

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA**



**ESTUDIO TECNICO - ECONOMICO PARA LA  
INSTALACION DE UNA PLANTA DE CARBON  
ACTIVADO A PARTIR DE UNA MEZCLA DE CASCARA  
DE ARROZ Y ASERRIN DE MADERA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE ING. QUIMICO**

**DESARROLLADO POR LOS BACHILLERES :**

**MAURO PEREZ ESTRELLA**

**JOSUE CALLUPE ASTUHUAMAN**

**PROMOCION 93 - II**

**LIMA - PERU**

**1999**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente por la valiosa colaboración en la realización de nuestra tesis a nuestro asesor el Ingeniero Adolfo Marcelo Astocondor, y a nuestros padres por su comprensión y apoyo en todo momento.

Atte.

PEREZ ESTRELLA MAURO

CALLUPE ASTUHUAMAN JOSUE

## INDICE

**TITULO: ESTUDIO TECNICO ECONOMICO PARA LA  
INSTALACION DE UNA PLANTA DE CARBON  
ACTIVADO A PARTIR DE UNA MEZCLA DE  
CASCARILLA DEL ARROZ Y ASERRRIN DE MADERA**

	Pág
Capítulo I.- INTRODUCCION .....	8
Capítulo II.- GENERALIDADES	
2.1. El arroz .....	11
2.1.1 Clasificación Botánica .....	12
2.1.2 Distribución Geográfica .....	13
2.1.3 Producción Nacional del arroz .....	13
2.1.4 La Cascarilla del Arroz.....	14
2.2 Adsorción .....	17
2.2.1 Definición .....	17
2.2.2 Teorías de Adsorción .....	18

2.2.3	Tipos de Adsorción .....	25
2.2.3.1	La Adsorción Física .....	25
2.2.3.2	La Adsorción Química .....	26
2.2.4	Naturaleza de los Adsorbentes .....	27
2.2.5	Clasificación Industrial de los Adsorbentes .....	28
2.3	Carbón Activado.....	30
2.3.1	Definición .....	30
2.3.2	Historia .....	30
2.3.3	Materias Primas usadas en la Fabricación .....	34
2.3.4	Carbonización ó Pirólisis .....	35
2.3.5	Métodos de fabricación .....	37
2.3.5.1	Activación Química .....	38
2.3.5.2	Activación Física .....	40
2.3.6	Tipos ó Grados de Carbones .....	42
2.3.7	Naturaleza del Carbón Activado .....	43
2.3.8	Teorías sobre la Naturaleza de la Superficie de los Carbones activados.....	46
2.3.9	Aplicaciones .....	49
2.4	Carbón Activado de la cascarilla del Arroz .....	52
2.4.1	Utilización de la cascarilla del Arroz.....	52
2.4.2	Composición de la cascarilla del Arroz .....	53
2.4.3	Carbonización de la cascarilla del Arroz .....	54
2.4.4	Productos de la carbonización .....	55

2.4.5 Carbón de cascarilla del arroz, activado químicamente.....	57
---	----

### Capítulo III.- ESTUDIO DE MERCADO

3.1 Usos de la cascarilla del Arroz .....	59
3.2 Volumen y Consumo actual de la Cascarilla del Arroz .....	59
3.3 Demanda y Producción Nacional del Cabón Activado .....	63

### Capítulo IV.- PRUEBAS EXPERIMENTALES Y METODO PARA LA OBTENCION DEL CARBON ACTIVADO

4.1 Materiales y Equipos .....	66
4.1.1 Materia Prima .....	67
4.1.2 Materiales .....	67
4.1.3 Reativos Químicos .....	68
4.1.4 Equipos .....	68
4.2 Análisis Realizados .....	69
4.2.1 En la Materia Prima .....	69
4.2.2 En el Carbón Activado .....	70
4.3 Método experimental para la obtención del Carbón Activado ...	81
4.3.1 Flujo de Operaciones .....	81

4.3.2	Selección del Carbón Activado.....	92
4.3.3	Selección del Reactivo Activante.....	92
4.3.4	Análisis Físico-Químico del carbón Activado en polvo .....	92
4.3.5	Evaluación del proceso de Carbonización- Activación.....	93
4.3.6	Evaluación de la Eficiencia del Carbón Activado .....	94
4.4	Resultados Experimentales .....	96
4.4.1	Análisis en la Materia Prima .....	96
4.4.2	Evaluación del Proceso de Carbonización - Activación .....	98
	4.4.2.1 Efecto de la Temperatura .....	99
	4.4.2.2 Efecto del Tiempo .....	100
	4.4.2.3 Efecto de la concentración del agente Activante .....	101
4.4.3	Selección del Carbón Activado .....	103
4.4.4	Selección del Reactivo Activante .....	104
4.4.5	Análisis Físico - Químico del Carbón Activado en Polvo .....	104
4.4.6	Evaluación de la Eficiencia del Carbón Activado .....	116

## Capítulo V.- DISEÑO DE LA PLANTA

5.1 Localización de la Planta.....	120
5.2 Selección del Método.....	121
5.3 Balance de Masa y Energía.....	122
5.4 Diseño y Selección de Equipos.....	127
5.5 Determinación de Servicios.....	152
5.6 Flow – Shet.....	153
5.7 Disposición de la Planta.....	154

## Capítulo VII EVALUACION ECONOMICA

6.1 Inversión de Capital Fijo.....	155
6.2 Determinación del Capital de Trabajo.....	156
6.3 Costo total de la producción.....	157
6.4 Estado de pérdidas y ganancias.....	161
6.5 Flujo de caja.....	162
6.6 Balance General.....	163

ANEXOS .....	164
RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	190
BIBLIOGRAFÍA.....	195

## I. INTRODUCCION

En el Perú, el cultivo del arroz constituye una de las principales actividades económicas. Se caracteriza por su importancia en la dieta alimentaria, por su fuente generadora de trabajo y por constituir una alternativa para el desarrollo del agroindustria. El procesamiento del arroz nos brinda una serie de subproductos que incluyen a la pajilla, polvillo, arrocillo y ñelen.

La pajilla está constituida por las cascarillas del arroz provenientes del proceso del pilado y es empleado en la fabricación de detergentes, como combustible en ciertos tipos de calderos, en la elaboración de alimentos balanceados para animales, etc.

Por otro lado la Industria Peruana utiliza considerable cantidad de Carbón Activado, cuya demanda no satisface la producción nacional, la misma que es importada para satisfacer dicha demanda.

De acuerdo a las investigaciones realizadas sobre la obtención del Carbón Activado se vió que la materia prima utilizada en la obtención del carbón



activado es diversa, tales como los siguientes: huesos de animales; sangre de animales; madera; cereales; cáscara de café, de arroz, de coco, de habas; copolímeros vinílicos; el carbón de petróleo; llantas recicladas; etc.

De lo expuesto anteriormente, el presente trabajo tiene por objeto proponer como una alternativa de materia prima las cascarillas del arroz para la obtención del Carbón Activado en polvo, puesto que en el Perú no es aprovechada industrialmente para estos fines y se desecha en grandes volúmenes. En vista de ello realizamos pruebas de obtención de carbón activado, utilizando como materia prima una mezcla de **cascarilla de arroz** con **aserrin de madera**; por el método de activación química, para lo cual usamos como reactivo activante el cloruro de zinc y cloruro férrico. Las diversas pruebas para establecer los parámetros óptimos tales como temperatura de carbonización y activación, tiempo de carbonización y activación, concentración del agente activante; fueron realizados en el Laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ingeniería Química, así como en la empresa Hornos Industriales S.A. La producción a nivel de laboratorio fue de 22 a 24 % y a nivel de planta piloto fue de 28 a 33 % en peso (base seca) de la mezcla: cascarilla de arroz y madera, lo que nos indica un valor bastante aceptable como para empezar a realizar un estudio técnico.

Los resultados obtenidos demuestran que el carbón activado es bastante aceptable para la decoloración de aceites esenciales y medianamente aceptable para la refinación del azúcar crudo.

El estudio orienta al diseño de una planta a nivel industrial, la que estará ubicada en una zona industrial del norte del país (Lambayeque), por encontrarse más cerca de las empresas que proporcionarían la materia prima en mayores volúmenes.

La Planta diseñada permitirá procesar 4,0 TM. de materia prima (2,4 TM de cascarilla y 1,6 TM de aserrín) por día de operación.

Su abastecimiento está garantizado por la existencia de empresas que procesan el arroz y por la presencia de grandes aserraderos cercanos a la zona, disponible a un costo muy bajo. Así como el abastecimiento de insumos tales como el reactivo activante, se disponen de reactivos sustitutos.

La producción diaria de carbón activado será de 1,2TM/día, con un costo de producción de 1,089 US \$/Kg., por tener un costo de materia prima bastante bajo.

## II. GENERALIDADES

### 2.1 EL ARROZ

El arroz es una gramínea semiacuática que se cultiva bajo condiciones de suelos húmedos no necesariamente anegados, existiendo variedades de siembra en terrenos húmedos y de riego en terrenos inundados, siendo estas últimas las de mayor importancia y mayor área de cultivo en el mundo.

Este cereal constituye una de las más viejas e importantes fuentes de alimentación en el mundo, siendo sobre todo en la dieta del poblador peruano uno de sus elementos básicos alcanzando un consumo considerable y que a pesar de ello es bajo comparado con el nivel de consumo que muestran otros países de América Latina. En Asia el consumo es aún más alto.

### 2.1.1 Clasificación botánica

El arroz se encuentra incluido en la siguiente clasificación botánica:

División	: Tracheophyta
Subdivisión	Pterósida
Clase	Angiospermae
Subclase	Monocotiledónea
Orden	Graminales
Familia	Graminae
Género	Oryza
Especie	Oryza sativa

A su vez existen dos subespecies: la Indica, de granos largos y estrechos; y la Japónica que posee granos cortos y redondos.

En el Perú se siembran casi en su totalidad variedades Asiáticas, siendo las más empleadas la Naylamp, Radin China, Minabir y variedades mejoradas de las mismas del grupo Filipinas (Ministerio de Agricultura, 1997).

### **2.1.2 Distribución geográfica**

Tal como se aprecia en el cuadro 1, la producción de arroz en el país está concentrada en la costa, la cual aporta casi el 70 % de la producción nacional, mientras los volúmenes restantes proceden de la selva norte, siendo sus principales zonas de producción: Jaén, Bagua, Alto Mayo y Huallaga principalmente.

El principal centro arrocero del país lo constituye el departamento de Lambayeque seguido por Piura, La Libertad, San Martín, Amazonas y el valle de Camaná en Arequipa.

### **2.1.3 Producción nacional del arroz**

El arroz participa con el 10 % del valor bruto de la producción agropecuaria y ocupa el segundo lugar en importancia en la dieta familiar, luego de la papa. A continuación se tiene los cuadros de la producción nacional del arroz de acuerdo a diferentes fuentes (ver los cuadros 1y2).

#### **2.1.4 La cascarilla del arroz**

El procesamiento de arroz en los molinos es canalizado para la obtención ya sea de arroz pulido blanco o arroz moreno y brinda a su vez una serie de subproductos que incluyen a la **pajilla (cascarilla del arroz)**, polvillo, arrocillo y ñelen .

La pajilla ó cascarilla del arroz está constituida por las cáscaras del grano que provienen del proceso de molienda del mismo y se emplea para la fabricación de detergentes y como combustible en ciertos tipos de calderos; mientras el polvillo está compuesto de partículas que se originan en el proceso de blanqueado y pulido del grano y proceden por lo general de la cutícula de éstos.

## CUADRO 1.

**CULTIVO: ARROZ CASCARA****PERU: PRODUCCION MENSUAL SEGÚN DEPARTAMENTO****AÑO: 1996 - 1997( TM )**

DEPARTAMENTO	PRODUCCION	PRODUCCION
	(miles de TM) 1996	(miles de TM) 1997
Total Nacional	1 203,2	1 459,5
Amazonas	99,9	127,5
Ancash	13,7	17,3
Arequipa	137,9	146,7
Cajamarca	80,4	124,9
Cuzco	2,7	6,1
Huánuco	2,9	8,9
Junín	2,3	2,3
La Libertad	205,8	229,7
Lambayeque	235,1	157,4
Loreto	47,1	56,1
Madre de Dios	4,6	5,1
Piura	120,0	241,3
San Martín	185,8	243,3
Tumbes	51,2	69,2
Ucayali	10,7	19,3
Otros	2,9	4,8

Fuente: MINAG - OIA - Boletín Producción Agrícola 1996 - 1997

MINISTERIO DE AGRICULTURA - Ofic. de Información Agraria.

## CUADRO 2.

## PERU: ARROZ SUPERFICIE

## ARROZ CASCARA

DEPARTAMENTO	Superficie cosechada (miles de Ha.)	
	1996	1997
Total Nacional	<b>210,4</b>	<b>238,7</b>
Amazonas	19,2	18,7
Ancash	2,0	2,5
Arequipa	14,0	14,5
Cajamarca	15,3	19,9
Cuzco	1,7	3,9
Huánuco	1,7	4,3
Junín	1,2	1,5
La Libertad	24,0	28,2
Lambayeque	41,2	29,7
Loreto	20,4	23,9
Madre de Dios	3,4	3,6
Piura	17,4	30,3
San Martín	34,3	34,9
Tumbes	7,6	11,3
Ucayali	5,1	8,1
Otros	1,9	3,5

Fuente: MINAG - OIA - Boletín Producción Agrícola 1996-1997



## 2.2 ADSORCION

### 2.2.1 Definición

La *Adsorción* es la capacidad de un sólido ó líquido de retener o concentrar en una superficie una ó más componentes (átomos, moléculas o iones) de otro sólido, líquido ó gas, que estén en contacto con la superficie (*Salvat, 1964*). Por otro lado *Kirk* (1961), agrega que el término superficie incluye tanto las superficies geométricas externas como la superficies “internas” de los capilares, las grietas y los intersticios.

Por su parte *Perry* (1994), señala que en sus aplicaciones industriales, la adsorción como operación unitaria, podría considerarse como complementaria de otras operaciones y procesos unitarios, cada uno de los cuales tiene limitaciones concretas con respecto a las pequeñas concentraciones de sustancias que habrían de eliminarse ó sacarse.

Conviene también definir dos fenómenos que tienen mucha relación con la adsorción física, a saber: La absorción y la condensación capilar. Según *Kirk* (1961), por lo común, se emplea el vocablo absorción para designar la fijación de un gas por un sólido cuando el fenómeno no se limita a la superficie. Por

ejemplo: puede incluir la disolución del gas en la red cristalina del sólido a la vez que la adsorción del gas en la superficie. De ordinario el término absorción se emplea para expresar la disolución de un gas en un líquido. La condensación capilar es la conversión en líquido de un adsorbato gaseoso en los capilares de un sólido, que se efectúa a presiones algo menores que la necesaria para que el adsorbato se condense en masa y se convierta en líquido, pudiéndosele considerar como una forma de adsorción física.

### 2.2.2 Teorías de adsorción

Según *Santana* (1974), se ha probado que en un sistema de adsorción existe una correlación matemática entre la cantidad de sustancia adsorbida y la cantidad que permanece no adsorbida. Esta correlación matemática, obtenida experimentalmente por algunos investigadores y teóricamente por otros, establece un isoterma en un determinado sistema.

Una isoterma de adsorción es la mejor característica para estudiar el estado de equilibrio del sistema. Es por medio de ella que se puede detectar las diferencias cualitativas y cuantitativas entre los carbones activos. Se puede calcular por medio de las isotermas, el

área de la superficie adsorbente, o el volumen de los poros y su distribución de tamaño, la cantidad del calor de adsorción y el coeficiente de afinidad que expresa la adsorbilidad relativa de un vapor o gas en un adsorbente dado, en relación a un patrón escogido (Santana, 1974).

#### **2.2.2.1 Isoterma de Langmuir**

Para el establecimiento de las ecuaciones teóricas que mejor interpretasen el fenómeno de adsorción, se partió de estudios cinéticos, estadísticos y termodinámicos del sistema.

Según *Perry* (1994), *Langmuir* supone que las fuerzas que actúan en la adsorción son de clase semejante a las que intervienen en la combinación química. Las fuerzas que actúan en la combinación química ordinaria resultan de fuertes desviaciones de las órbitas de los electrones exteriores de la estructura atómica, mientras las que actúan en la adsorción se deben a pequeñas desviaciones. *Langmuir* supone que existen espacios elementales o puntos de valencia residual en la superficie de un cristal. Las fuerzas de adsorción están concentradas en esos puntos, y la

adsorción consiste en la fijación de los átomos adsorbidos en los espacios elementales durante un cierto tiempo.

Del estudio cinético, resultó la ecuación de Langmuir:

$$\theta = \frac{a.P}{a.P + b} \quad (1)$$

Donde:

$\theta$  = Fracción de superficie cubierta a presión P

P = Presión de equilibrio del adsorbato en fase gaseosa

a y b = constante del sistema de adsorción.

#### 2.2.2.2 Isoterma de Brunauer, Emmet y Teller (B.E.T.)

*Brunauer*, según Perry (1994), revisó críticamente las teorías de adsorción y los datos en que se apoyan y presentó una teoría de capa multimolecular, de acuerdo con la cual se determina la adsorción física de la primera capa, el calor neto de adsorción y la superficie del adsorbente.

La ecuación de B.E.T. es derivada de la ecuación de Langmuir, en la que  $\theta$  es la razón entre la cantidad de gas adsorbido y la cantidad de gas que se necesita para formar una capa molecular  $V_m$ , pudiéndose expresar la ecuación de la siguiente manera:

$$\frac{V}{V_m} = \frac{a.P}{(a.P + b)}$$

Para averiguar si los datos están representados por la ecuación, conviene transformar ésta en la siguiente forma:

$$\frac{P}{V} = \frac{P}{V_m} + \frac{b}{a.V_m}$$

Para explicar la forma sigmoidea de esta isoterma, se ideó la teoría que postula la construcción de capas múltiples estadísticas, de suerte que a cualquier presión determinada, la cantidad de gas adsorbido es la suma de la cantidad en la primera capa, la cantidad en la segunda capa, etc. La ecuación de las capas múltiples es:

$$V = \frac{C.V_m.P_s}{(1 - P_s)[1 + (C - 1)P_s]}$$

en donde:

$P_s = P/P_o =$  Presión relativa = Presión de saturación del gas no adsorbente.

$P_o =$  presión de licuefacción del adsorbato en masa de líquido a la temperatura que se efectúa la adsorción.

$V$  = Volumen del gas a presión parcial  $P$

$V_m$  = Volumen del gas para cubrir la superficie libre del adsorbente con una camada monomolecular.

$C$  = Constante que tiene en cuenta la energía de condensación del gas.

Por lo tanto la ecuación se transforma en:

$$\frac{P_s}{V(1-P_s)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{(C-1)P_s}{V_m C} \quad (2)$$

### 2.2.2.3 Isoterma de Freundlich

Según *Hassler* (1974), el conocimiento de la relación entre la cantidad de sustancia adsorbida y la concentración residual no adsorbida es de utilidad práctica. Agrega que muchos investigadores tienen presente que la concentración sobre el adsorbente es generalmente proporcional a una fuerza fraccional de la concentración que permanece inadsorbida. La cual está expresada matemáticamente por la ecuación de *Freundlich*, la misma que fue encontrada experimentalmente.

$$(X / M) = K.C^{(1/n)} \quad (3)$$

Donde:

X = cantidad de sustancia adsorbida

M = masa del adsorbente utilizado

C = concentración del adsorbato que permanece no adsorbido

K y n = constantes del sistema de adsorción.

El exponente (1/n) es de utilidad práctica por que revela la adsorción del patrón cuando diferentes cantidades de adsorbato son removidas de una solución. Una isoterma puede ser vista como un mapa del camino en el cual un soluto adsorbible se distribuye entre el adsorbente y el solvente. Las gráficas son un medio cómodo de usar la ecuación. *Hassler* (1974), señala que aunque extremadamente útil en algunos estudios serios de adsorción, las isotermas no son esenciales para un uso afortunado del carbón activado en una nueva aplicación. Surgen situaciones en las cuales las propiedades de las impurezas son tales, que no es posible trasladar las concentraciones en equivalentes gravimétricos.

Según *Kirck* (1963), la ecuación de *Freundlich* cumple bastante bien para las concentraciones de pequeñas

impurezas encontradas en la mayoría de las aplicaciones industriales. La ecuación no tiene en cuenta la adsorción del disolvente y esto puede conducir a desviaciones importantes cuando el disolvente es muy adsorbible. Señala que esta ecuación se usa para calcular la cantidad de carbón que se necesita en un sistema a contracorriente, pero que a menudo se usa un método de tanteo, en el que el primer paso es averiguar qué cantidad de carbón se necesita para obtener un grado satisfactorio de pureza en un tratamiento de una sola fase.

Por su parte *Mantell*, citado por Perry (1994), establece que, excepto como un fondo cultural, el ingeniero que proyecta sistemas de adsorción y el operador de ellas, se interesan poco por las fases teóricas o las teorías de adsorción. Conocen cómo funciona la operación y se preocupan mucho más por ciertos factores de ella, tales como la distribución del adsorbente, su velocidad de sedimentación o su capacidad para ponerse en contacto con el material a tratar con la adsorción a partir de líquidos, o bien su dureza, su resistencia al aplastamiento, su tamaño o según las mallas por las que pase, la caída de presión, su disposición para mantenerse en su sitio, su permanencia física, su capacidad adsorptiva por unidad de peso o volumen en función de la



capacidad del producto tratado. Ninguno de estos factores está estrechamente relacionado con los aspectos teóricos de la adsorción ni con las expresiones matemáticas de los proponentes de las teorías de adsorción.

### **2.2.3 Tipos de Adsorción**

#### **2.2.3.1 La Adsorción Física**

Llamada también adsorción de *Van Der Waals*, es un fenómeno fácilmente reversible y es el resultado de las fuerzas intermoleculares entre las moléculas del sólido y la sustancia adsorbida. Según *Treybal* (1987), cuando las fuerzas atractivas intermoleculares entre un sólido y un gas son mayores que las existentes entre las moléculas del gas mismo, el gas se condensará sobre la superficie del sólido, aunque su presión sea menor que la presión de vapor que corresponde a la temperatura predominante.

Las operaciones industriales de adsorción, dependen de su reversibilidad para recuperar el adsorbente, para la

recuperación de la sustancia adsorbida o para el fraccionamiento de mezclas. La adsorción reversible también se observa en el caso de líquidos.

Según *Salvat* (1964), en la adsorción física no se produce ninguna reacción química entre el adsorbente y el adsorbato. Los calores de adsorción física son generalmente menores de 15 - 30 kcal/mol.

#### **2.2.3.2 La Adsorción Química**

Llamada también Adsorción Activada, es el resultado de la interacción química entre el sólido y la sustancia adsorbida. *Treybal* (1987) sostiene que la fuerza de la unión química varía considerablemente y puede suceder que no formen compuestos químicos en el sentido usual; sin embargo, la fuerza de adhesión es mucho mayor que la observada en la adsorción física.

El proceso es frecuentemente irreversible y en la desorción a menudo se descubre que la sustancia original ha sufrido un cambio químico. El calor liberado durante la adsorción química es grande, parecido a una reacción química, tal como lo señala *Salvat* (1964), que pasa de 20 - 30 kcal/mol.

Este tipo de adsorción es de particular importancia en la catálisis.

#### **2.2.4 Naturaleza de los Adsorbentes**

El adsorbente es utilizado en la industria siguiendo dos métodos: Uno llamado de percolación y otro de filtración en contacto. Perry (1994), señala que en la percolación se mantiene en su sitio el adsorbente y el líquido o la solución que sufre el tratamiento se hace circular por encima de él y a su alrededor. En este método, el adsorbente es, por lo general, granular y debe poseer ciertas propiedades mecánicas y físicas para conservar su forma y mantenerse en su sitio. En la filtración en contacto, el adsorbente finamente dividido se mezcla con el líquido o la solución que se trata, se agita, y el adsorbente se separa del líquido tratado por filtración o combinando métodos de sedimentación y de filtración. Según Treybal (1987), los sólidos adsorbentes deben poseer ciertas propiedades relativas a la ingeniería según la aplicación que se les vaya a dar. Por ejemplo, si se utilizan en un lecho fijo, a través del cual va a fluir un líquido o un gas, no deben ofrecer caída de presión del flujo muy grande, ni deben ser arrastrados con facilidad por la corriente que fluye. Deben tener adecuada consistencia para

que no se reduzca su tamaño al ser manejados o para que no se rompan al soportar su propio peso en los lechos del espesor requerido. Agrega, que si se van a sacar y meter con frecuencia de los recipientes que los contienen, deben fluir libremente.

Por otro lado, *Vian* (1979), sostiene que los gránulos de adsorbente deben ser resistentes, indeformables y que no deberán hincharse por el contacto con los líquidos con los cuales se hayan de emplear. Añade que, químicamente, deberán resistir a los adsorbatos y sus disoluciones, a los agentes regenerantes y aun, a las temperaturas a las que se sometan al practicarse la regeneración.

### **2.2.5 Clasificación Industrial de los Adsorbentes**

Treybal (1987), presenta una lista de los 11 principales adsorbentes de uso general; mientras que Perry (1994), considera 12 tipos de sólidos adsorbentes comercialmente importantes, incluyendo la magnesita y los carbones medicinales.

Por su parte *Vian* (1979), haciendo gala de su capacidad de síntesis, los clasifica en tres grupos que son:

a) Carbones (Vegetales o Animales): La activación de estos productos suele consistir en eliminar de sus poros las materias adsorbidas durante la carbonización. Esto se consigue, bien

carbonizando primeramente la madera y sometiéndola luego a la acción del  $\text{CO}_2$  o de vapor de agua, a  $800 - 1000^\circ\text{C}$ ; o bien por vía química, carbonizando la madera impregnada en una disolución de  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{NaOH}$  u otros varios.

b) Tierras : Comprende las tierras de batan o almería, las bentonitas, montmorillonitas y otras tierras arcillosas. Se han de incluir aquí también las bauxitas, la magnesia, etc., convenientemente preparadas, como las anteriores.

c) Geles inorgánicos : Se puede mencionar a los de Sílice, Alúmina y otros.

Por otro lado, Mantell (1951), presenta una lista de 94 marcas comerciales de carbones activados usados en diferentes aplicaciones, dándonos una idea de la gran variedad de absorbentes existentes en el mercado.

## 2.3 CARBON ACTIVADO

### 2.3.1 Definición:

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-295 (1981), es el tipo de carbón que se prepara por distintos métodos, los cuales le imparten un aumento de porosidad y en consecuencia mayor poder de adsorción, derivado de su superficie de contacto y de la interacción entre adsorbentes y adsorbato.

Sin embargo, en Diccionario de Química y de Productos químicos(1959), lo define como cualquier forma de carbón caracterizada por una gran capacidad de adsorción de gases, vapores o sólidos coloidales.

