en (37), se tendrá:

$$S_e = 17,597 \text{ psi.}$$

10) Cálculo por Fatiga:

Asumimos un factor de seguridad:  $N_f = 1.5$

$$\frac{1}{N_f} = \frac{\sigma_m}{S_u} + \frac{\sigma_a}{S_e} \quad (38)$$

Reemplazando valores en (38):

$$\frac{1}{1.5} = \frac{1,765}{65,000 d^3} + \frac{23,238}{17,597 d^3}$$

De donde:  $d = 1.26 \text{ pulg.}$

11) Cálculo por Fluencia:

Asumimos un factor de seguridad:  $N_y = 1.5$

$$N_y = \frac{S_y}{\bar{\sigma}_m + \bar{\sigma}_a}$$

$$1.5 = \frac{40,000}{\frac{1,765}{d^3} + \frac{23,238}{d^3}}$$

De donde:  $d = 0.98$  pulg.

- Definiendo la dimensión del eje:

De ambas alternativas, escogemos el diámetro mayor. Escogemos un eje de acero inoxidable AISI 316 con un diámetro de 2 pulgadas por 22 pulgadas de longitud.

12) Selección de los rodamientos:

Analizando el diagrama de cargas, veremos que el rodamiento "B" es el más cargado:

$$F_V = 248 \text{ Lbs.}$$

$$F_H = 9 \text{ Lbs.}$$

$$F_R = \sqrt{(248)^2 + (9)^2}$$

$$F_R = 248.2 \text{ Lbs.}$$

Vemos que la fuerza radial actuante es:

$F_R = 248.2$  Lbs, y como en nuestro caso no actúan fuerzas axiales, se tiene  $F_A = 0$

Luego:  $\frac{F_A}{F_R} < e$ , se tiene que:  $x = 1$   
 $y = 0$

La carga equivalente será:

$$P = x \cdot F_R + y \cdot F_A$$

$$P = 248.2 \text{ Lbs} = 113 \text{ Kg.}$$

La duración expresada en millones de revoluciones es:

$$L = \frac{60 \times L_n \times N}{10^6} \quad (39)$$

donde:  $N = 1,200 \text{ RPM}$

$$L_n = 10,000 \text{ horas.}$$

Reemplazando estos valores, se tendrá:

$$L = 720$$

- Seguridad de carga:

$$C/P = L^{1/p}$$

para rodamientos de bolas:  $p = 3$ , luego:

$$C/P = (720)^{1/3}$$

de donde:  $C/P = 8.96$

- Capacidad de base dinámica requerida:

$$C = P \times 8.96 = 113 \times 8.96 = 1,013 \text{ Kg.}$$

Luego, de los catálogos de rodamientos rígidos de bolas SKF, seleccionamos los rodamientos teniendo en cuenta que su diámetro interior sea de 40 mm.

Seleccionamos 02 rodamientos No. 6208-2Z para ambos apoyos.

Características:  $D = 80 \text{ mm.}$  ;  $d = 40 \text{ mm.}$  ;

$$C = 2,280 \text{ Kg.} ; \text{RPM}_{\text{máx}} = 10,000$$

#### 4.1.7 Consideraciones Constructivas:

1) El molino de martillos será fabricado en plancha de acero inoxidable AISI 316 con mallas-intercambiables del mismo material de 1/8 - pulgadas de espesor. Constará de 24 martillos de acero MY EXTRA (K450) DIN 1.254245 WCrV7.

Las partes que no estén en contacto con el producto pueden ser de acero estructural de 1/8 pulg, las uniones con soldadura eléctrica se usará electrodos para fierro y acero inoxidable AWS E316-6 ó DIN 8556 E1912eR26, contará con una tolva de alimentación de plancha de 1/16 pulg. de espesor. Para mayores detalles ver el plano No.06

#### 2) Mesa Porta-molino:

Estará hecha de ángulos estructurales de 2"x 2"x 1/4", en donde irá el molino anclado por tornillos. En ésta mesa también irá anclado el motor.

#### 4.2 Selección del Filtro-Prensa:

El filtrado es una de las operaciones más delicadas del proceso; en esta fase se pierde con facilidad abundantes cantidades de colorante, si no se procede con la mayor cautela y precisión.

Como las partículas son pequeñas, se hace necesario filtrar el precipitado a presión, porque de otra manera la operación sería perjudicial, por la pérdida de

tiempo, como por la cantidad de producto que se perdería al quedarse adherido demasiado tiempo a las paredes de la zona filtrante.

El tipo de filtro-prensa más utilizado en la fabricación de extractos para colorantes es el tipo "SIDE FEED", es decir de alimentación lateral. Se recomienda un área filtrante que fluctue entre 75 a 200 pie<sup>2</sup>.

Del catálogo de los fabricantes "DURCO" Filtration Systems Division, utilizaremos la siguiente fórmula para seleccionar la capacidad requerida del filtro:

$$\text{Capacidad Requerida del Filtro (pie}^3\text{)} = \frac{V_g \times \% \text{ sol.} \times P_s}{\% \text{ filt.} \times \gamma} \quad (\infty)$$

donde:  $V_g$  : volumen de líquido suspendido por ciclo en galones = 368.27 Gal.

$\% \text{ sol}$  : % de sólidos en suspensión = 15%

$P_s$  : peso de sólido suspendido = 1.20 Lb/Gal.

$\% \text{ filt}$  : % de sólidos que se quedan en el filtro  
Del catálogo = 21%.

$\gamma$  : densidad de la torta = 62.4 Lb/pie<sup>3</sup>.

Reemplazando valores en ( $\infty$ ), se tendrá:

|   |
|---|
| Capacidad Requerida del Filtro = 7.0 pie <sup>3</sup> |
|---|

Del catálogo de los fabricantes "DURCO" para filtro de la serie 800, escogemos un filtro-prensa de 15 cámaras de 800 x 800 mm<sup>2</sup> cada una. El área efectiva de cámara es de 0.95 m<sup>2</sup> obteniéndose un área total de filtración de:



$$\text{Area total} = 15 \times 0.95 = 14.25 \text{ m}^2$$

#### 4.2.1 Tiempo de Filtrado:

Para obtener el tiempo de filtrado, se necesita conocer la razón de filtrado, que lo obtenemos del "Manual del Ingeniero Químico" de Perry, para extracto de colorantes naturales es de:

$$\text{Razón de Filtrado} = 200 \text{ Lb/pie}^2 - 24 \text{ Hrs.}$$

Entonces, la masa total que puede filtrar - por hora para este tipo de filtro-prensa es:

$$\dot{m} = 14.25 \text{ m}^2 \times \frac{200 \text{ Lb/pie}^2}{24 \text{ Horas}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{2.2 \text{ Lb}} \times \frac{\text{pie}^2}{0.093 \text{ m}^2}$$

$$\dot{m} = 582.43 \text{ Kg/Hora}$$

El producto a filtrar es de 1,394 Kg, luego, el tiempo de filtrado es:

$$T = \frac{1,394}{582.43} = 2.39 \text{ Horas}$$

Considerando el tiempo de carga y descarga:

$$\text{Tiempo de filtrado} = 2.5 \text{ Horas}$$

La presión como máximo es de 4.5 mts de agua y el caudal de la bomba de diafragma es de 100 Lt por Hora; el material filtrante será de lona con tina recolectora de torta de 50 Kg de capacidad.

El filtro-prensa tendrá conexiones y mangueras de 1.5 pulg de diámetro nominal, manómetros

de ingreso y salida. Será construido de acero inoxidable con acabado sanitario y con garruchas para su fácil desplazamiento.

Contará con una bomba de 2.2 HP que servirá para asegurar la recirculación de la sustancia de trabajo.

Detalles de sus dimensiones se muestran en el Plano No.08

## C A P I T U L O 5

### 5. CÁLCULO Y DISEÑO DEL DESHIDRATADOR:

#### 5.1 Parámetros de diseño:

##### 5.1.1 Proceso de secado:

Se recomienda un secador de bandejas para el extracto de achiote, donde:

- El ventilador recircula el aire haciéndolo pasar por el intercambiador de calor, donde es calentado por los gases de la cámara de combustión.
- El aire caliente ingresa a la cámara de secado donde están los carros con bandejas de producto húmedo.
- Hay 02 etapas en el proceso de secado.

Una donde la velocidad de evaporación del agua del producto es elevada, es decir, se evapora toda el agua superficial y visible y una segunda etapa donde se intenta extraer el agua que está dentro de la estructura del producto (humedad interna).

- Para regular el proceso en su primera etapa se cuenta con el control termostático que permitirá variar la temperatura entre 60 y 90 °C y además se podrá variar el aire de renovación, regulando las válvulas de aire adicional y de sangrado.
- Los parámetros óptimos de funcionamiento del secador podrán ser derivados, sólo como conse-

cuencia de un proceso de experiencia previa y que dependerá del clima y zona donde trabaja y de la carga del secador.

#### 5.1.2 Fundamentos teóricos del cálculo de un secador de bandejas:

##### a) Contenido de humedad:

El contenido de humedad de un sólido se expresa en Kg de agua por Kg de sólido seco, debido a que la humedad permanece constante a lo largo del proceso de secado.

##### b) Humedad en el equilibrio:

Es el contenido de humedad de una sustancia que permanece en equilibrio con una presión parcial dada del vapor. Si la humedad del sólido es mayor que la del equilibrio, el sólido se secará hasta alcanzar la humedad de equilibrio, mientras que si su humedad es menor que la del equilibrio, absorberá agua del aire hasta que alcance las condiciones de equilibrio.

Para condiciones dadas del aire, la humedad de equilibrio es función de la naturaleza del cuerpo, del estado de superficie y de la temperatura.

##### c) Humedad Libre:

El exceso de humedad de los sólidos sobre el valor de equilibrio, es el contenido de humedad libre, puesto que el contenido de hu

medad de equilibrio es el límite hasta el que puede secarse hasta el que puede secarse el material, bajo una serie de condiciones determinadas.

La humedad que contenga por encima de este valor es la humedad que puede extraerse por el secado, más no el contenido total de humedad.

d) Mecanismo de Secado:

Toda operación de secado involucra la transferencia de calor y masa simultáneamente: transferencia de calor para evaporar el líquido y transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

En el secado por contacto directo, el calor es suministrado por Convección por aire, por Radiación de la bandeja superior y por Conducción a través del material.

e) Mecanismo de Secado en Bandejas:

La operación de secado no es continua, sino existen dos períodos bien marcados: el período de velocidad constante y el período de velocidad decreciente.

f) Período de Velocidad Constante:

Se caracteriza porque la velocidad de secado es independiente de la humedad del sólido. Durante este período el sólido está tan húmedo que existe una película continua de agua sobre la superficie de secado y el agua

se comporta como si el sólido no existiera.

g) Período de Velocidad Decreciente:

En este período la velocidad de secado experimenta una disminución. El punto en que termina el período de velocidad constante se llama Punto Crítico. El contenido crítico de humedad marca el instante en que el agua líquida que está sobre la superficie es insuficiente para mantener una película continua que cubra toda el área de secado.

Si la humedad inicial del sólido es inferior a la crítica, no aparece el período de vel. cte. La humedad crítica varía con el espesor del material y con la velocidad y por tanto no es propiedad del material. Se determina experimentalmente.

h) Variables Externas:

Las principales variables externas en el secado de sólidos en bandejas son la velocidad, temperatura y humedad del aire, el espesor del lecho y el estado de sub-división del sólido.

Estas variables afectan a la velocidad de secado, principalmente en el período de velocidad constante, debido a que durante este período se elimina la mayor cantidad de humedad del sólido.

i) Tiempo de Secado:

El tiempo total de secado es la suma del

período de velocidad constante  $\theta_c$ , y el período de velocidad decreciente  $\theta_d$ . Además debe agregarse el tiempo muerto  $\theta_m$  requerido para la carga y descarga del secador. Por lo tanto el tiempo total de secado discontinuo ó Batch  $\theta_b$  será:

$$\theta_b = \theta_c + \theta_d + \theta_m \quad (40)$$

### 5.1.3 Datos Experimentales del Secado de la Bixina:

Para dimensionar el secador se han utilizado datos experimentales previos realizados por los Ingenieros Walter Ríos V. y Diana Koshikawa, - quienes evaluaron el proceso de secado con una bandeja en Sabores Globe del Perú S.A. é Itintec, obteniendo los siguientes datos:

- Velocidad del aire: 3.2 m/seg (medida con anemómetro de hilo caliente. Rango de 3 a 6 m/sg).
- Temperatura ambiente: 18 °C.
- Area de bandeja: 0.08 m<sup>2</sup>.
- Temperatura de secado: 60 °C.
- Espesor de torta: 0.015 m.

Experimentalmente se obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la Tabla No.2 que se muestra en la siguiente página.

Tabla No.2: Datos experimentales de secado.

| Tiempo  | Peso de muestra | H <sub>2</sub> O libre  | % agua | contenido de humedad      |
|---------|-----------------|-------------------------|--------|---------------------------|
| t (min) | w (grs)         | wH <sub>2</sub> O (grs) | %      | KgH <sub>2</sub> O/Kgmat. |
| 0       | 330.60          | 279.68                  | 84.60  | 5.49 (X <sub>1</sub> )    |
| 60      | 290.60          | 239.68                  | 82.40  | 4.71                      |
| 120     | 249.80          | 198.88                  | 79.50  | 3.91                      |
| 180     | 213.80          | 162.88                  | 76.00  | 3.20                      |
| 240     | 171.70          | 120.78                  | 70.40  | 2.37                      |
| 300     | 126.90          | 75.98                   | 60.00  | 1.49 (X <sub>0</sub> )    |
| 360     | 96.20           | 45.28                   | 47.00  | 0.89                      |
| 420     | 78.70           | 27.28                   | 35.30  | 0.54                      |
| 480     | 75.30           | 24.38                   | 32.00  | 0.48                      |
| 540     | 60.40           | 9.48                    | 15.70  | 0.19                      |
| 570     | 56.40           | 5.48                    | 9.70   | 0.11                      |
| 590     | 53.89           | 2.97                    | 5.50   | 0.06                      |

1) Análisis de Datos:

a) Regresión:

Se puede lograr una regresión de los puntos obtenidos en la Tabla No.2:

- Intervalo de velocidad constante:

$$0 \leq t \leq 300$$

$$-w = 330.6 - 0.65t$$

derivando:

$$-\frac{dw}{dt} = -0.65$$

donde: w = peso de la muestra (grs)

t = tiempo (minutos)

- Intervalo de velocidad decreciente:

$$300 \leq t \leq 570$$



$$w = 163,304 t^{-1.256}$$

b) Rapidez de Evaporación:

$$- R' = \frac{\text{grs agua evaporada}}{m^2 \times \text{min}}$$

$$- R_c = \frac{\text{Kgs agua evaporada}}{m^2 \times \text{hora}}$$

$$- R_c = R' \times 0.06 \quad (\text{conversión})$$

Contenido de humedad (X) Kg H<sub>2</sub>O/Kg achiote

$$- X = \frac{(w - w_s)}{w_s}$$

$$- R' = - \frac{w_s \cdot dX}{A \cdot dt} = - \frac{1 \cdot dw}{A \cdot dt}$$

donde: A = área de bandeja: 0.08 m<sup>2</sup> (exp)

w<sub>s</sub> = Kg de achiote seco.