### 2.3.2 Historia.

Según Kauch la capacidad del carbón vegetal para eliminar el color en una solución se conocía ya en el siglo XV, pero la primera alusión a este respecto aparece en el año 1785 y la hace Lowitz, ocho años después que Scheele y Fontana describieran la adsorción de gases. Al parecer se hizo muy poco uso de la

información hasta que Figuiet, en 1811, descubrió que el carbón de huesos era más eficaz que el carbón vegetal para decolorar. Pocos años después se empleaba ya el carbón de huesos en escala industrial para purificar el azúcar. Al principio se aplicó pulverizado y se desechaba después de usado una sola vez. Sin embargo, pronto se descubrió y se adoptó un método para reactivar el carbón de huesos por nueva carbonización del producto granulado. Después se han introducido numerosos perfeccionamientos en el proceso, que se usa todavía de una manera general en la industria de la azúcar de caña. El descubrimiento de Figuiet hizo que aplazara el interés industrial por formas de carbón adsorbente distintas del carbón de hueso, por espacio de casi un siglo, si bien se hicieron algunos estudios de laboratorio para obtener carbonos decolorantes de otras fuentes. Bussy descubrió en 1822 que los carbonos producidos calentando sangre con potasa tenían un poder decolorante 20 a 50 veces mayor que el del carbón de huesos, y durante algunos años se empleó el carbón de sangre en los trabajos de laboratorio que exigían un carbón de gran capacidad adsorbente. Stenhouse preparó en 1856 un carbón calentando una mezcla de harina de madera y carbonato de magnesio, y Lee preparó en 1853 carbonos desodorizantes por la acción del vapor de agua y el aire caliente sobre la turba. Durante

el siglo XIX se patentaron otros procedimientos, muchos de los cuales son semejantes a los utilizados actualmente en la industria. Varios factores explican el retraso en el desarrollo industrial de carbón activo. La producción de este carbón exige un control mucho más minucioso del medio de activación que el carbón de huesos, y en realidad no se ha dispuesto recientemente de los instrumentos adecuados para este control. Por otro lado, la mayoría de las necesidades industriales de purificación en épocas anteriores podían satisfacerse adecuadamente con el carbón de huesos. Sin embargo, es interesante observar que algunas de las aplicaciones importantes actuales del carbón activo sugeridas hace mucho tiempo; en 1872, la protección contra los gases tóxicos, y la purificación del agua potable mucho antes. Hacia el año 1900 invento Ostrejko dos procedimientos para la activación: en uno de ellos se somete el carbón a una oxidación controlada con dióxido de carbono a temperatura elevada; el otro procedimiento consiste en incorporar cloruros metálicos a las materias primas antes de la carbonización. Este investigador ideó también el equipo apropiado para realizar el proceso; sus trabajos echaron los cimientos para el desarrollo industrial del carbón activo. El primer carbón activo pulverizado producido en Europa (1909), al que se dio el nombre de Eponit, fue seguido por el Norit en 1911 y por el Carboraffim en 1915. El primer carbón Americano, llamado Filtchar, se produjo



en 1913. Se perfeccionó y se ofreció en 1916 con el nombre de Superfiltchar , y en 1922 se mejoro aun mas y se convirtió en Nuchar y Suchar. Otros carbones Americanos fabricados después de 1913, son el Carbrox (1917), y el Kelpchar (1920) y el Darco(1921). Los primeros esfuerzos se concentraron en la aplicación del carbón activo a la refinación del azúcar de caña. Algunos estudios habían indicado que el jugo de caña bruto podía purificarse con carbón activo, procedimiento que hubiera suprimido una fase intermedia: la cristalización del azúcar impuro en el proceso de fabricación. Si bien estas esperanzas no llegaron a realizarse, se averiguo que el carbón activo podía reemplazar al carbón de huesos en la purificación del azúcar. Se habían hecho grandes inversiones para la aplicación del carbón de huesos y solo algunas refinerías adoptaron el procedimiento del carbón activo.

El interés por el carbón activo no se generalizo hasta la primera guerra mundial. La publicidad dada durante ella a uso del carbón activo para la protección contra los gases de guerra llamó la atención de todos las propiedades de esta sustancia. El poder purificador del carbón activo fue bien conocido por todos los soldados que estuvieron expuestos a los ataques con gases. Muchos de ellos aplicaron después estos conocimientos en procesos industriales. Las variedades del carbón activo pulverizadas y blandas que se fabricaban para la purificación del azúcar no eran

apropiadas para la defensa bélica, y la rápida producción de un carbón adecuado para adsorber gases venenosos es un episodio brillante de la Historia de la química industrial. Al terminarse la guerra, las investigaciones realizadas condujeron a importantes aplicaciones para esos carbones: la recuperación de vapores de disolventes, la extracción del benceno del gas de alumbrado y la eliminación de olores desagradables. Esos carbones para adsorber gases no eran apropiados para purificar líquidos, pero se había despertado el interés en las propiedades purificadoras del carbón activo y muchas empresas empezaron a experimentar con los carbones activos pulverizados que se habían producido anteriormente para la purificación del azúcar .

### **2.3.3 Materias primas usadas en la fabricación**

En la manufactura del carbón activo, aparte de las diferencias en la facilidad de activación, la naturaleza del material influye en las propiedades físicas del carbón, siendo posible utilizar una amplia variedad de materiales carbonáceos.

Por ejemplo, los carbones pueden ser de origen animal tales como huesos y residuos de sangre y carne; de origen vegetal tales como bagazo, madera, aserrín, cereales, café, huesos de fruta y todo tipo

de cáscaras tales como las de coco, arroz, trigo, maní y semilla de algodón. Los carbones de origen mineral pueden ser de antracita, hulla, lignito, carbón mineral, coque de petróleo; y de cualquier otro tipo de materiales carbonáceos como algas, olotes, pescado, melazas, etc.

#### **2.3.4 Carbonización o pirólisis**

Tratándose de madera, los términos destilación de la madera, destilación seca de la madera, destilación destructiva, resultan ser sinónimos (Quinde, 1984). Según Quinde (1984), la pirólisis es la descomposición térmica de la madera. Dicha descomposición se inicia a temperaturas mayores de 100 ° C; una descomposición mas activa ocurre alrededor de los 250° C, siendo las temperaturas por encima de los 500°C, las más utilizadas a nivel industrial. Por encima de los 270° C este proceso no requiere el suministro de calor pues el proceso se vuelve exotérmico.

En la destilación, según Earl (1975), la carga de madera se calienta en un recipiente cerrado, dispuesto de forma que los gases y líquidos vayan a parar por una tubería, a un condensador, donde se recoge el líquido del cual se va a obtener, por decantación y destilación fraccionada, útiles productos químicos orgánicos. Los

subproductos obtenidos en la destilación de la madera son: el ácido piroleñoso que es soluble en agua, el alquitrán de la madera, que es insoluble en el agua; el gas de madera, que es un producto que no se puede condensar.

El residuo sólido es conocido como “carbón” o carbón de madera, el cual está constituida principalmente por carbono. Este carbono es utilizado como combustible para fines especiales, así también para la obtención de carbón activado.

La pirólisis o carbonización es generalmente es conducida en ausencia de aire. Chaney, citado por Hassler (1974), reporta que temperaturas bajo  $600^{\circ}\text{C}$  son preferibles para la producción de carbones apropiados para la activación con vapor. Sin embargo esto no es universal puesto que Mc Bain produjo un carbón activado de azúcar carbonizada a  $900^{\circ}\text{C}$ . En un estudio de la activación de antracita, la carbonización a  $850^{\circ}\text{C}$  en una atmósfera de vapor produjo mayor estructura porosa que fue fácilmente activada. La presencia de constituyentes oxigenados en los materiales fuentes ayudan la formación de la estructura porosa.

Los carbones con amplio espectro de capacidad adsortiva, por ejemplo los carbones decolorantes, son preparados más fácilmente de materias primas que contengan apropiados constituyentes inorgánicos. La adición de algunos constituyentes inorgánicos específicos, pueden ser posible la preparación de carbones

activados de amplio espectro por carbonización, sin una etapa suplementaria de oxidación (Hassler,1974).

### **2.3.5 Métodos de fabricación**

Es importante tener presente que el término “carbón activado” comprende una familia de sustancias. Ninguno de los miembros de esta familia está caracterizada por una fórmula estructural definida y tampoco puede ser identificado separadamente por análisis químicos. Para Hassler (1974), las únicas bases para la diferenciación son las propiedades catalíticas y adsorptivas. Es bien conocido que las diferentes materias primas, preparadas por procesos de activación diferentes, tendrán diferentes propiedades adsorptivas.

En general, tales como lo señala Santana (1974), el carbón activo de materias primas carbonáceas pueden ser obtenido fundamentalmente de dos maneras: por activación química, que consiste en la carbonización del material previamente mezclado con un agente activante, y por activación física a través del tratamiento del material carbonizado con gases oxidantes.

### 2.3.5.1 Activación Química

La eficiencia de la carbonización es aumentada cuando las materias primas son impregnadas con soluciones de cloruros metálicos. Los cloruros de calcio y de magnesio fueron los primeros en ser usados.

Según Hassler(1974), el cloruro de zinc es más empleado a escala industrial en Europa y Japón. En ese proceso una parte de materia prima carbonosa es mezclada con 1 a 4 partes de cloruro de zinc en solución. Después de secada, la mezcla es carbonizada a 600 - 700°C; sin embargo temperaturas de 400 a 900°C han sido reportadas. El carbón terminado, después de haber sido lavado con agua y ácido, tiene una capacidad adsortiva conveniente para muchas aplicaciones. Las sales de zinc son recuperadas para reuso.

El carbonato de potasio ha sido usado desde muy temprano para la producción de carbón de sangre. Una mezcla de 8 partes de sangre seca con una parte de carbonato de potasio es carbonizada a 800°C en ausencia de aire, luego lavada y secada (Hassler,1974).

Kirck (1963), hace una relación de los diversos compuestos químicos que se han estudiado hasta la fecha los mismos que se encuentran en el cuadro siguiente:

## CUADRO 3.

**Materiales para Activación Química**

- |                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| 1. Acido bórico       | 13. Dióxido de manganeso |
| 2. Acido fosfórico    | 14. Dolomita             |
| 3. Acido nítrico      | 15. Fosfato cálcico      |
| 4. Acido sulfúrico    | 16. Fosfato sódico       |
| 5. Azufre             | 17. Gas sulfuroso        |
| 6. Carbonato potásico | 18. Hidróxido cálcico    |
| 7. Cianuros           | 19. Hidróxido sódico     |
| 8. Cloro              | 20. Sulfato manganeso    |
| 9. Cloruro cálcico    | 22. Sulfato sódico       |
| 10. Cloruro de zinc   | 23. Sulfuro potásico     |
| 11. Cloruro férrico   | 24. Tiocianato potásico  |
| 12. Cloruro manganeso |                          |

Fuente: Kirck 1963.

### 2.3.5.2 Activación Física

Muchos procesos de activación implican una reacción con gases oxidantes tales como vapor, aire y dióxido de carbono a temperaturas elevadas.

Para la activación de muchos tipos de carbones, el vapor es preferible al dióxido de carbono y mucho mejor que el aire.

Con vapor, la temperatura de activación debe ser bastante alta para proveer una oxidación razonablemente rápida; pero temperaturas encima de los 1000°C deben evitarse porque perjudican los poderes adsorptivos. La activación con dióxido de carbono es conducida a temperaturas entre 800 a 900°C. La activación con aire implica una reacción exotérmica debiendo tener cuidado de no pasar el límite de los 500°C (Hassler, 1974).

Por su parte Kirck (1963), señala que los gases oxidantes eliminan los hidrocarburos residuales y producen erosión a la superficie del carbón, y que en un tiempo largo la activación produce un mayor poder adsorbente. Puesto que el proceso de oxidación implica una pérdida de carbón, existe un punto más allá del cual no resulta económico prolongar el proceso.



La activación con gases oxidantes es relativamente fácil de realizar en el laboratorio pero presenta algunas dificultades cuando se quiere aplicar en escala industrial. La oxidación con vapor de agua o con dióxido de carbono es endotérmico y es necesario aplicar calor externo para mantener la reacción. Según Kirck (1963), otra dificultad en el uso de gases oxidantes está en que la reacción se produce principalmente en la superficie exterior de las partículas de carbón por consiguiente cuando se activan partículas de gran tamaño, el interior de cada partícula tiene muy poca actividad.

Otros procedimientos generales tal como lo señala Kirck (1963), incluye la mezcla de materia carbonosa con compuestos químicos que desprenden gases oxidantes a la temperatura de activación. Algunos de los compuestos químicos apropiados son los siguientes: sulfato sódico, fosfato sódico, dolomita, carbonato de calcio y carbonato de magnesio.

### **2.3.6 Tipos o Grados de Carbones Activos**

Los carbones activados se fabrican de dos formas: en polvo y granulares, los mismos que se utilizan de acuerdo a la aplicación que se le quiere dar. Así por ejemplo en el Japón, tal como lo indica Jetro (1983), el tipo granular es producido principalmente de cáscara de coco y carbón vegetal, con gran tamaño de poro; es usado para la adsorción de gases, purificación de aguas, recuperación de solventes y como catalizador. Los carbones de tipo en polvo, producidos de madera y con tamaño de poro relativamente pequeño, son usados en la refinación de azúcar y de aceites y grasas, en bebidas alcohólicas, en glutamato de sodio, en la industria química y farmacéutica, etc.

Por otro lado Banerjee et al. (1976), señala que los carbones activadas granuladas son fuertes, relativamente densos, altamente activos, los mismos que son requeridos para la adsorción de gas o vapor; mientras que para propósitos decolorantes se necesita uno suave finamente dividido y de material altamente poroso con enorme área superficial.

### 2.3.7 Naturaleza del Carbón Activado

Los carbones minerales, vegetales y activados son frecuentemente expresiones de carbón amorfo. Hassler (1974), tratando de explicar la naturaleza de los carbones activos señala que los estudios por rayos X han mostrado que las sustancias llamadas amorfos tienen características cristalina, aún cuando ellas no presentan rasgos distintivos tales como caras y ángulos de cristales generalmente asociado al estado cristalino. Mirando el polvo amorfo podemos ver que está compuesto de cristales de dimensiones submicroscópicas, llamados cristalitos.

Si bien la interpretación de los modelos de difracción por rayos X no está libre de ambigüedades, hay una concordancia general de que los carbonos amorfos consisten en placas o platos chatos, en los cuales los átomos de carbono son arreglados en forma de una rejilla hexagonal; cada átomo, excepto los del borde, son retenidos por enlaces covalentes a otros tres átomos de carbono. Los cristalitos son formados por dos o más de estos platos, los mismos que están apilados uno encima del otro.

La temperatura de carbonización influye sobre el tamaño de los cristalitos y en algún grado, la composición y estructura de la materia prima. En los carbones vegetales preparados de sustancias tales como celulosa, la dimensión C (altura de los cristales)

presenta pequeños cambios hasta que se alcanza una temperatura de 1300°C mientras que la dimensión A (diámetro de cada capa) presenta un crecimiento continuo encima de los 700°C. Este último dato es de interés por que muchas propiedades tales como la conductividad eléctrica y la facilidad de la activación subsecuente presentan un cambio a esta temperatura (Hassler,1974).

Los cristalitos pueden ser formados a través de varios mecanismos. Durante la pirólisis la sustancia orgánica original puede ser dividida en fragmentos, los cuales se reagrupan para formar la estructura aromática termoestable existente en el hexágono. Es posible también que determinados núcleos inicien una transformación en la cual la rejilla hexagonal crezca gradualmente a expensas de la sustancia original. La transformación rara vez es completa quedando anillos y cadenas de hidrocarburos residuales.

Como estos hidrocarburos residuales no pueden ser extraídos con solventes o removidos por pasaje de gas se supone que están unidos por enlaces químicos al borde de los átomos de los cristalitos. Una estructura hipotética se presenta en la figura 1.

Por su parte Santana (1974), señala que durante el proceso de carbonización la mayor parte de los elementos no carbonosos, hidrógeno y oxígeno, son primeramente removidos en forma gaseosa por pirólisis y los átomos libres de los carbones elementales son agrupados en formaciones cristalográficas

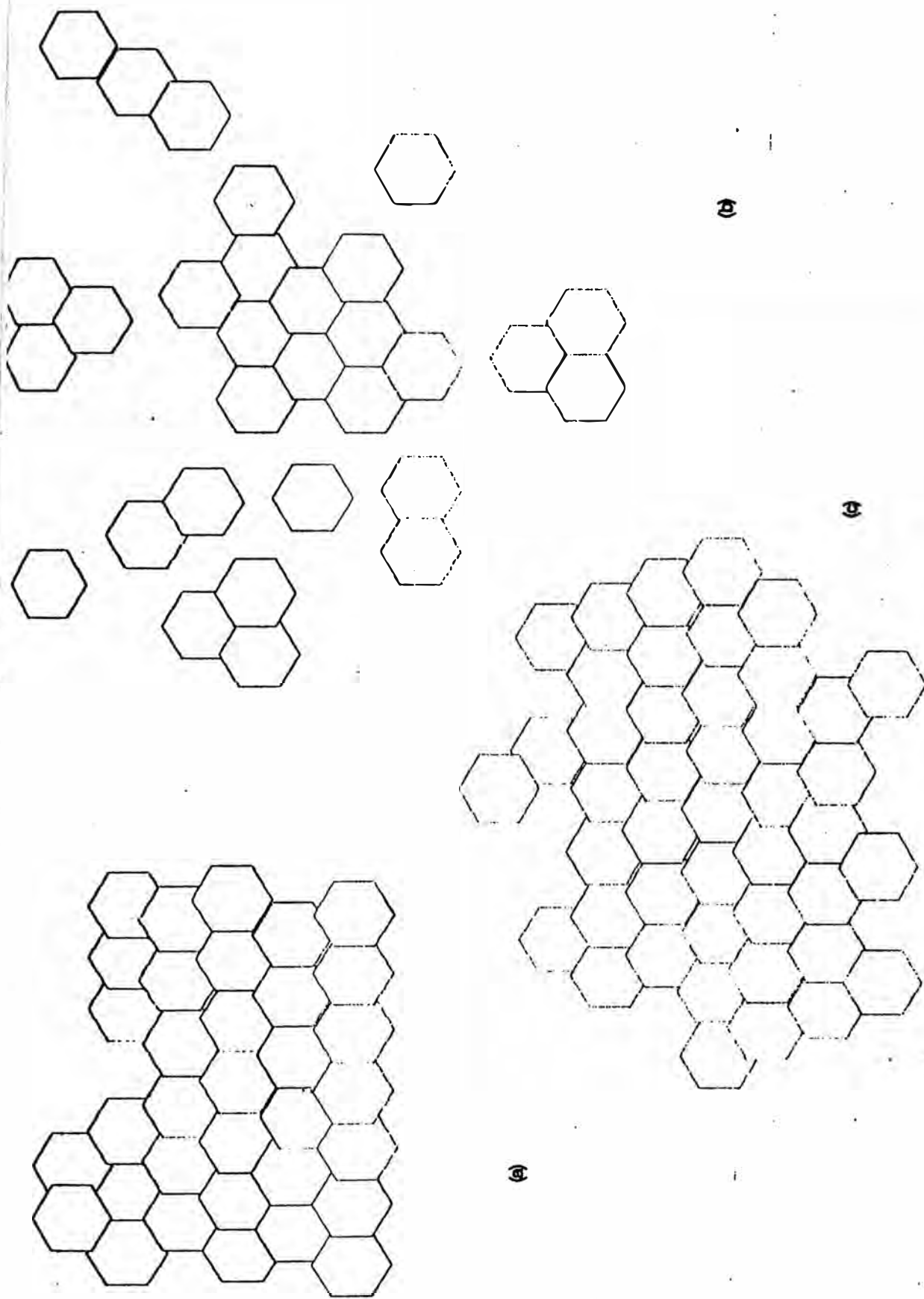


FIGURA 01: ESTRUCTURA TEORICA DE LOS CRISTALITOS DEL CARBON

organizadas, denominadas cristalitas grafiticos elementales. La disposición de los cristalitas es irregular, permaneciendo intersticios libres entre ellos, los cuales están ocupados por sustancias alquitranosas.

### **2.3.8 Teoría sobre la Naturaleza de la Superficie de los Carbones**

#### **Activos**

El conocimiento de la naturaleza de los cambios que se producen durante la activación es muy incompleto. Según Kirck (1963), esto no es sorprendente si se tiene en cuenta la diversidad de métodos por los cuales pueden activarse el carbón.

Según Hassler (1974), las teorías para la interpretación de los variados aspectos de la adsorción sobre carbón, tiene que tener en cuenta la tensión superficial como síntoma de las fuerzas cohesivas, que pueden retener moléculas de un líquido al mismo tiempo. Del mismo modo, se ha deducido que en los capilares pequeños un vapor se condensará a más bajas presiones que la requerida en una condensación normal. La facilidad de tales condensaciones dependerá del diámetro del capilar.

Por otra parte la teoría de Langmuir considera la mayor parte de la adsorción como si ocurriera en una capa de molécula profunda no

obstante se ha reconocido que las moléculas adsorbidas en esta capa puedan tener sus campos de fuerza alterados y así quedar hábiles para atraer a una segunda capa de moléculas las cuales a su turno deberán retener a una tercera capa.

La teoría de la adsorción potencial de Polanyi, citada por Hassler (1974), esta basada en el concepto de que las fuerzas de cohesión pueden extenderse hacia afuera y atraer moléculas a distancias un poco más grandes que los diámetros moleculares. En la adsorción potencial la intensidad de atracción disminuye rápidamente con la distancia al llegar a cero dentro de pequeños espacios finitos.

Kirck (1963), señala que en la adsorción solo participa una parte de la superficie. Esto se explica suponiendo que la superficie es heterogénea y que algunas sustancias son adsorbidas solamente por las áreas más activas llamadas "centros activos". Según esta teoría, el aumento de la capacidad adsorbente de un carbón durante la activación va asociada a la formación de nuevos centros activos. Es necesario suponer también la existencia de diferentes tipos de centros activos con capacidades adsorbentes características; es decir, dos carbones pueden diferenciarse en la clase y en la cantidad de sus centros activos.

Según Kirck (1963), algunos investigadores dan mayor importancia a la gran superficie del carbón activo. Los datos adsorción o de efectos térmicos indican que el área superficial total del carbón

activo oscila entre  $2 \times 10^4$  y  $6 \times 10^4$   $\text{cm}^2/\text{g}$ . Por su parte Hassler (1974), señala que el área total de superficie no necesariamente refleja la utilidad del carbón; generalmente, dada una situación, un tipo de carbón que tiene una área relativamente pequeña de superficie será más efectivo que otro con una gran superficie total. En muchas aplicaciones, solo parte de la superficie participa en la adsorción mientras que el resto no es ocupado por la sustancia que esta siendo adsorbida. El conocimiento de la estructura interna del carbón activado no está precisado, pero parece que incluye una red de grietas y aberturas formadas irregularmente. Según Hassler (1974), las aberturas de tamaños muy pequeños son llamadas “microporos” y son los que proveen la mayor área superficial sobre la cuál ocurre la adsorción. Las aberturas de gran tamaño, llamadas “macroporos”, son las que proveen caminos a través de los cuales las moléculas adsorbibles pueden alcanzar más rápidamente el interior de los microporos.

Hay muchas situaciones para las cuales el concepto de “poro” no ofrece interpretación razonable, lo que lleva a considerar que las diversas cualidades adsorptivas podrían no existir en áreas separadas de una misma superficie de carbón.

Finalmente, Kirck (1963), señala que la naturaleza del efecto adsorbente depende de la clase de agentes químicos presentes durante la preparación del carbón, ya sea que se trate de agentes



oxidantes o sales inorgánicas deshidratantes. Agrega que es evidente que cada compuesto químico ejerce una influencia específica sobre la textura de la superficie del carbón resultante.

### **2.3.9 Aplicaciones**

Los carbones comerciales activados empleados como adsorbentes se agrupan, tal como lo señala Perry (1994), tomando como base su estructura física, sus propiedades y sus aplicaciones, en cuatro clases: carbones decolorantes, adsorbentes de gases, adsorbentes de metales y medicinales. Ningún tipo de carbón puede utilizarse universalmente, ni ser eficaz para todos los fines.

Según Perry, el adsorbente se emplea en la industria siguiendo dos métodos, llamados de “percolación” y de “filtración en contacto”. En la percolación se mantiene en su sitio el adsorbente y el líquido o la solución que sufre el tratamiento se hace circular por encima de él, a través de él y a su alrededor. En este método el adsorbente es por lo general granular y debe tener ciertas propiedades mecánicas y físicas para conservar su forma y mantenerse en su sitio. En la filtración en contacto, coincidiendo con Kirck (1963), el carbón activado finamente dividido se mezcla con el líquido o la solución que se trata, se agita, y el adsorbente se separa del líquido

tratado por filtración o combinando métodos de sedimentación y de filtración.

Entre las múltiples aplicaciones de los carbones activados, tal como lo señala Fornwalt (1963), podemos mencionar:

- a) Remoción de impurezas que causan color, olor y sabor
- b) Remoción de pequeñas concentraciones de productos que pueden no tener color, olor o sabor, pero que causan pobre producción de cristales
- c) Remoción de trazas de impurezas que no tienen color original, pero que pueden desarrollarlo dentro del procesamiento o almacenamiento.
- d) Remoción de constituyentes que causan espumas u otros fenómenos indeseables de superficie.
- e) Remoción de impurezas que causan turbidez.
- f) Remoción de trazas de agua de solventes orgánicos inmiscibles o viceversa.
- g) Remoción de trazas de iones metálicos.
- h) Concentración de solutos de valor de soluciones diluidas por adsorción con recuperación por elución, etc.

Por su parte Kirck (1963), cita la aplicación en muchas industrias como por ejemplo:

- a) En la limpieza en seco

- b) Rotograbado y la fabricación rayón de acetato, pólvora sin humo y telas revestidas
- c) Mascarillas para la protección de gases tóxicos
- d) Para la eliminación de malos olores en oficinas, fábricas y teatros
- e) Para separar metales preciosos de soluciones
- f) Para eliminar el mal olor y sabor del agua potable, etc.

De otro lado, Grimwood (1977), señala los siguientes usos químicos del carbón:

- a) Como catalizador para eliminar el cloro residual del agua.
- b) Como catalizador para aumentar la velocidad de reacción entre el oxígeno y la hidrazina en los tratamientos de agua.
- c) Como soporte catalítico para el cloruro mercurico en la fabricación de cloruro vinílico a partir de acetileno y de ácido clorhídrico.
- d) En la refinación de aceite y azúcar
- e) Para la desodorización de gelatinas.
- f) Para la purificación y eliminación de malos sabores en vinos y alcoholes, etc.

Finalmente Perry (1994), indica que en los últimos años su uso se ha extendido en medicina y farmacia. Señala la acción adsorbente para los alcaloides, las bacterias patógenas, las enzimas, las toxinas

y los venenos de varias clases. Kirck (1963), agrega que también se usa en la fabricación de estreptomicina.

## **2.4 CARBON ACTIVADO DE CASCARILLA DE ARROZ Y ASERRIN DE MADERA**

### **2.4.1 Utilización de la cascarilla de Arroz**

De acuerdo a la información obtenida del Ministerio de Agricultura (Oficina de Información Agraria), el promedio total nacional de producción entre los años 1996 a 1997 es de 1 300 000 toneladas de arroz cáscara, de los cuales 910 000 toneladas ( 70%) es de arroz pilado; 260 000 toneladas ( 20%) es de pajilla o cascarilla y el 10% es polvillo, arrocillo y ñelén.

El presente trabajo estima la posibilidad de uso de la cascarilla de arroz como materia prima para la obtención de carbón activado en polvo, dado que está considerado dentro de la variedad de materiales carbonáceos como materia prima para carbones de origen vegetal.

#### 2.4.2 Composición de la cascarilla del arroz

La composición de las cascarillas del arroz es análoga a la de las maderas maduras, pero tiene un contenido menor de lignina y mayor de celulosa. El contenido de metoxilo no se diferencia mucho del que presentan las maderas maduras. El contenido de humedad varía según el medio ambiente, la variedad y el grado de madurez del arroz. En condiciones corrientes, las cascarillas del arroz secados al aire, contienen entre 6 - 9 % de humedad (Grimwood, 1977).

En el cuadro siguiente se indica la composición química de las cascarillas del arroz.

**Cuadro 4. Composición Química promedio de las cascarillas del Arroz (%) .**

Materia prima	Ceniza	lignina	Holocelulosa	Hemicelulosa	Celulosa	Metoxilo
Aserrín	0,62				46,5	5,8
Cascarilla de Arroz (Fuente 1)	0,83	33,30	60,46	20,54	39,92	5,31
Aserrín	0,56				47,2	6,3
Cascarilla de Arroz (Fuente 2)	1,01	35,23	58,40	18,6	38,80	5,32

Fuente1: Chil y Ramanathan (1977)

Fuente 2: Phillips y Gross (1977)

### 2.4.3 Carbonización de la Cascarilla del Arroz y del Aserrín

La fabricación del carbón vegetal es bastante simple y requiere de una carbonización óptima, con un suministro limitado de aire, suficiente para la carbonización, más no para la combustión completa.

La ONUDI (1980), a través de los proyectos desarrollados en Sri Lanka y Filipinas, describe varios procesos para la obtención del carbón vegetal, haciendo notar que la materia prima empleada, razonablemente secos antes de la carbonización. Siendo el rendimiento en carbón vegetal de 25 a 32 % del peso de la materia prima.

El carbón vegetal con calidad de exportación debe ser uniformemente negro, libre de polvo y suciedad. (ONUDI 1980).

Según Grimwood (1977), el carbón vegetal preparado por la combustión de las cascarillas del arroz en presencia de un volumen limitado de aire, da un material de área superficial muy limitada. Sin embargo, por activación se obtiene un producto que tiene la facultad de adsorber considerablemente.

El proceso normal de activación lleva consigo la utilización de agentes oxidantes o sales químicas a temperaturas seleccionadas; la activación selectiva del material da como resultado la producción de carbones con poros de dimensiones moleculares.

#### 2.4.4 Productos de la carbonización

Durante la destilación destructiva de las cascarillas del arroz y del aserrín, Menon y Pandalai, citados por Mendez (1975), reportan que la liberación de gases comienza a los 300 ° C y son casi completamente liberados entre los 600 y 700° C. Los gases desprendidos son condensables en una cantidad equivalente al 20% del peso de la materia prima. La sustancia condensable es el ácido piroleñoso que contiene acetona, metanol, ácido acético, ácido carbólico, creosota y brea.

Cuando se calientan la materia prima en una retorta a una temperatura suficientemente alta, en ausencia de aire, se descomponen dando varios subproductos. Woodroof (1979), señala que en estudios de laboratorio se comprobó que, partiendo de 45,5 kg. de materia prima vegetal, se obtenían 15,4 kg. de carbón, 18,2 kg. de ácido piroleñoso (con un 12,5% de ácido acético), 2,7 kg. de alquitrán sedimento ó brea y 9,1 kg. de gases no condensables.

Por otro lado Grimwood (1977) reporta que en proceso de destilación destructiva pueden obtenerse aproximadamente 17 - 20% de gases, 35 - 37% de ácido piroleñoso, 6 -9% de alquitrán sedimento y 35 - 37 de carbón vegetal residual. Corroborando todas las investigaciones anteriores, Banerjee et.al.(1976), en estudios realizados en la India, reporta que durante el procesamiento de la

madera, la brea contiene 60 -70% de fenoles mezclados, los cuales tienen excelentes propiedades insecticidas y bactericidas. Es posible también preparar variedades de pinturas, barnices y resinas; la brea puede ser usada además en pinturas repelentes de agua para embarcaciones pesqueras. El alquitrán soluble ó ácido piroleñoso contiene ácido acético, el cual puede ser usado como coagulante en la industria del caucho.

En el cuadro 5 se observa la producción de carbón y subproductos durante la carbonización, excluyendo la pérdidas del proceso, consideradas que varían de 4,5 a 5%.

**CUADRO 5. Producción de carbón y subproducto durante la carbonización a temperatura de 800° C**

Producto	Porcentaje
Carbón	28,7 – 29,7
Alquitrán soluble	37,5 – 37,8
Brea	8,8 – 8,7
Gas	20,0 – 19,1

Fuente : Banerjee et.al. (1977)



#### 2.4.5 Carbón de Cascarilla del Arroz y Aserrín Activado

##### Químicamente

Grimwood (1977), citando a Houghton y Wildman, afirma que el carbón vegetal por ser de base celulósica, produce un material con una estructura de poro más fina que el que se obtiene a partir de carbones minerales. Poseen además de su estructura porosa y fina, una velocidad de adsorción que suele ser mayor que la de los carbones de hulla.

Por otro lado, Kirck (1963) afirma en cuanto a los elementos minerales añadidos a los materiales carbonosos, que el *cloruro de zinc* es el que ha tenido mayor éxito.

El desarrollo de las propiedades específicas del carbón es afectada por la presencia de sales minerales y otros elementos no carbonosos. En efecto, tal como lo señala Hassler (1974), la acción de los minerales durante la carbonización es la de proveer un esqueleto sobre el cual se deposita el carbón; éste carbón así formado se encuentra convenientemente ligado por fuerzas de adsorción a los elementos minerales. Hassler añade que, coincidiendo con Banerjee et al., cuando los ingredientes minerales son subsecuentemente disueltos por ácido y agua, la superficie de carbón queda libre para atraer otras sustancias.

Hassler, coincidiendo con Kirck (1963), sostiene que el cloruro de zinc se caracteriza por su propiedad deshidratante, separando en forma de agua átomos de oxígeno é hidrógeno de la materia prima, dejando de esta manera menos material alquitranoso en el carbón.

Otro mecanismo posible es sugerido por el trabajo de Berl, citado por Hassler, quién encontró la evidencia de que algunos elementos, tales como el potasio, pueden penetrar entre las placas hexagonales de los cristalitos y luego desparramarse, facilitando la erosión al ocurrir en superficies inexpuestas.

### **III. ESTUDIO DE MERCADO**

#### **3.1. USOS DE LA CASCARILLA DEL ARROZ**

Los principales usos que se dan a la cascarilla del arroz en el país son:

- Fabricación de detergentes ( limpia vajillas principalmente).
- Como material combustible.
- Forraje de animales.
- Alimentos balanceados.

#### **3.2. VOLUMEN Y CONSUMO ACTUAL DE LA CASCARILLA DEL ARROZ Y DEL ASERRIN**

Según las fuentes obtenidas (ver cuadros 1 y 2). La producción promedio anual del arroz alcanza los 1 331 000 TM, de las cuales el 20 % aproximadamente es cáscara (después del pilado), es decir se tiene una producción promedio anual de cascarilla de arroz del orden de los 266 200 TM a nivel nacional. Siendo la zona de mayor producción el Norte ( Tumbes, Piura, Lambayeque, Cajamarca y Amazonas), con una producción de arroz de 653 550 TM anuales y aproximadamente 130 710

TM anuales de cascarilla. De las cuales se considera un 40 % destinado al uso antes mencionado; y un 60 % que no se utiliza, es decir se cuenta con un volumen de 78 426 TM anuales de cascarilla de arroz, de los cuales sólo en el departamento de Lambayeque se cuenta con un volumen de 23 550 TM anuales, para poder ser utilizado como materia prima en la producción de carbón activado.

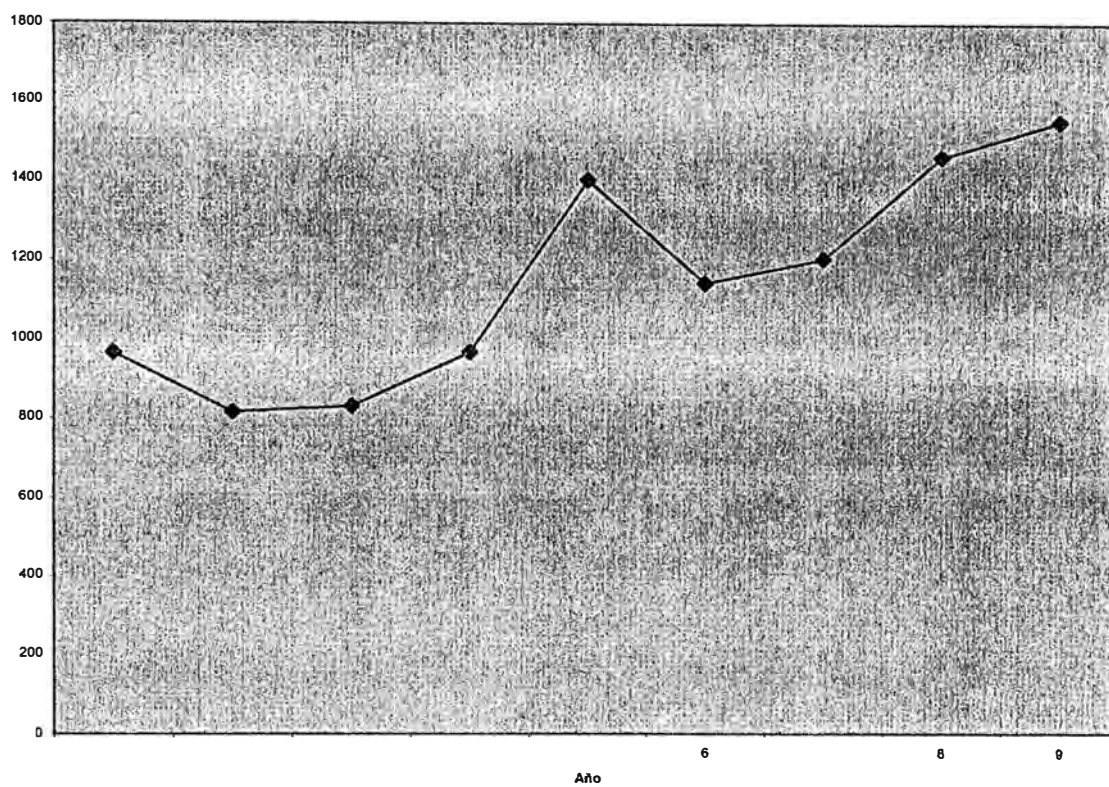
En cuanto al aserrín, se cuenta con un volumen de 1 200 TM anuales de aserrín más trozos de madera provenientes de los diferentes aserraderos de Lambayeque y Amazonas.

#### **Estadísticas de producción de arroz, madera aserrada.**

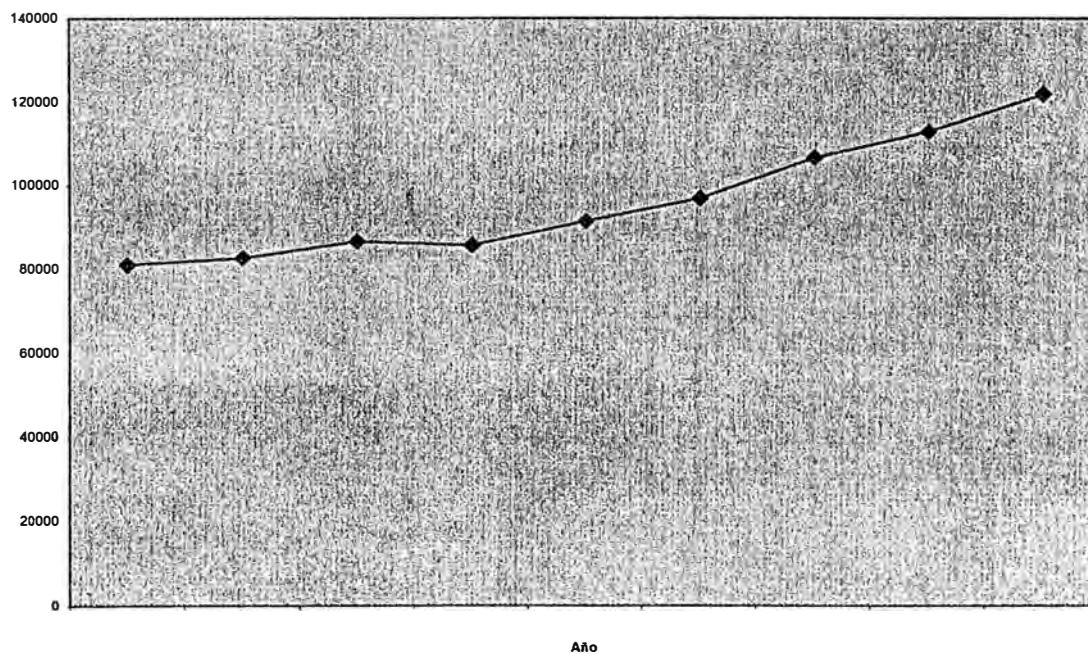
Los siguientes cuadros estadísticos muestran el volumen de producción de los diversos productos, de los cuales se obtienen la materia prima (cáscara de arroz, aserrín de madera, y como sustituto, la cáscara de café).

Se puede observar que la curva de producción de los productos antes mencionados, tienen una tendencia a crecer anualmente. Este crecimiento nos permite asegurar la cantidad de materia prima requerida, para nuestro proyecto.

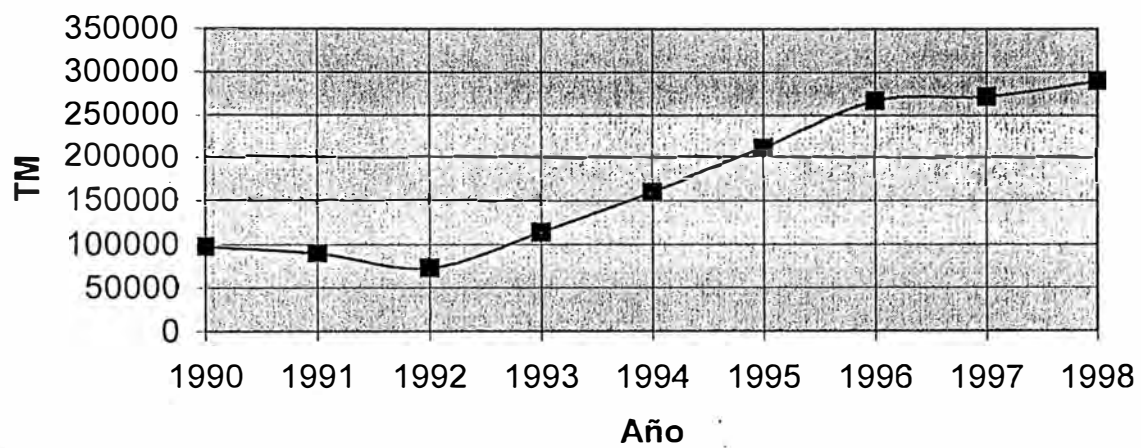
VOLUMEN DE PRODUCCION DE ARROZ: 1990-1998(Miles de TM)



VOLUMEN DE PRODUCCION DE CAFE: 1990-1998 (TM)



**VOLUMEN DE PRODUCCION DE MADERA ASERRADA,  
ZONA NORTE: 1990-1998 (TM)**



### 3.3. DEMANDA Y PRODUCCIÓN NACIONAL DE CARBÓN ACTIVADO

La información estadística de producción anual en el país del carbón activado que se comercializa es hasta el año 1986, a partir del siguiente año no se registra ninguna información acerca de la producción nacional hasta el año 1994; a partir del año 1995 se incrementa la producción nacional. Por otro lado se tiene información de la importación de carbón activado que se consume en el mercado nacional.

CUADRO 6.

#### PRODUCCION NACIONAL DE CARBON ACTIVADO

AÑOS	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD
1978	TM	481
1979	TM	323
1980	TM	192
1981	TM	162
1982	TM	112
1983	TM	53
1984	TM	61
1985	TM	53
1986	TM	116
1987-1994		*
1995	TM	108
1996	TM	223
1997	TM	340

Fuente: Oficina Sectorial de Estadística Industrial - MICTI

\* : Sin producción

## CUADRO 7.

**ESTADISTICA DE IMPORTACIONES 93 - 97; Enero - Junio 98**

PARTIDA	3802100000	
AÑO	UNIDADES	CANTIDAD
1993	TM	443.434
1994	TM	1122.713
1995	TM	875.296
1996	TM	474.232
1997	TM	447.040
1998	TM	184.350

Fuente: ADEX - Oficina de Estadística

Países Exportadores:

- Estados Unidos
- Paises Bajos
- Reino Unido
- Francia
- Filipinas
- Hong Kong
- Indonesia
- China



- Alemania
- Ecuador
- Italia
- Brasil
- Sri Lanka

De la información de la estadística anterior se puede observar que el volumen de importación cubre el déficit de la demanda nacional (un promedio de 591 TM anuales); por ello es necesario cubrir al menos el 50 % del déficit nacional.

#### **IV. PRUEBAS EXPERIMENTALES Y METODO PARA LA OBTENCION DEL CARBON ACTIVADO**

La presente investigación se desarrolló elaborando un diseño tecnológico para determinar los parámetros más adecuados en la obtención del carbón activado en polvo a partir de la cascarilla de arroz y madera blanca (aserrín); esta se caracterizó y se evaluó: En la purificación de una solución de azúcar crudo, en tratamiento de agua, en aceites semirefinados. La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera de la Universidad Nacional de Ingeniería, así como en la Empresa Hornos Industriales S.A., entre marzo de 1995 a setiembre de 1997, cuyos métodos aún se encuentran vigentes y los datos están actualizados al año 1998.

## **4.1 MATERIALES Y EQUIPOS**

### **4.1.1 Materia Prima**

Se utilizaron cascarilla de arroz procedentes de los molinos de las provincias de Chiclayo y Jaén del departamento de Lambayeque y madera aserrada de los centros aserraderos del lugar.

### **4.1.2 Materiales**

- Se utilizó materiales de vidrio tales como: vasos de precipitados, buretas, probetas, pipetas, embudos, tubos de ensayo, matraces Erlenmeyer, matraces aforados, matraz quita sato, desecadores, refrigerante en forma espiral, etc.
- Cápsulas de porcelana y embudo Buchner.
- Papel filtro Whatman N° 1 y 44.
- Papel indicador pH.
- Juego de tamices N° 125, 175, 200, 230 de la serie A.S.T.M.
- Mechero de Bunsen.

### 4.1.3 Reactivos Químicos

- Cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ )
- Solución de ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) 1N
- Solución de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) al 1%
- Solución de ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) 0.5N y 1N
- Agua destilada y reactivos químicos tales como Azul de Metileno, solución de Yodo, Acido Acético, Tiosulfato de Sodio y otros necesarios para la ejecución de los métodos de control y análisis químico.

### 4.1.4 Equipos

- Mufla, con rango de temperatura de  $20^\circ\text{C}$  a  $900^\circ\text{C}$
- Molino de martillos
- Estufa, con rango de temperatura de 20 a  $300^\circ\text{C}$
- Balanza Analítica
- Dispositivo “Ro Tap”, marca Karl Kolb
- Bomba de vacío
- Potenciómetro, marca Radiometer, modelo PHM 26.
- Espectrofotómetro, modelo Spectronic 20.
- Super Clorímetro, marca Taylor, con rango de lectura de 0.2 a 12.0 ppm

## 4.2 ANALISIS REALIZADOS

### 4.2.1 En la Materia Prima

- **Contenido de Humedad**

Para calcular el contenido de humedad en la cascarilla de arroz y madera, se usó el método de la AOAC (1960).

- **Contenido de Cenizas**

Fue determinado haciendo uso del método de la AOAC (1960).

- **Contenido de Material Volátil**

Se determinó haciendo uso la norma A.S.T.M. D-1762.

Establece que cuando se calienta una muestra en un crisol tapado, la pérdida de peso menos la humedad representa la cantidad de componentes gaseosos producidos en la descomposición de sustancia carbonosa.

- **Contenido de Carbón Fijo**

El carbón fijo se determinó según el método de la A.S.T.M. D-1762, y se calcula restando de 100 la suma de los porcentajes de humedad, de material volátil y de cenizas.

#### 4.2.2 En el Carbón Activado

##### ■ Determinación del Número de Yodo

Este método se basa en la cuantificación del Yodo adsorbido por el carbón, titulando el exceso de Yodo de una solución con Tiosulfato de sodio. Se utilizó el método de la Norma oficial Mexicana NOM-F-296-1977.

Los resultados se expresan según la siguiente fórmula:

$$\text{Número de Yodo} = [ 0.0127 \times 1 \times 1000 (L - M) ] / 0.25$$

donde:

L = ml de solución de Tiosulfato de sodio gastados en la titulación del blanco.

M = ml de solución de Tiosulfato de sodio gastados en la titulación del problema.

##### ■ Determinación de la Granulometría

Este método se basa en la medida de la masa de las fracciones de muestras de carbón, previamente separadas. Para la determinación de la granulometría se hizo uso de la Norma ITINTEC 207.027-81.

Los cálculos expresados en porcentaje se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$A_n = [ 100 B_n ] / C$$

donde:

$A_n$  = % de carbón que pasa por la malla de que se trate.

$B_n$  = masa de carbón que pasa por la malla de que se trate.

$C$  = masa de la muestra de carbón.

NOTA: “n” es la referencia del número de malla usado.

### ■ Determinación de la Densidad Aparente

Este método se basa en la medida de la masa contenida en la unidad de Volumen de una muestra de carbón activado, efectuada en presencia de aire. La determinación de la densidad aparente se hizo según la Norma Oficial Mexicana NOM-F-282-1976.

El cálculo de los resultados se hizo a través de la siguiente fórmula:

$$D_a = [G_1 - G_2] / V$$

donde:

$D_a$  = Densidad aparente en g/ml

$G_1$  = Peso del vaso de precipitados con carbón en g.

$G_2$  = Peso del vaso de precipitados vacío, en g.

$V$  = Volumen del vaso de precipitados hasta el enrase, en ml.

### ■ **Determinación de la Humedad**

La medida de la pérdida de peso de carbón activado al someterlo a la operación de secado, se determinó haciendo uso de la Norma Mexicana NOM- F- 279-1976.

La fórmula empleada para hacer los cálculos fue la siguiente:

$$\% \text{ de Humedad} = [100 (PH - PS)] / PH$$

donde:

PH = Peso de la muestra húmeda en g.

PS = Peso de muestra seca en g.

### ■ **Determinación de la Cenizas Totales**

La calcinación del carbón se hizo aplicando la Norma ITINTEC 207.026-81, con la finalidad de medir el peso de los óxidos residuales.

El contenido de cenizas, expresado en porcentaje, se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$\% \text{ de cenizas totales} = [100 (A - B)] / M$$

(en base seca)

donde:



A= Masa en gr. del crisol con cenizas

B = Masa en gr. del crisol vacío.

M = Masa en gr. de la muestra.

#### ■ **Determinación del Potencial de Hidrógeno**

La medida del diferencia de potencial, originada por la disolución en agua de sustancias contenidas en el carbón a 75 °C y a la temperatura ambiente se hizo de acuerdo a la Norma ITINTEC 207.025-81.

El cálculo del pH se hizo directamente a través de la lectura en el potenciómetro PHM 26.

#### ■ **Determinación de la Adsorción del Azul de Metileno**

Este ensayo se basa en la cuantificación del metileno adsorbido por el carbón, determinando el exceso de azul de etileno de una solución por medios fotocolorímetros. El método usado fue el de la Norma oficial Mexicana NOM-F-301-1977.

Después de localizar en la gráfica la densidad óptica encontrada y después de leer en el otro eje los gramos de azul de metileno adsorbidos, por 100 gramos de muestra transferidos a base seca, se procedió a calcular la adsorción por medio de la siguiente fórmula:

**Adsorción del Azul de Metileno** =  $[ A + B ] / 2$

donde:

A = Gramos adsorbidos en la primera determinación.

B = Gramos adsorbidos en la segunda determinación.

#### ■ **Determinación del Índice de Decoloración**

La eficiencia del carbón activado en polvo fue evaluada haciendo uso de la Norma oficial Mexicana NOM-F-299-1980.

Este método se basa en la comparación de las medidas de absorvancia de la muestra de carbón seleccionado con la absorvancia del carbón patrón, medidas ambas con el mismo Espectrofotómetro y empleando la misma solución de azúcar crudo.

El índice de decoloración de la solución de azúcar crudo se calcula mediante la siguiente ecuación:

**Índice de Decoloración** =  $(L_p / L_m) * 100$

donde:

$L_p$  = Lectura de la absorvancia de la solución tratada con el carbón patrón.

$L_m$  = Lectura de la absorvancia de la solución tratada con el carbón problema.

La solución de azúcar crudo se preparó diluyendo 45 gr. en un litro de agua, obteniendo una concentración de 43 ° Brix.

#### ■ **Determinación del Contenido de Cloro**

La eficiencia del carbón activado fue evaluada por el método colorimétrico, haciendo uso del super colorímetro Taylor, que es un comparador del tipo cursor cuya representación gráfica se muestra en la figura 2.

Este método se basa en la medición del color por comparación con solución coloreadas standard. Cuando a una muestra de agua que contiene cloro se le añade unas gotas del reactivo Orto-Tolidina, aparecerá un color que va de amarillo naranja rojo. Este color indica la presencia de cloro y su intensidad es proporcional a la cantidad de cloro en el agua.

## Procedimiento

- Preparar soluciones con 5 y 20 ppm de cloro al 10%
- Tomar 5 ml de cada solución y añadir el reactivo Orto-tolidina y luego hacer la lectura respectiva en el clorímetro.
- Después de haber evaluado el color, tomar 100 ml de cada solución en vasos de 500 ml.
- Añadir a cada vaso muestras de carbón activado de la siguiente manera: al vaso con 5 ppm tratarlo con 2 gr. de carbón, y al vaso con 20 ppm tratarlo con 4 gr. de carbón.
- En un agitador magnético, Agitar la muestra con 2 y 4 gr. por tiempos de 5 y 10 minutos respectivamente.
- Filtrar las muestras con papel filtro Watman N°4.
- Tomar 5 ml de los filtrados y hacer las lecturas correspondientes. Si la solución es incolora, no contiene cloro.