Aplicando esta relación para el régimen de evaporación constante, tenemos:

$$R' = - \frac{1}{0.08} \times 0.65 = 8.125 \text{ grs agua/m}^2\text{-min}$$

$$R_c = 0.06 \times 8.125 = 0.4875 \text{ Kg H}_2\text{O/m}^2\text{-Hr}$$

c) Verificación del tiempo de secado:

Con este cálculo se convalida la aproximación del método a utilizarse; así tenemos que el tiempo de secado en el período de velocidad constante está dado por - la fórmula:

$$t_c = - \frac{w_s}{A \cdot R_c} (X_c - X_1) \quad (41)$$

donde:  $w_s$  = peso de la carga seca.

$A$  = área de la bandeja.

$R_c$  = rapidez de evaporación.

$X_c$  = contenido de humedad crítica.

$X_1$  = contenido de humedad inicial.

Luego, reemplazando estos valores en (41), se tendrá:

$$t_c = - \frac{(0.1269 - 0.07598)(1.49-5.49)}{0.08 \times 0.4875}$$

$$t_c = 5.22 \text{ Hrs (313 min)}$$

Que si comparamos este valor con el tiempo real de 300 min. que tomó en el secador experimental al alcanzar la humedad crítica de  $X_c = 1.49$ , partiendo de una humedad inicial  $X_1 = 5.49$ , vemos que se aproximan bastante.

## 2) Condiciones de Trabajo:

Estos valores que a continuación se describen se han tomado de datos experimentales realizados tanto en Itintec como en la Universidad Agraria de la Molina.

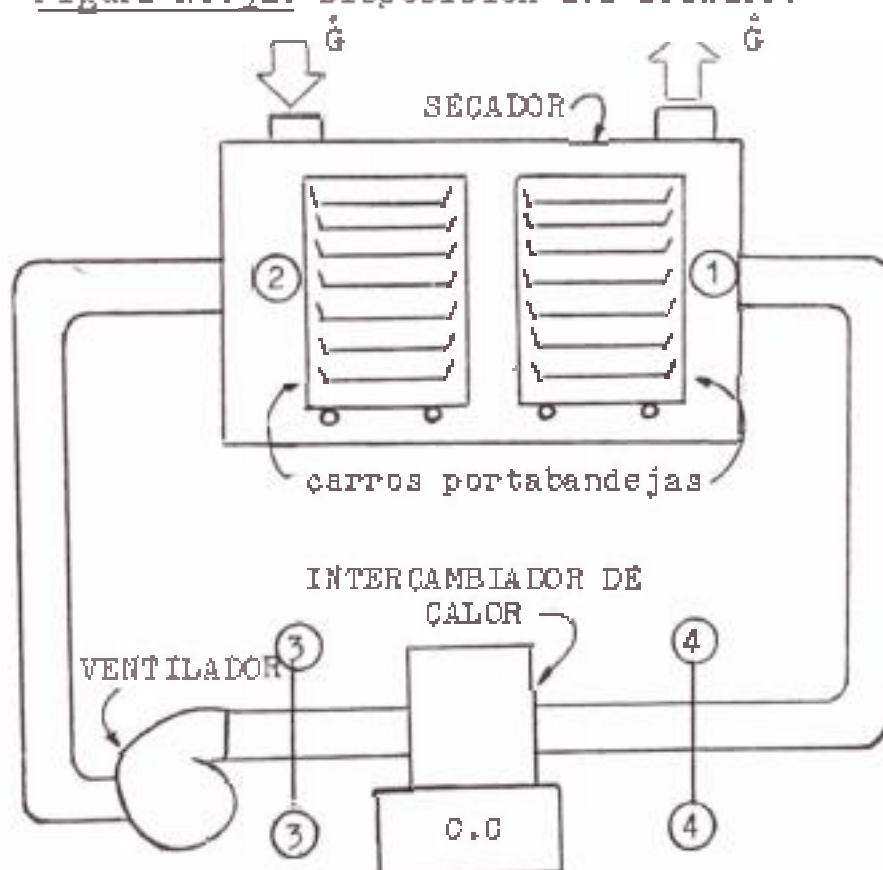
- Dimensión de bandejas:  $0.82 \times 0.85 \text{ m}^2$  (según el Manual del Perry:  $0.37$  a  $0.74 \text{ m}^2$ ).
- Altura de carga:  $0.015 \text{ m}$ .
- Carga especificada:  $650 \text{ Kg}$ .
- Densidad de la torta al ingreso al secador:  $940 \text{ Kg/m}^3$ .

- Humedad inicial: 50 a 84.6 % (experimental)
- Humedad final: 5 a 8%.
- No. de bandejas: 02 carros de 30 bandejas c/u.
- Peso por bandeja: 9.8 Kg.
- Peso neto por carro:  $9.8 \times 30 = 294$  Kg.
- Carga nominal ajustada: 588 Kg/batch.
- Distancia libre entre el borde de la bandeja y la base de la bandeja superior: 38 mm.
- Distancia entre la carga y el borde de la bandeja(para evitar arrastre de material): 05 mm.

## 5.2 Diseño de la Cámara del Deshidratador:

### 5.2.1 Cálculo del flujo de aire del ventilador:

Figura No.42: Disposición del secador.



1) Para condiciones del aire a 60°C:

a) Condiciones Iniciales:

El aire entra a las bandejas a una temperatura de bulbo seco: T.B.S = 60°C y - con una humedad de 0.04 Kg de H<sub>2</sub>O/Kg aire seco (punto 1).

El aire atmosférico ingresa a 15°C y - con un contenido de humedad de 0.01 Kg de H<sub>2</sub>O/Kg de aire seco. La pasta pierde humedad a un ratio de:

$$\text{Ratio de secado} = R_c \times A_{\text{bandeja}} \times N_b$$

donde:  $R_c = 0.4875 \text{ Kg H}_2\text{O}/\text{Hr-m}^2$

$$A_{\text{band}} = 0.85 \times 0.82 \text{ m}^2$$

$$N_b = \text{número de bandejas} = 60$$

Reemplazando estos valores en la ecuación:

$$\text{Ratio de secado} = 20.387 \text{ Kg H}_2\text{O evap}/\text{Hr.}$$

b) Cálculo del Flujo de aire a las bandejas

(Punto 1):

En el punto (1) la humedad del aire será:  
 $Y_1 = 0.04 \text{ Kg H}_2\text{O}/\text{Kg aire seco}$ ,  $T_{G1} = 60^\circ\text{C}$ ,  
el volumen húmedo  $v_H$  es:

$$v_H = (0.00283 + 0.00456 Y)(T_G + 273) \quad (43)$$

Referencia: "Drying of Wet Solids" por -  
Wentz

donde:  $Y = 0.04 \text{ Kg H}_2\text{O}/\text{Kg aire seco}$ .

$$T_G = 60^\circ\text{C}.$$

Reemplazando estos valores en (43), se tendrá:

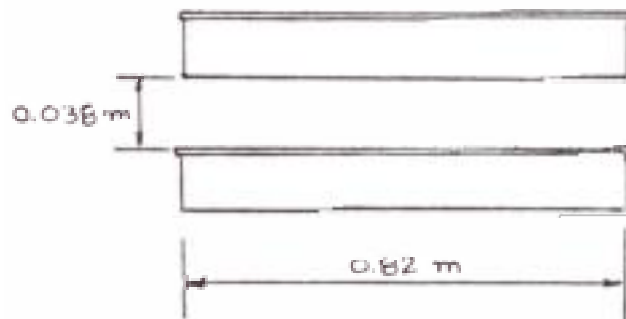
$$v_H = 1.004 \text{ m}^3/\text{Kg aire seco.}$$

El flujo de aire ( $\dot{Q}$ ) a las bandejas es:

$$\dot{Q} = 3 \text{ m/seg} \times 0.82 \times 0.038 \times 15 \times 2 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = 2.8044 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Figura No.37: Disposición de las bandejas.



Y el flujo de masa de aire a las bandejas es:

$$\dot{m}_1 = \frac{\dot{Q}}{v_H} = \frac{2.8044}{1.004} = 2.7932 \frac{\text{Kg aire seco}}{\text{seg}}$$

El ratio de secado es 20.287 Kg H<sub>2</sub>O evap/Hr.

ó 0.005663 Kg H<sub>2</sub>O evap/seg y la humedad absoluta Y<sub>2</sub> en el Punto (2) será:

$$R_s = \dot{m}_1 (Y_2 - Y_1)$$

Despejando:

$$Y_2 = Y_1 + \frac{R_s}{\dot{m}_1} \quad (44)$$

Reemplazando valores en (44), se tendrá:

$$Y_2 = 0.042027 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg aire seco}$$

c) Cálculo del Flujo de masa de aire en el Punto (3):

Suponiendo un secado adiabático en el Diagrama Psicrométrico para aire-vapor de agua, obtenemos: (ver Figura No.38)

$$T_{G2} = 132^{\circ}\text{F} = 55.55^{\circ}\text{C}$$

Las condiciones del aire en el punto (4) y el aire descargado deben ser las mismas que en el punto (1):

- Balance de agua total:

$$G(0.04 - 0.01) = 20.387 \text{ Kg H}_2\text{O evap/Hr.}$$

donde:

G: flujo másico de aire de entrada y salida.

Despejando:

$$G = 679.56 \text{ Kg aire seco/Hora}$$

$$\dot{G} = 0.1887 \text{ Kg aire seco/seg}$$

- Flujo másico de aire en (3):

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{G} = 2.7932 + 0.1887$$

$$\dot{m}_3 = 2.982 \text{ Kg aire seco/seg.}$$

d) Cálculo del Flujo de aire en el Punto (4):

En el Punto (4) el volumen húmedo  $v_{E4}$  es igual a  $1.004 \text{ m}^3/\text{Kg}$  aire seco.

El régimen volumétrico a través del ventilador es:

$$\begin{aligned} Q_4 &= \dot{m}_3 \cdot v_{E4} = 2.982 \cdot 1.004 \\ \dot{Q}_4 &= 2.994 \text{ m}^3/\text{seg} \end{aligned}$$

El porcentaje de aire recirculado es:

$$\% = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_3} \times 100 = \frac{2.7932}{2.982} \times 100 = 93.66\%$$

e) Conclusión:

Con un 5% de margen de seguridad, tendremos:

$$\dot{Q}_{vent} = 3.15 \text{ m}^3/\text{seg}$$

2) Para condiciones del aire a 90 °C:

a) Condiciones Iniciales:

El aire entra a las bandejas a una temperatura de bulbo seco: T.B.S = 90 C y con una humedad  $Y_1 = 0.04 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg aire seco}$  (Punto 1).

El aire atmosférico ingresa a la cámara a 15 °C y con un contenido de humedad de 0.01 Kg H<sub>2</sub>O/Kg aire seco. La pasta pier de humedad a un ratio de:

$$\text{Ratio de secado} = R_c \times A_{band} \times N_b$$

donde:  $R_c = 0.4875 \text{ Kg H}_2\text{O/Hr-m}^2$

$$A_{band} = 0.85 \quad 0.82 \text{ m}$$

$$N_b = \text{número de bandejas} \quad 60$$

Reemplazando estos valores:

$$\text{Ratio de secado} = 20.387 \text{ Kg H}_2\text{O evap/Hr.}$$

b) Cálculo del Flujo de aire a las bandejas

Punto (1):

En el Punto (1) la humedad del aire será:  $Y_1 = 0.04 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg aire seco}$

$T_{G1} = 90^{\circ}\text{C}$ , el volumen húmedo  $v_H$  es:

$$v_{H1} = (0.00283 + 0.00456 Y)(T_{G1} + 273) \quad (45)$$

Reemplazando valores en (45), se tendrá:

$$v_{H1} = 1.0927 \text{ m}^3/\text{Kg aire seco.}$$

El flujo de aire (Q) a las bandejas es:

$$Q = 3 \text{ m/seg} \times 0.82 \times 0.038 \times 15 \times 2 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q} = 2.8044 \text{ m}^3/\text{seg}$$

y el flujo de masa de aire a las bandejas

es:

$$m_1 = \frac{\dot{Q}}{v_H} = \frac{2.8044}{1.0927} = 2.566 \text{ Kg aire/seg}$$

El ratio de secado es 20.287 Kg  $\text{H}_2\text{O}$  evap/Hr.

ó 0.005663 Kg  $\text{H}_2\text{O}$  evap/seg y la humedad ab

soluta  $Y_2$  en el Punto (2) será:

$$R_s = \dot{m}_1(Y_2 - Y_1)$$

despejando:

$$Y_2 = Y_1 + \frac{R_s}{\dot{m}_1} \quad (46)$$

Reemplazando valores en (46), se tendrá:

$$Y_2 = 0.0422069 \text{ Kg } \text{H}_2\text{O}/\text{Kg aire seco}$$

c) Cálculo del Flujo de masa de aire en el

Punto (3):

Suponiendo un secado adiabático en el Diagrama Psicrométrico para aire-vapor de agua, obtenemos:

$$T_{G2} = 189^{\circ}\text{F} = 87.22^{\circ}\text{C}$$



Las condiciones del aire en el Punto (4) y el aire descargado deben ser las mismas que en el Punto (1):

- Balance de agua total:

$$G(0.04 - 0.01) = 20.387 \text{ Kg H}_2\text{O evap/Hr.}$$

donde:

G: flujo másico de aire de entrada y salida.

despejando:

$$G = 679.56 \text{ Kg aire seco/Hora}$$

$$\dot{G} = 0.1887 \text{ Kg aire seco/seg}$$

- Flujo másico de aire en (3):

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{G} = 2.566 + 0.1887$$

$$\dot{m}_3 = 2.755 \text{ Kg aire seco/seg.}$$

d) Cálculo del Flujo de aire en el Punto (4):

En el Punto (4) el volumen húmedo  $v_{R4}$  es igual a  $1.0927 \text{ m}^3/\text{Kg}$  aire seco.

El régimen volumétrico a través del ventilador es:

$$\underline{\dot{Q}_4 = \dot{m}_3 \times v_{R4} = 2.755 \times 1.0927}$$

$$\dot{Q}_4 = 3.010 \text{ m}^3/\text{seg}$$

El porcentaje de aire recirculado es:

$$\% = \frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_3} \times 100 = \frac{2.566}{2.755} \times 100 = 93.14\%$$

e) Conclusión:

Con un 5% de margen de seguridad, tendremos:

$$\dot{Q}_{\text{vent}} = 3.16 \text{ m}^3/\text{seg}$$

### 5.2.2 Cálculo del Calor requerido en el Calefactor:

#### 1) Para condiciones de aire a 60°C:

Hallamos la entalpía del aire en los Puntos (2) y (1) de la carta psicrométrica:

$H_2 = H_1 = 71$  Btu/lb aire seco a la temperatura de saturación adiabática de 104°F (40°C).