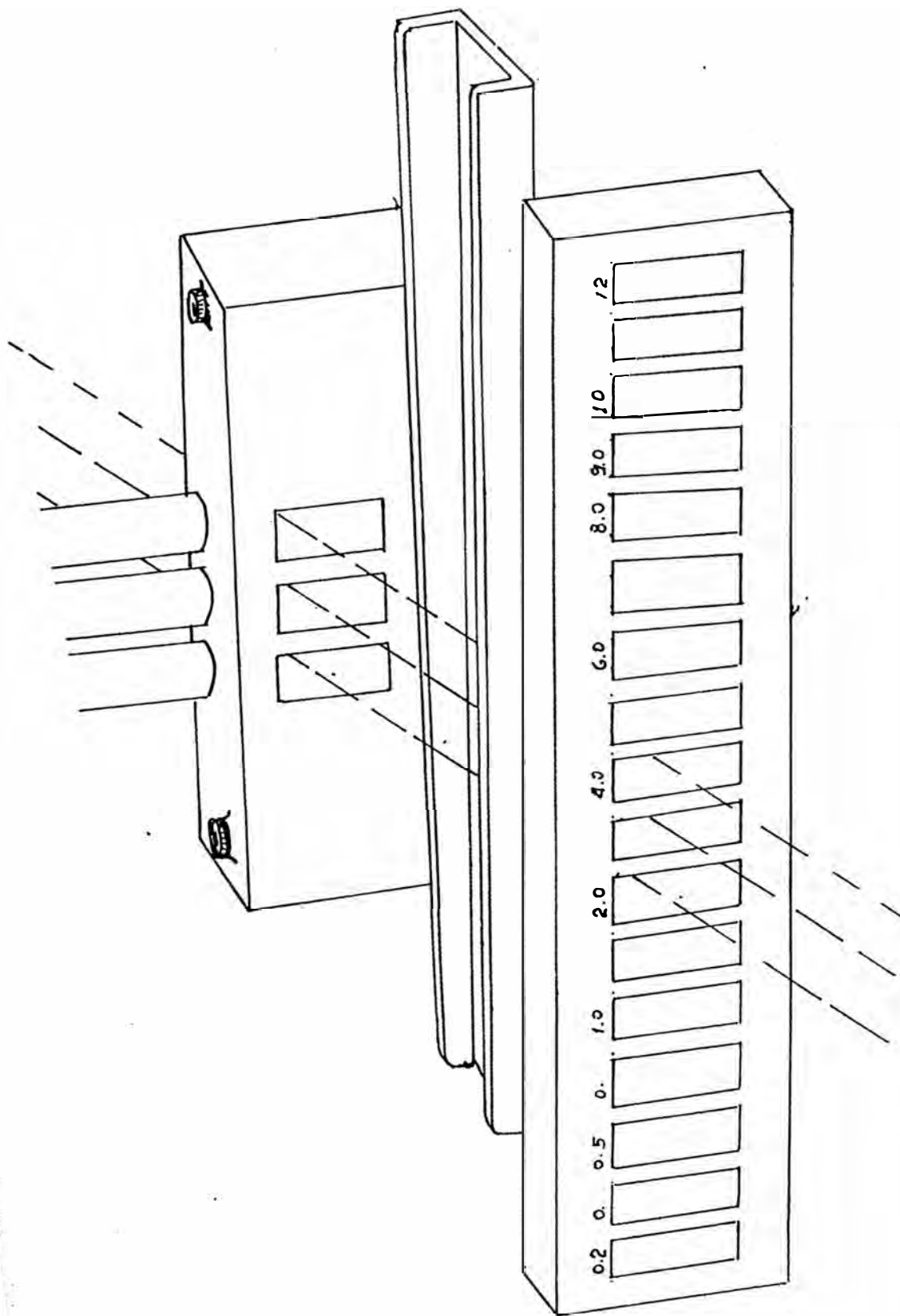


FIG. 02 SUPER COLORIMETRO TAYLOR

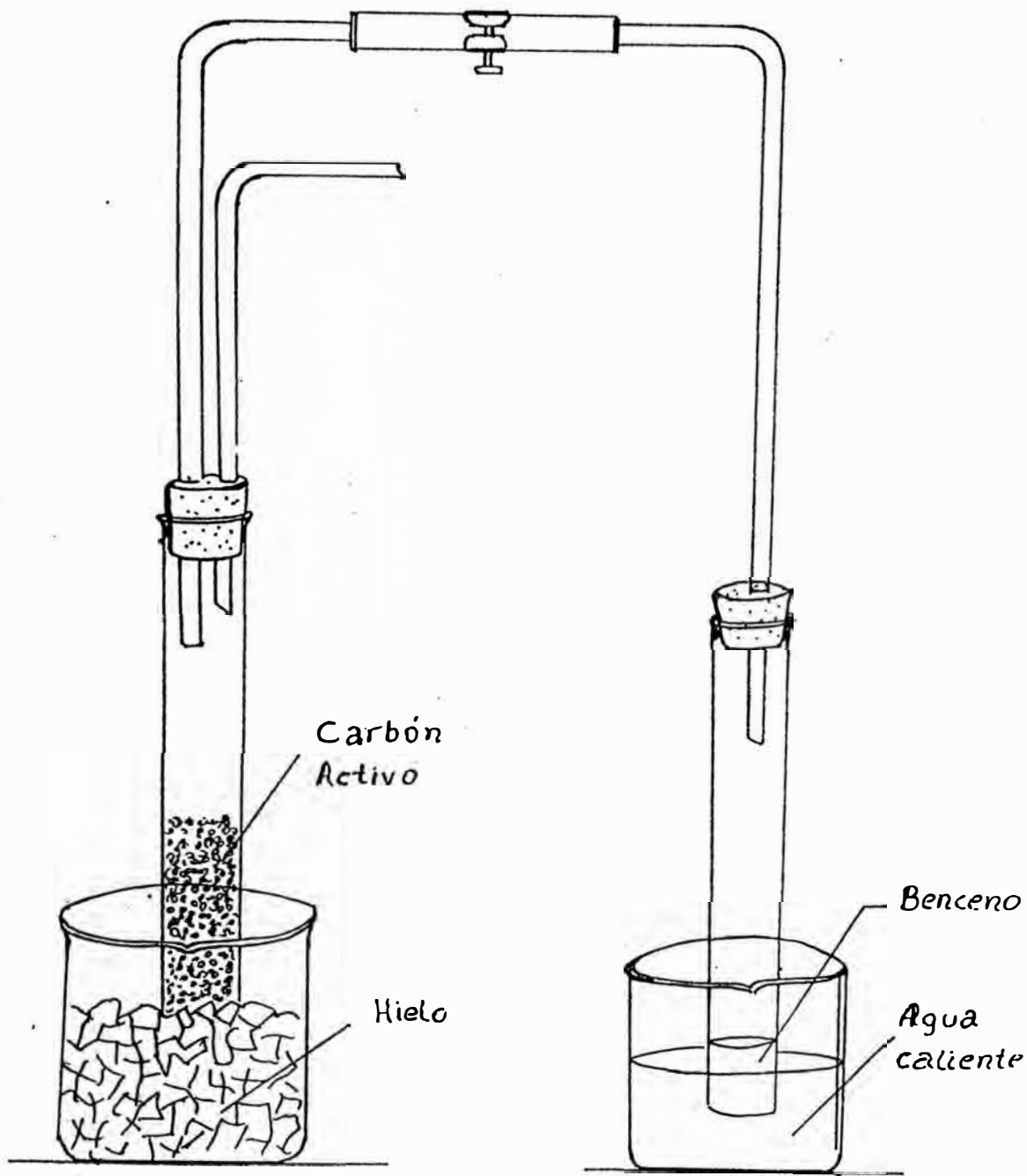
### ■ **Determinación del Poder Adsorptivo de Vapores de Benceno ( $C_6H_6$ )**

La eficiencia del carbón activado también fue evaluada por el método de la determinación del poder adsorbente de gases y vapores. El método se basa en la medición del incremento de peso del carbón. La metodología empleada fue la descrita en la Enciclopedia de Ciencia y Tecnología (1973). El cálculo de los resultados se obtuvo por la diferencia entre el peso del tubo lleno de carbón, antes y después del ensayo referidos a 100 g. de muestra.

#### **Procedimiento**

- La disposición del equipo se hizo tal como se muestra en la fig. 3
- En el tubo de ensayo de la derecha se colocan 20ml. de Benceno.
- En el tubo de ensayo de la izquierda se colocan 8 g. de carbón para llenarlo hasta la mitad.
- Conectar los tubos de ensayo por medio de una manguera.
- Introducir el tubo de la izquierda en una mezcla frigorífica (hielo o hielo seco).

- Calentar suavemente el recipiente que contiene el Benceno, sumergiéndolo en agua caliente por 10 minutos.
- Cerrar el circuito que comunica con los dos tubos y retirar la fuente de calor.
- Pesar el tubo que contiene el carbón y por diferencia hallar los resultados.



16.03 EQUIPO PARA ADSORCION DE VAPORES



### **4.3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL PARA OBTENCION DEL CARBON ACTIVADO QUIMICAMENTE**

#### **4.3.1 Flujo de Operaciones**

El diagrama de flujo seguido durante los experimentos se muestra en la figura 4. A continuación, se describen cada una de las etapas del proceso para lo cual se utilizó 1 kg. de materia prima.

##### **Recepción**

En esta etapa se procedió a una selección de la materia prima con la finalidad de separar las cáscaras malogradas [Podridas por hongos u otras enfermedades], también de partículas extrañas contaminantes. ONUDI (1980), señala que las cáscaras deberán proceder de frutos completamente maduros y razonablemente secos.

### **Mezclado**

El acondicionamiento de la materia prima, en cuanto al tamaño no requiere previa trituración tanto para la cascarilla del arroz ni para el aserrín; solamente se requiere un mezclado.

### **Impregnación con solución de $ZnCl_2$ al 1 %**

El Cloruro de Zinc fue escogido como el agente activante de superficie en comparación con el cloruro férrico y el ácido fosfórico , por ser un producto relativamente barato y por que además, el proceso de fabricación es simple y económico; ya que en el caso del cloruro férrico éste reporta el inconveniente de colorear debido a la oxidación del exceso de hierro; y en el caso del ácido fosfórico éste requiere de una previa maceración, involucrando un mayor tiempo en el proceso.

En cuanto a la concentración del agente activante, se usó una solución al 0,8 y 1 % teniendo en cuenta los datos de trabajo anteriores, tal como el de Banerjee et al. (1976), que reporta concentraciones de 0,8 hasta 1 % de Cloruro de Zinc.

Todas las muestras, fueron rociadas con solución de Cloruro de Zinc al 0,8 y 1%. El número de tratamientos y las diferentes relaciones de concentraciones se observan en el diseño

experimental de los cuadro 6 y 7. Posteriormente la materia prima embebida con solución de agente activante, fue secada al medio ambiente hasta un contenido de aproximadamente 20% de humedad, durante 24 horas.

Por su parte Santana (1974), reporta que las concentraciones de Cloruro de Zinc son bastante elevadas; mientras que Hassler (1973), señala que un método típico se mezclan de 1 a 4 partes de Cloruro de Zinc en forma de una solución concentrada con una parte de material carbonoso. De esta manera se justifica el uso de niveles altos, tales como la relación 1:1 y 1:0.5 indicados en los cuadros 6 y 7.

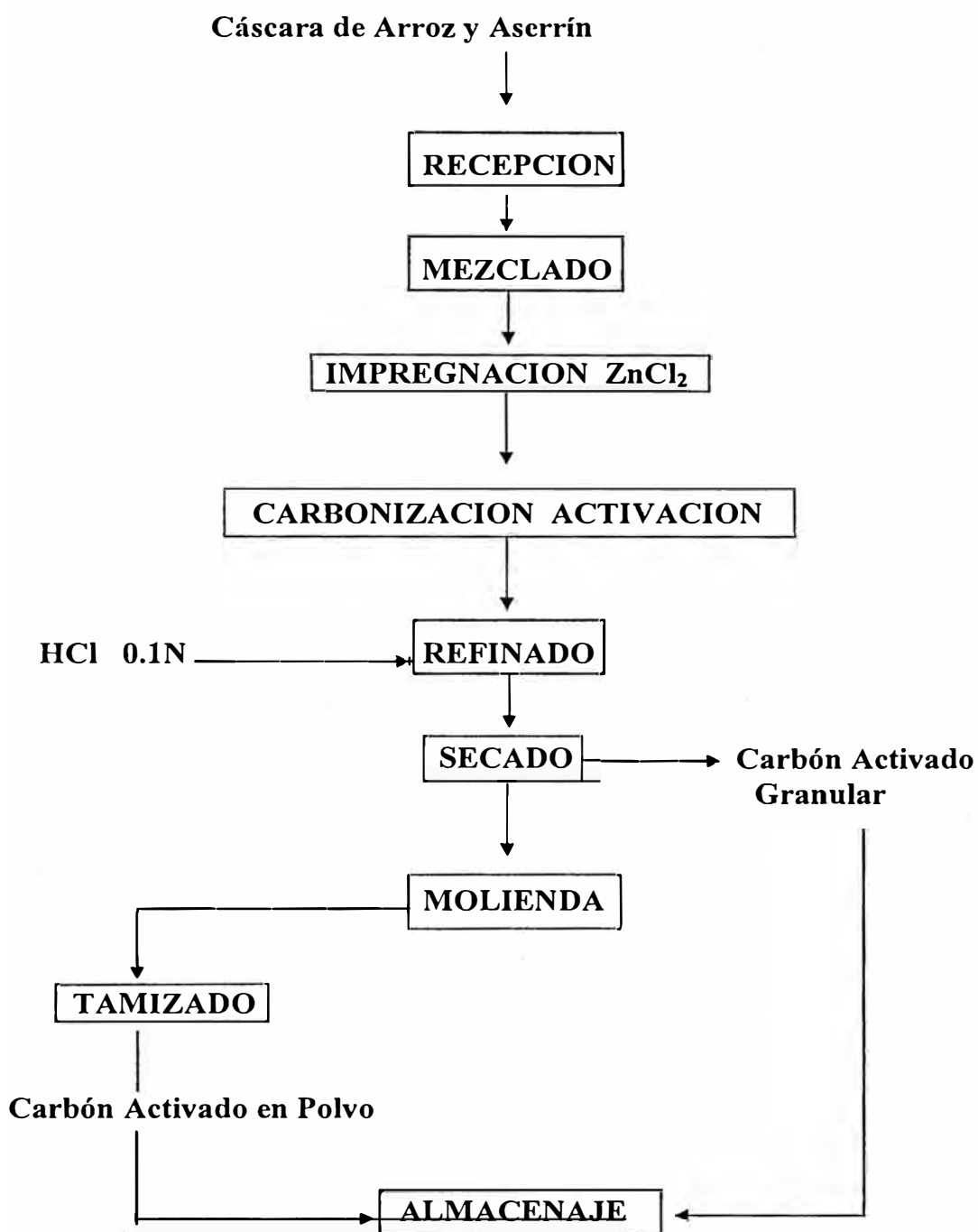


Fig. 4. Diagrama de Flujo para la Obtención de Carbón Activado a partir de la Cáscara de Arroz y Aserrín.

### **Carbonización - Activación**

Con la finalidad de evaluar el efecto de los diferentes tiempos y temperaturas que se experimentaron durante la carbonización, tal como se muestra en los cuadros 6 y 7, las muestras contenidas en crisoles fueron introducidas al interior de una mufla, obteniéndose carbón como producto principal y como subproducto gases condensables conocido como ácido piroleñoso.

El esquema del equipo utilizado durante la carbonización se muestra en la figura 5. El carbonizador estuvo constituido por una mufla convenientemente aislada y protegida de toda entrada de aire; el refrigerante de vidrio en forma de espiral fue adaptado por medio de un tubo, aislado por una cinta de asbesto en el punto de unión. El ácido piroleñoso condensado fue recibido en un matraz quitasato.

### **Refinación**

Las muestras (1 kg de materia prima) carbonizadas y activadas fueron lavadas con HCl 1N y agua, con la finalidad de ajustar el pH y eliminar los excesos de Cloruro de Zinc y las cenizas. Hassler (1974), Santana (1974), Narasimha (1964) y otros concuerdan con esta etapa como un paso necesario en todo proceso de activación

química con Cloruro de Zinc. En nuestro caso particular se escogió la solución de HCl 1N, coincidiendo con Banerjee et al. (1976). El pH del carbón fue controlado con papel indicador, tratando en todo momento de que estuviera en un rango de 5 a 7, que el señalado por la Norma ITINTEC correspondiente.

### **Secado**

Los diferentes tratamientos fueron secados en una estufa a 120 ° C hasta niveles de humedad de aproximadamente de 2 a 4 %, como resultado de esta operación se obtuvo carbón activado granular, el mismo que según Hassler (1973), deberá tener una efectiva capacidad adsorbtiva combinada con una gran resistencia mecánica.

Los carbones deberán estar muy secos en el momento del pulverizado, por que la presencia de humedad aumentan los factores adversos en la filtración (Hassler 1973).

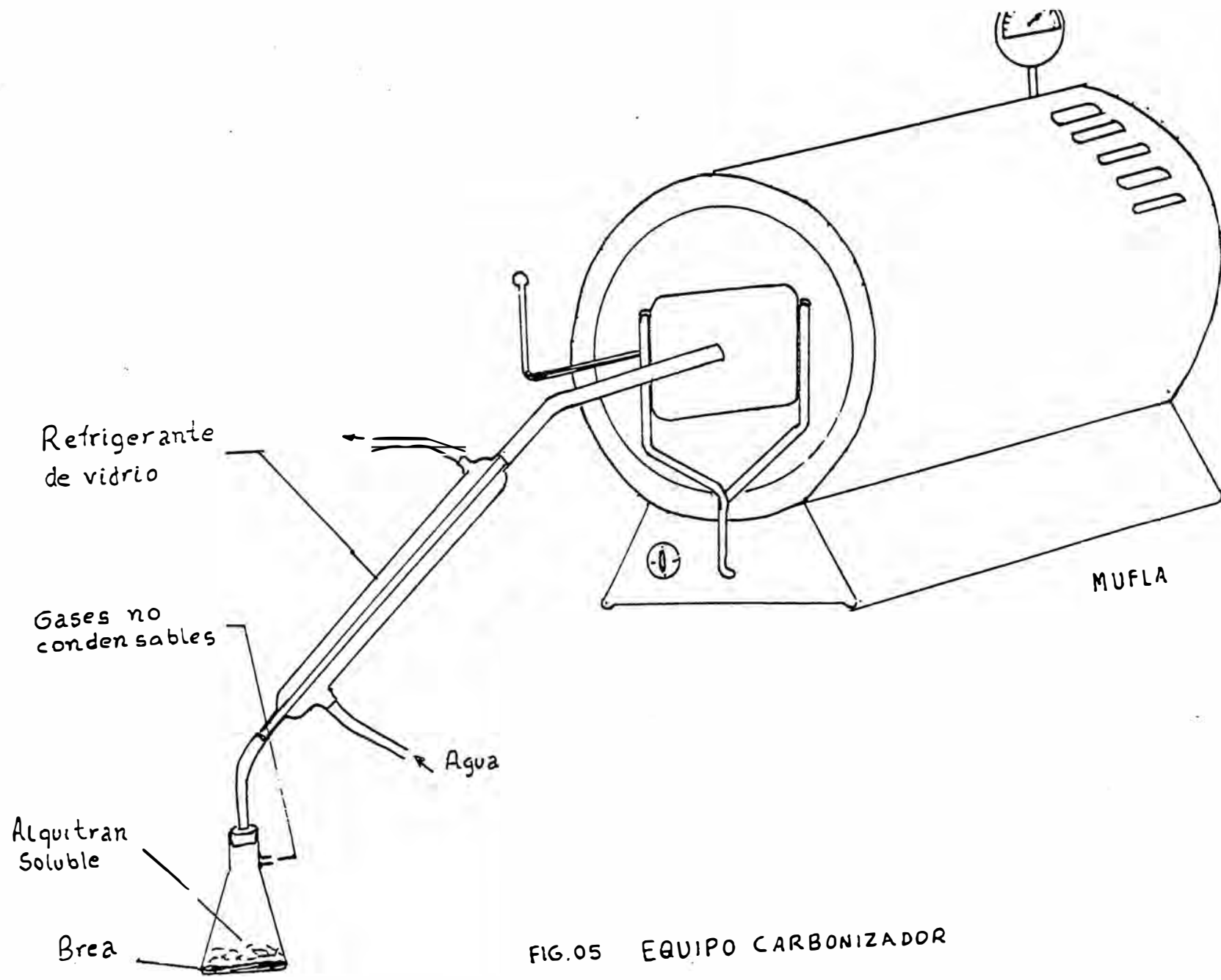


FIG.05 EQUIPO CARBONIZADOR

### **Molienda**

El carbón fue sometido a un proceso de molienda en un mortero, con la finalidad de reducir el tamaño de las muestras y aumentar al máximo el área superficial, dando como resultado carbón activado en polvo.

La preparación de los carbones en polvo, según Hassler (1973), deberá estar acompañada de la más suave acción pulverizante, por que en caso contrario se puede dañar la porosidad, reduciendo por consiguiente el área activa.

### **Tamizado**

Luego de la operación de la molienda, la muestra fue tamizada a una malla 100 y malla 200, con la finalidad de comprobar la efectividad de dicha operación en el carbón seleccionado, obteniéndose de esta manera el carbón activado en polvo.

### **Almacenaje**

El carbón activado en polvo inmediatamente del tamizado deberá ser embolsado y sellado para conservar con una humedad mínima establecida por las Normas ITINTEC y N.O.M.



**Cuadro 6. RESULTADOS DEL INDICE DE DECOLORACION EN LAS MUESTRAS EXPERIMENTADAS**

Temp °C	Concent. ZnCl <sub>2</sub> %	Tiempo (min)	Materia Prima	Observación (decoloración)
400	1	30	Aserrín	Negativo
400	1	40	Aserrín	Negativo
500	0,5	40	Cascarilla de Arroz	regular con 1,5g de C.A.
500	0,8	30	Cascarilla de Arroz	Negativo con 0,6g de C.A. Regular con 1-1,5g de C.A.
500	0,5	30	80% cascarilla y 20% aserrín	Negativo
600	0,3	70	Cascarilla de Arroz	Negativo
600	1	30	Aserrín	Buena
600	0,5	30	Aserrín	Negativo
600	0,8	30	Aserrín	Negativo
600	0,8	45	Aserrín	Negativo
700	0,8	30	60% cascarilla y 40% aserrín	Negativo
700	1	30	Aserrín	Buena
700	1	40	Aserrín	Negativo
700	0,5	30	Aserrín	Buena
700	0,8	30	Aserrín	oscuro falta filtrar
700	1,5	30	Aserrín	más oscuro
700	0,75	30	Aserrín	oscuro falta filtrar
700	0,3	30	Aserrín	oscuro falta filtrar
700	1	30	50% cascarilla y 50% aserrín	Regular
700	0,8	30	50% cascarilla y 50% aserrín	Regular
700	0,8	30	50% cascarilla y 50% aserrín	Regular
700	0,5	30	50% cascarilla y 50% aserrín	Regular

CUADRO 6. RESULTADOS DEL INDICE ... (CONTINUA)

750	0,9	30	50% cascarilla y 50% aserrín	Negativo
750	0,8	60	50% cascarilla y 50% aserrín	Regular
780	1	90	60% cascarilla y 40% aserrín	Buena
800	0,8	90	60% cascarilla y 40% aserrín	Regular
800	0,8	60	60% cascarilla y 40% aserrín	Buena
800	0,8	75	60% cascarilla y 40% aserrín	Buena malla 230
800	0,8	75	60% cascarilla y 40% aserrín	Buena malla 230
800	0,8	60	60% cascarilla y 40% aserrín	Buena malla 230
800	0,8	60	60% cascarilla y 40% aserrín	Buena malla 230
800	0,8	60	60% cascarilla y 40% aserrín	Buena malla 230

**Nota:** Negativo indica poca diferencia en el color (menos del 50% de la muestra patrón).

Regular y Buena indica que existe diferencia apreciable de coloración (entre 50 - 70% y 70 - 90% respectivamente).

CUADRO 7.

## RESULTADOS OBTENIDOS EN EL ESPECTROFOTOMETRO

( DENSIDAD OPTICA A 650 m $\mu$ \* )

Temp. (°C)	Tiempo (min)	g de C.A./50 ml de azúcar cruda	Concent. ZnCl2 (%)	Resultados en el Spectronic			
				Muestra(2)		Patrón(1)	
				T	A	T	A
500	30	1,0	0,8	-	-	-	-
600	30	1,0	0,8	67,2	0,173	77,0	0,113
700	40	0,7	1,0	47,2	0,325	43,2	0,364
700	30	0,9	1,0	47,4	0,324	43,2	0,364
700	40	0,9	0,8	50,2	0,299	43,2	0,364
700	30	0,7	0,5	50,8	0,295	43,2	0,364
700	30	1,0	0,8	68,4	0,116	43,2	0,364
750	30	0,7	0,8	43,4	0,366	43,2	0,364
750	30	0,9	0,8	3,2	0,46	45,8	0,341
750	60	0,9	1,2	39,6	0,402	31,4	0,52
800	60	1,0	0,8	74,0	0,103	53,0	0,275
800	75	1,0	0,8	61,2	0,213	18,8	0,726
800	75	1,0	0,8	85,4	0,069	18,8	0,726
800	75	1,5	0,8	90,6	0,043	16,6	0,774**
800	60	1,5	0,8	88,8	0,051	16,6	0,774**
800	60	1,0	0,8	94,4	0,026	16,6	0,774**
800	60	2,0	0,8	84,4	0,095	16,6	0,774**
800	60	1,0	0,8	50,0	0,300	39,8	0,398
800	60	1,5	0,8	75,8	0,12	39,8	0,398
800	60	1,5	0,8	81,2	0,09	39,8	0,398
800	60	1,0	0,5**	40,5	0,446	43,2	0,364
800	60	1,0	0,8**	71,3	0,181	53,2	0,275
800	60	1,0	1,0**	45,2	0,341	43,2	0,364

\*) Determinación de la Longitud de Onda ( $\lambda$ ): Anexo 13

1) Indica solución de azúcar crudo(Patrón) de concentración 43° Brix.

2) Indica solución de azúcar crudo tratada con C.A.

\*\*) % de concentración de Cloruro férrico

#### **4.3.2 Selección del Carbón Activado**

El proceso de selección de los mejores tratamientos se hizo de acuerdo con los resultados de la Adsorción del Azul de Metileno, con la finalidad de escoger las muestras con mayores poderes adsorptivos, indicados por los valores numéricos altos alcanzados. En este proceso se utilizaron como patrones dos tipos de carbones comerciales, los mismos que sirvieron de referencia.

#### **4.3.3 Selección del Reactivo Activante**

De los reactivos activantes mencionados, se escogieron el Cloruro de Zinc y Cloruro Férrico por su disponibilidad en el mercado. Las concentraciones usadas están entre 0,3 y 1,5 %.