La entalpía del aire fresco es  $H_0 = 18$  Btu/lb aire seco. La entalpía del punto (3) se calcula mediante un balance de entalpía.

$$\dot{m}_2 \cdot H_2 + \dot{G} \cdot H_0 = \dot{m}_3 \cdot H_3 \quad (47)$$

donde:

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 = \dot{m} = 2.7932 \text{ Kg aire seco/seg.}$$

$$\dot{G} = 0.1887 \text{ Kg aire seco/seg.}$$

$$\dot{m}_3 = 2.982 \text{ Kg aire seco/seg.}$$

$$H_2 = 71 \text{ Btu/lb de aire} = 164.8 \text{ KJ/Kg aire.}$$

$$H_0 = 18 \text{ Btu/lb de aire} = 41.78 \text{ KJ/Kg aire.}$$

Reemplazando en (47) y despejando  $H_3$  se tiene:

$$H_3 = 157 \text{ KJ/Kg aire seco} = 67.64 \text{ Btu/lb aire}$$

El contenido de humedad se calcula de la siguiente manera:

$$\dot{G} \cdot Y_0 + \dot{m}_2 \cdot Y_2 = \dot{m}_3 \cdot Y_3 \quad (48)$$

Despejando  $Y_3$  y reemplazando valores, se tendrá:

$$Y_3 = 0.04 \text{ Kg H}_2\text{O/Kg aire}$$

y su T.B.S = 127°F = 52.78°C ( ver Figura No 38).

- El calefactor necesita un calor (q):

$$q = \dot{m}_3(H_1 - H_3) \quad (49)$$

donde:  $\dot{m}_3 = 2.982 \text{ Kg aire/seg.}$

$$H_1 = 164.8 \text{ KJ/Kg aire seco.}$$

$$H_3 = 157.0 \text{ KJ/Kg aire seco.}$$

Reemplazando valores en (49), se tendrá:

$$q = 23.26 \text{ Kw}$$

Considerando 25% de pérdidas de calor:

$$q = 29 \text{ Kw}$$

- Cálculo de las temperaturas de rocío del aire:

En los puntos (1), (3) y (4) la temperatura de rocío es de  $98^\circ\text{F} = 36.67^\circ\text{C}$  y en el punto (2) es  $99^\circ\text{F} = 37.22^\circ\text{C}$ .

Figura No. 38: Carta Psicrométrica.

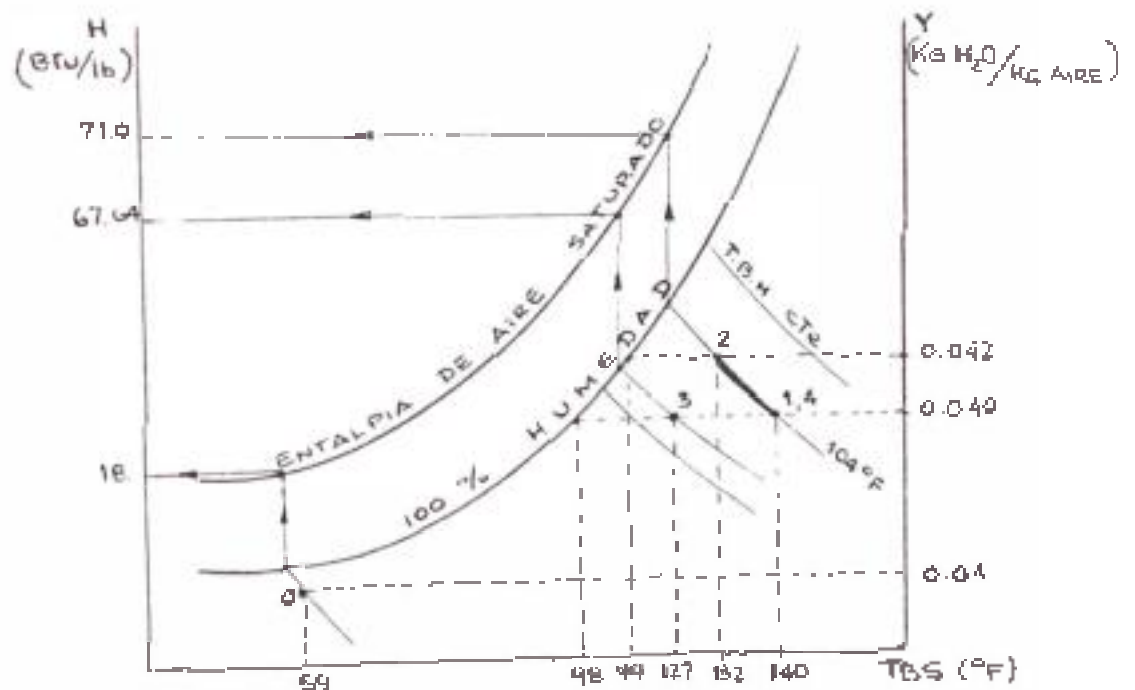


Tabla No.3: Condiciones del aire en el deshidratador a 60 °C.

| PROPIEDADES                                | P U N T O S  |              |                |                |              |
|--|--------------|--------------|----------------|----------------|--------------|
|  | 0            | 1            | 2              | 3              | 4            |
| Humedad Y<br>(Kg H <sub>2</sub> O/Kg aire) | 0.01         | 0.04         | 0.04202        | 0.04           | 0.04         |
| T.B.S. °F<br>(°C)                          | 59<br>(15)   | 140<br>(60)  | 132<br>(55.55) | 127<br>(52.78) | 140<br>(60)  |
| Entalpía H<br>(Btu/Lb)                     | 18           | 71           | 71             | 67.64          | 71           |
| Flujo Másico<br>(Kg aire/seg)              | 0.1887       | 2.793        | 2.793          | 2.982          | 2.982        |
| Temp. Rocío<br>°F (°C)                     | 55<br>(12.8) | 98<br>(36.7) | 99<br>(37.22)  | 98<br>(36.7)   | 98<br>(36.7) |
| Vel. aire<br>(m/seg)                       |              |              | 3.0            |                |              |

2) Para condiciones de aire a 90 °C:

Hallamos la entalpía del aire en los puntos (2) y (1) de la carta psicrométrica:

$H_2 = H_1 = 86$  Btu/Lb aire seco a la temperatura de saturación adiabática de 112 °F igual a 44.44 °C. La entalpía del aire fresco es  $H_0 = 18$  Btu/Lb aire seco.

La entalpía del punto (3) se calcula mediante un balance de entalpía:

$$\dot{m}_2 \cdot H_2 + \dot{G} \cdot H_0 = \dot{m}_3 \cdot H_3 \quad (50)$$

donde:

$$\dot{m}_2 = 2.566 \text{ Kg aire/seg}$$

$$H_2 = 86 \text{ Btu/lb aire} = 199.61 \text{ KJ/Kg aire.}$$

$$= 0.1887 \text{ Kg aire/seg}$$

$$H_0 = 18 \text{ Btu/lb aire} = 41.78 \text{ KJ/Kg aire.}$$

$$\dot{m}_3 = 2.755 \text{ Kg aire/seg.}$$

Despejando  $H_3$  y reemplazando valores en (50), se tendrá:

$$H_3 = 188.78 \text{ KJ/Kg aire.}$$

$$H_3 = 81.6 \text{ Btu/Lb aire.}$$

Como el contenido de humedad es 0.04 Kg  $H_2O$ /Kg aire seco, su T.B.T = 183 °F = 83.9 °C.

El calefactor necesitará un calor (q):

$$q = \dot{m}_3(H_1 - H_3) \quad (51)$$

donde:  $\dot{m}_3 = 2.755 \text{ Kg aire/seg.}$

$$H_3 = 188.78 \text{ KJ/Kg aire.}$$

$$H_1 = 199.61 \text{ KJ/Kg aire.}$$

Reemplazando estos valores en (51), se tendrá:

$$q = 29.84 \text{ Kw}$$

Considerando 25% de pérdidas por calor:

$$q = 37.3 \text{ Kw}$$

- Cálculo de las Temperaturas de Rocío del aire:

En los puntos (1), (3) y (4) la temperatura de Rocío es de 98 °F = 36.67 °C y en el punto (2) es de 99 °F = 37.22 °C.

En la tabla No.4 que se muestra en la siguiente página, se resume todas las condiciones del aire en el deshidratador a - 90 °C.

Tabla No.4: Condiciones del aire en el deshidratador a 90 °C.

| PROPIEDADES                                | P U N T O S  |              |                |                |              |
|--|--------------|--------------|----------------|----------------|--------------|
|  | 0            | 1            | 2              | 3              | 4            |
| Humedad Y<br>(Kg H <sub>2</sub> O/Kg aire) | 0.01         | 0.04         | 0.04221        | 0.04           | 0.04         |
| T.B.S. °F<br>(°C)                          | 59<br>(15)   | 194<br>(90)  | 189<br>(87.22) | 183<br>(83.89) | 194<br>(90)  |
| Entalpía H<br>(Btu/Lb)                     | 18           | 86           | 86             | 81.6           | 86           |
| Flujo Másico<br>(Kg aire/seg)              | 0.1887       | 2.566        | 2.566          | 2.755          | 2.755        |
| Temp. Rocío<br>°F (°C)                     | 55<br>(12.8) | 98<br>(36.7) | 99<br>(37.22)  | 98<br>(36.7)   | 98<br>(36.7) |
| Vel. aire<br>(m/seg)                       |              |              | 3.0            |                |              |

### 5.2.3 Dimensiones y Estructura Interna:

El deshidratador de bandejas estará construído sobre una estructura de ángulos y platinas de fierro y acero, como se indica en el plano No. 10 . El ventilador é intercambiador de calor irán en la parte posterior de la cámara, como se muestra en el plano No.09

### 5.2.4 Cálculo del es esbor de aislamiento en uertas Y paredes:

Consideramos aislante: Lana de Vidrio con un  $k = 0.035 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ , el coeficiente de transferencia de calor para convección al aire libre será:  $h_2 = 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  y en el interior de la cámara  $h_1$

30 W/m<sup>2</sup>·°C debido a la velocidad del aire.

El efecto de las planchas de acero es despreciable ya que tienen alta conductividad térmica.

Luego:

$$\text{Espesor} = k \left[ \frac{(T_1 - T_2)}{h_2(T_2 - T_0)} - \frac{1}{h_1} \right] \quad (52)$$

donde:

T<sub>2</sub> = temperatura de pared exterior = 35 °C.

T<sub>1</sub> = temperatura máxima interna = 150 °C.

T<sub>0</sub> = temperatura ambiente = 15 °C.

Reemplazando valores en (52), se tendrá:

$$\text{Espesor} = 1.54 \text{ pulg.}$$

Asumimos 4 pulg. de espesor de Lana de Vidrio para puertas y paredes.

### 5.3 Selección del Ventilador del Deshidratador:

Con los cálculos obtenidos en 5.2 vemos que necesitamos 3.16 m<sup>3</sup>/seg con una presión estática a nivel del mar (20 °C) de 2 pulg de columna de agua. Seleccionamos un ventilador centrífugo con aletas cerradas hacia atrás (Aleta Air Toil) modelo VRS-622-SWST (AIRTEC).

En su tabla de performance del ventilador, observamos que para 7,590 CFM = 3.16 m<sup>3</sup>/seg y para 2 pulg SP, tenemos 1176 RPM y 3.57 BHP como velocidad y potencia del ventilador respectivamente.

Seleccionamos un motor de 3.6 HP y 3,480 RPM con transmisión por poleas y fajas para reducir su velocidad a los 1,176 RPM.

5.3.1 Selección de la transmisión por fajas en "V":

1) La potencia de diseño será:

$$HP_d = 3.6 \times 1.1 = 3.96 \text{ HP}$$

Del libro "Diseño de Elementos de Máquinas"  
de Horí Asano:

2) De la figura No.1 con 3.96 HP y 3,480 RPM se  
tiene que la sección de la faja es: A

3) Relación de transmisión:

$$m_g = \frac{3,480}{1,176} = 2.96$$

4) De la tabla No.3 la polea más próxima de me-  
nor diámetro es  $d = 2.6$  pulg.

El diámetro de la polea mayor será:

$$D = 2.6 \times 2.96 = 7.67 \text{ pulg.}$$

Si pasamos a la tabla No.3, vemos que la po-  
lea standard más próxima es:  $D = 7.6$  pulg.

5) La longitud aproximada de la faja será:

Primero asumimos una distancia entre centros:

$$c \geq \frac{D + 3d}{2} \quad \text{y} \quad c \geq D$$

Asumimos:  $c = 25$  pulg que cumple ambas condi-  
ciones. Luego, la longitud aproximada de la  
faja será:

$$L = 2c + 1.65(D + d) = 2(25) + 1.65(7.6+2.6)$$

$$L = 66.8 \text{ pulg}$$

De la tabla No.7, la longitud standard más -  
próxima es: A66 con una longitud de paso de  
67.3 pulg. Luego la distancia entre centros  
correcta es:



$$67.3 = 2c + \frac{\pi}{2}(7.6 + 2.6) + \frac{(7.6 - 2.6)^2}{4c}$$

Despejando "c":

|                           |
|---------------------------|
| $c = 25.64 \text{ pulg.}$ |
|---------------------------|

6) Factor de corrección por ángulo de contacto:

$$(D - d)/c = (7.6 - 2.6)/25.64 = 0.195$$

De la tabla No.5:  $K = 0.97$

Factor de corrección por longitud de faja:

De la tabla No.7  $K_L = 0.99$

Potencia por faja, de la tabla No.8 con 3,480 RPM y 2.6 pulg de diámetro.

$$\text{HP/faja} = 1.41$$

Potencia adicional por relación de transmisión:

De la tabla No.6, para sección A, 2.96 de relación de transmisión y 3,480 RPM:

$$\text{HP}_{ad} = \frac{0.01618 \times 3,480}{100} = 0.563$$

Luego, la potencia que puede transmitir para las condiciones dadas será:

$$\text{HP/faja} = (1.41 + 0.563) \times 0.99 \times 0.97$$

$$\text{HP/faja} = 1.89$$

7) El número de fajas necesario será:

$$\text{No. de fajas} = 3.96/1.89 = 2.1$$

$$\text{No. de fajas} = 03 \text{ fajas.}$$

8) Conclusión:

Usar 03 fajas A66 con poleas de 2.6 pulg y 7.6 pulg de diámetro con distancia entre

centros:  $c = 25.64$  pulg.

#### 5.4 Cálculo y diseño del Intercambiador de Calor:

Este intercambiador será del tipo haz de tubos y co-  
raza de flujo cruzado.

1)  $T_{ge}$  (Temperatura de los Gases a la entrada del inter-  
cambiador ó salida de la Cámara de Combustión)

$$\dot{m}_g C_{pg} (T_{ge} - T_{gamb}) = \dot{m}_c \cdot P_c \cdot \eta_{c.a. \text{ comb}}$$

Despejando  $T_{ge}$  de la ecuación:

$$T_{ge} = T_{amb} + \frac{P_c \cdot \eta_{c.a. \text{ comb}}}{rg/c \times C_{pg}} \quad (53)$$

donde:

$T_{amb}$  : temperatura ambiente =  $15^\circ\text{C}$ .

$P_c$  : poder calorífico del combustible = 10,000  
Kcal/Kg.

$\eta_{c.a. \text{ comb}}$  : eficiencia de la cámara de combustión =  
0.90

$rg/c$  : relación gas-combustible = 37.5

$C_{pg}$  : calor específico de los gases = 0.26  
Kcal/Kg- $^\circ\text{C}$

Reemplazando estos valores en (53), se tendrá:

$$T_{ge} = 971^\circ\text{C}$$

2) El flujo de Calor del aire ( $\dot{Q}_{aire}$ ):

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_a \cdot C_{pa} (T_{sa} - T_{ea}) \quad (54)$$

donde:

$\dot{m}_a$  : flujo de masa de aire = 11,410 Kg/Hora.

$C_{pa}$  : calor específico del aire = 0.24 Kcal/Kg- $^\circ\text{C}$

$T_{sa}$  : temperatura de salida del aire del inter-  
cambiador =  $90^{\circ}\text{C}$

$T_{ea}$  : temperatura de entrada del aire al inter-  
cambiador =  $83,9^{\circ}\text{C}$

Reemplazando valores en (54), se tendrá:

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = 16,704.2 \text{ Kcal/Hora}$$

3) Consumo de Combustible y  $\Delta T = (T_{gs} - T_{ge})$

ASUMAMOS un  $\Delta T = 600^{\circ}\text{C}$  (Referencia : Apuntes del  
curso de Aparatos Térmicos dictado por el Ing. Da-  
niel Herencia), luego:

$$m_c = \frac{\dot{Q}_{\text{aire}}}{P_c \cdot \gamma_{\text{ca. comb}} - \text{rg/c. } C_{pg} \cdot \Delta T}$$

$$m_c = 5.40 \text{ Kg/Hora}$$

4) Calor de Combustión ( $Q_c$ ):

$$\dot{Q}_c = m_c \times P_c = 54,000 \text{ Kcal/Hora}$$

Comentario:

Se decidió usar como combustible el Petróleo Die-  
sel No.2, por ser más fácil y práctica su comercia-  
lización a comparación de algún tipo de Gas Comer-  
cial, que en estos casos el más indicado sería el  
Gas Propano. Aparte el Petróleo Diesel No.2 resulta  
más económico, como a continuación se demuestra:

El poder calorífico del gas propano es:

$$P_c = 11,000 \text{ Kcal/Kg}$$

El flujo de calor del aire ( $Q_{\text{aire}}$ ) será:

$$\dot{Q}_{\text{aire}} = \dot{m}_a \cdot C_{pa} (T_{sa} - T_{ea})$$

Tomando en cuenta los datos anteriores, se tendrá:

$$Q_{\text{aire}} = 16,704.2 \text{ Kcal/Hora}$$

El consumo de combustible será:

$$m_c = \frac{16,704.2}{11,000 \times 0.9 - 37.5 \times 0.26 \times 600}$$

$$m_c = 4.13 \text{ Kg/Hora}$$

Pero se tiene que el precio del balón de gas propano de 100 Lbs cuesta I/.28,330 (a dic. de 1,989), que equivale a I/623.26/Kg.

Por lo tanto el precio que se gasta en 01 Hora de consumo del gas propano será:

$$\text{I/Hora} = 4.13 \times 623.26 = 2,574$$

En cambio el precio del Galón de Petróleo Diesel No.2 es de I/1,640 que equivale a I/475.36/Kg.

Por lo tanto el precio que se gasta en 01 Hora de consumo del Petróleo Diesel No.2 será:

$$\text{I/Hora} = 5.40 \times 475.00 = 2,565$$

Comparando, vemos que usando Petróleo Diesel No.2, resulta más económico aparte de ser más comercial.

5) Eficiencia Térmica ( $\eta_t$ ):

$$\eta_t = \frac{Q_{\text{aire}}}{Q_c} = 31\%$$

6) Temperatura de los Gases de Salida ( $T_{gs}$ ):

$$T_{gs} = \Delta T + T_{\text{amb}}$$

$$T_{gs} = 615^\circ\text{C}$$

7) Flujo de Masa de Gases ( $\dot{m}_g$ ):

$$\dot{m}_g = r_{g/c} \times \dot{m}_c = 203 \text{ Kg/Hora}$$

8)  $\Delta T_{\log}$ :

$$\Delta T_{\log} = \frac{(T_{ge} - T_{sa}) - (T_{gs} - T_{ea})}{\ln \left( \frac{T_{ge} - T_{sa}}{T_{gs} - T_{ea}} \right)}$$

Reemplazando valores, se tendrá:

$$\Delta T_{\log} = 685^\circ\text{C}$$

9) Factor de Corrección (F):

Figura No. 18 ("Procesos de Transferencia de Calor" por Donald Kern).

$$R = \frac{T_{ge} - T_{gs}}{T_{sa} - T_{ea}} = 7.9 \quad S = \frac{T_{sa} - T_{ea}}{T_{ge} - T_{ea}} = 0.05$$

Con  $R = 7.9$  y  $S = 0.05$  de la Figura No. 18:

$$F = 0.99$$

10) Flujo de Gases ( $\dot{G}_g$ ):

Del Libro Babcock and Wilcox, tomamos:

$$\dot{G}_g = 1,100 \text{ Lb/Hora-pie}^2$$

11) Area de Gases ( $A_g$ ):

$$A_g = \frac{\dot{m}_g \times 2.2}{\dot{G}_g} = 0.40 \text{ pie}^2$$

12) Número de Tubos ( $N_1$ ):

$$N_1 = \frac{4 \cdot A_g \times 144}{\pi \cdot (D_e - 2e)^2} \quad (59)$$

Donde:  $D_e$  = diámetro exterior del tubo = 1.5 pulg.

e = espesor de tubo = 0.10 pulg.

Reemplazando en (55), se tendrá:

$$N_1 = 38 \text{ tubos}$$

Tomamos un No. de tubos menor a  $N_1$ :

$$N = 36 \text{ tubos}$$

13) Flujo de Gases Real ( $G_g$ ):

$$\dot{G}_g = \dot{G}_g \times \frac{N}{N_1}$$

Reemplazando:  $\dot{G}_g = 900 \text{ Lb/Hora-pie}^2$

14) Temperatura promedio de Gases ( $\bar{T}_g$ )

$$\bar{T}_g = \frac{T_{ge} + T_{gs}}{2} = 793^\circ\text{C}$$

15) Del Libro: "Transferencia de Calor" por Frank Kreith  
Tabla A-2 Propiedades de Gases a presión atmosférica.  
(Tomamos como gas al dióxido de carbono  $\text{CO}_2$ ).

Para  $T_g = 793^\circ\text{C}$  se tiene:

$$K = 0.0285 \text{ Btu/Hora-pie}^{-2}\text{-}^\circ\text{F}$$

$$Pr = 0.72$$

$$\mu = 2.134 \times 10^{-5} \text{ Lb/pie-seg}$$

16) Número de Reynolds ( $R_e$ ):

$$R_e = \frac{\dot{G}_g \times \left( \frac{D_e - 2e}{12} \right)}{\mu \times 3,600} = 850$$

17) Coefficiente Convectivo ( $h_{ic}$ ):

$$N_u = 0.021 \cdot R_e^{0.8} \cdot Pr^{0.43} = 4.03$$

$$h_{ic} = N_u \times \frac{K}{D_i} = 1.49 \text{ Btu/Hora-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

18) Coefficiente de Radiación ( $h_{ir}$ ):

$$h_{ir} = \frac{\sigma \cdot (e_g \cdot T_g^4 - e_s \cdot T_s^4)}{(T_g - T_s)} \quad (56)$$

Donde:

$$\sigma = 0.1713 \times 10^{-8} \text{ Btu/Hora-pie}^2 \cdot \text{R}^4$$

$$L = D_1 = \frac{D_e - 2e}{12} = 0.108 \text{ pies} = 3.302 \text{ cm.}$$

$$\text{Para: } P_{\text{CO}_2} = 0.066 \text{ Atm.}$$

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = 0.070 \text{ Atm.}$$

Del libro: "Transmisiones de Calor" por Sukamel A.  
a la temperatura  $T_g = 793^\circ\text{C}$  y con  $P_{\text{CO}_2} \times L$  y  $P_{\text{H}_2\text{O}} \times L$   
 $\times L$  respectivamente se halla:

$$\text{- Emisividad del CO}_2: e_{\text{CO}_2} = 0.023$$

$$\text{- Emisividad del H}_2\text{O: } e_{\text{H}_2\text{O}} = 0.007$$

Se tiene que:

$$e_g = e_{\text{CO}_2} + e_{\text{H}_2\text{O}} = 0.030$$

Asumiendo una temperatura de superficie del tubo:

$$\bar{T}_s = 570 \text{ F} = 299^\circ\text{C}$$

Análogamente, con  $\bar{T}_s = 299^\circ\text{C}$  y  $P_{\text{CO}_2} \times L$  y  $P_{\text{H}_2\text{O}} \times L$   
se halla respectivamente:

$$e_{\text{CO}_2} = 0.025$$

$$e_{\text{H}_2\text{O}} = 0.015$$

$$e_s = e_{\text{CO}_2} + e_{\text{H}_2\text{O}} = 0.040$$

Luego, reemplazando estos valores en (56), se ten-  
drá:

$$h_{1r} = 0.84 \text{ Btu/Hora-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

19) Coefficiente de transferencia de calor del gas ( $h_{gas}$ ):

$$h_{gas} = h_{ic} + h_{1r} = 2.33 \text{ Btu/Hora-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

20) Temperatura promedio del aire de entrada y salida:

$$\bar{T}_a = \frac{T_{sa} + T_{ea}}{2} = 87^{\circ}\text{C}$$

21) De tablas: (Tabla A-2 del libro "Transferencia de Calor" por Manrique):

$$\text{Para } \bar{T}_a = 87^{\circ}\text{C} = 360^{\circ}\text{K}$$

$$K = 3.1 \times 10^{-2} \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$$

$$Pr = 0.691$$

$$\mu = 2.08 \times 10^{-3} \text{ Kg/m-seg}$$

22)  $\dot{G}_{max}$ : (3,000 a 5,000) Lb/Hora-pie<sup>2</sup> para flujo transversal de aire:

$$\dot{G}_{max} = 5,000 \text{ Lb/Hora-pie}^2$$

23) Coefficiente de Transferencia en el lado del aire ( $h_e$ ):

$$\left( \frac{h_e \cdot D_e}{K} \right) = 0.33 \left( \frac{\dot{G}_{max} \times D_e}{3,600 \times \mu \times 12} \right)^{0.6} \cdot Pr^{0.3}$$

$$\text{Despejando: } h_e = 10.26 \text{ Btu/Hora-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

24) Coefficiente de Resistividad térmica del gas ( $R_{gas}$ ):

Del libro "Procesos de Transferencia de Calor", por Donald Kern:

$$R_{gas} = 0.01 \text{ Hora-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F/Btu}$$

25) Coefficiente de Resistividad Térmica del aire ( $R_{aire}$ ):

$$R_{aire} = 0.002 \text{ Hora-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F/Btu}$$



26) Coeficiente de conductividad del acero ( $K_{\text{acero}}$ ):

$$K_{\text{acero}} = 26 \text{ Btu/Hora-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

27) La resistencia térmica universal será:

$$U_e = \frac{1}{\frac{1}{h_e} + \frac{D_e/12}{2K_{\text{acero}}} \cdot \ln\left(\frac{D_e}{D_e-2e}\right) + R_{\text{gas}} + R_a \cdot \frac{D_e}{D_e-2e} + \frac{D_e}{h_{\text{gas}}(D_e-2e)}}$$

Operando:

$$U_e = 1.513 \text{ Btu/Hora-pie}^2\text{-}^\circ\text{F}$$

28) Area de Transferencia Total ( $A_t$ ):

$$A_t = \frac{\dot{Q}_{\text{aire}}}{U_e \times \Delta T_{\text{log}} \times 0.252 \times 1.8} = 29.42 \text{ pie}^2$$

29) Longitud de tubos ( $L_t$ ):

$$L_t = \frac{A_t \times 1.20}{\frac{\pi \cdot D_e}{12} \times \text{No. tubos}} = 3 \text{ pies}$$

30) Factor de Forma:

Del libro "Transmisión de Calor" por Manrique:

$$\frac{S_t}{D_e} = \frac{S_1}{D_e} = 2.0 \quad (\text{Recomendado})$$

31) Area de flujo mínima:

$$A_{\text{flujo mín}} = (N_f + 1) 0.5 D_e L_t = \frac{\dot{m}_{\text{aire}} \times 2.2}{G_{\text{máx}}} \quad (57)$$

Operando:  $A_{\text{flujo mín}} = 6.27 \text{ pie}^2$

32) No. de pases: Asumimos 01

33) No. de filas transversales ( $N_f$ ):

De (57):

$$N_f = \frac{A_{\text{flujo mín}}}{0.5 \frac{De}{12} \times L_t} - 1$$

Asumimos:  $N_f = 09$  columnas.

34) No. de filas longitudinales ( $N_{fl}$ ):

$$N_{fl} = \frac{N}{N_f} = 04 \text{ filas}$$

35) Disposición:

09 columnas x 04 filas

Tubo de diámetro nominal =  $\uparrow$  1/2 pulg.

36) Las dimensiones de la coraza para el banco de tubos se dan en el Plano No. 11

#### 5.5 Selección del Quemador y Controles Automáticos:

Los modelos 501 CRD y 601 CRD, operan con eficiencia y limpieza superior en las cámaras de combustión de tipo refractario adecuadamente. Se encuentra amplia tolerancia a los ajustes del quemador y a otras variaciones cuando se usan éstas cámaras. También los niveles de ruido son reducidos.

Los quemadores CRD destacan un avance de combustión que incorpora un nuevo concepto de diseño que provee los medios para controlar el aire necesario de acuerdo a los requerimientos de la tobera. La flama se inicia dentro del tubo de aire de tal manera que ningún gas de recirculación dentro del área de la cámara princi-

pal pueda extinguirla en el anillo de retención.

Las letras CRD representan "Retención Controlada-Doble Velocidad".

El uso de un pequeño ventilador que opera a 3,450 RPM provee un flujo de aire más positivo que no produce variaciones de aire normal y por consiguiente asegura una relación aire-combustible más constante para una combustión de limpieza confiable día tras día.

El quemador seleccionado de petróleo "Carlin" modelo 501 CRD, presenta las siguientes especificaciones:

- Especificaciones del combustible: Diesel No.2 CS12.
- Consumo máximo: 2.5 GPH.
- Motor del ventilador primario de 1/3 HP y 3,450 RPM.
- Por ser el consumo de combustible ligeramente bajo no será necesario el uso de una bomba, sino la alimentación será directamente del tanque de combustible por gravedad.
- Trifásico de 60 Hz.
- Amperaje: 5.7 Amperios (aprox.)
- Voltaje: 220 voltios.
- Control Standard R8184 G.

Otros accesorios: sistema de ignición por arco eléctrico y célula fotoeléctrica.