#### **4.3.4 Análisis Físico-Químico del carbón activado en Polvo**

Los análisis físico químico fueron hechos con el objeto de caracterizar los carbones seleccionados. Las pruebas a las que se sometieron las muestras del tratamiento en los cuadros 6 y 7 consistieron en la determinación de Granulometría, Densidad

Aparente, Humedad, Cenizas, pH y Adsorción de Azul de Metileno. Estos ensayos se llevaron a cabo, para todas las muestras en cada tratamiento.

Los resultados de estos análisis fueron comprobados con los Requisitos de Calidad especificados en la Norma Oficial Mexicana NOM-F-295-1981.

#### **4.3.5 Evaluación del Proceso de Carbonización - Activación**

Con la finalidad de evaluar la etapa de Carbonización - Activación se estudiaron tres tipos de variables: Concentración del agente activante, temperatura y tiempo de activación, las que obviamente ejercerán influencia en las características del producto final.

Las diversas temperaturas fueron: 500, 600, 700, 800 y 850 °C, a concentraciones de agente activante: 0,5, 0,8, 1,0, 1,5 con tiempos de 60, 70, 75,90 minutos tal como se observa en los cuadros 6 y 7

El método de análisis usado para evaluar la eficiencia de cada tratamiento fue el Adsorción del Azul de Metileno. Según Perry (1994), este es uno de los métodos normalizados para probar carbones activados; por su parte Santana (1974), sostiene que el Yodo es una de las más fáciles de ser adsorbidas y que además, proporciona un óptimo índice en la selección de un carbón para

para remover olores, sabores y colores. Finalmente, agrega que el número de Yodo de un determinado carbón activo, permite establecer información respecto a la marcha del proceso de activación.

#### **4.3.6 Evaluación de la Eficiencia del Carbón Activado**

##### **•Determinación del Índice de Decoloración**

Para evaluar la eficiencia del Carbón Activado en Polvo, correspondiente al tratamiento de los Cuadros 6 y 7 , se hizo uso del método del Índice de Decoloración de una solución de azúcar crudo , el mismo que se encuentra especificado en la Norma Oficial Mexicana NOM-F-299-1980.

Por ser este método de naturaleza colorimétrica, se emplea como patrones de referencia dos tipos de carbones comerciales: vegetal y cromatográfico, ambos en forma de Polvo. La solución azucarada fue preparada con una concentración de 43° Brix.

Este método se fundamenta en la medida de la absorbancia del carbón seleccionado y es, según Perry (1997), el método más usado para medir el color.

- **Determinación del contenido de Cloro por el Método del Clorímetro Taylor**

La eficiencia del carbón activado Granular, fue evaluada de dos maneras: colorimétricamente y gravimétricamente.

En el primer caso se hizo uso del super Clorímetro Taylor y del reactivo Orto-todilina, ensayándose soluciones de cloro cuyas concentraciones fueron de 5 y 20 ppm. La finalidad de esta prueba fue medir la capacidad adsortiva del carbón con respecto al cloro.

Este método se basa en la medición del cloro por comparación con soluciones coloreadas standard

## 4.4 RESULTADOS EXPERIMENTALES

### 4.4.1 Análisis de la Materia Prima

Se compró experimentalmente que la humedad influye en la obtención de mayores rendimientos de carbón y alarga el tiempo de la carbonización (Earl, 1975). El mismo autor agrega que el grado de humedad no afecta la calidad del carbón ; en nuestra caso particular se determino que fue de 20% , tal como se muestra en cuadro 8.

Por su parte la ONUDI(1980), señala que las cascaras antes de la carbonización deberán estar razonablemente secas después de exposición al sol por uno o dos días.

En cuanto a las cenizas , que constituyen el residuo orgánico que queda al quemar las cascarillas de arroz se observo un contenido promedio 1,2% , tal como se observa en el cuadro 8. El contenido de cenizas es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica de la madera original (Earl,1975). Señala que los constituyentes solubles inorgánicos pueden presentar problemas para ciertos procedimientos industriales.



Indudablemente, tal como lo señala Grimwood(1977), el contenido de humedad y cenizas varia según sea el medio ambiente, la variedad y la madurez del Arroz.

En lo que se refiere al contenido de sustancias volátiles y carbón fijo , se encontró valores 69,4% y 23,6%, respectivamente , tal como se observa en el cuadro 8.

El contenido de material volátil nos da una idea de la cantidad de componentes gaseosos producidos por la descomposición de la materia prima ; esta compuesto por los alquitranes condensables y por los gases no condensables . El contenido de carbono fijo es un dato muy importante porque da información a cerca del contenido de materia orgánica, la misma que pasará a convertirse en carbón

## CUADRO 8.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE COMPOSICION  
DE LA CASCARILLA DEL ARROZ

Análisis	( % )
Humedad	5,8
Cenizas	1,2
Material volátil	69,4
Carbono fijo *	23,6
Total	100,0

\*) Obtenido por diferencia según la Norma A.S.T.M.

D- 1762

#### 4.4.2 Evaluación del Proceso de Carbonización-Activación

Las diversas temperaturas y tiempo de carbonización-activación con los cuales se trabajaron durante el diseño experimental, fueron seleccionados en base a la experiencia de trabajos anteriores , tales como el de Narasimha (1964), que reporta temperaturas de al rededor de 500° C; el de Fornwalt(1963), que

señala un rango de 550°C a 650°C ; el Banerjee et al .(1976), que reporta datos entre 800 a 950°C y tiempos de 45 y 60 minutos. Por otro lado, Santana (1974), trabajando con madera de pino y activando con cloruro de Zinc, reporta temperaturas de 500 a 700 °C y tiempos de 30 y 60 minutos

El análisis que nos permitió evaluar la eficiencia del proceso de activación fue el del Índice de decoloración de una solución de azúcar crudo , la experiencia ha mostrado , según Hassler (1973), que el poder relativo de un carbón en la remoción de olores y sabores , preparado con cloruro de zinc es más efectivo que con otras soluciones activantes

#### **4.4.2.1 Efecto de la Temperatura**

Los rendimientos en carbón activado, resultantes de los diversos tratamientos están dentro de un rango de 25 a 30% y se muestran en el cuadro 9. Se puede apreciar que a medida que se incrementa la temperatura hay menor producción de carbón , coincidiendo con Kirck(1963), cuando señala que el proceso de carbonización implica una pérdida de carbón.

## CUADRO 9.

RENDIMIENTO DEL PRODUCTO DE CARBONIZACION  
CON LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO

Temperatura	% de Carbonización	
	Tiempo 30 min.	Tiempo 60 min.
400	21,3	22,3
500	24,7	25,1
600	25,3	25,9
700	26,7	27,2
750	28,5	29,4
800	29,5	29,8
850	27,2	28,1

#### 4.4.2.2 Efecto del Tiempo

El crecimiento en el rendimiento del carbón, cuando se alarga el tiempo de carbonización, como puede observarse en el cuadro 9 al comparar los diferentes porcentajes obtenidos en tiempos de 30 y

minutos para cada temperatura, Kirck (1963), agrega que existe un punto mas allá del cual no resulta económico prolongar la activación . Por su parte Banerjee et al. (1966), reporta rendimientos del orden del 15 al 22% cuando emplea tiempos de 45 minutos para la carbonización y 60 minutos para la activación a las temperaturas anteriormente señaladas.

#### **4.4.2.3 Efecto de la Concentración de Agente Activante**

En cuanto a la concentración, parece ser que influye mucho en el proceso de activación; se conoce que disminuye la formación de alquitranes y aumenta el poder de absorción de los carbones , según lo indica Santana (1974) . De otro lado Kirck(1963), señala la propiedad deshidratante del Cloruro de Zinc, dejando abierta la posibilidad de que se separen en forma de agua el hidrogeno y el oxigeno de la materia prima . Tal como se observa en el cuadro 6 y 7, se puede decir que la concentración del agente activante ejerce

una influencia muy marcada en el proceso de activación, siendo su efecto de mucha importancia al lado de las otras variables estudiadas.

Durante la etapa de carbonización-activación, también se verificó una disminución del rendimiento en volumen en relación a la materia seca, aproximadamente de 33 a 35%. Del mismo modo Remigio (1983), señala que durante la carbonización la madera se contrae en tres direcciones: tangencial, radial y longitudinal, obteniendo volúmenes relativos de 30 y 40% cuando se alcanzan temperaturas en 600 y 1100 °C.

Durante esta etapa se comprobó también el escape de humos y vapores con matices que van de color pardo a marrón claro a temperaturas cercas a 350°C y por un tiempo de 10 a 15 minutos, hasta desaparecer recién a 600°C. Estos componentes volátiles constituyen los productos de la destilación destructiva de las cascarillas de arroz.

#### 4.4.3 Selección del Carbón Activado

El proceso de selección de las muestras con mayor poder adsorptivo, se hizo a partir de los resultados del Análisis del Índice de Decoloración de Soluciones de Azúcar crudo. Este ensayo fue realizado con el propósito de determinar las mejores condiciones de temperatura, tiempo, concentración de agente activante y rendimiento en producto activado.

De los resultados obtenidos, tal como se aprecia en los cuadros 6 y 7, podemos deducir que el tratamiento a una temperatura de aproximadamente  $800^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ) y concentración del cloruro de zinc al 0,8% es el que tiene mayor valor promedio, por lo que se concluye que la temperatura óptima del diseño experimental es de  $800^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, con un tiempo de 60 minutos y una relación de concentración de agente activante de 1:0,8. Estas muestras fueron seleccionadas por su alto índice de decoloración.

Las muestras de los cuadros 6 y 7, fueron empleadas para la obtención y evaluación del carbón activado en polvo.

Cabe mencionar que para evaluar la eficiencia de los carbones en los diferentes tratamientos experimentales, se analizaron dos tipos de marcas importadas, los mismos que

se tomaron como patrones. Los cuales corresponden a marcas comerciales encontradas en el mercado.

#### **4.4.4 Selección del Reactivo Activante**

El reactivo activante utilizado fue el cloruro de zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ) a una concentración al 0,8 % , porque resulta ser el más eficiente y el más barato en el mercado.

#### **4.4.5 Análisis Físico-Químico del Carbón Activado en Polvo**

##### **■ Granulometría**

Para la determinación de la granulometría fue necesario llevar a cabo dos operaciones de molienda y tamizado. Las mallas utilizadas fueron la número 100 y 200 de la serie A.S.T.M., las mismas que son especificadas en la norma ITINTEC-350.001-64.



Se observó que en la primera operación de molienda y tamizado, con tiempo de 15 y 10 minutos, respectivamente, se obtuvieron los siguientes resultados: 9,38% pasó la malla 100 y el 5,23% pasó la malla 200.

En la segunda operación, con tiempos de 25 y 20 minutos para la molienda y tamizado respectivamente, se obtuvo que: 14,6% pasó la malla 100 y 6,34% pasó la malla 200, tal como se observa en el cuadro 10.

CUADRO 10.

### ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL CARBÓN

#### ACTIVADO EN POLVO

Análisis	Resultados
1. Granulometría	
a) Tamiz N° 100	14,60%
b) Tamiz N° 200	6,34%
2. Densidad Aparente	0,469 g/cm <sup>3</sup>
3. Humedad	7,3%
4. Cenizas en base seca	4,16%
5. Ph	6,9
6. Adsorción del Azul de Metileno	12,3%

Jetro (1978) y Hassler (1973), indican el uso de molinos de bolas como los más usuales y convenientes. En nuestro caso particular, por el tamaño relativamente pequeño de la muestra, fue justificado el uso del mortero.

Por otro lado Perry (1974), señala que el método del molino de bolas es un método normalizado, que se usa para la reducción de materiales que pasen por los tamices comprendidos entre el N° 100 y 200.

#### ■ **Densidad Aparente**

El resultado promedio de la determinación de la densidad aparente fue de  $0,469 \text{ g/cm}^3$ , tal como se observa en el cuadro 10; Benarjee (1976) reportó valores comprendidos entre  $0,45$  y  $0,49 \text{ g/cm}^3$ , cercanos al valor hallado.

Las variaciones anteriores son explicables por el hecho de que el tamaño de partículas influyen en la densidad. Earl (1975) afirma, que la densidad es proporcional a la densidad en seco de la materia prima; mientras que Hassler (1973), sostiene que la densidad de un carbón es el peso por unidad de volumen, incluyendo los poros y vacíos dentro de esas partículas.

El cálculo de la densidad es importante porque, tal como lo señala Fornwalt (1963), determina el volumen de la torta de filtro en los carbones en polvo. Añade que, una densidad alta del carbón disminuye la retención de líquido por unidad de peso.

### ■ Cenizas Totales

El contenido de cenizas, determinado como el índice del grado de pureza del carbón, fue de 4,16%, tal como se presenta en el cuadro 10; mientras que Benarjee et al. (1976) reporta 0,6 %. Cabe recordar una vez más, tal como lo indica Earl (1975), que dicho porcentaje variará según las especies.

La forma en la cual los constituyentes inorgánicos están presentes, según Hassler (1973), es influida por el método de preparación del carbón. Agrega que son derivados de la materia prima y de los agentes activantes añadidos durante la activación.

Por otro lado Kicrk (1963), sostiene que para muchos fines la cantidad de cenizas solubles no causa ninguna dificultad;

para en algunos casos es necesario emplear un carbón que no contenga cenizas solubles.

### ■ **Potencial de Hidrógeno**

Los resultados de la determinación del pH se muestran en el cuadro 10. Según Perry (1974), el pH del propio adsorbente es un factor importante, ya que puede afectar el pH del líquido.

Fornwalt (1963), define el pH del carbón como el pH del agua extraída de ese carbón. Afirma que el control del pH es importante desde el punto de vista de la inversión; por ejemplo, en la industria del azúcar de caña el pH debe ser mantenido entre 5,3 y 7,0, mientras que los productores de azúcar de maíz prefieren un pH de 4,2 a 5,3 .

Los valores de pH serán afectados por las condiciones experimentales; por ejemplo: tiempo, temperatura de extracción y la relación carbón-agua. El pH de los carbones comerciales es debido a los constituyentes inorgánicos originados de las materias primas o aquellas añadidas durante la fabricación (Hassler,1973).

### ■ Adsorción del Azul de Metileno

Este ensayo se llevó a cabo por que es uno de los métodos clásicos en la determinación del poder adsorbente de los carbones en polvo. Es un procedimiento que se encuentra normalizado por la Norma India IS:877-1977 y por la Norma Japonesa JIS K 1470-1967.

Los resultados de esta prueba se encuentran en los cuadros 11 y 12, los mismos que fueron obtenidos de la figura 6. Se tomaron como patrones dos tipos de carbón: un carbón de uso cromatográfico y otro carbón vegetal de uso decolorante.

La curva de calibración específica del fotocolorímetro usado se trazó graficando los gramos de Azul de Metileno adsorbidos por los gramos de carbón en el eje de las abcisas versus la densidad óptica sobre el eje de las ordenadas.

En la primera determinación colorimétrica, la densidad óptica de la solución  $T_2$  fue de 0,77; mientras que en la segunda determinación de la solución  $T_2$  se encontró un valor de 0,82, para el carbón en estudio.

De acuerdo a la gráfica de Densidad Optica, a 0,77 corresponde un valor de adsorción de 12,0 gramos de Azul de Metileno y a 0,82 corresponde una adsorción de 12,6. El

resultado promedio obtenido fue de 12,3 gramos de Azul de Metileno por 100 gramos de carbón (12,3%); por su parte Banerjee et al. (1976), reporta valores comprendidos entre 13 a 19 %.

Debemos señalar que este método de ensayo se encuentra especificado por las normas mexicanas; pero ni la norma peruana ni la norma mexicana de requisitos de calidad de los carbones activados en polvo, señalan los valores límites permitidos.

La determinación de la calidad del Carbón Activado en polvo se hizo por comparación de los resultados obtenidos ( ver cuadro 10) con los requisitos de calidad de las respectivas normas mexicanas y peruanas, que se aprecia en el cuadro 13.

Podemos ver que en cuanto a lo que se refiere a Apariencia, Humedad, Cenizas Totales y pH, se cumple con los requisitos de calidad de las normas anteriormente referidas, las mismas que son aplicables para los carbones activados empleados en la industria azucarera.

En lo referente a Granulometría, observamos que los resultados obtenidos *no cumplen las especificaciones* señaladas. Esta situación se debe a la cantidad

pequeña de partículas del tamaño de malla deseada, proporcionado por una molienda en un mortero.

De modo general, podemos afirmar que el Carbón Activado en polvo obtenido, sí cumple con los requisitos de calidad de la norma nacional. Cabe señalar que esta determinación de la calidad se refiere a la manufactura o fabricación de los carbones empleados en la industria azucarera, más no a la eficiencia de los mismos.

CUADRO 11.

**RESULTADOS OBTENIDOS EN EL FOTOCOLORIMETRO  
SPECTRONIC 360**

Tubos	Densidad Optica a 650 m $\mu$	ml de solución “S <sub>2</sub> ” agregados	Gramos de azul de metileno adsorbidos por 100g de carbón
a	0,000	0	30
b	0,102	2	28
c	0,245	5	25
d	0,480	10	20
e	0,680	15	15
f	1,270	30	0

CUADRO 12.

**GRAMOS DE AZUL DE METILENO ADSORBIDOS**

Tipo de carbón	Densidad Optica (mu)		Adsorción de Azul de Metileno		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 1	Muestra 2	$\bar{X}$
De cascarilla de arroz	0,77	0,82	12,0	12,6	12,3
Comercial	0,29	0,30	23,0	23,2	23,1
Comercial	0,031	0,034	21,8	23,3	22,6



CUADRO 13.

**REQUISITOS DE CALIDAD DE LOS CARBONES  
EMPLEADOS EN LA INDUSTRIA AZUCARERA**

Requisitos	Norma ITINTEC	N.O.M.
Apariencia	Polvo negro	Polvo negro
Tamaño de Partículas		
Tamiz N° 100	Pasa 95% mín.	Pasa 95% mín.
Tamiz N° 200	Pasa 92% mín.	.....
Densidad Aparente	0,4 g/cm <sup>3</sup>	0,35 – 0,4 g/cm <sup>3</sup>
Humedad	12% máx.	12% máx.
Cenizas Totales	12% máx.	12% máx.
PH	5,5 a 7,5	6,0 a 8,5
Adsorción de Azul de Metileno	Nd.	Nd.

Fuente: Norma ITINTEC Obligatoria 207.024-82  
Norma Oficial Mexicana N.O.M - F - 295 - 1981  
Nd: No existen datos.

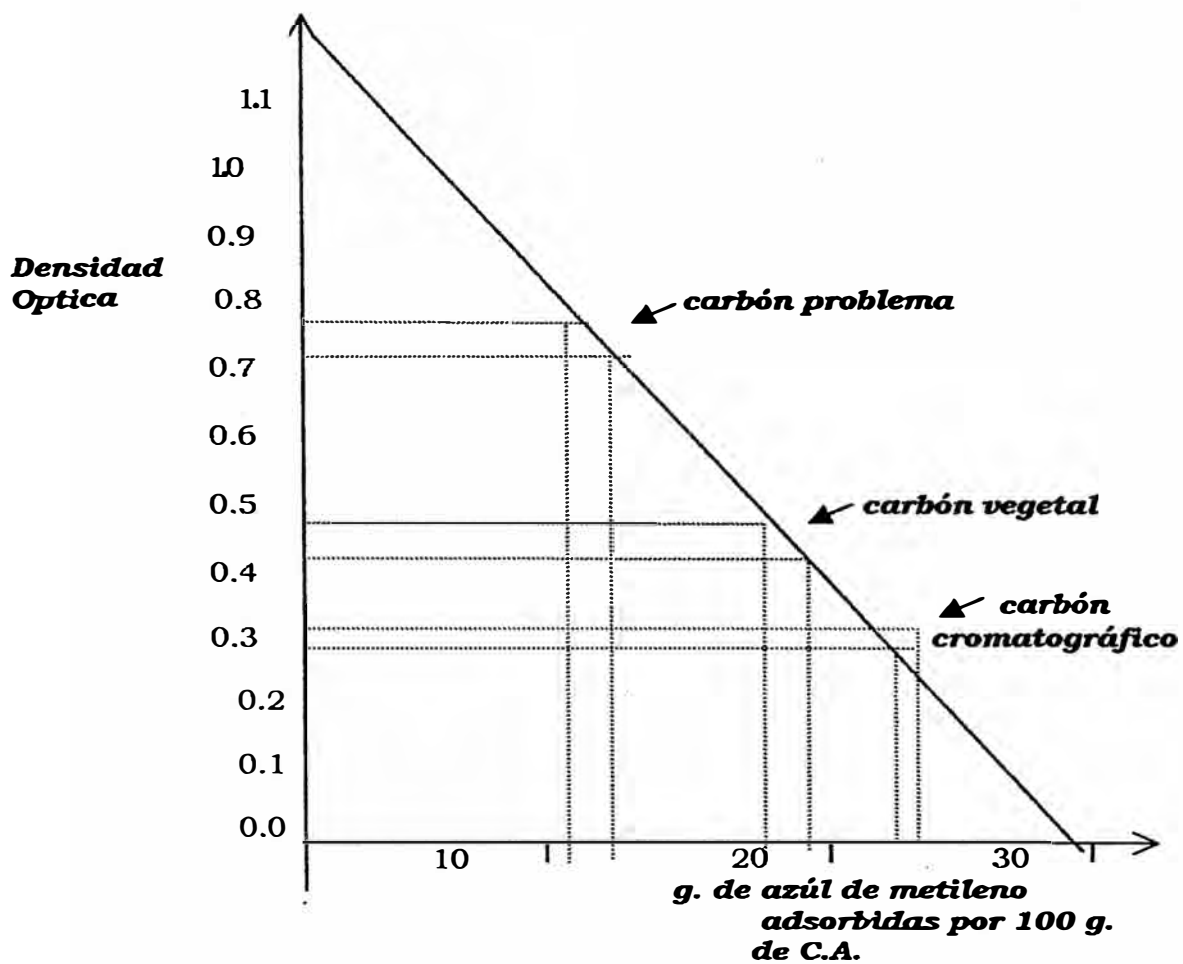
CUADRO 14.

**LECTURAS DE ABSORBANCIA E INDICE DE  
DECOLORACION**

Tipo de carbón	Lecturas de Absorbancia Densidad Optica a 650 mμ )*
Carbón Problema 1	0,103
Carbón Problema 2	0,095
Cromatográfico	0,004
Comercial	0,032

\* : Longitud de onda

Carbones Patrones	Indice de Decoloración		
	Carbón Problema 1	Carbón Problema 2	$\bar{X}$
Cromatográfico	3,88	4,21	4,045
Comercial	31,06	33,68	32,33



**Fig. 06: Gráfico de la Densidad Óptica**

#### **4.4.6 Evaluación de la Eficiencia del Carbón Activado**

##### **■ Determinación del Índice de Decoloración**

Para evaluar la eficiencia del Carbón Activado en Polvo, correspondiente al tratamiento (11) del cuadro 7, se hizo uso del Índice de Decoloración de una solución de azúcar crudo.

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 14. En esta oportunidad se volvieron a utilizar como patrones el carbón cromatográfico y el carbón vegetal; podemos apreciar que el Índice de Decoloración con respecto al primero es de 4,045% y con respecto al segundo es de 32,33%. Estos valores demuestran el alto poder adsorptivo del patrón cromatográfico.

Los rendimientos encontrados demuestran que el carbón de cáscaras de arroz y aserrín de madera es adecuado para separar sustancias disueltas en líquido, tal como lo señala Kirk (1963), al sostener que el carbón activo muy denso no es recomendable para decolorar líquidos. Agrega que, esta operación puede realizarse mejor empleando tipos de carbones blandos y de baja densidad.

Al respecto, se han realizado muchos estudios de adsorción sobre decoloración. Según Perry (1974), varios investigadores han utilizado gran número de métodos de ensayo experimentales y diferentes tipos de colorímetros. Coincide con el uso del Método del Índice de Decoloración al señalar que, el método preferido para medir el color es el que emplea un sistema basado en la densidad óptica del color. Por otra parte, Briceño (1970), añade que la medida del color de una solución, por comparación usual con otra solución de concentración conocida, no llena las exigencias de un método exacto. Finalmente, Kirck (1963), agrega que el método basado en la proporcionalidad expresada por las Leyes de Beer y Lambert, es el más empleado en colorimetría.

En esta oportunidad, por las consideraciones anteriores, es que se decidió el uso del método espectrofotométrico, para determinar el Índice de Decoloración.

### ■ **Determinación del contenido de Cloro por el Método del Clorímetro Taylor**

Para determinar el contenido de cloro de una solución clorada después del tratamiento con el carbón activado, se procedió a evaluar su eficiencia cualitativamente.

Utilizando el Super colorímetro de Taylor, observamos que los primeros tubos de cada grupo corresponden a las soluciones cloradas, mientras que los tubos del medio pertenecen a la misma solución, pero adicionadas de reactivo orto-tolidina; para finalmente, después del tratamiento con carbón, obtener una solución incolora y transparente en los tubos señalados con el número 3.

Según Calgon (1971), los carbones activados granulares son usados en los sistemas de tratamiento de agua para remover cloro, sustancias orgánicas disueltas y turbidez. Agrega que el proceso de decoloración depende del tipo de carbón empleado así como de la concentración de cloro, de la razón de flujo y del tamaño del lecho de carbón.

En lo que se refiere a granulometría, Calgon (1971), especifica que el diámetro de partícula debe estar comprendida entre 0,9 a 1,7 mm.

Finalmente, es importante resaltar, tal como lo indica Zapata (1966), que la función del carbón consiste en remover el cloro, pero si tiene un contacto con una dosis alta de cloro, su actividad se destruye.

## **V. DISEÑO DE LA PLANTA**

### **5.1. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA**

La planta para la obtención del Carbón Activado estará ubicado en el Parque Industrial de Chiclayo, ( Lambayeque), por encontrarse más cerca de las empresas que procesan el arroz y por la presencia de grandes aserraderos cercanos a la zona, los que a su vez proporcionarían la materia prima (cascarilla de arroz y aserrín) en grandes volúmenes. Del estudio de mercado en cuanto a la importación de Carbón Activado, se quiere cubrir al menos el 54 % del déficit nacional la cual representa 591 TM/año. La planta diseñada permitirá producir 319 TM/año ( 1,2 TM/día) de Carbón Activado, procesando 4 TM de materia prima (se ha considerado una mezcla de 60 % de cascarilla de arroz y 40 % de aserrín).



## 5.2. SELECCIÓN DEL MÉTODO

Para la selección del método se ha considerado los siguientes aspectos:

La activación Física implica una reacción con gases oxidantes a altas temperaturas; pero presenta dificultades a escala industrial.