- Panel y Elementos de Control: sensor de temperatura con Pantalla Radiante ( termocupla ó RTD instalados a la salida del intercambiador de calor), sistema de arranque automático, sistema de control termostático de 50 a 120°C, el sistema será totalmente automático

y tendrá sistemas de seguridad para fallas por falta de combustible ó apagado de la llama.

- Sistema de calentamiento eléctrico: 220 VAC 60 Hz.

## 5.6 Diseño de la Cámara de Combustión:

Para una temperatura adiabática de llama de 1,350°C, se estima una temperatura de pared interna de 1,100°C.

### 5.6.1 Selección del Aislante:

Se utilizará como material refractario aislante: Lana Mineral de 8 Lb/pie<sup>3</sup> Kaowool de Babcock and Wilcox. Es más económico con menor peso y volumen.

Asumiendo 9 pulg de Kaowool y 1 pulg de lana de vidrio, tenemos:

$$Q = \frac{(1,100 - 20) 1.8}{\frac{1}{2} + \frac{1/12}{0.030} + \frac{9/12}{0.12}} = 204 \text{ Btu/Hora-pie}$$

$$K_{\text{Kaowool}} = 0.120 \text{ Btu/Hora-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

$$K_{\text{lana de vidrio}} = 0.030 \text{ Btu/Hora-pie}^2\text{-}^{\circ}\text{F}$$

La temperatura de la pared exterior será:

$$\frac{(T_s - 20) 1.8}{1/2} = Q$$

Despejando  $T_s$  de la ecuación:

$$T_s = \frac{204 \times 0.5}{1.8} + 20 = 76 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Que viene a ser una temperatura aceptable.

Se comprueba que la interfase entre la lana mineral y la lana de vidrio tiene una temperatura permisible para la lana de vidrio:

$$T_{\text{lana de vidrio}} = 1,100 - \frac{204 \times 9}{12 \times 0.12 \times 1.8} = 391^{\circ}\text{C}$$

Vemos que cumple con la condición, ya que la temperatura permisible de la lana de vidrio es de  $500^{\circ}\text{C}$ .

En el piso se considera suficiente 4.5 pulg de Kaowool.

#### 5.6.2 Cálculo de la Chimenea:

Velocidad recomendada (Libro de Williams)

$$v = 4 \text{ m/seg (787.4 pie/min)}$$

El área de chimenea es:

$$A = \frac{\dot{m}_g \times 2.2}{60 \times \rho_{\text{aire}} \times v} \quad (58)$$

donde:  $\dot{m}_g = 127.35 \text{ Kg/Hora}$

$$\rho_{\text{aire}} = 0.023 \text{ lb/pie}^3$$

$$v = 787.4 \text{ pie/min}$$

Reemplazando valores en (58), se tendrá:

$$A = 0.2578 \text{ pie}^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Despejando "D" de la fórmula:

$$D = 0.573 \text{ pies} = 17.46 \text{ cm.}$$

Que viene a ser el diámetro de la chimenea.

El tiro de la chimenea se calcula de la siguiente

te fórmula:

$$H_{100} = 80.1 (\rho_a - \rho_g) - 0.254 \rho_g \sqrt{\frac{v^5}{\dot{Q}_g}} \quad (59)$$

donde:  $H_{100}$  = tiro útil en mm de columna de agua por 100 mts de tubería.

$$\rho_a = \text{densidad del aire} = 1.14 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_g = \text{densidad del gas} = 0.37 \text{ Kg/m}^3$$

$$v = \text{velocidad de los gases} = 787.4 \frac{\text{pie}}{\text{min}}$$

$$\dot{Q}_g = \text{flujo de gas} = 0.0956 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Reemplazando valores en (59), se tendrá:

$$H_{100} = 51.92 \text{ mm c.a./100 mts}$$

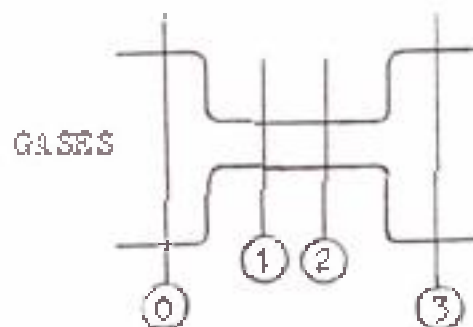
De la figura No.39 se tiene:

$$A_0 = A_3 = \frac{0.7 \times 0.31}{(0.3048)^2} = 2.335 \text{ pie}^2$$

$$A_1 = A_2 = 36 \frac{\pi (1.5)^2}{4 (12)^2} = 0.4418 \text{ pie}^2$$

$$\frac{A_1}{A_0} = \frac{A_2}{A_3} = 0.1892$$

Figura No.39: Vista en corte de la Cámara.



$$\text{Luego: a } (1,190^\circ\text{C}) \quad \rho_0 = \rho_1 = 0.25 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{a } (715^\circ\text{C}) \quad \rho_2 = \rho_3 = 0.36 \text{ Kg/m}^3$$

Luego: 
$$\rho_m = \frac{1}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2}} = 0.0183 \text{ Kg/m}^3$$

De la figura No.4-9 del libro "Roshenow", para

$$\frac{A_1}{A_0} = 0.1892 :$$

-  $K_c = 0.84$  (coeficiente de contracción).

-  $K_e = 0.38$  (coeficiente de expansión).

Cálculo de las Velocidades:

$$v_0 = \frac{\dot{m}_g}{A_0 \cdot \rho_0} \quad (60)$$

donde:  $\dot{m}_g = 127.35 \text{ Kg/Hora}$

$$A_0 = 2.335 \text{ pie}^2$$

$$\rho_0 = 0.25 \text{ Kg/m}^3$$

Reemplazando en (60), se tendrá:

$$v_0 = 2.13 \text{ pie/seg} = 0.65 \text{ m/seg}$$

Análogamente:

$$v_1 = 11.29 \text{ pie/seg} = 3.44 \text{ m/seg}$$

$$v_2 = 7.84 \text{ pie/seg} = 2.39 \text{ m/seg}$$

Diferencia de Presiones:

$$P_1 - P_2 = \left( \frac{G}{3,600} \right)^2 \cdot \frac{1}{g} \left[ \frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} + \frac{f \cdot L}{D \cdot \rho_m} \right] \quad (61)$$

donde:  $G = 900 \text{ Lb/Hora-pie}^2$

$$g = 32.2 \text{ pie/seg}^2$$

$$\rho_1 = 0.0155 \text{ Lb/pie}^3$$

$$\rho_2 = 0.0224 \text{ Lb/pie}^3$$

$f$  : coeficiente de pérdida por longitud  
= 0.046

$D = 1.5/12 = 0.125$  pies

$\rho_m = 0.0012$  Lb/pie<sup>3</sup>

Reemplazando valores en (61), se tendrá:

$$P_1 - P_2 = 0.145 \text{ Lb/pie}^2$$

$$P_0 - P_1 = (K_c \cdot v_1^2 + v_1^2 - v_0^2) \frac{\rho_1}{2g}$$

Reemplazando:

$$P_0 - P_1 = 0.0556 \text{ Lb/pie}^2$$

$$P_2 - P_3 = \frac{f_2}{2g} (K_e \cdot v_2^2 + v_3^2 - v_2^2)$$

Reemplazando:

$$P_2 - P_3 = -0.0137 \text{ Lb/pie}^2$$

Luego:

$$\Delta P_{\text{intercamb.}} = 0.145 + 0.0556 - 0.0137$$

$$\Delta P_{\text{int}} = 0.1869 \text{ Lb/pie}^2 \text{ (0.913 mm c.a.)}$$

$$H_{\text{vel sal}} = \frac{L^2}{2g} \times \frac{f_2}{f_a} \times 1,000 \quad (62)$$

donde:  $L = 4$  pies

$g = 32.2$  pies/seg<sup>2</sup>

$f_a = 62.4$  Lb/pie<sup>3</sup>

$f_2 = 0.0224$  Lb/pie<sup>3</sup>

Reemplazando valores en (62), se tendrá:

$$H_{\text{vel sal}} = 0.293 \text{ mm c.a.}$$

La altura total  $H_t$  sera:



$$H_t = 0.293 + 0.913 + 1.0 \text{ (aire adicional)}$$

$$H_t = 2.206 \text{ mm c.a}$$

A continuación calculamos la altura de la chimenea:

$$H_{\text{chim}} = \frac{H_t}{H_{100}} = \frac{2.206}{\left(\frac{51.92}{100}\right)} = 4.24 \text{ mts}$$

Por lo tanto la chimenea tendrá una altura de 4.24 mts con un diámetro de 17.46 cm.

### 5.6.3 Balance Térmico:

#### 1) Calor Equivalente debido al Poder Calorífico del Combustible:

$$\begin{aligned} Q_{PC} &= \dot{m}_c \times P_{cal} \\ &= 5.40 \text{ Kg/Hora} \times 10,000 \text{ Kcal/Kg} \\ Q_{PC} &= 62.8 \text{ KW} \end{aligned}$$

#### 2) Calor Útil que gana el Aire:

$$Q_{\text{aire}} = \dot{m}_a \cdot C_{pa} (T_{sa} - T_{ea})$$

$$\text{donde: } \dot{m}_a = 11,410 \text{ Kg/Hora}$$

$$C_{pa} = 0.24 \text{ Kcal/Kg-C}$$

$$T_{sa} = 90^\circ\text{C}$$

$$T_{ea} = 83.9^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{aire}} = 16,704.2 \text{ Kcal/Hora}$$

$$Q_{\text{aire}} = 19.43 \text{ KW}$$

#### 3) Calor que se llevan los Gases de Escape:

$$Q_{ge} = \dot{m}_g \cdot C_{pg} (T_g - T_a)$$

$$\text{donde: } \dot{m}_g = 203 \text{ Kg/Hora} = 446.6 \text{ Lb/Hora}$$

$$C_{Pg} = 0.26 \text{ BTU/Lb}^{\circ}\text{F}$$

$$T_g = 971^{\circ}\text{C} = 1,780^{\circ}\text{F}$$

$$T_s = 615^{\circ}\text{C} = 1,139^{\circ}\text{F}$$

$$Q_{ge} = 74,430 \text{ BTU/Hora}$$

$$Q_{ge} = 21.8 \text{ KW}$$

4) Calor pérdido por calentamiento de la Hume-  
dad del Aire:

$$Q_{Ha} = M_y \cdot C_{pv} (T_g - T_a)$$

donde:  $m_g = 203 \text{ Kg/Hora} = 446.6 \text{ Lb/Hora}$

$$w = 0.04 \text{ Lb de H}_2\text{O/Lb de aire.}$$

$$M_y = m_g \cdot w = 17.86 \text{ Lb H}_2\text{O/Hora}$$

$$C_{pv} = 0.46 \text{ BTU/Lb}^{\circ}\text{F}$$

$$T_g = 615^{\circ}\text{C} = 1,139^{\circ}\text{F}$$

$$T_a = 15^{\circ}\text{C} = 59^{\circ}\text{F}$$

$$Q_{Ha} = 8,873 \text{ BTU/Hora}$$

$$Q_{Ha} = 2.6 \text{ KW}$$

5) Pérdidas por Radiación y otras pérdidas no -  
calculables:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{Ra} &= \dot{Q}_{PC} - \dot{Q}_1 \\ &= 62.8 - (19.43 + 21.8 + 2.6) \end{aligned}$$

$$Q_{Ra} = 18.97 \text{ KW}$$

En la Figura No.40 de la siguiente página  
se muestra gráficamente este Balance Térmico.

#### 5.7 Consideraciones Constructivas:

En los Planos No.09, 11 y 14 se muestran mayores de-  
talles del Secador de Bandejas.

B A L A N C E T E R M I C O

Diagrama de Sankey

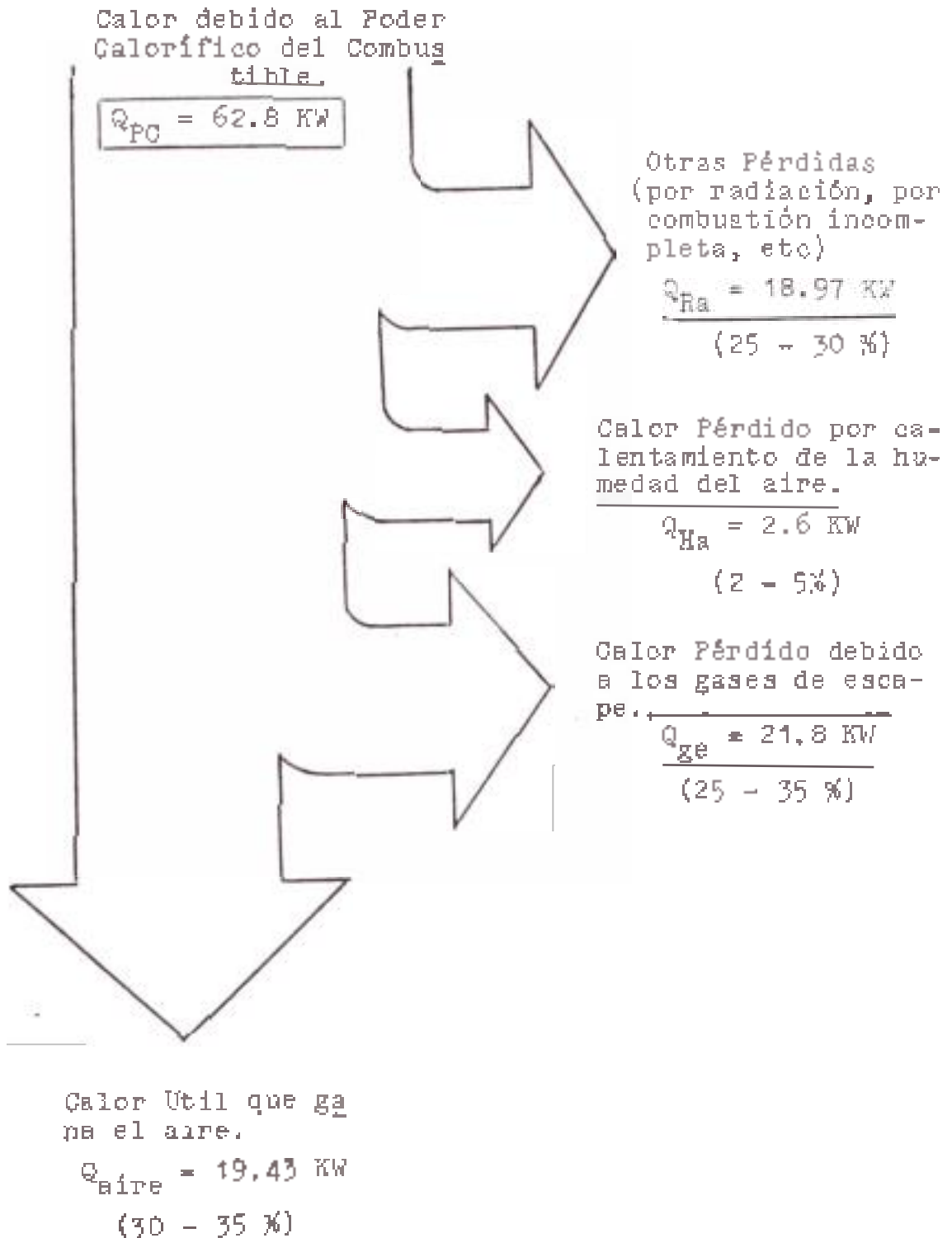


Figura No.40: Balance Térmico del Secador de Bandejas.