La eficiencia de la carbonización mediante la Activación Química aumenta impregnando la materia prima con soluciones de cloruros metálicos. Según *Hasler*, el cloruro de zinc es el más empleado a escala industrial; los materiales para la activación química son variados, entre ellos tenemos: ácido bórico, ácido fosfórico, ácido nítrico, ácido sulfúrico, azufre, carbonato de potasio, cloro, cloruro cálcico, cloruro de zinc, cloruro férrico entre otros. De los cuales escogimos el cloruro de zinc como agente activante por su gran poder de activación en comparación con los demás y por el bajo costo que tiene. Por otro lado los carbones de tipo en polvo son producidos de madera y otros materiales similares(cáscara de cereales y de arroz), los cuales son usados en la refinación del azúcar, aceites, bebidas alcohólicas entre otras, los cuales deben ser suaves y finamente divididos y de material altamente porosos con mayor área superficial. Por lo que en el presente estudio se ha seleccionado el método de la Activación Química por ser el más adecuado al material con lo que se va a trabajar.

### 5.3. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

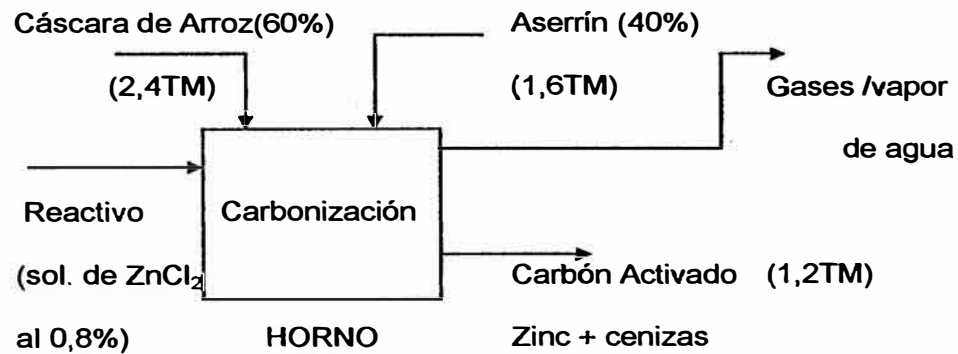
#### BALANCE DE MASA TOTAL

Se dispone de Cascarilla :	23 550TM/Año
Se utilizara Aprox. :	876 TM/Año ó 2,4TM/día
Se dispone de Aserrín :	1 200 TM/Año
Se utilizara Aprox. :	584 TM/Año ó 1,6 TM/día

Para cubrir un 54 % del Déficit se

debe Producir : 319 TM/Año

Por tanto se Producirá : 1,2 TM/día



$$FR = 0,3$$

$$(2,4 + 1,6) TM \times FR. = 1,2 TM \text{ de Carbón}$$

FR. = Factor de  
Reducción (Cenizas,  
Humedad  
y Gases  
Piroleñosos)

**PROCESO BACH (Para una hora)**

Se obtendrá 150 Kg. de Carbón  
Activado.

Se requiere 1,67 lt de  $ZnCl_2$  (al  
0,8%)/kg. de C.A.

Se utilizara 45 lt de HCl 0,1N

Se utiliza agua de lavado 1.200 lt.

## BALANCE DE ENERGIA

## CALENTAMIENTO DEL AGUA

$$M = 9,6 \text{ TM}$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 68 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C} = 140 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 40 \text{ }^\circ\text{C} = 72 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$C_p = 0,99 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}$$

$$Q = M \cdot C_p \cdot \Delta T = 9,6 \cdot 0,99 \cdot 72 = 684 \text{ Kcal}$$

## SECADOR

$$\text{Masa de C.A. húmedo} = 1 \text{ 920 Kg.}$$

$$\text{Masa de agua} = 720 \text{ Kg.}$$

$$\text{Humedad inicial} = 60 \%$$

$$\text{Humedad final} = 12 \%$$

$$T_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 68 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 120 \text{ }^\circ\text{C} = 248 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 100 \text{ }^\circ$$

$$C_p = 1 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$H_{\text{vap}} = 539 \text{ Kcal/Kg.}$$

$$Q = M \cdot C_p \cdot \Delta T + M_{\text{agua evap}} \cdot H_{\text{vap}}$$

$$= 1\,920 * 1 * 100 + 720 * 539$$

$$= 580,1 \text{ Kcal}$$

## HORNO

El mecanismo de transferencia en el horno es por *radiación*. La velocidad de emisión de energía calorífica radiante de una fuente, es:

$$dQ / d\theta = \sigma \epsilon A T^4 \dots\dots\dots (\text{refer. : diseño de planta de Peter})$$

El intercambio neto energía calorífica radiante está dado por:

$$Q_{\text{del cuerpo 1 al cuerpo 2}} = 0,171A [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] F_A \cdot F_E$$

$$A = 60 \text{ pie}^2 = 5,4 \text{ m}^2$$

$$F_A = 1$$

$$F_E = \epsilon_1 = 0,90 \text{ (ladrillo refractario)}$$

$$T_1 = 800 \text{ }^\circ\text{C} = 1\,073 \text{ }^\circ\text{K} = 1\,472 \text{ }^\circ\text{F} = 1\,932 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$T_2 = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ }^\circ\text{K} = 68 \text{ }^\circ\text{F} = 528 \text{ }^\circ\text{R}$$

$$Q_{\text{del cuerpo 1 al cuerpo 2}} = 0,171 * 60 [(1\,932/100)^4 - (528/100)^4] (1) * (0,90)$$

$$Q_{\text{del cuerpo 1 al cuerpo 2}} = 1\,293\,701,8 \text{ Btu/h} = 325\,869,5 \text{ Kcal/h}$$

$$= 378,66 \text{ kwh}$$

Nota:  $1\text{Kcal} = 1,162 \times 10^{-3} \text{ kwh}$

## MOLINO DE BOLAS

El consumo de energía es calculado en forma aproximada teniendo en cuenta el postulado de Fred Bond de la teoría de conminución,

$$\text{en donde: } W = W_i \left( \frac{10}{\sqrt{P80}} - \frac{10}{\sqrt{F80}} \right)$$

$$\text{Donde: } W_i = \text{Work Index } \left( \frac{\text{Kw-h}}{\text{ton}} \right)$$

$$\text{Para el Carbón } W_i = 13,00$$

$$P80 = \text{malla } 200 = 74\mu \text{ (producto)}$$

$$F80 = \text{Tamaño de la alimentación} = 1/8'' = 31,750 \mu$$

$$\text{Luego: } W = 13,00 \left( \frac{10}{\sqrt{74}} - \frac{10}{\sqrt{31750}} \right)$$

$$W = 14,38 \frac{\text{Kw-h}}{\text{ton}}$$

$$\text{Potencia} = 14,38 \frac{\text{Kw-h}}{\text{ton}} * J \quad J = 0,30 \text{ton} / h$$

$$\text{Potencia} = 14,38 \frac{\text{Kw-h}}{\text{ton}} * 0,30 \text{ton} / h \approx 4,5 \text{HP}$$

## **5.4. DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS**

### **1.- Molino de Bolas**

Para seleccionar el molino de bolas se tomó como referencia los molinos tipo MARCY cuyas características se tomó de la tabla 8-27 (7). Las especificaciones del molino de bolas se han tomado en base a la carga y al tipo de materia prima así como la energía de consumo calculado previamente:

Tipo de materia prima : Mezcla de cascarilla de arroz y aserrín

Carga : 0,2 TM/hr.

#### **ESPECIFICACIONES:**

Tamaño : 3x2 pies ( 0,9x.6 m)

Carga de bolas : 0,77 Tm

C.V. en marcha : 5 - 7 HP

Velocidad de molino (rpm) : 35

Tamaño de partícula : mínimo 95% Tamiz # 100

mínimo 92% Tamiz # 200

## **2.- Criba de selección**

Para seleccionar la Criba de selección de elementos extraños ( materiales metálicos como clavos, grapas, piedras pequeñas, etc.) se tomó igualmente como referencia los catálogos ROSEDOWS. Esta firma provee cribas de selección de malla vibratoria que son los más eficientes por permitir una mejor selección del material a seleccionar.

Para la selección de este equipo sólo es necesario conocer la carga del material a seleccionar.

Carga : 4 TM/día

### **ESPECIFICACIONES:**

Criba vibratoria : Eléctrica

Método de alimentación : Flujo libre de una faja transportadora.

Superficie seleccionadora : Aprox. Malla 4 a malla 6 ( Tela de alambre)

Angulo o pendiente : de 5 a 20° ( aprox. 10° )

Dirección de la rotación : Rotación a contraflujo.

Oscilación : 300 a 400 rpm (en un plano paralelo)



### 3.- Hornos

El Horno adecuado para la carbonización será de funcionamiento por lotes, cuya capacidad de material a carbonizar será de 715 Kg. por hora de funcionamiento, la selección de las dimensiones más convenientes se eligió en base a un balance de masa y un balance energético, asimismo establecer el consumo de combustible convencional.

#### DIMENSIONAMIENTO DEL HORNO

En base al balance de materia en el horno:

1) peso de materia prima a procesar en cada hora:

$$5\ 000/7 = 714,3 \text{ kg/h}$$

- materia prima seca / día = MS = 4 000 kg.

- materia prima húmeda / día = MH = 5 000 kg. ( 20% humedad)

a) Densidad de materia prima seca  $\rho_{MS}$

$$W_{\text{vaso}} = 47,7 \text{ g.} \quad W_{\text{vaso} + MS} = 67 \text{ g.} \quad V_{\text{vaso}} = 100 \text{ ml.}$$

$$\text{Entonces: } W_{MS} = 67,0 - 47,7 = 19,3 \text{ g.}$$

$$\text{Por lo tanto : } \rho_{MS} = 0,193 \text{ g/ml.} = 193 \text{ kg/m}^3$$

b)  $W_{\text{vaso} + MH} = 111,0 \text{ g.}$  Entonces:  $W_{MH} = 63,3 \text{ g.}$

$$\text{Por lo tanto : } \rho_{MH} = 0,633 \text{ g/ml.} = 633 \text{ kg/m}^3$$

Luego:

$$V_{MH} = 714,3/633 = 1,13 \text{ m}^3$$

2) Dimensión de las bandejas (propuesto)

$$\text{ancho}(a) = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{fondo}(b) = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{altura}(h) = 0,04 \text{ m}$$

$$\text{Area}_{\text{base}} = 1,2 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{bandeja}} = 1,2 * h = 1,2 * 0,04 = 0,048 \text{ m}^3$$

3) peso de materia prima en cada bandeja:

$$W_{MH\text{-band}} = 633 * V_{\text{bandeja}} = 633 * 0,048 = 30,38 \text{ kg.}$$

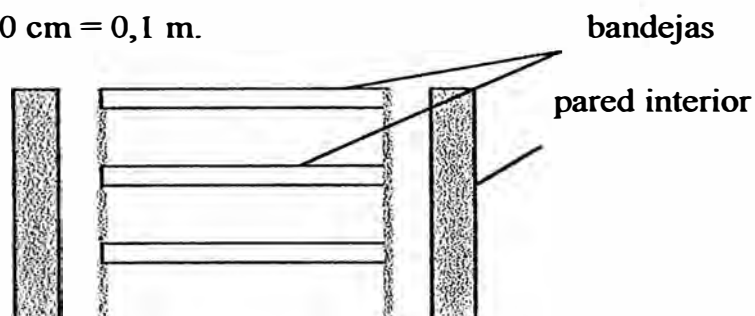
$$W_{MI\text{-band}} = 30,38 \text{ kg.}$$

4) Número de bandejas necesarias(n):

$$n. = 714,3 / 30,38 , \text{ entonces: } n = 24 \text{ bandejas}$$

5) Separación entre bandejas:

$$m. = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m.}$$



6) Altura total (H) ocupado por las bandejas más espaciamiento:

$$H = 0,14 * n = 0,14 * 24 = 3,36 \text{ m.}$$

$$H = 3,36 \text{ m.}$$

Debido a que la altura del horno es demasiado grande, consideramos utilizar 2 hornos con la misma dimensión en su base, de tal manera que el número de bandejas sea 12, es decir la altura del horno sería de 1,68m.

7) Volumen ocupado por las bandejas más espaciamento ( $V_1$ )

$$V_1 = 1,2 * H = 1,2 * 1,68 = 2 \text{ m}^3$$

8) Cálculo del volumen ocupado por los espaciamentos laterales y la base:

$$V_{2a} = 2 * 0,04 * 0,8 * (H + 0,1) = 0,064(1,68) = 0,11 \text{ m}^3$$

$$V_{2b} = 2 * 0,04 * 1,5 * (H + 0,1) = 0,12(1,68) = 0,20 \text{ m}^3$$

$$V_{2c} = 0,1 * 1,2 = 0,12 \text{ m}^3$$

$$\text{Entonces: } V_2 = V_{2a} + V_{2b} + V_{2c} = 0,43 \text{ m}^3$$

9) Volumen de cámara útil:

$$V_{\text{cámara}} = V_1 + V_2 = 2,43 \text{ m}^3$$

$$\text{Factor de seguridad: } 10\%, \text{ entonces: } V_{\text{cámara}} = 2,7 \text{ m}^3$$

## BALANCE TERMICO

El calor que se consume corresponde al consumo de calor en el precalentamiento del horno y en la combustión ( carbonización – activación ) de la materia prima, se considera un porcentaje por pérdidas de calor al ambiente exterior.

Para el balance térmico se consideran términos de entrada y salida en base a un rendimiento horario y para el ciclo total de trabajo.

Sin embargo la potencia calorífica del horno debe ser determinada en correspondencia al máximo requerimiento de calor que ocurre en el calentamiento para la combustión de la materia prima.

### ***Cálculo del calor requerido***

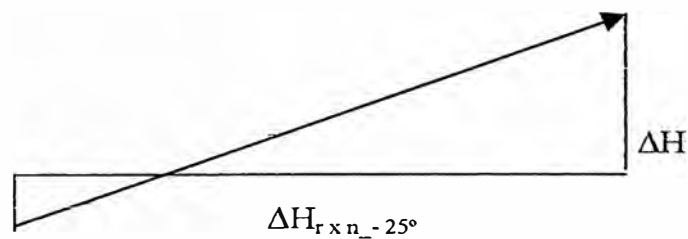
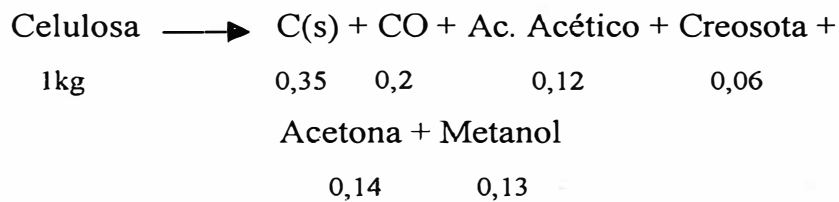
El calor requerido para el proceso (carbonización y Activación de la materia prima) está dado por:

$$Q_{\text{requerido}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9$$

Siendo:

#### 1) Calor de reacción de la materia Prima

Ecuación de la reacción química:



Los cálculos siguientes se hicieron conforme se muestra en el anexo 15

$$\Delta H_{rxn, -25^\circ} = \sum \Delta H_{rxn, -25^\circ} (\text{prod}) - \sum \Delta H_{rxn, -25^\circ} (\text{react})$$

$$\Delta H_{rxn, -25^\circ} = -1783944,8 - (-1832858,6) = 48913 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{20-800^\circ c} = 98389,5 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H_{\text{reacción}} = \Delta H_{r \times n - 25^{\circ}(\text{reac})} + \Delta H_{20-800^{\circ}\text{c}} = 147302,5 \text{ Kcal}$$

Entonces:  $Q_1 = 147302,5 \text{ kcal/ciclo}$

- 2) Calor consumido en el calentamiento de los soportes y bandejas. Se calcula análogamente al calor consumido por la carga. En el horno el peso de los elementos indicados es:

$$W_{\text{elementos}} = \rho_{\text{metal}} * V_{\text{elementos}} = 7860 \text{ kg/m}^3 * 0,05 \text{ m}^3 = 393 \text{ kg.}$$

Luego:  $Q_2 = 393 * (0,164 * 800 - 0,11 * 20) \text{ Kcal/ciclo}$

$$Q_2 = 50697 \text{ kcal/ciclo}$$

- 3) Pérdida de calor a través de las paredes. Cuando se ha establecido la corriente térmica, las pérdidas de calor por las paredes ocurren por que lo posibilita la mampostería (estructura interna del horno compuesta por las paredes de material refractario y aislante) y se calculan por la fórmula que para la mampostería de dos capas se da:

$$Q_3 = \frac{(t_3 - t_4)}{\left[ \frac{e_1}{\lambda_1 \cdot s_1} + \frac{e_2}{\lambda_2 \cdot s_2} + \frac{1}{\alpha \cdot s} \right]} \text{ Kcal/h}$$

Donde:

$t_3$  = temperatura de la superficie interior de la pared, °C

$t_3 = 820 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$t_4$  = temperatura del aire exterior, °C

$t_4 = 20^{\circ}\text{C}$

$e_1, e_2$  : espesores de las capas aisladora y refractaria, m

$$e_1 = 0,15 \text{ m} ; e_2 = 0,15$$

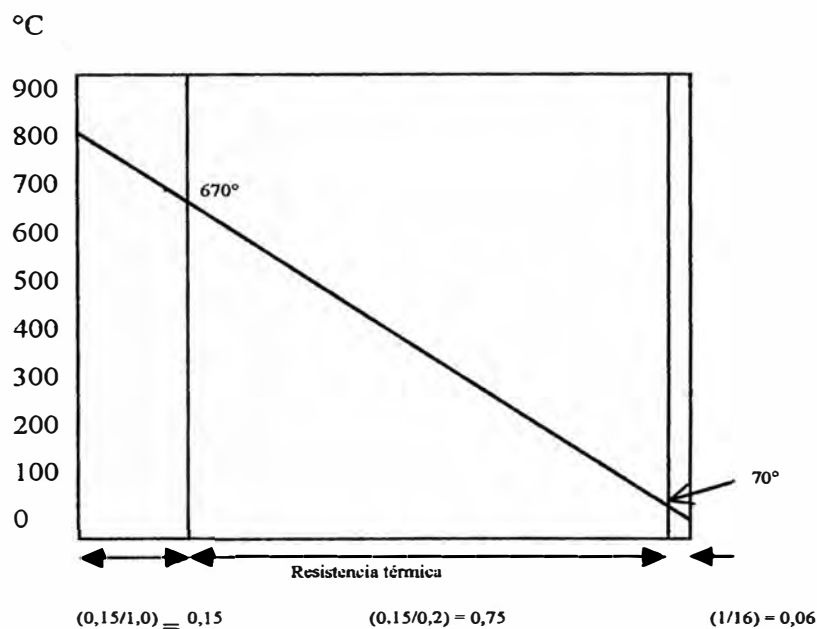
$\lambda_1, \lambda_2$  : coeficientes medios de la conductibilidad térmica de estas capas, para la temperatura media de la pared, kcal/m.h°C

asumiendo:  $\lambda_1 = 1,0 \text{ kcal/m.h°C}$  ;

$$\lambda_2 = 0,20 \text{ kcal/m.h°C}$$

$s_1, s_2$  : superficies medias de las capas de refractario y aislante de la pared dada, m<sup>2</sup>

$s$  : superficie exterior de la mampostería, m<sup>2</sup>



$\alpha$  : coeficiente de la transmisión térmica desde la superficie exterior al aire de ambiente, kcal/m<sup>2</sup>.h°C.

Para el horno de llama este valor es: 16 kcal/m<sup>2</sup>.h°C

Según la figura, las temperaturas medias de la mampostería son:

$$t_5 = (820 + 670)/2 = 745 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_6 = (670 + 70)/2 = 370 \text{ } ^\circ\text{C}$$

y los coeficientes afinados medios de la conductibilidad térmica serán:

$$\lambda_1 = 0,60 + 0,00055 \cdot t_5 = 1,01$$

$$\lambda_2 = 0,12 + 0,00027 \cdot t_6 = 0,22$$

Los números obtenidos difieren poco de los admitidos, de modo que no se necesita recalcularlos.

Calor perdido en la bóveda:

$$Q_{3a} = \left[ \frac{0,15 \cdot (820-20)}{1,01 \cdot 1,72 + \frac{0,15}{0,22 \cdot 2,23} + 1,16 \cdot 2,52} \right] = 1\,919 \text{ kcal/h}$$

Análogamente:

Calor perdido en las paredes del extremo:

$$Q_{3b} = 690 \text{ kcal/h}$$

Calor perdido en las paredes laterales:

$$Q_{3c} = 1\,098 \text{ kcal/h}$$

Las pérdidas de calor a través de todas las paredes (excepto la solera), después de ciclo completo, son:

$$Q_3 = (1,919 + 1,098 \cdot 2 + 690 \cdot 2) \cdot 8$$

$$\mathbf{Q_3 = 43\,960 \text{ kcal/ciclo}}$$

- 4) Calor acumulado en la mampostería (ladrillo refractario más aislante) representa el 3 % del calor consumido en el calentamiento de la materia prima.

$$Q_4 = Q_{ac} = 0,30 * Q_2 = 0,30 * 72\,750 \text{ kcal/ciclo}$$

$$Q_4 = Q_{ac} = 2\,182 \text{ kcal/ciclo}$$

- 5) Calor consumido por el calentamiento de la solera. Al principio, la temperatura de la solera es igual a 20 °C. La temperatura final en el límite entre el refractario y la aislación, determinada para la solera por el método gráfico( análogo a la gráfica anterior) es igual a 670 °C; la temperatura exterior de la aislación : 70 °C. Las temperaturas medias en el ciclo de calentamiento son:

$$\text{Refractario: } 0,5(820 + 670) = 745 \text{ °C}$$

$$\text{Aislación: } 0,5(670 + 70) = 370 \text{ °C}$$

$$\text{Volúmen del refractario} = 0,08 * 1,5 * 0,9 = 0,108 \text{ m}^3$$

$$\text{Volúmen del aislante} = 0,08 * 1,5 * 0,9 = 0,108 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad del refractario} = 1\,800 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Densidad del aislante} = 600 \text{ kg/m}^3$$

Consumo de calor en el calentamiento de la solera:

$$Q''_{ac} = 1800 * 0,108(0,25 * 745 - 0,2 * 20) + 600 * 0,108(0,22 * 370 - 0,2 * 20)$$

$$Q_5 = Q''_{ac} = 30\,413 \text{ kcal/ciclo}$$



- 6) Pérdidas de calor por radiación a través de las aberturas (ventana de trabajo):

$$\text{Ventana de trabajo o carga} = 0,8 * 1,7 = 1,36 \text{ m}^2$$

$$\text{Tiempo de descarga y carga} = 5 \text{ min.} = 0,08 \text{ h.}$$

Tiempo relativo de abertura en un ciclo:

$$\Delta\tau = 0,08/8 = 0,01$$

el coeficiente de diafragmación = 0,9

$$\text{entonces: } Q_6 = 4,9 * \left[ \left( \frac{T_p}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_a}{100} \right)^4 \right] . S . k_1$$

$$Q_6 = 4,9 * \left[ \left( \frac{820+273}{100} \right)^4 - \left( \frac{20+273}{100} \right)^4 \right] * 1,36 * 0,9 * 0,01$$

$$Q_6 = 851 \text{ kcal/ciclo}$$

- 7) Pérdidas de calor debido a los cortocircuitos térmicos en los puntos donde se ha violado la termoaislación: introducción de los tubos de los termopares, de las guías, las partes metálicas de los cierres, etc. En la mayoría de los casos estas pérdidas son difíciles de apreciar y se consideran como 30-100% de las habidas por las paredes. En nuestro caso ellas son insignificantes. De modo que:

$$Q_7 = 0,3 * Q_4 = 0,3 * 43 960 \text{ kcal/ciclo}$$

$$Q_7 = 13 188 \text{ kcal/ciclo}$$

- 8) Pérdida del poder calorífico por la combustión incompleta del combustible. Para los hornos térmicos al quemarse un líquido

representan: hasta un 0,5% de todo el calor consumido por el horno:

$$Q_8 = 0,005(q * 1\ 500) = 7.q$$

9) Energía calorífica que se lleva con los gases que escapan por la incompleta hermeticidad y el gastado para calentar el aire frío que había irrumpido en el horno representan el 1-5 % del calor total consumido por el horno:

$$Q_9 = 0,01( q * 1\ 500) = 15.q$$

Por lo tanto:

$$Q_{\text{requerido}} = 147302 + 50\ 697 + 43\ 960 + 2\ 182 + 30\ 413 + \\ 851 + 4396 + 7.q + 15.q$$

$$Q_{\text{requerido}} = 279801 + 22q \quad \text{Kcal/ciclo} \quad \dots\dots\dots (1)$$

### **Cálculo del consumo de combustible**

El calor de la combustión del gas de generador en base a su poder calorífico(1 500 kg.cal/m<sup>3</sup> ) y el consumo  $q$  de combustible es:

$$Q_1 = 1\ 500 * q \quad \text{kcal.} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$$Q_1 = \text{calor requerido}$$

$$q. = \text{consumo de combustible (m}^3\text{)}.$$

De (1) y (2) tenemos:

$$1500q = 279801 + 22q$$

Es decir:  $q = 189,3 \text{ m}^3 / \text{ciclo}$

$$q = 23,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

Luego:  $Q_{\text{requerido}} = 23,7 * 1500 = 34495,7 \text{ Kcal/h}$

$$Q_{\text{requerido}} = 109\,741,5 \text{ BTU/h}$$

Sin embargo la calidad de la estructura de un horno se juzga por el consumo específico de combustible por 1 tonelada del material a calentar y por el rendimiento del horno. En nuestro caso el consumo de combustible convencional es:

$$[(189,3 * 1\,500) / (835 * 2\,500)] * 100 = 13,6 \%$$

Según los datos obtenidos en la práctica de trabajos con los hornos térmicos, el consumo convencional oscila entre los límites 10 y 16%. Por lo que nuestros cálculos se encuentran dentro de los límites.

El número de mecheros se elige según la estructura; en el horno de cálculo, consideramos 2 mecheros.

Luego para 2,5 toneladas de materia prima a calentar tendremos:

$$\begin{aligned} \text{Consumo convencional}_{\text{combustible}} &= 0,136 * 2,5 = 0,34 \text{ m}^3 \\ &= 0,34 * 264 = 89,7 \text{ galones / día} \end{aligned}$$

Luego:

$\text{Consumo convencional}_{\text{combustible}} = 11,2 \text{ gal/h}$
---

Dado que para la adquisición del quemador (mechero) del horno en el mercado se debe especificar el rendimiento del quemador y ésta se encuentra en unidades de **BTU/h**.

Entonces: el rendimiento del mechero es:

$$[(189,3 * 1\,500) / (8 * 2)] * 3,96 = 70\,277,6 \text{ BTU/h}$$

De los resultados obtenidos se deducen las especificaciones técnicas del horno en cuestión:

**ESPECIFICACIONES DEL HORNO:**

Dimensiones de la cámara útil	: Ancho: 0,8 m., alto: 1,7 m. fondo 1,50 m.
Volumen de cámara útil	: 2,7 m <sup>3</sup>
Capacidad de trabajo	: 2,5 TM/día de materia prima
Capacidad de carga	: 360 kg.
Tiempo de tratamiento	: 60 min/carga
Quemador	: A petróleo diesel 2 con chispeo eléctrico y control por válvula selenoide. Rendimiento del quemador: 70 277,6 BTU/h.
Estructura interna	: Ladrillos refractarios sílico aluminosos
Estructura externa	: Planchas de acero SAE 1020 de 1/27'
Mufla	: De castable alta alúmina.

Los transportadores son de tipo carros con bandejas superpuestas con espaciamentos adecuados entre bandejas.

\*Fuente: HORNOS INDUSTRIALES S.A. Lima - Perú

#### 4.- Secadores Continuos

El Secador apropiado para el secado del Carbón Activado antes de la molienda es de tipo continuo, con bandejas en serie. El tipo de secador es horizontal de transporte de cuba o parrillas, según las especificaciones técnicas. Este secador consta generalmente de varias divisiones individuales, junto con el ventilador y los serpentines o resistencia de calentamiento montados en serie para constituir una cubierta o túnel a través del cual se mueve la malla transportadora.

#### ESPECIFICACIONES:

Material : Acero inoxidable.

Tipo de material : Material Orgánico

Capacidad lb.de prod./h : 2,775

Long. Aprox. del secador : 60 pies<sup>2</sup>

Profundidad de la carga : 1 - 2 pul.

Carga lb.de prod./pie<sup>2</sup> 1.82

Bandejas de mallas 12 pies x 5 pies

Indice de desecación 5.20 lb de agua evap.(h)(pie<sup>2</sup>)

Velocidad de aire(superficial) : 180 pies/min.(generado por ventiladores internos)

Potencia Instalada HP : 34,5

\* Fuente : - National Drying Machinery Company.

-Hornos Industriales S.A. Lima - Perú.

### 5.- Elevadores de Cangilones

Se usará elevadores tipo cangilones para el transporte de la materia prima desde la zaranda seleccionadora hasta la tolva de mezcla seca; la selección del elevador se hizo en base al flujo del material a cargar.

ESPECIFICACIONES:

Flujo : 4 TM/hr

Altura del elevador (H) = 10 m = 32,8 pies

$$\text{Potencia util} = \frac{(4 \text{ TM/h}) * H(\text{pies})}{500} = \frac{4 * 32,8}{500} = 0,26 \text{ HP}$$

Potencia util = 0,26 HP

Potencia requerida = 1,0 + 0,26 = 1,3 HP aprox.

Potencia requerida = 1,3 HP aprox.

## 6.- Tolva de Mezcla Seca

Para el diseño de las tolvas se tomó una altura aproximadamente igual a  $3/2$  del diámetro del cilindro, no existiendo restricción alguna para esta consideración. La base de la tolva es cónica, con un ángulo de  $45^\circ$ , de acuerdo al ángulo de reposo de las partículas.

### ESPECIFICACIONES:

Material : Acero Inoxidable

Capacidad para un día.

Volumen de la tolva (+ 30 %)

$M = 4\ 000\ \text{Kg.}$

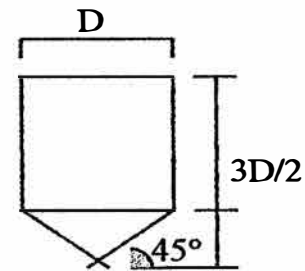
$d = 193\ \text{Kg/m}^3$

$V(\text{oper.}) = 20,7\ \text{m}^3$

Recipiente cilíndrico con base cónica:

$D = 2,42\ \text{m}$

$H = 3,63\ \text{m}$  ,  $V(\text{equipo}) = 14,28\ \text{m}^3$



**7.- Tolva de Mezcla Humeda**

ESPECIFICACIONES:

Capacidad para un dia.

Material: Acero Inoxidable

Volumen del tanque (+30 %)

 $M = 4\,000\text{ Kg} + 25\%M$  por humedad,  $d = 633\text{ Kg/m}^3$  $V(\text{oper.}) = 7,8\text{ m}^3$ 

Recipiente cilíndrico con base cónica:

 $D = 2,1\text{ m}$  $H = 2,28\text{ m}$  $V(\text{equipo}) = 7,8\text{ m}^3$ **8.- Tanque de Cloruro de Zinc ( $\text{ZnCl}_2$ ) al 0.8 %**

ESPECIFICACIONES:

Material: Inconel

Capacidad: para una semana de operación

Volumen del tanque(+30 %)

 $M_{\text{agua}} = 11\,966\text{ Kg.}$  $M_{\text{ZnCl}_2} = 98,94\text{ Kg.}$  $M_{\text{sol}} = 12\,064\text{ Kg.}$  $d_{\text{MEZCLA}} = 1,00541\text{ Kg/l}$



$$V_{\text{sol}} = 12\,064 \text{ l} \quad \text{entonces el } Vol_{\text{equipo}} = 12,064 \text{ m}^3$$

$$V(\text{oper.}) = 12,064 * 1,3 \text{ m}^3 = 15,6 \text{ m}^3$$

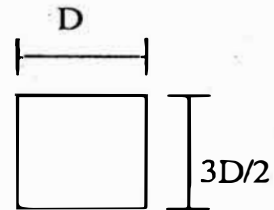
Recipiente cilíndrico: con capacidad para 1 día de operación.

$$H = (3/2)D$$

$$D = 1,2 \text{ m}$$

$$H = 1,9 \text{ m}$$

$$V(\text{equipo}) = 2,6 \text{ m}^3$$



### 9.- Tanque de Lavado del carbón activado

ESPECIFICACIONES:

Recipiente cilíndrico:

Capacidad por hora de producción.

Material : Acero Inoxidable

Volumen del tanque(+30 %)

$$M_{\text{C.A.}} = 200 \text{ Kg. (435 l .)}, \quad d_{\text{C.A.}} = 460 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{agua de lavado}} = 4,6 \text{ l /kg de C.A.}$$

$$V_{\text{agua}} = 920 \text{ l .} \quad d = 1,00 \text{ Kg/m}^3$$

$$V_{\text{HCl de lav.}} = 2,3 \text{ l /kg de C.A.} , \quad V_{\text{HCl}} = 460 \text{ l}$$

$$V_{\text{equipo}} = 1\,815 \text{ l .}$$

$$V(\text{oper.}) = 2,359 \text{ m}^3.$$

$$H = 3/2 D$$

$$D = 1,20 \text{ m}$$

$$H = 1,80 \text{ m}$$

### 10.- Tanque de dilución de HCl 01.N para el lavado

#### ESPECIFICACIONES:

Material: Inconel

Capacidad para un día

Volumen del tanque(+30 %)

$$M = 1\,380 \text{ Kg.} \quad d = 0,997 \text{ Kg/m}^3$$

$$V(\text{oper.}) = 2,76 \text{ m}^3$$

Recipiente cilíndrico:

$$D = 1,2 \text{ m} = 3,94 \text{ pies}$$

$$H = 2,40 \text{ m} = 7,87 \text{ pies}$$

$$V(\text{equipo}) = 2,71 \text{ m}^3$$

**11.- Faja Transportadora desde el almacenamiento hacia la criba seleccionadora.**

Para diseñar la faja transportadora se calcula la potencia del motor:

ESPECIFICACIONES:

$$\text{Potencia(HP)} = \text{TM/h} * L * 0,0073 * C$$

C = factor del material que se va a transportar. Para la mezcla a transportar un valor promedio es 1,35 (8).

L = Longitud de la faja transportadora = 15 m.

Material : mezcla de cascarilla de arroz y aserrín

Capacidad = 0,5 TM/h.

Potencia del motor = 0,075 HP (A)

Potencia del motor = 0,003 (B)

$$\text{CV}_{\text{total}} = 0,075 + 0,003 = 0,078 \text{ HP}$$

$\text{CV}_{\text{motor}} = 0,1 \text{ HP aprox.}$

Ancho de Banda = 1,20 m

**12.- Transportador Helicoidal desde la Tolva de mezcla seca  
hacia la Tolva de mezcla húmeda**

Un transportador normalizado de tornillo sin fin consiste en una hélice de acero montada sobre un eje y suspendida en un canal o artesa en forma de U hecha con lamina de acero. Un motor de reducción de velocidad hace girar la hélice a una velocidad moderada. Es en esta parte en donde se mezcla el cloruro de zinc con la materia prima; al final se adapta un filtro de tal manera que se pueda recuperar la solución sobrante

**ESPECIFICACIONES:**

Transportador de tornillo : Horizontal de Clase “a”

Factor del material (Semilla, cáscaras) : 0,4

Capacidad de transportación : 9,92/1 000m<sup>3</sup>/mit.

Longitud 15 m

Peso del material :633 kg/m<sup>3</sup>.

Potencia :  $9,92 \cdot 15 \cdot 633 \cdot 0,4 / (4\ 500 \cdot 1\ 000) = 0,008$

Potencia Necesaria =  $0,008 \cdot 2 + 1,0 = 1,01$  C.V

### 13.- Bomba de Agua desde el pozo de almacenamiento hacia el Ablandador

La Bomba transportará un flujo de 2 175 Lb/h de agua dura. Este flujo será bombeado desde el tanque de almacenamiento, el cual se encuentra a 3 m. del nivel del piso; siendo la altura del ablandador de 3m.

#### ESPECIFICACIONES:

Longitud de la tubería 30m ( horizontal 30m y vertical 6m )

Accesorios: 5 codos,1 válvula ,5 uniones , 5 codos

#### Perdida por fricción en accesorios

	Nº de diámetros de tubería	Nº de cargas de Veloc. ( $u^2 / 2g$ )
Codo recto 90°	60	1,2
Uniones	muy pequeño	muy pequeño
Val.tipo compuerta T. Abierto:	7	0,15
Rugosidad de la tubería	0,0002 m	
Rendimiento de la bomba	60%	
Tubería de acero cédula 40 de	: 2 pulg.	
Diámetro nominal	: 2 pulg.	
Diámetro interno	: 2,067 pulg.	

**CALCULO DE POTENCIA**

$$\begin{aligned} \text{Longitud equivalente} &= 30+6+76*(2,067''(25,4\text{mm})/1000*1'' \\ &= 39,5\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Long. Equiv. de la tubería} &= 4(R/\rho u^2)(l/d)(u^2/g) \\ &= 0,317\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{Carga total a desarrollar} = 0,317+ 6=6,317 \text{ m.}$$

$$\text{Masa circulante} = (2175/0,454)/3600 = 1,3\text{kg/s}$$

$$\text{Potencia Necesaria} = 1,3*6,317*8,81 = 17 \text{ W.}$$

$$\begin{aligned} \text{Potencia utilizada} &= (17/0,60)/1\ 000 = 0,28\text{kw} \\ &= 0,4 \text{ HP} \end{aligned}$$

Nota: Se utilizarán 7 Bombas similares de los cuales 4 son de material INCONEL para soluciones ácidas.

**14.- Filtro Bolsa ( para polvos secos )**

Esta separación de polvos en la molienda y en el momento del embolsado es importante, porque así no se pierde producto ni se contamina el medio. La recolección es eficiente (99%), utilizando una bolas de tela normalmente

**ESPECIFICACIONES:**

**Factores de resistencia y permeabilidad seleccionada : Satín de algodón.**

<b>Tamaño de poro</b>	<b>0,004 pulg.</b>
<b>Hilos /pulg.</b>	<b>96x56</b>
<b>Diámetro del hilo</b>	<b>0,011 pulg.</b>
<b>Permeabilidad del aire</b>	<b>25 pie<sup>3</sup>/min.</b>
<b>Factor de resistencia (K i)</b>	<b>47,2 (para polvos con tamaño de partícula menores que 2 micrones.</b>
<b>Diámetro de las bolsas</b>	<b>: 5 a 8 pulg.</b>
<b>Longitud de las bolsas</b>	<b>8 a 17 pies</b>
<b>Caída de presión aprox.</b>	<b>1 a 8 pie<sup>3</sup>/(min)(pie<sup>2</sup> de superficie de tela)</b>

**Fuente :Heating, Piping, Air-Conditioning.**

**16.- Sistema de Ablandamiento de Agua**

**El sistema de ablandamiento proveerá agua blanda para el agua de lavado, dilución del ácido clorhídrico y dilución del cloruro de zinc. De acuerdo a los requerimientos para estas tres operaciones el ablandador adecuado tendrá las siguientes características:**

**ESPECIFICACIONES:**

**Ablandador Duplex de tipo manual**

**Válvulas de compuerta**

**Casco: ASTM- A- 283 GR-C**

**Recubrimiento interior : Fibra de vidrio**

**Tobera de PVC diámetro ½" NTP**

**Modelo : CF-20**

**Dimensiones: 36" x 72"**

**Carga de resinas : 20 pie<sup>3</sup>**

**Caudal : 60 GPM**

**Capacidad de Intercambio(miles de granos): 600**

**Diámetro de tubería : 2"**

**5.5. Determinación de Servicios**

Los servicios necesarios para el proceso del carbón activado son principalmente un sistema de balanza para el pesaje y control de materia prima y un sistema de ablandamiento de agua.

El control del peso de la materia prima es a través de servicios de terceros.

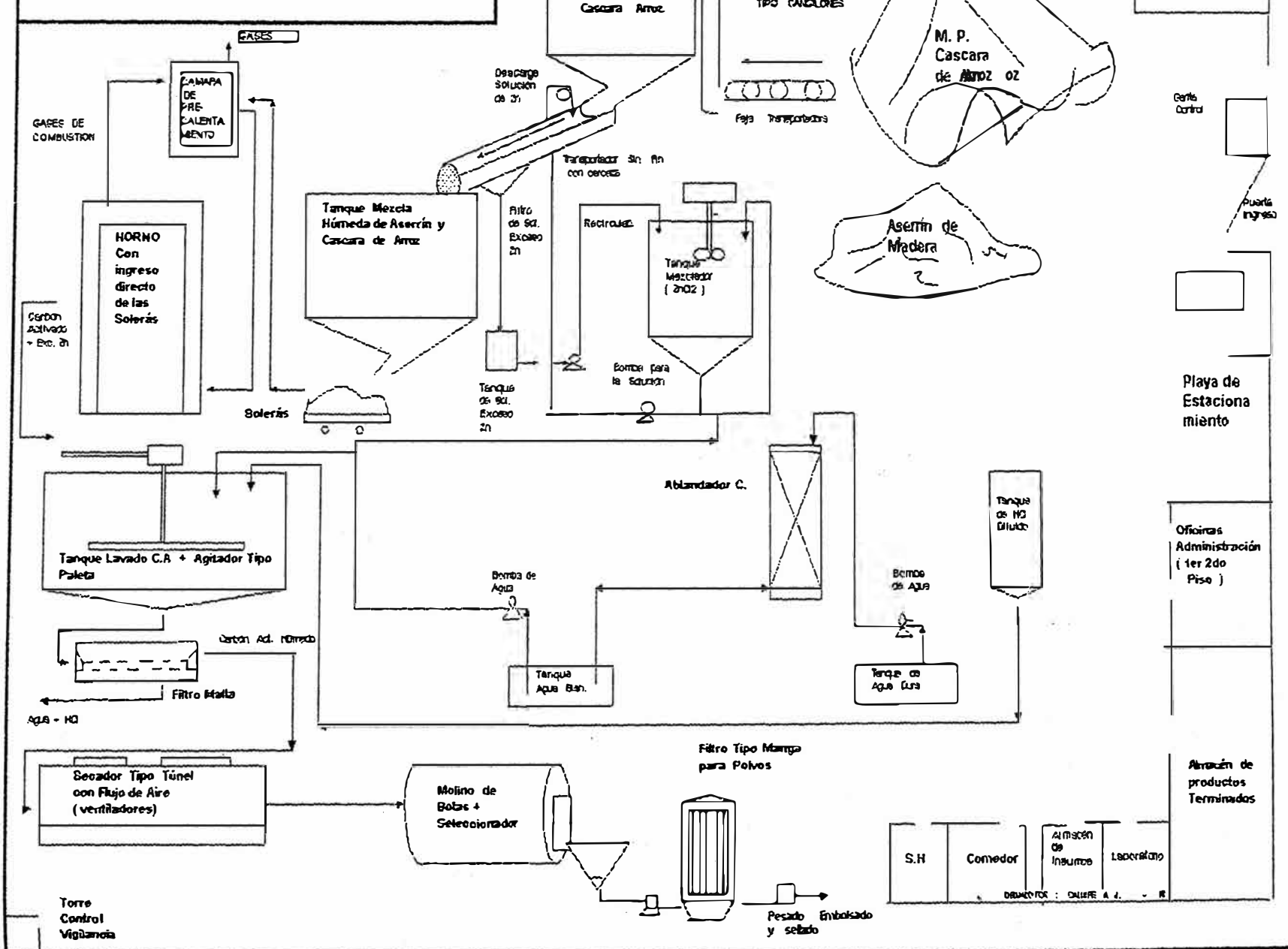


El sistema de ablandamiento de agua será instalado en la planta de proceso del carbón activado de acuerdo a las necesidades de requerimiento de agua blanda. Este sistema y sus especificaciones técnicas se detallan en la sección anterior.

#### **5.6. FLOW - SHET**

Ver diagrama adjunto (fig.7).

**DIAGRAMA DE FLUJO :** PARA LA PRODUCCION DE CARBON ACTIVADO A PARTIR DE CASCARILLA DE ARROZ Y ASERRIN



## 5.7. DISPOSICIÓN DE LA PLANTA

Para determinar los requerimientos de las obras civiles y de la dimensión del terreno realizamos la distribución de las principales secciones propuestas para la planta.

<u>SECCION</u>	<u>AREA (M<sup>2</sup>)</u>
Guardiana	10
Silo de materia prima	110
Almacén de suministros, laboratorio y Productos terminados	100
Sección de impregnación con ZnCl <sub>2</sub> , tolva de mezcla seca y húmeda	80
Tanques de ablandamiento y HCl	40
Horno, tanque de lavado, filtro, secador y molino.	80
Filtro de polvos y Envasado	20
Oficina de Administración	20
Espacios Libres	40

El terreno necesario será de 500 m<sup>2</sup> y las obras civiles abarcarán 350 m<sup>2</sup>.

## VI. EVALUACION ECONOMICA

### 6.1. INVERSIÓN EN CAPITAL FIJO

Costo de los Equipos puesto en terreno (C.E.) US \$		43 500
Instalación de los equipos (43 % C.E.) US \$		18 705
Tuberías y Accesorios (20 % C.E.) US \$		8 700
Instrumentación y Control (15 % C.E.) US \$		6 525
Instalaciones eléctricas (10 % C.E.) US \$		4 350
Edificios y Estructuras (35 % C.E.) US \$		15 225
Delimitaciones (10 % C.E.) US \$		4 350
Facilidad y Servicios (20 % C.E.) US \$		8 700
Terreno (3 % C.E.) US \$		1 305
<b>Total Costos Directos (C.D.) US \$</b>		<b>111 360</b>
Supervisión e Ingeniería (10 % C.D.) US \$		11 136
Costo de Construcción (12 % C.D.) US \$		13 363
Utilidad del contratista (4 % C.D.) US\$		4 454
Contingencias (10 % C.D.) US \$		11 136
<b>Total Costos Indirectos (C.I.) US \$</b>		<b>40 089</b>
<b>Total Capital Fijo US \$</b>		<b>151 449</b>
<b>Total Capital Fijo M US \$</b>		<b>151,449</b>

## 6.2. DETERMINACIÓN DEL CAPITAL DE TRABAJO

### CAPITAL DE TRABAJO (M US \$/AÑO)

	1	2	3	4	5
Inventario de materia prima					
30 días					
TM/DC	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
TM/DO	5,530	5,530	5,530	5,530	5,530
TM/ANO	165,909	165,909	165,909	165,909	165,909
\$ US/TM	37,000	40,000	43,000	45,000	44,000
M \$ US/ANO	6,139	6,636	7,134	7,466	7,300
Inventario de productos terminados					
25 días					
TM/DC	1,200	0,362	0,362	0,362	0,362
TM/DO	1,659	0,500	0,500	0,500	0,500
TM/ANO	41,477	12,500	12,500	12,500	12,500
M \$ US/TM	1,089	1,219	1,229	1,236	1,233
M \$ US/ANO	45,187	15,243	15,368	15,451	15,410
Valor de Venta					
M \$ US/DC	1,532	1,547	1,558	1,562	1,560
Cuentas por cobrar					
15 días de ventas					
M \$ US/AÑO	22,986	23,202	23,364	23,436	23,400
Costo de mat.prima+insumo					
M \$ US/AÑO	159,140	163,520	167,900	170,820	169,360
Cuentas por pagar					
20 días de materia prima					
M \$ US/AÑO	8,720	8,960	9,200	9,360	9,280
TOTAL CAPITAL DE TRABAJO					
M \$ US/AÑO	65,591	36,121	36,666	36,993	36,830
INCREMENTO EN CAPITAL DE TRABAJO					
M \$ US/AÑO	65,591	-29,470	0,545	0,327	-36,993

### 6.3. COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN

Mantenimiento (10 % C.F) US \$		US \$/Año	<b>15 145</b>
Mano de Obra:			
	1 secretaria		700
	1 técnico		600
	1 laboratorista		750
	1 Ingeniero Supervisor		1 430
	4 obreros		1 650
	1 Gerente		2 550
	2 empleados		1 500
		total s./mes	9 180
		(US\$/mes)	2 868,75
		(US \$/Año)	<b>34 425</b>
Seguros (2% C.F.) US \$/Año			<b>3 028,98</b>
	Total Fijos M US \$/Año		<b>52,60</b>

Para el cálculo de los costos variables se tomó como referencia el diseño de planta de carburo de calcio y del cemento, indicado en el texto sobre diseño de plantas de Peters.

**COSTO PROPORCIONAL AL NIVEL DE PRODUCCION ( $\alpha$ )**

Elementos	Requerimientos	Costo unitario	Costo Variable
Electricidad	4295Kw-h/TM	0,14 \$/Kw-hr	601,3 \$/TM
Agua	16,73 m3	0,25\$/m3	\$4,18

Alfa = 605,48

$$CV = 605,48(\$/TM) \cdot (438TM/Año)$$

$$CV = 265428 \$ US/Año$$

**PROGRAMA DE PRODUCCION Y REQUERIMIENTO (TM/DC)**

	1	2	3	4	5
<b>PRODUCCION</b>					
Carbon Activado	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
<b>REQUERIMIENTOS</b>					
Cascara de Arroz	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
Aserrin	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
Cloruro de Zinc	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020

**VALOR DE VENTA (C.A.)**

	1	2	3	4	5
TM/DC	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
\$ US/TM	1 277,000	1 289,000	1 298,000	1 302,000	1 300,000
M \$ US/DC	1,532	1,547	1,558	1,562	1,560
M \$ US/ANO	559,326	564,582	568,524	570,276	569,400

**COSTO DE PRODUCCION DE CARBON ACTIVADO**

	1	2	3	4	5
<b>Materia Prima</b>					
(Cáscara de Arroz)					
TM/DC	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
US \$/TM	37,000	40,000	43,000	45,000	44,000
US \$/DC	88,800	96,000	103,200	108,000	105,600
<b>M US \$/ANO</b>	<b>32,412</b>	<b>35,040</b>	<b>37,668</b>	<b>39,420</b>	<b>38,544</b>
<b>(Aserrin)</b>					
TM/DC	1,600	1,600	1,600	1,600	1,600
US \$/TM	37,000	40,000	43,000	45,000	44,000
US \$/DC	59,200	64,000	68,800	72,000	70,400
<b>M US \$/ANO</b>	<b>21,608</b>	<b>23,360</b>	<b>25,112</b>	<b>26,280</b>	<b>25,696</b>
<b>Total materia prima</b>					
<b>M \$ US/AÑO</b>	<b>54,020</b>	<b>58,400</b>	<b>62,780</b>	<b>65,700</b>	<b>64,240</b>
<b>ZnCl2 al 98 %</b>					
TM/DC	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240
US \$/TM	1200,000	1200,000	1200,000	1200,000	1200,000
M US \$/DC	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288
<b>M US \$/ANO</b>	<b>105,120</b>	<b>105,120</b>	<b>105,120</b>	<b>105,120</b>	<b>105,120</b>
<b>M PRIMA+ INSUM</b>	<b>159,140</b>	<b>163,520</b>	<b>167,900</b>	<b>170,820</b>	<b>169,360</b>
<b>Costos Variables</b>					
TM/DC	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200
US \$/TM	606,000	606,000	606,000	606,000	606,000
M US \$/DC	0,727	0,727	0,727	0,727	0,727
<b>M US \$/ANO</b>	<b>265,428</b>	<b>265,428</b>	<b>265,428</b>	<b>265,428</b>	<b>265,428</b>
<b>Costos fijos( M \$US/ANO)</b>					
Mano de obra	34,430	34,430	34,430	34,430	34,430
Mantenimiento	15,145	15,145	15,145	15,145	15,145
Seguros y otros	3,029	3,029	3,029	3,029	3,029
<b>Total fijos</b>	<b>52,604</b>	<b>52,604</b>	<b>52,604</b>	<b>52,604</b>	<b>52,604</b>



**costo de prod.... (continua)**

<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCION (M US \$/AÑO)</b>					
	477,172	481,552	485,932	488,852	487,392
<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCION (M \$ US/DC)</b>					
	1,307	1,319	1,331	1,339	1,335
<b>COSTO UNITARIO DE PRODUCCION (M US \$/TM)</b>					
	1,089	1,099	1,109	1,116	1,113

#### 6.4. ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS

##### ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS EVALUACION ECONOMICA (M US \$ del Año 0/Año)

	1	2	3	4	5
Valor de ventas					
M \$ US/DC	1,532	1,547	1,558	1,562	1,560
INGRESOS	559,326	564,582	568,524	570,276	569,400
EGRESOS					
Materia prima	54,020	58,400	62,780	65,700	64,240
Insumos Químicos					
(ZnCl <sub>2</sub> al 98%)	105,120	105,120	105,120	105,120	105,120
(HCl al 33%)					
costos variables	265,428	265,428	265,428	265,428	265,428
costos fijos	40,950	40,950	40,950	40,950	40,950
GASTOS DE PRODUCCION					
	465,518	469,898	474,278	477,198	475,738
UTILIDAD BRUTA	93,808	94,684	94,246	93,078	93,662
Gastos Administrativos (1% ventas)					
	5,593	5,646	5,685	5,703	5,694
Gastos de Ventas (0,5% ventas)					
	2,797	2,823	2,843	2,851	2,847
UTILIDAD DE OPERACIÓN					
	85,418	86,215	85,718	84,524	85,121
capital de trabajo	65,591	36,121	36,666	36,993	36,830
Inversión fija	151,449	0,000	0,000	0,000	0,000
Inversión Total	217,040	36,121	36,666	36,993	36,830
Depreciación lineal	30,290	30,290	30,290	30,290	30,290
RENTA NETA	55,128	55,925	55,428	54,234	54,831
IMPUESTO A LA RENTA	16,538	16,778	16,628	16,270	16,449
UTILIDAD NETA	38,590	39,148	38,800	37,964	38,382
Reserva Legal	3,859	3,915	3,880	3,796	3,838
Res. Leg. Acumulada	0,563	4,478	8,358	12,154	15,992
Utilidad Retenida	0,386	0,391	0,388	0,380	0,384
Dividendos	34,345	34,841	34,532	33,788	34,160

## 6.5. FLUJO DE CAJA

FLUJO DE CAJA (M US \$ del Año 0/Año)

### EVALUACION ECONOMICA

	0	1	2	3	4	5
<b>INVERSION</b>						
Inversión propia	151,449	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Capital de Trabajo		65,591	-29,470	0,545	0,327	-36,993
Total Inversión	151,449	65,591	-29,470	0,545	0,327	-36,993
<b>UTILIDAD NETA</b>		38,590	39,148	38,800	37,964	38,382
<b>DEPRECIACION</b>		30,290	30,290	30,290	30,290	30,290
<b>FLUJO NETO DE FONDOS</b>						
	-151,449	3,288	98,908	68,545	67,927	105,665
Aportes	151,449	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Dividendos	0,000	34,345	34,841	34,532	33,788	34,160
Saldo Caja Anual	0,000	-31,057	64,066	34,013	34,139	71,505
Caja Residual	0,000	0,000	64,066	98,080	132,218	203,724

## 6.6. BALANCE GENERAL

BALANCE GENERAL (M US \$ del año 0/Año)

EVALUACION ECONOMICA

	0	1	2	3	4	5
<b>ACTIVO</b>						
Caja Banco	0,000	0,000	64,066	98,080	132,218	203,724
Inv. de Materia Prima		6,139	6,636	7,134	7,466	0,000
Inv. de Prod. En Proceso	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Inv. de Prod. Terminados	0,000	45,187	15,243	15,368	15,451	0,000
Cuentas por Cobrar	0,000	22,986	23,202	23,364	23,436	0,000
Pagos Adelantados	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Activo e Intangible Neto	151,449	121,159	90,869	60,579	30,289	-0,000
*)10.24=depreciación						
<b>TOTAL ACTIVO</b>	<b>151.449</b>	<b>195.470</b>	<b>200,017</b>	<b>204,525</b>	<b>208,861</b>	<b>203,723</b>
<b>PASIVO</b>						
<b>PASIVO A CORTO PLAZO</b>						
Cuentas por Pagar	0,000	8,720	8,960	9,200	9,360	0,000
Dividendos	0,000	34,345	34,841	34,532	33,788	34,160
<b>PATRIMONIO</b>						
Capital Social	151,449	151,449	151,449	151,449	151,449	151,449
Reserva Legal	0,000	3,859	3,915	3,880	3,796	3,838
Utilidad Retenida	0,000	0,386	0,391	0,388	0,380	0,384
Reserva Legal Acumulada	0,000	0,563	4,478	8,358	12,154	15,992
Utilidad Ret./Per. Acum.	0,000	0,386	0,777	1,165	1,545	1,929
Pérdida o Ganancia por						
Inflación Acumulada	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
<b>TOTAL PASIVO</b>	<b>151,449</b>	<b>195,463</b>	<b>200,506</b>	<b>204,704</b>	<b>208,296</b>	<b>203,530</b>

## ANEXO N° 1

# DETERMINACION DE LA ADSORCION DE AZUL DE METILENO POR MUESTRAS DE CARBONES ACTIVADOS EMPLEADOS EN LA REFINACION DE AZUCAR NOM. F-301 - 1977

### PROCEDIMIENTO

1.- Disolver 1.2 gramos de azul de metileno en 100 ml. De ácido acético diluido (1:1) y diluir a 1 litro con agua en matraz aforado.