## C A P Í T U L O 6

### 6. OBRAS DE INGENIERIA:

En este capítulo vamos a tomar en cuenta todas las obras necesarias, tanto civiles (áreas necesarias), como las obras complementarias, o sea la energía eléctrica y el sistema de agua y desague que van a ser imprescindibles para el buen funcionamiento de esta planta industrial.

Según las dimensiones de los Equipos y las áreas de circulación, para una cómoda producción; así como una probable ampliación, se requerirá de las siguientes áreas y edificaciones.

#### 6.1 Obras Civiles:

Para el requerimiento de áreas y edificaciones vamos a hacer un estudio previo en base a la "Distribución de la Planta y del Manejo de Materiales" por James K. - Apple (Georgia Institute of Technology).

Este método que nos ayuda a distribuir nuestra planta industrial, llamado Método de la Gráfica de Relaciones entre Actividades, y al elaborarlo se procederá como sigue:

- Se identifican las actividades.
- Se listan las actividades en la Gráfica (las actividades de producción ó de operación se muestran cerca de la parte superior y se agrupan actividades similares ó conexas).



Grados de Cercanía:

| Valor | Cercanía                 |
|-------|--------------------------|
| A     | Absolutamente necesario  |
| E     | Especialmente importante |
| I     | Importante               |
| O     | Ordinario cercanía       |
| U     | No importante            |
| X     | Indeseable               |

Razones que respaldan el valor de Contigüedad:

| Código | Razón                         |
|--------|-------------------------------|
| 1      | Uso de record comunes         |
| 2      | Compartir personal            |
| 3      | Compartir espacio             |
| 4      | Grado de contacto personal    |
| 5      | Uso del mismo equipo          |
| 6      | Secuencia de flujo de trabajo |
| 7      | Ejecutar trabajo similar      |
| 8      | Ambiente desagradable         |
| 9      | Grado de contacto papelera    |

El Diagrama de Relaciones entre Actividades es el siguiente paso lógico una vez que se ha formulado la Gráfica de Relaciones entre Actividades. Se basa en esta última y es el primer esfuerzo para verdaderamente representar las actividades individuales por medio de "espacios", aún cuando esto se haga en forma de "plantillas" sin dimensiones en este punto del proceso de planificación.

El Diagrama de Relaciones entre Actividades, es en realidad un diagrama por medio de casillas el cual muestra una relación aproximada entre las actividades y una vez más podrá mostrar la producción como una sola casi

11a. El Diagrama de Relaciones entre Actividades se -  
construye como sigue:

1.- Se analiza la Gráfica de Relaciones entre Activi-  
dades (Figura No.41) con la ayuda de la Hoja de  
trabajo que se muestra a continuación.

Hoja de Trabajo para el Diagrama de Relaciones en  
tre Actividades

| Area de Actividad           | Grado de Contigüedad |       |     |         |         |
|-----------------------------|----------------------|-------|-----|---------|---------|
|                             | A                    | E     | I   | O       | U       |
| 1. Recepción y Embarques    | 2,4                  | -     | 6,8 | 3,5,9   | 7       |
| 2. Almacén de Insumos       | 1,6                  | -     | 8   | 3,4,5,9 | 8       |
| 3. Almacén de Herramientas  | 5,6                  | -     | -   | 1,2     | 4,7,8,9 |
| 4. Almacén de Prod Envasado | 1,6,8                | -     | -   | 2       | 3,5,7,9 |
| 5. Mantenimiento            | 3,6                  | -     | -   | 1,2     | 4,7,8,9 |
| 6. Producción               | 2,3,4,5,8            | 7,9   | 1   | -       | -       |
| 7. Sanitarios               | -                    | 6,8,9 | -   | -       | 1,3,4,5 |
| 8. Control de Calidad       | 4,6                  | 7,9   | 1,2 | -       | 2,3,5   |
| 9. Oficinas                 | -                    | 6,7,8 | -   | 1,2     | 3,4,5   |
| 10. Sub-estación Compacta   | -                    | 5     | 6   | -       | 2,3,4,7 |

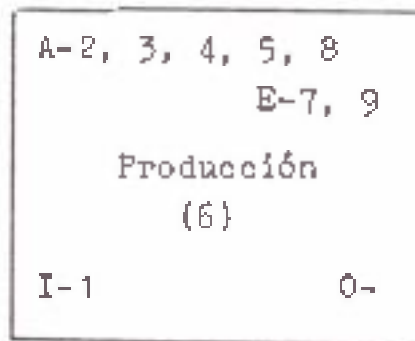
2.- Se asientan las áreas de actividad en la columna -  
de la izquierda.

3.- Se anotan los grados de contigüedad según letras -  
en clave (A, E, O, U, X) en los seis espacios debaj  
jo del título.

4.- Se anotan en cada casilla los números de las áreas  
relacionadas con cada una de las de la columna de  
izquierda por grado de contigüedad, o sea: para el  
No.6 Producción es "A" para los números 2, 3, 4, 5,  
y 8; "E" para 7 y 9; e "I" para el 1.

5.- Se transfirieron los datos de la hoja de trabajo a  
las plantillas que a continuación se muestran, util

lizando las esquinas de las plantillas como se indica abajo, para anotar los datos; o sea para el No.6 Producción esto sería:



6.- Se cortan las plantillas y se acomodan dentro de Diagrama de Relaciones entre Actividades, "casando" primero las "A's" luego las "E's", etc. en la forma más apropiada posible; o sea No.6 Producción de verá estar más próxima a 2, 3, 4, 5 y 8; no tan próxima a 7 y 9.

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| A-2,4 E-<br>Recepción y<br>Embarques<br>(1) | A-1,6 E-<br>Almacén de<br>Insumos<br>(2)   | A-5,6 E-<br>Almacén de<br>Herramienta<br>(3) | A-1,6,8 E-<br>Almacén de<br>Prod. Envasado<br>(4) |
| I-6,8 O-3,5,9                               | I-8 O-3,4,5,9                              | I- O-1,2                                     | I- O-2  |
| A-3,6 E-<br>Mantenimiento<br>(5)            | A-2,3,4,5,8<br>E-7,9<br>Producción<br>(6)  | A- E-6,8,9<br>Sanitarios<br>(7)              | A-4,6 E-7,9<br>Control de<br>Calidad<br>(8)       |
| I- O-1,2                                    | I-1 O-                                     | I- O-  | I-1,2 O-  |
| A- E-6,7,8<br>Oficina<br>(9)                | A- E-5<br>Sub-estación<br>Compacta<br>(10) |  |   |
| I- O-1,2                                    | I-6 O-                                     |  |   |

Figura No.42



7.- A continuación resulta necesario recapitular todas las estimaciones de exigencias de espacio por medio de la Hoja de Trabajo de Requerimiento de Espacio.

Según las dimensiones de los Equipos y las Áreas de circulación, para una cómoda producción; así como una probable ampliación se requerirá de las siguientes áreas y edificaciones.

Requerimiento de Espacio para todas las Áreas:

|                                       |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| 1.- Recepción y Embarque              | 50 m <sup>2</sup>  |
| 2.- Almacén de Insumos                | 200 m <sup>2</sup> |
| 3.- Almacén de Herramientas           | 50 m <sup>2</sup>  |
| 4.- Almacén de Producto Envasado      | 50 m <sup>2</sup>  |
| 5.- Mantenimiento                     | 25 m <sup>2</sup>  |
| 6.- Producción                        | 350 m <sup>2</sup> |
| 7.- Sanitarios, vestuarios, etc.      | 50 m <sup>2</sup>  |
| 8.- Laboratorio de Control de Calidad | 50 m <sup>2</sup>  |
| 9.- Oficinas                          | 50 m <sup>2</sup>  |
| 10.- Sub-estación Compacta            | 25 m <sup>2</sup>  |
| T O T A L                             | 900 m <sup>2</sup> |

8.- Una vez hecha la recapitulación de los requerimientos de espacio para todas las áreas, se hace necesario preparar plantillas que representen los block de espacio calculados.

Poniendo por caso un módulo de 5 x 5 mts, estas plantillas se construirán como sigue:

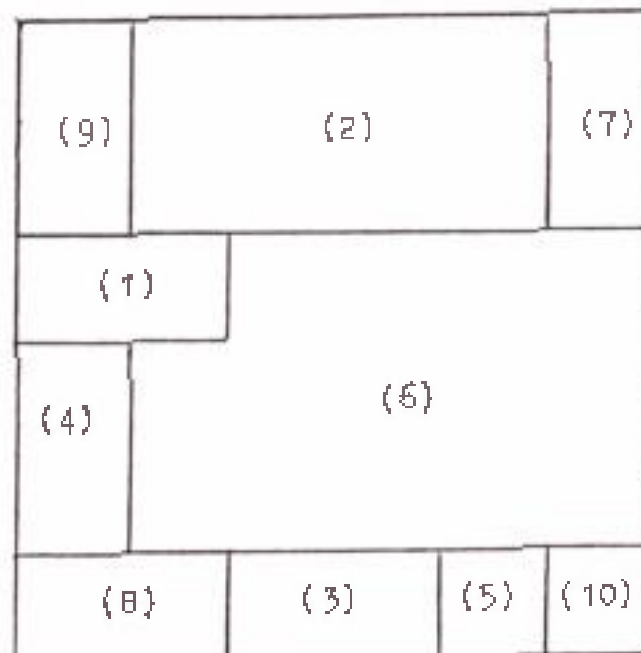
|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| 1.- Recepción y Embarque | 5 x 10 mts  |
| 2.- Almacén de Insumos   | 10 x 20 mts |

|                                       |             |
|---------------------------------------|-------------|
| 3.- Almacén de Herramientas           | 5 x 10 mts  |
| 4.- Almacén de Producto Envasado      | 5 x 10 mts  |
| 5.- Mantenimiento                     | 5 x 5 mts   |
| 6.- Producción                        | 15 x 25 mts |
| 7.- Sanitarios, vestuarios, etc.      | 5 x 10 mts  |
| 8.- Laboratorio de Control de Calidad | 5 x 10 mts  |
| 9.- Oficinas                          | 5 x 10 mts  |
| 10.- Sub-estación Compacta            | 5 x 5 mts   |

9.- Diagrama de Asignación de Areas:

El siguiente paso es recortar las plantillas de las áreas y acomodarlas de tal manera que casen - (tan estrechamente como sea posible) con el Diagrama de Relaciones entre Actividades. Desde luego esto hará necesarias algunas componendas, así como también algunos posibles cambios en la forma de las áreas y sus tamaños. El resultado final podría ser como se muestra en la figura No.43.

Figura No. 43: Distribución de la Planta Industrial.



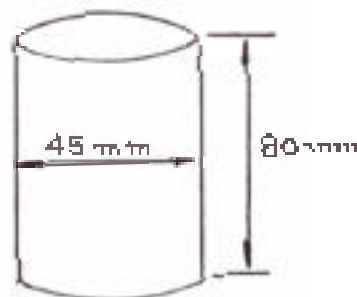
Para mayores detalles ver el Plano No.01 Distribución de la Planta Industrial.

Una vez hecha la Distribución de La Planta Industrial vamos a describir brevemente algunas de estas secciones.

El Almacén de Insumos lo hemos dividido en dos secciones. En el Almacén de Insumos No.1 se encontrarán los sacos los sacos de semillas de achiote de 50 Kg c/u. y en el Almacén de Insumos No.2 se encontrarán los cilindros de ácido sulfúrico y los envases de hidróxido de sodio en escamas.

En el Almacén de Producto Envasado, como su nombre lo indica, se tiene el Extracto de Achiote en Polvo debidamente envasado en pequeños cilindros de plástico lo suficientemente oscuros para que no pasen los rayos solares.

Estos envases tendrán una capacidad de 500 gramos c/u, teniendo en cuenta que estos envases tendrán forma cilíndrica, como a continuación se muestra:



Estos envases de plástico serán empacados en cajas de cartón en número de 50, apilados en 05 filas x 10 columnas. Por lo tanto el peso aproximado del contenido neto de extracto de achiote en polvo de cada caja será de 25 Kg. Hay que tener en cuenta que

el Almacén de Producto Envasado sea un lugar fresco y debe estar resguardado de los rayos solares.

El Almacén de Herramientas estará previsto de herramientas, nipples, conexiones, tuberías, válvulas de acero y de la pernería necesaria para el mantenimiento de la Planta. Entre los Equipos que debe contar este Almacén están: Equipo de Soldadura Eléctrica TIG, lijadoras y pulidoras manuales, Equipo de Soldadura Oxiacetilénica, tacle de 2 Toneladas de capacidad y estructura soporte.

El Laboratorio de Control de Calidad se encargará de controlar la calidad de los insumos químicos y naturales, como también el producto en proceso y terminado.

Este laboratorio contará con Equipos medidores de Ph, una balanza analítica, un horno de mufla, equipo para medir concentraciones de soluciones. También contará con un Espectrofotómetro, con el cual se calcula el porcentaje de pigmentos totales y contenido de Bixina en el Extracto de Achiote.

Aparte de todos estos requerimientos de espacio, se hará necesario la construcción de una Plataforma en donde irá anclado el Tanque Precipitador, con la finalidad que se encuentre a un nivel más alto de los demás tanques. También se hará necesario la construcción de un muro de concreto de 960 x 860 x 870 mm, donde irá anclado el ventilador del secador de bandejas.

## 6.2 Obras Complementarias:

Denominamos obras complementarias a aquellas que tienen que ver con los servicios como son el de Energía Eléctrica y el Sistema de Agua y Desague.

### 6.2.1 Energía Eléctrica:

El cálculo de las Instalaciones Eléctricas de la Planta se ha seguido tomando en cuenta las indicaciones dadas por el Código Nacional de Electricidad Tomo V parte 1 y 2, de donde se utilizó las tablas 4-IV, 4-VIII, 4-XVI, 4-XXIII, 4-XXIV, 4-XXVII y 4-XXX en la selección de los Cables, conductores y tuberías utilizadas en las Instalaciones. A continuación se muestra en la Tabla No.5 un resumen de las cargas de la Planta.

Tabla No.5: Demandas de la Planta Industrial.

| Carga                       | P. I. (Kw) | F.S | M.D. (Kw) |
|-----------------------------|------------|-----|-----------|
| - Alumbrado y tomacorriente | 10.55      | 0.8 | 8.44      |
| - Fuerza                    | 29.58      | 0.8 | 23.65     |
| T O T A L                   | 40.13      | 0.8 | 32.09     |

En el sistema de alumbrado se está utilizando luminarias con lámparas fluorescentes de 2 x 40 vatios; conductores THW y tubería de PVC-SAP de calibres y diámetros indicados en los planos correspondientes.

En el sistema de Fuerza se está empleando cables tipo NYY que irán instalados en tubos de FoGo.

Sistema de Tierra:

El conductor será de Cu desnudo de 16 mm<sup>2</sup> de sección la cual se conectará a todos los motores, Tablero de Distribución, Transformador, Control Central de Motores, etc.

El sistema de tierra constará de un pozo de puesta a tierra con una varilla de Copperweld de 3/4 pulg. de diámetro x 2.40 mts de longitud el cual será convenientemente tratado con sal, carbón vegetal y tierra cernida hasta obtener la resistencia indicada por las normas.

Sub-estación Compacta:

Esta sub-estación constará de un transformador trifásico de 50 KVA y sus respectivos equipos de protección y medición (medidores de corriente, tensión, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y frecuencia).

Para mayores detalles ver el Plano No.15 - Diagrama unifilar de la Sub-estación Compacta.

Tablero General de Distribución de Alumbrado y

Tomacorrientes:

El tablero general de distribución está constituido de 11 circuitos (06 circuitos de alumbrado, 03 de tomacorrientes y 02 de reserva).

La protección de cada circuito será con interruptores termomagnéticos de 15 Amperios c/u. y el interruptor general será de 40 Amperios

El detalle del Tablero General de Distribución se vé en el Plano No.16

### Control Central de Motores:

El tablero de Fuerza estará protegido por un interruptor termomagnético de 75 amperios. Está constituido de 14 circuitos, cada uno protegido con su respectivo interruptor extraíble y un relé respectivamente. Los 02 últimos circuitos serán de reserva. Además se deja un circuito con dos salidas para que se puedan enchufar dos soldadoras eléctricas con su respectivo interruptor de 50 Amperios.

El Tablero del Control Central de Motores se muestra en el Plano No. 18

Se usará conductores del tipo NYJ de  $4 \text{ mm}^2$  de sección e irán protegidos con tubería de FcGo que irá adosada al piso.

### 6.2.2 Agua y Desague:

El agua que se utiliza es abundante por lo que es necesario contar con un pozo que proporcione una reserva de volumen de agua suficiente para la producción de 01 TM de Extracto de Achioté. Por lo tanto el pozo tendrá las siguientes dimensiones:  $H = 2 \text{ m}$ ,  $L = 7 \text{ m}$ ,  $A = 7 \text{ m}$ .

La Planta tendrá canaletas de desague para facilitar la limpieza con agua de los tanques y evitar que se produzcan charcos en el piso. Estas canaletas recorrerán todo el ancho de la Planta y tendrán cierta pendiente para asegurar la llegada del agua al desague.

Los tanques estarán interconectados por un sistema de tuberías de acero inoxidable de 1 1/2 y 2 pulg. de diámetro; además contará con un sistema de bombeo para asegurar la recirculación y rapidez de la circulación del agua, tanto del pozo como de un tanque a otro.

Detalles del Sistema de Tuberías se vé en el Plano No.05



## C A P I T U L O 7

### 7. I VERSIONES:

Este capítulo se ha dividido en dos partes. La primera - donde se vé todo lo relacionado con los Equipos y Maquinarias, desde el costo del material directo hasta el costo de la mano de obra. Cabe mencionar que para cada Equipo componente de la Planta de Producción se le confeccionará su respectiva Ficha de Costos donde se detalla en forma más sucinta los diferentes materiales que componen determinado Equipo, para posteriormente confeccionar un cuadro resumen donde se vea todo lo relacionado a los costos indirectos, - Ingeniería del Producto, Licencia, supervisión, montaje, repuestos, etc.

En la segunda parte de este capítulo se verá todo lo referente a las Obras Civiles, donde estará incluido el local o sea las áreas destinadas para Oficinas, Almacenes, Vestuarios y lo que vendría a ser la Planta de Producción; además se verá todo lo referente al servicio de Agua y Desague y - todo lo concerniente al Sistema de Electrificación.

#### 7.1 Equipos y Maquinarias:

Los Costo de los Equipos y Maquinarias los presentaremos en dólares, para de ésta manera evitar que se desactualicen demasiado rápido.

A continuación se verá en forma detallada en las Fichas de Costos de los diferentes Equipos y Maquinarias para dar una idea más clara de los diferentes materiales que componen determinada Máquina.

Ficha de Costos No.01

Equipo: Tanque Extractor

1. Costos Directos:

1.1 Materia Prima Directa y Auxiliares:

| Designación                               | Cant. | P.U (\$) | P.P (\$) | %    |
|---|-------|----------|----------|------|
| - Pl. Ac. Inox. 316 1/8" (4'x8')          | 02    | 1,165    | 2,330    | 39.7 |
| - Pl. Ac. Inox. 316 1/4" (4'x8')          | 01    | 2,187    | 2,187    | 37.3 |
| - Tubo Fe. Ne Ø 3" x 6 mts                | 01    | 231      | 231      | 3.9  |
| - Tubo Fe. Ne. Ø 4" x 6 mts               | 01    | 308      | 308      | 5.2  |
| - L 1 1/2x1 1/2x3/16" x 6 mts             | 01    | 15.4     | 15.4     | 0.3  |
| - L 4 x 4 x 1/4" x 6 mts                  | 01    | 83       | 83       | 1.4  |
| - L 1 x 1 x 1/8" x 6 mts                  | 01    | 10       | 10       | 0.2  |
| - Eje Ac. Inox. Sae 1020 Ø1.5" x 1 mt.    | 01    | 25       | 25       | 0.4  |
| - Eje Ac. Inox. Sae 1020 Ø2.0" x 0.8 mts. | 01    | 35.5     | 35.5     | 0.6  |
| - O'ring bakelita 3/16" x 7" Ø            | 02    | 6.8      | 13.6     | 0.2  |
| - Pintura Anticorrosiva (GL)              | 1/2   | 5.9      | 5.9      | 0.1  |
| - Pintura Acrilicar (GL)                  | 1/2   | 13.5     | 13.5     | 0.2  |
| - Perno 3/8"Ø NC x 1"                     | 08    | 0.10     | 0.80     | 0.01 |
| - Perno 1/2"Ø NC x 2"                     | 18    | 0.50     | 9.0      | 0.2  |
| - Perno 1/4"Ø NC x 1"                     | 12    | 0.26     | 3.12     | 0.05 |
| - Chaveta Acero 8x3.3x10 mm               | 01    | 2.15     | 2.15     | 0.03 |
| - Motor Elect. 0.4 HP y 1,660 RPM         | 01    | 117      | 117      | 2.0  |
| - Reductor Hidromar Mod. 2.5 PRV          | 01    | 460      | 460      | 7.8  |
| - Soldadura AWS E316-16 (Kg)              | 03    | 4.5      | 13.5     | 0.2  |
| T O T A L                                 |       |          | \$ 5,864 |      |

1.2 Mano de Obra Directa:

| Designación           | Costo \$/Kg | P.P (\$) | %         |
|-----------------------|-------------|----------|-----------|
| - Corte de planchas   | 0.15        | 30.75    | 25.3      |
| - Rolado de planchas  | 0.12        | 24.6     | 20.3      |
| - Soldado del Tanque  | 0.10        | 20.5     | 16.9      |
| - Ensamble del Tanque | 0.10        | 20.5     | 20.3      |
| - Lijado y pintado    | 0.12        | 24.6     | 20.3      |
| T O T A L             |             |          | \$ 121.00 |

Ficha de Costos No.02

Equipo: Tanque Cernidor Manual

1. Costos Directos:

1.1 Materia Prima Directa y Auxiliares:

| Designación                   | Cant. | P.U (\$) | P.P (\$) | %    |
|-------------------------------|-------|----------|----------|------|
| - Ac. Inox. 316 1/8" (4'x8')  | 01    | 1,165    | 1,165    | 27.8 |
| - Ac. Inox. 316 3/16"(4'x8')  | 01    | 1,610    | 1,610    | 38.4 |
| - Ac. Estruct. 1/4" (4'x8')   | 01    | 285      | 285      | 6.8  |
| - L 1 1/2x1 1/2x3/16' x 6 mts | 01    | 15.4     | 15.4     | 0.4  |
| - L 4 x 4 x 1/4' x 6 mts      | 01    | 83.0     | 83.0     | 2.0  |
| - Tubo de Fe.Me. 3"Ø x 6 mts  | 01    | 231      | 231      | 5.5  |
| - Perno de 1/2"Ø NC x 2"      | 18    | 0.5      | 9.0      | 0.2  |
| - Malla ASTM 100 Ac. Inox.316 | 01    | 750      | 750      | 17.9 |
| - Pintura Anticorrosiva (GL)  | 1/2   | 5.9      | 5.9      | 0.15 |
| - Pintura Acrilicar (GL)      | 1/2   | 13.5     | 13.5     | 0.35 |
| - Soldadura AWS E316-16 (Kg)  | 03    | 4.5      | 13.5     | 0.35 |
| T O T A L                     |       |          | \$ 4,191 |      |

1.2 Mano de Obra Directa:

| Designación            | Costo \$/Kg | P.P (\$) | %         |
|------------------------|-------------|----------|-----------|
| - Corte de Planchas    | 0.15        | 33.45    | 20.3      |
| - Rolado de Planchas   | 0.12        | 26.76    | 16.2      |
| - Rebordado de la Base | 0.15        | 33.45    | 20.3      |
| - Soldado del Tanque   | 0.10        | 22.3     | 13.5      |
| - Ensamble del Tanque  | 0.10        | 22.3     | 13.5      |
| - Lijado y Pintado     | 0.12        | 26.76    | 16.2      |
| T O T A L              |             |          | \$ 165.00 |

Ficha de Costos No.03

Equipo: Tanque de Extracto

1. Costos Directos:

1.1 Materia Prima Directa y Auxiliares:

| Designación                     | Cant. | P.U (\$) | P.P (\$) | %    |
|---------------------------------|-------|----------|----------|------|
| - # Ac. Inox. 316 1/8" (4'x8')  | 01    | 1,165    | 1,165    | 49.7 |
| - # Ac. Inox. 316 3/16" (4'x8') | 1/2#  | 805      | 805      | 34.3 |
| - # Ac. Estruct. 1/4" (4'x8')   | 1/4#  | 71.25    | 71.25    | 3.0  |
| - L 1 1/2x1 1/2x3/16" x 3 mts   | 01    | 7.7      | 7.7      | 0.3  |
| - L 4 x 4 x 1/4" de 1.5 mts     | 01    | 20.75    | 20.75    | 0.9  |
| - Tubo de Fe.Ne. 3"Ø x 6 mts    | 01    | 231      | 231      | 9.8  |
| - Perno de 1/2"Ø NC x 2"        | 21    | 0.50     | 10.5     | 0.4  |
| - Soldadura AWS E316-16 (Kg)    | 03    | 4.5      | 13.5     | 0.6  |
| - Pintura Anticorrosiva (GL)    | 1/2   | 5.9      | 5.9      | 0.2  |
| - Pintura Acrilicar (GL)        | 1/2   | 13.5     | 13.5     | 0.6  |
| T O T A L                       |       |          | \$ 2344  |      |

1.2 Mano de Obra Directa:

| Designación            | Costo \$/Kg | P.P (\$)  | %    |
|------------------------|-------------|-----------|------|
| - Corte de Planchas    | 0.15        | 33.45     | 20.3 |
| - Rolado de Planchas   | 0.12        | 26.76     | 16.2 |
| - Rebordado de la Base | 0.15        | 33.45     | 20.3 |
| - Soldado del Tanque   | 0.10        | 22.3      | 13.5 |
| - Ensamble del Tanque  | 0.10        | 22.3      | 13.5 |
| - Lijado y Pintado     | 0.12        | 26.76     | 16.2 |
| T O T A L              |             | \$ 165.00 |      |

Ficha de Costos No.04

Equipo: Tanque Precipitador

1. Costos Directos:

1.1 Materia Prima Directa y Auxiliares:

| Designación                           | Cant. | P.U (\$) | P.P (\$) | %    |
|---------------------------------------|-------|----------|----------|------|
| - Pl. Ac. Inox. 316 3/16" (4'x8')     | 02    | 1,610    | 3,220    | 46.6 |
| - Pl. Ac. Inox. 316 1/4" (4'x8')      | 01    | 2,187    | 2,187    | 31.7 |
| - L 2 x 2 x 1/4" x 6 mts              | 01    | 40       | 40       | 0.6  |
| - L 4 x 4 x 1/4" x 6 mts              | 01    | 83       | 83       | 1.2  |
| - L 1 x 1 x 1/8" x 6 mts              | 01    | 10       | 10       | 0.14 |
| - Tubo de Fe.Ne. 3"Ø x 6 mts          | 01    | 231      | 231      | 3.3  |
| - Tubo de Fe.Ne. 4"Ø x 6 mts          | 01    | 308      | 308      | 4.5  |
| - Eje Ac. Inox. SAE 1020 2.0"Ø x 65"  | 01    | 71.0     | 71.0     | 1.0  |
| - Eje ac. Inox. SAE 1020 3.0"Ø x 3.6" | 01    | 6.0      | 6.0      | 0.1  |
| - Chaveta Acero 10 x 3.3 x 25 mm      | 01    | 2.80     | 2.80     | 0.04 |
| - Perno de 1/4"Ø NC x 2"              | 12    | 0.26     | 3.12     | 0.05 |
| - Perno de 1/2"Ø NC x 2"              | 18    | 0.50     | 9.0      | 0.13 |
| - Motor Elect. 1.2 HP y 1,700 RPM     | 01    | 182      | 182      | 2.6  |
| - Reductor Hidromar Mod. 3.0 HV       | 01    | 502      | 502      | 7.3  |
| - Soldadura AWS E316-16 (Kg)          | 05    | 4.5      | 22.5     | 0.3  |
| - Pintura Anticorrosiva (GL)          | 1/2   | 5.9      | 5.9      | 0.1  |
| - Pintura Acrilicar (GL)              | 1/2   | 13.5     | 13.5     | 0.2  |
| T O T A L                             |       |          | \$ 6,897 |      |

1.2 Mano de Obra Directa:

| Designación            | Costo \$/Kg | P.P (\$)  | %    |
|------------------------|-------------|-----------|------|
| - Corte de Planchas    | 0.15        | 151.5     | 20.3 |
| - Rolado de Planchas   | 0.12        | 121.2     | 16.2 |
| - Soldado del Tanque   | 0.10        | 101.0     | 13.5 |
| - Rebordado de la Base | 0.15        | 151.5     | 20.3 |
| - Ensamble del Tanque  | 0.10        | 101.0     | 13.5 |
| - Lijado y Pintado     | 0.12        | 121.2     | 16.2 |
| T O T A L              |             | \$ 747.40 |      |

Ficha de Costos No.05

Equipo: Bombas

1. Costos Directos:

1.1 Materia Prima Directa:

| Designación  | P.U (\$) CIF | %    |
|--|--------------|------|
| - Bomba de Alimentación de agua Alfa-Laval Sanitaria tipo ALC-1/162 de Ac. Inox. con motor de 3 Kw de potencia   | 2,685        | 42.4 |
| - Bomba de trasiego del tanque extractor al cernidor manual - Centrífuga Sanitaria Alfa-Laval tipo FM-C/95 de Ac. Inox. con motor de 1.1 Kw de potencia.   | 1,830        | 28.8 |
| - Bomba de trasiego del tanque cernidor al tanque precipitador Alfa-Laval Centrífuga Sanitaria tipo FM-C/115 de Ac. Inox. con motor de 1.1 Kw de potencia. | 1,830        | 28.8 |
| T O T A L  | \$ 6,345 CIF |      |

1.2 Mano de Obra Directa:

|   |           |
|---|-----------|
| - Instalación y anclaje de las 03 bombas: 5 % Costo Total |           |
| T O T A L   | \$ 317.25 |

Equipo: Filtro Prensa

1. Costos Directos:

1.1 Materia Prima Directa:

| Designación   | P.U (\$) CIF |
|---|--------------|
| - Filtro Prensa marca "DURCO" Mod. 800/40 -15 de 15 cámaras de 800 x 800 mm <sup>2</sup> c/u de Acero Inoxidable con acabado sanitario. | 18,500       |

1.2 Mano de Obra Directa:

|  |        |
|--|--------|
| - Instalación y puesta en marcha (1 % Costo total) | \$ 185 |
|--|--------|

Ficha de Costos No.06

Equipos: Sistema de Tuberías

1. Costos Directos:

1.1 Materia Prima Directa y Auxiliares:

| Designación                               | Cant. | P.V (\$) | P.F (\$)   | %    |
|---|-------|----------|------------|------|
| - Tubo Ac.Inox. 316 2"Ø SCH40 x 6 mts.    | 02    | 864      | 1,728      | 19.2 |
| - Tubo Ac.Inox. 316 1 1/2"Ø SCH40 x 6 mts | 05    | 648      | 3,240      | 36   |
| - Válvula Ac.Inox. de bola 2"Ø            | 06    | 188      | 1,128      | 12.5 |
| - Válvula Ac.Inox. de bola 1 1/2"         | 08    | 135.5    | 1,084      | 12.0 |
| - Codo 90° Ac.Inox. de 2"Ø                | 04    | 37.5     | 150        | 1.6  |
| - Codo 90° Ac.Inox. de 1 1/2"Ø            | 04    | 27.7     | 110.8      | 1.2  |
| - Tee de Ac.Inox. de 2"Ø                  | 04    | 97.6     | 309.6      | 3.4  |
| - Tee de Ac.Inox. de 1 1/2"Ø              | 04    | 72.2     | 288.8      | 3.2  |
| - Junta Univ. Ac.Inox. de 2"Ø             | 04    | 102.5    | 410        | 4.6  |
| - Junta Univ. Ac.Inox. de 1 1/2"          | 04    | 83.4     | 333.2      | 3.7  |
| - Visores de Caudal                       | 05    | 5.3      | 26.5       | 0.3  |
| - Manómetro Bourdon 3"Ø                   | 07    | 25.0     | 175        | 1.9  |
| - Válvulas de Flotador                    | 07    | 7.3      | 51.1       | 0.6  |
| - Pintura verde (GL)                      | 01    | 25.8     | 25.8       | 0.3  |
| - Pasta selladora de rosca                | 01    | 1.25     | 1.25       | 0.01 |
| - Teflón (rollo)                          | 05    | 0.45     | 2.25       | 0.02 |
| T O T A L                                 |       |          | \$ 9,063.6 |      |

1.2 Mano de Obra Directa:

|   |                   |
|---|-------------------|
| - Instalación y Ensamble del Sistema de Tuberías. |                   |
| - Pintado de las tuberías, etc.                   | : 2 % Costo Total |
| T O T A L   |                   |
| \$ 181.27   |                   |

7.2 Obras Civiles y Complementarias:

7.2.1 Local Industrial:

Se requerirá un local con un área de 900 m<sup>2</sup> de área techada que cuente con los servicios de luz eléctrica y de agua potable.

Para tales efectos, según el Banco Hipotecario del Perú tasa en \$120/m<sup>2</sup> en zonas industriales, basado sobre lo que se denomina BATTERY LIMIT, el cual significa que los servicios industriales están ya en Planta (agua, energía eléctrica, etc).

Por lo tanto, el precio del terreno incluida el área techada será:

$$\text{Precio del Local} = \$ 108,000$$

7.2.2 Energía Eléctrica:

1. Material Directo:

| Designación  | Cant. | P.U (\$) | P.P (\$) | %    |
|--|-------|----------|----------|------|
| - Transformador de 50 KVA trifásico, relación de transformación de 10 KV/220V.   | 01    | 1,350    | 1,350    | 14.1 |
| - Tablero Gral. de Distribución de Alumbrado y Tomacorrientes de 15 circuitos con 15 llaves é interruptores termomagnéticos de 15 Amp. c/u.                      | 01    | 550      | 550      | 5.8  |
| - Tablero correspondiente al Control Central de Motores con 14 circuitos con llaves é interruptores termomagnéticos con sus respectivos relés de máxima potencia | 01    | 1,550    | 1,550    | 16.2 |



| Designación                                       | Cant. | P.U. (C) | P.F. (\$) | %    |
|---|-------|----------|-----------|------|
| - Luminarias con lámpara fluorescente de 2 x 40 W | 95    | 20.7     | 1,956.5   | 20.5 |
| - Interruptor simple de 01 golpe.                 | 09    | 1.0      | 9.0       | 0.1  |
| - Interruptor simple de 02 golpes.                | 09    | 1.85     | 16.65     | 0.2  |
| - Interruptor simple de 03 golpes.                | 01    | 2.5      | 2.5       | 0.03 |
| - Tomacorriente monofásico                        | 46    | 1.0      | 46.0      | 0.5  |
| - Conductor THW 2.5 mm <sup>2</sup> (mts)         | 480   | 0.45     | 216       | 2.3  |
| - Conductor THW 4.0 mm <sup>2</sup> (mts)         | 744   | 0.61     | 454       | 4.8  |
| - Conductor NYY 3x1x25 mm <sup>2</sup>            | 05    | 13.8     | 69        | 0.7  |
| - Conductor NYY 3x1x10 mm <sup>2</sup>            | 20    | 5.8      | 116       | 1.2  |
| - Conductor NYY 3x1x4 mm <sup>2</sup>             | 200   | 3.7      | 740       | 7.7  |
| - Tubería PVC-SAP 3"Ø (mts)                       | 05    | 9.26     | 46.3      | 0.5  |
| - Tubería PVC-SAP 3/4"Ø (mts)                     | 531   | 4.0      | 2,124     | 22.2 |
| - Tubería Po.Go. 3"Ø (mts)                        | 25    | 12.8     | 320       | 3.3  |
| T O T A L   |       |          | \$ 9,576  |      |

2. Mano de Obra Directa:

| Designación                               | P.F. (\$)        |
|---|------------------|
| - Instalación del Tablero de Distribución | 15 % Costo total |
| - Instalación del Tablero del MCC.        |                  |
| - Instalación del Transformador           |                  |
| - Instalación de los interruptores        |                  |
| - Instalación de los Aparatos Luminosos   |                  |
| - Instalación de las Tuberías             |                  |
| - Instalación de los Conductores          |                  |
| - Prueba del Sistema                      |                  |
| T O T A L                                 |                  |
|   | \$ 1,436.40      |

## C O N C L U S I O N E S

- 1.- El Extracto de Achiote se degrada al ser expuesto a la luz difusa del sol, en exposiciones de 6 a 8 días; por lo que se tendrá mucho cuidado durante el proceso, de mantener el Extracto al margen de la exposición solar.
- 2.- La solubilidad del Achiote es buena en alcohol, éter y aceites, así como en alcalis. Pero debido a los altos costos de los solventes orgánicos y a las pérdidas que se producen durante el proceso de extracción se decidió desarrollar la técnica de Lixiviación con Hidróxido de Sodio por su eficacia y economía.
- 3.- Se recomienda antes del empaçado que el Extracto de Achiote en Polvo de varias producciones deberá ser mezclado para dar un producto uniforme para la venta; además tendrá que ser almacenado libre de humedad. Según Dendy (1,976), sugiere el almacenamiento del extracto en envases de plástico pero en pequeñas cantidades, ya que comercialmente son mejores y también recomienda su posterior empaçado en cajas de cartón. Estas deben ser guardadas en lugar frío y seco reguardándolas de la luz solar.
- 4.- Tanto en el tanque extractor como en el tanque precipitador se hará uso de agitadores y con una velocidad recomendada de 100 RPM, ya que según Herrera (1,980), indica que el incremento de la difusión y su correspon-

diente transferencia de material desde la superficie de las partículas a la solución se vé directamente influenciada por la agitación, indicando además que la agitación de suspensiones de partículas finas previene la sedimentación y se aprovecha en forma más efectiva la superficie interfacial.

- 5.- Por ser una Planta netamente modular, con pequeños cambios en los procesos de producción, se puede adaptar - para la extracción del Palillo y de la Cochinilla inclusive.
  
- 6.- Se usó un Secador de Bandejas con recirculación de aire calentado por un Sistema de Haz de Tubos por donde circulan los gases calientes provenientes de la Cámara de Combustión. Para el secado del Extracto, los especialistas recomiendan secar rápidamente entre 60 a 90 °C en un horno de convección forzada, para obtener un producto satisfactorio, con una velocidad recomendada del aire de 3.2 m/seg.
  
- 7.- Se prefirió usar un Quemador de Petróleo Diesel No.2 en lugar de usar gas, debido a la demanda de combustible, se necesitaría para el reciclaje de éste un depósito de grandes dimensiones y siendo el caso de que la Planta se encuentre en Zonas Rurales, sería dificultoso el uso del gas. Además en el acápite correspondiente resultó el Petróleo Diesel No.2 más económico que el gas.

- 8.- Cabe resaltar que el autor optó por desarrollar ésta Tesis, debido a Estudios ya realizados de Pre-Factibilidad , donde se demuestra que el tema de la Extracción de Colorantes por medio de las Semillas de Achiote es altamente rentable. Por lo tanto no se tocará estos estudios, sino mas bien se tomará en cuenta la ejecución y puesta en marcha de una Planta de Extracto de Achiote, en base a lineamientos y condiciones óptimas de trabajo guiado por estudios ya realizados por Ingenieros de Industrias Alimenticias.
  
- 9.- Los Equipos que intervienen en el Proceso de Producción han sido diseñados con una capacidad mayor a lo especificado por la Capacidad de la Planta, con el fin de poder hacer ampliaciones ó poder atender a los requerimientos producidos por un incremento en la demanda.
  
- 10.- La localización de la Planta Industrial, de acuerdo a otros Estudios estará ubicada en las Zonas Industriales de Lima, pudiendo localizarla en las zonas industriales de la Panamericana Norte ó también de la Carretera Central, no habiendo ninguna restricción en cuanto a su ubicación, ya que la Planta Industrial no produce contaminaciones más allá de las permitidas por Defensa Civil, ni ofrece peligro alguno a la integridad física de la población civil.

- 11.- Para un buen control y buen funcionamiento del Proceso de Producción se necesitará del siguiente personal:
- Un Almacenero que se encargará de la recepción y salida de los insumos, ya sea de las semillas de achioté, como también del hidróxido de sodio en escamas y del ácido sulfúrico, etc.
  - Un Almacenero que se hará cargo del control de entrada y salida del producto terminado.
  - En el Area de Control de Calidad, habrá dos personas encargadas. Un analista de Control de Calidad, que se encargará de todas las pruebas que tiene que pasar el producto y un Inspector que se encargará de la calidad del producto durante su proceso; además de inspeccionar la calidad de los insumos, tanto naturales como químicos.
  - En el Area de Mantenimiento habrá un Técnico especialista en mecánica y electricidad que se encargará de la puesta a punto de los Equipos y Maquinarias como también de los servicios de luz y agua potable.
  - El Area de producción contará con dos operarios. Uno con capacidad técnica para manejar los Equipos y el otro operario que se encargará de prestar ayuda tanto en los procesos de producción, como también al mantenimiento y limpieza de la Planta de Producción.
  - Finalmente contará con un Jefe de Planta que podría ser un Ing. Mecánico ó Mecánico-Electricista que coordinará los programas de producción diarios como también se encargará de llevar los programas de mantenimiento diarios.

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Annatto, The Pigment of Bixa Orellana.  
Dendy D.A.V  
Nairobi - Kenya 1,976.
- 2.- Apuntes del Curso de Aparatos Térmicos.  
Herencia Daniel.  
UNI - Perú 1,985.
- 3.- Construcción de Silos.  
Reimbert Marcel.  
June 1,981.
- 4.- Diseño de Elementos de Máquinas  
Hori-Asano.  
UNI - Perú 1,982.
- 5.- Distribución de una Planta y Manejo de Materiales.  
Apple James M.  
Georgia Institute of Technology.
- 6.- Drying of Wet Solids  
Wentz S.
- 7.- Equipo de Agitación Química.  
Manual del American Institute of Chemical Engineers.  
May 1,982.
- 8.- Ensayo Tecnológico para la Obtención de Extracto de Cochinilla en Polvo.  
Randich Salhuana José. Tesis de Ing. en Ind. Alimentarias, UNA - Perú 1,979.
- 9.- Esfuerzos en Elementos de Máquinas.  
Hori Asano.  
UNI - Perú 1,982.
- 10.- Especificaciones Técnicas del Annatto de Achiotte en Polvo.  
FDA (Food and Drug Administration).
- 11.- Estadística de Producción Agrícola de Achiotte por Dpto. por Año.  
Ministerio de Agricultura. Oficina Sectorial de Información y Estadística.
- 12.- Estudio de Pre-factibilidad para la Implantación de una Planta de Extracción de Colorante a partir del Achiotte en la Ciudad del Cusco.  
Nuñez Pachas Daniel.  
Cusco - Perú 1,976.
- 13 - Extracción de Colorante a partir del Achiotte.  
Cabezudo S.G. Tesis de Ing. en Ind. Alimentarias.  
UNA - Perú 1,973.

- 14.- Extracción de Colorantes a partir del Palillo.  
Zapata Rodríguez Reynaldo. Tesis de Ing. en Ind. Alimen-  
tarias.  
UNA - Perú 1,976.
- 15.- Extracción por medio de Agua y Alcalis de Colorantes a  
partir del Achiote.  
Fernandez Cabrera Carlos. Tesis de Ing. en Industrias  
Alimentarias.  
UNA - Perú 1,977.
- 16.- Física para Estudiantes de Ciencias e Ingeniería.  
Resnick Halliday.  
España 1,968.
- 17.- Manual de Construcciones en Acero.  
Steel Construction.
- 18.- Manual del Ing. Mecánico.  
Bausmeister y Marks.  
México 1,978.
- 19.- Manual del Ing. Químico.  
Perry John H.
- 20.- Mezcla. Contiene Agitadores.  
Uhl Vincent.  
USA 1,983.
- 21.- Obtención de la Bixina a partir de la Cubierta de las  
Semillas de Achiote.  
Castro Moreano Miguel. Tesis de Ing. Química.  
UNI - Perú
- 22.- Procesos de Transferencia de Calor.  
Kern Donald Q.
- 23.- Transferencia de Calor.  
Manrique J.
- 24.- Transmisiones de Calor  
Sukomel Alex.
- 25.- Trituración y Molienda.  
Waganoff Nicolas P.