Marcar esta solución como “S” .

2.- Determinar la humedad de la muestra de carbón de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana; “Determinación de humedad en muestras de carbones activados empleados en la refinación de azúcar”. DGN - F - 279 en vigor.

3.- Pesar 0.1 gramo de muestra de carbón referido a base seca empleando una cápsula de aluminio previamente tarada. Transferir a un frasco de tapón esmerilado y añadir 25 ml. de solución “S” de azul de metileno; o en caso de no ser suficiente, se hará una prueba para determinar el

volumen a usar. Agitar la mezcla con un agitador mecánico durante 30 minutos y dejar reposar 5 minutos. Filtrar desechando los primeros 5 ml. Al filtrado lo llamamos “T”.

4.- Diluir las soluciones “S” y “T” del modo siguiente:

Verter 10 ml. de cada solución en matraces aforados de 100 ml., añadir 5 ml. de ácido acético diluido (1:1) a cada recipiente y aforar con agua.

Mezclar cada uno de estos componentes y llamar a las soluciones respectivamente “S<sub>1</sub>” y “T<sub>1</sub>”.

5.- Pipetear 10 ml. de cada una de las soluciones “S<sub>1</sub>” y “T<sub>1</sub>”, a matraces aforados de 100 ml. y aforar con agua. Agitar y marcar las soluciones “S<sub>2</sub>” y “T<sub>2</sub>”.

6.- Preparación de soluciones standard: Colocar en los tubos de ensayo; a) 0.0 , b) 2.0 , c) 5.0 , d) 10.0 , e) 15.0 , f) 30.0 ml. de solución “S<sub>2</sub>” en 6 tubos de ensayo, llevar cada uno a 30 ml. con agua y agitar para mezclar

7.- Trazar una curva de calibración específica para el aparato dado.

8.- Hacer las lecturas de las soluciones T<sub>2</sub>, en el fotocolorímetro empleando una longitud de onda entre 610 mμ y 680 mμ, después de hacer los ajustes necesarios empleando otro tubo con agua como testigo.

Localizar en la gráfica la densidad óptica encontrada y leer en el otro eje los gramos de azul de metileno adsorbidos por 100 gramos de muestra referidos a base seca.

## **ANEXO N° 2**

### **CARBONES ACTIVADOS EMPLEADOS EN LA REFINACION DEL AZUCAR- DETERMINACION DEL INDICE DE DECOLORACION DE SOLUCIONES DE AZUCAR CRUDO**

**NOM. F-299-1980**

#### **PROCEDIMIENTO**

- 1.** Determinar la humedad a las muestras de carbón activado, de acuerdo con la norma NOM-F-279.
- 2.** Las muestras del carbón por evaluar y del carbón patrón, deben pasar un mínimo de 90 % a través de la malla 130 M (US 325) 0.044 mm de abertura de malla y cumplir con las especificaciones del pH de la norma NOM-F-295 vigente.
- 3.** Determinar la masa 0.46 g del carbón problema y del carbón patrón referidos a base seca, utilizando contenedores de materiales inertes previamente tarados (Aluminio, glacing, polietileno) y colocarlos dentro de sendos vasos de precipitados de 400 ml.



4. Con pipeta volumétrica colocar 50 ml de solución de azúcar crudo en cada vaso de precipitados. Agitar hasta que el carbón esté completamente húmedo.
5. Poner los vasos de precipitados sobre una fuente de calor y calentar hasta iniciar la ebullición.
6. Filtrar en caliente ambas muestras a través de embudos Buchner, previamente empacados con papilla de papel filtro, desechar los primeros 20 ml de la muestra, filtrar la porción restante y utilizar el filtrado para la determinación.
7. Medir la adsorbancia de los filtrados en el espectrofotómetro o en el fotocolorímetro a una longitud de onda de 420 nm, usando agua como blanco.

## **ANEXO N° 3**

### **DETERMINACION DEL MATERIAL VOLATIL EN CARBON**

#### **ACTIVADO**

#### **NORMA ASTM - D1762**

### **PROCEDIMIENTO**

1. Se pesa 1 gramo de carbón activado previamente secado.
2. Se coloca la muestra de carbón en un crisol con tapa.
3. El crisol tapado se monta en una parrilla triangular de arcilla refractaria de 30 cm de altura.
4. El mechero de Bunsen se coloca debajo del crisol a una distancia de 10 cm.
5. Se somete el crisol con la muestra a la llama del mechero Bunsen durante 7 minutos.
6. Transcurrido el tiempo de ensayo, el crisol se deja enfriar en el desecador de vidrio.

7. Enfriado el crisol se pesa; por diferencia de pesadas se determina el material volátil.
8. Los trabajos se realizan por duplicado para una muestra.
9. Los resultados se expresan en porcentajes.

## **ANEXO N° 4**

### **DETERMINACION DEL NUMERO DE YODO EN MUESTRAS DE CARBON ACTIVADO**

**NOM - F-296-1977**

#### **PROCEDIMIENTO**

1. Determinar la humedad de la muestra de carbón de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana “Determinación de Humedad en Muestras de Carbones Activados empleados en la refinación de Azúcar”.
2. Pesar una muestra de 0.25 gramos de carbón y colocar en matraz de yodo de 250 ml.
3. Añadir 10 ml de solución de ácido Clorhídrico al 5 % en volumen. Agitar hasta homogenizar el carbón en el líquido y calentar a ebullición.
4. Dejar enfriar la suspensión, añadir 50 ml de solución de yodo y agitar durante 30 segundos, filtrar y agitar.
5. Pipetear 25 ml del filtrado a un matraz de Erlenmeyer de 100 ml.

6. Titular con solución 0.1 N de Tiosulfato de Sodio empleando solución de almidón como indicador.

7. Correr igualmente una prueba en blanco.

## **ANEXO N° 5**

### **DETERMINACION DE GRANULOMETRIA**

**Norma ITINTEC 207.027-81**

#### **PROCEDIMIENTO**

1. Se pesan 100 g de carbón activado con aproximación de  $\pm 0.1$  g, en la cápsula de porcelana.
2. Se coloca en el clasificador las mallas necesarias de mayor a menor abertura de arriba hacia abajo, así como la tapa y la caja del fondo.
3. Se coloca la muestra en la malla superior del clasificador y se trabaja por 10 minutos.
4. Después de terminar el ciclo de operación, se transfiere el carbón de las distintas mallas y del fondo ayudándose con los pinceles o brochas, teniendo cuidado de liberar las partículas que han quedado ocluidas en las mallas a las cápsulas de porcelana, ayudándose con los embudos.

5. Se pesa con exactitud de 0.1 g las porciones separadas en cada malla y en la caja del fondo.
  
6. La diferencia entre los valores de dos determinaciones efectuadas inmediatamente una después de otra, por el mismo analista con la misma muestra y con los mismos aparatos, no debe exceder de 0.1%. En caso contrario se repite las determinaciones. El resultado debe ser el promedio de las dos determinaciones.

## **ANEXO N° 6**

### **DETERMINACION DE CENIZAS TOTALES**

#### **Norma ITINTEC 207.026-81**

1. Se tara el crisol después de ponerlo en la mufla a la temperatura de trabajo hasta peso constante.
2. Se pesa aproximadamente en la cápsula 10 g de muestra y se seca durante 3 horas a  $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , luego se enfría en el desecador.
3. Se pesa en el crisol  $1.00 \text{ g} \pm 0.2\text{g}$  del carbón seco.
4. Se coloca el crisol en la mufla a la temperatura de  $650 \pm 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta que se incinere el carbón y se coloca en el desecador.
5. Pesar a la temperatura ambiente hasta peso constante.



## ANEXO N° 7

### DETERMINACION DEL POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

#### NORMA ITINTEC 207.028-81

1. Se pesa 5.00 g aproximadamente del carbón, se seca en estufa durante 3 horas a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se enfría en un desecador.
2. Se pesa 2.00 g de carbón activado seco en la cápsula previamente tarada.
3. Se transfiere el carbón a un vaso de precipitado de 250 ml y se añade 100 ml de agua.
4. Se calienta rápidamente a  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  y se mantiene la temperatura durante dos minutos en baño María, agitando lentamente con el agitador de vidrio.
5. Se ajusta el potenciómetro con la solución amortiguadora a un pH próximo al de la muestra.

6. Se efectúa la lectura del pH directamente manteniendo la temperatura a  $75\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
7. Se enfría rápidamente y se efectúa una segunda lectura de pH a temperatura ambiente.
8. El resultado final debe ser el promedio de las dos determinaciones.

## ANEXO N° 8

### DETERMINACION DE LA DENSIDAD APARENTE

NOM. F-282-1976

#### PROCEDIMIENTO

1. Pesar con exactitud de  $\pm 0.1$  g el vaso de precipitados limpio y seco.
2. Comenzar a llenar el vaso de precipitados con un movimiento vibratorio.
3. Cuando el vaso de precipitados se derrame, suspender el movimiento vibratorio de la muestra y con la espátula de níquel enrasar rápidamente el vaso.
4. Limpiar el exterior del vaso de precipitados con la brocha y pesar con exactitud de  $\pm 0.1$  g.

## ANEXO 9

### CALCULO DEL VALOR PRESENTE NETO (VPN)

	0	1	2	3	4	5
FNF	-151,449	3.288	98.908	68.545	67.427	105.665

$$TD=10\% = 0,1$$

J= 0,1,2,3,4,5

$$VPN = \text{SUMA}[ FNF(I)/((1+TD)^J(I))]$$

$$VPN= -151,449 + -4,837 + 55,993 + 53,772 + 49,094 + 104,321$$

$$VPN= 106,893$$

Para VPN = 0, se halló la Tasa Interna de Retorno (TIR) igual a 26,95 %

es decir:

$$TIR = 26,95 \%$$

## ANEXO 10

### MARCO LOGICO

OBJETIVO GLOBAL	INDICADORES VERIFICABLES	MEDIOS DE VERIFICACION	FACTORES EXTERNOS
(FIN): Incrementar el uso del carbón activado en las diferentes industrias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cubrir al menos el 50 % del déficit Nacional</li> <li>■ Producto de calidad intermedia.</li> <li>■ Se producirá 319 TM/año en la ciudad de Chiclayo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Información de las diferentes Instituciones Nacionales (Universidades, Industrias, etc.).</li> <li>■ Información de publicaciones.</li> </ul>	(Supuestos): <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Nuevas alternativas en los diferentes campos de aplicación.</li> <li>■ Aplicación en el sector minero.</li> </ul>
OBJETIVO ESPECIFICO (Propósito): Disminuir el Déficit de carbón activado en el país.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Producto competitivo en el mercado, con un poder decolorante del 80%.</li> <li>■ Se producirá 1.20TM/día.</li> <li>■ Resultando un TIR de 26,95 % en \$. Y un periodo de recuperación en la inversión de tres años.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Encuestas a las diferentes industrias para conocer el consumo actual de carbón activado.</li> <li>■ Reporte de ADEX de cada industria.</li> <li>■ Industria del Glutamato de sodio, bebidas gaseosas y azucarera.</li> <li>■ Industrias de aceites esenciales y productos farmacéuticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sustitución de materia prima por otro ( madera, cáscara de café, sangre de res) de mayor eficiencia según la exigencias.</li> <li>■ Generar empresas de servicio para una sobre producción.</li> </ul>
RESULTADOS (componentes): Inversión en capital de trabajo, capital fijo, costo de producción.* (*) Consignado en el capítulo VI de la tesis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Localización y determinación del tamaño de la planta, diseño y selección de equipos para una producción de 1.2 TM/día.</li> <li>■ Materia prima del Norte (Chiclayo) , 23550TM cáscara y 1200TM madera por año.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cap. V-5-1 tesis.</li> <li>■ Industry National Drying M. y Hornos Industriales S.A.</li> <li>■ Ministerio de Agricultura (oficina de Información Agraria).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Producir para satisfacer al mercado nacional y para exportación.</li> <li>■ Generar empresas que producen insumos, servicios.</li> <li>■ Producir carbón activado granular para atender a las demás industrias.</li> </ul>
ACTIVIDADES: <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Construcción e instalación de la planta, accesorios adicionales, etc.</li> </ul> Ver en: Disposición de la planta (Cap.	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Inversión total: 151449 \$ *</li> <li>*) Cap.VI- 6.5 Flujo de caja y Balance General.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Evaluación Económica.</li> <li>■ Resumen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Los equipos que podemos cambiar para la mayor producción son: el horno, molino y secador.</li> <li>■ Según la demanda</li> </ul>

<p>de la planta (Cap. V-5.6-5.7).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tres meses para el arranque de la planta y luego producción en un turno.</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Según la demanda del producto se podrá trabajar en dos turnos.</li> </ul>
<p>INSUMOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Cloruro de Zinc, HCl.</li> <li>■ Alternativas: FeCl<sub>3</sub>,</li> </ul>	<p>- Empresas o Industrias proveedores, en el anexo 13 tesis.</p>	<p>- Estudio de Mercado. (Cap. III- tesis)</p>	<p>Sustitutos: FeCl<sub>3</sub> .          Empresa proveedora: Química del Pacífico S.A.</p>

## ANEXO 11

### TABLA 8-44 ( PERRY)

**DATOS DE FUNCIONAMIENTO OBTENIDOS EN LA MOLIENDA DE CAL VIVA EN UN MOLINO DE BOLAS**

Tamaño de molino en pies.....	7 x 3
Tipo de clasificador.....	clasificador de aire Hardinge
Tamaño de alimentación, % por un tamiz N° 100	90
Capacidad en TM/hora	12.5
Potencia requerida para el molino en HP	100
Potencia requerida para los auxiliares, en HP	35
Carga de bolas en lbs.	20000
Velocidad del molino r.p.m.	20

### TABLA 8 - 18 (Perry)

**RENDIMIENTO ILUSTRATIVO DE MOLINO MARCY DE BOLAS**

Tamaño en pies	Carga de bolas, en TM	HP por corrida	Velocidad del molino r.p.m.	Capacidad, TM 24h.(basada en mineral de dureza intermedia		
				Tamiz N° 100	Tamiz N° 150	Tamiz N° 200
				85 % - 200	93 % - 200	97 % - 200
3 x 2	0.85	5 – 7	35	5	4	3
4 x 3	2.73	20 – 24	30	22	18	14

## ANEXO 12

### TABLA 20-12 (PERRY)

#### DATOS DE SECADORES CONTINUOS DE CIRCULACION DIRECTA

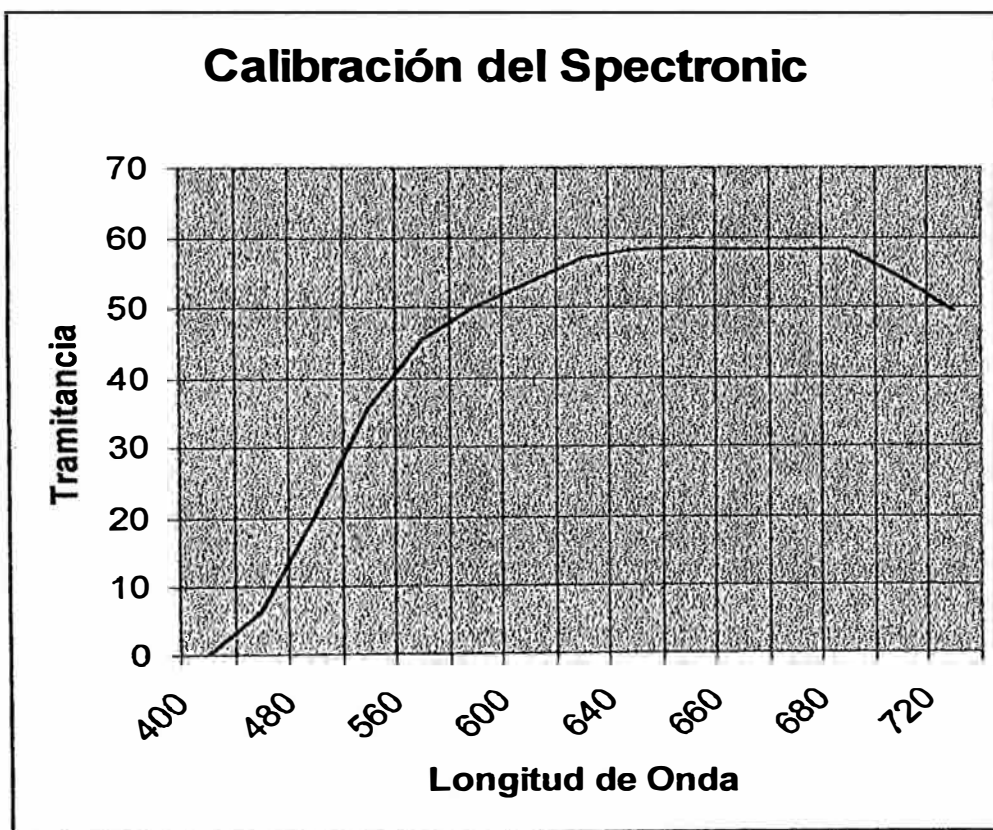
Tipo de material	Material Orgánico
Capacidad lbs. Producto/hora	2775
Longitud aproximada del secador, pies	60
Profundidad de la carga, pulgadas	1
Temperatura del aire °F	200-240
Carga, lb. Producto/pie <sup>2</sup>	1.82
Tipo de transportador	Malla 18
Contenido inicial de humedad, % base seca	78.6
Contenido final de humedad, % base seca	13.6
Tiempo de desecación comercial, h.	0.26
Indice de desecación, lb. De agua evaporada (h)(pie <sup>2</sup> )	5.20
Velocidad del aire (superficial), pie/min.	180
Consumo de vapor, lb./lb agua evaporada.	1.93
Potencia instalada, HP	34.5



## ANEXO 13

### Calibración del Spectronic

Lamda( $\lambda$ )	Tramitancia
400	0
440	6.4
480	20.6
520	35.6
560	45.4
580	50
600	53.6
620	57
640	58
650	58.4
660	58.2
670	58.2
680	58
710	54
720	49.6



Longitud de Onda máxima = 650 nm

## **ANEXO 14**

### **EMPRESAS PROVEEDORAS DE INSUMOS**

#### **ACIDO CLORHIDRICO**

- QUIMPAC S.A.
- QUIMEX S.A
- QUIMICA ANDINA S.A
- PFLUQUER S.A.
- QUIMICA GOYCOCHEA

#### **CLORURO DE ZINC**

- VERPE S.A
- QUMICA ANDINA S.A.
- QUIMICA GOYCOCHEA
- DIVISION QUIMICA S.A.
- COMERCIAL LIDER S.A.

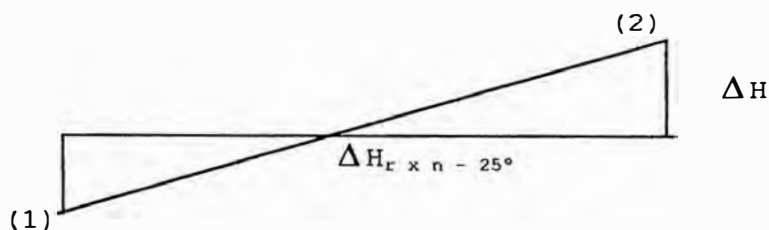
#### **CLORURO FERRICO**

- QUIMPAC S.A.
- DIVISION QUIMICA S.A.

## ANEXO 15

### 1) CALOR DE REACCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Celulosa  $\rightarrow$  C<sub>(g)</sub> + CO + Ac. Acético + creosota + Acetona + Metomol  
 1 kg            0.35 kg    0.2            0.12            0.06            0.14            0.13



$$\Delta H_{r \times n - 25^\circ} = \sum \Delta H_{r \times n - 25^\circ} (\text{prod}) - \sum \Delta H_{r \times n - 25^\circ} (\text{React.})$$

calculo de  $\Delta H_{r \times n - 25^\circ}$  (React.)

CELULOSA  $[C_6H_{10}O_5]_{fr}$

$$\frac{2500 \text{ kg} \times 1000}{162 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 15432 \text{ mol}$$

$$\Delta H_f^\circ = -118.7 \text{ Kcal/mol}$$

$$\Rightarrow \sum \Delta H_{r \times n - 25^\circ} (\text{react}) = -128.9 (15432) = -1832858.6 \text{ Kcal}$$

CALCULO DE  $\Delta H_{r \times n - 25^\circ}$  (prod.)

CO

$$\frac{0.2 \times 2500 \times 1000}{28} = 17857.1 \text{ mol}$$

$$\Delta H_f^\circ = -27.2019 \text{ Kcal/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ = -27.202 (17857.8)$$

$$= -485749.9 \text{ Kcal}$$

CH<sub>3</sub>-COOH

$$\frac{0.12 \times 2500 \times 1000 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 5000 \text{ mol}$$

$$\Delta H_f^\circ = -80.0 \text{ Kcal/mol}$$

$$\Delta H_f^\circ = -80 (5000)$$

$$= -400000 \text{ Kcal}$$

CREOSOTA :  $C_6 H_4 - OH$

$$\Delta H^\circ_f = -21.57 \text{ Kcal/mol}$$

$$\frac{0.06 \times 2500 \times 1000 \text{ g}}{93 \text{ g/mol}} = 1388.8 \text{ mol}$$

$\Rightarrow$

$$\Delta H^\circ_f = -21.57 (1388.8)$$

$$= -29958.3 \text{ Kcal}$$

ACETONA  $CH_3-CO-CH_3$

$$\Delta H^\circ_f = -54.51 \text{ Kcal/mol}$$

$$\frac{0.14 \times 2500 \times 1000}{58} = 6034.5 \text{ mol}$$

$\Rightarrow$

$$\Delta H^\circ_f = -54.51 (6034.5)$$

$$= -328939.6 \text{ Kcal}$$

METANOL  $CH_3 -OH$

$$\Delta H^\circ_f = -53.1 \text{ Kcal/mol}$$

$$\frac{0.13 \times 2500 \times 1000}{32} = 10156.25 \text{ mol}$$

$\Rightarrow$

$$\Delta H^\circ_f = -53.1 (10156.3)$$

$$\Delta H^\circ_f = -539296.87 \text{ Kcal}$$

$$\sum \Delta H_{r \times n - 25^\circ} (\text{prod}) = -1783944.8 \text{ Kcal}$$

luego :

$$\Delta H_{r \times n - 25^\circ} \text{ reacc.} = H_{r \times n - 25^\circ} \text{ prod.} - H_{r \times n - 25^\circ} \text{ react.}$$

$$= -1783944.8 - (-1832858.6)$$

$$= 48913 \text{ Kcal}$$

CALCULO DE  $\Delta \Delta H$  PARA EL CAMBIO DE 20- 800°C

C(S)

$$\Delta H = m C_e (\Delta T) = \left( \frac{0.35 \times 2500 \times 1000}{12} \right) \left( 1.26 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ} \right) (780)$$

$$= 71662.5 \text{ Kcal}$$

CO

$$\Delta \Delta H = \left( \frac{0.2 \times 2500 \times 1000}{28} \right) \times 0.14 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ} (780^\circ)$$
$$= 11337.8 \text{ Kcal}$$

CH<sub>3</sub>-COOH

$$\Delta H = \left( \frac{0.12 \times 2500 \times 1000}{60} \right) \times 1.049 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ \text{c}} (780^\circ \text{c})$$
$$= 4091.1 \text{ Kcal}$$

CREOSOTO

$$\Delta \Delta H = \left( \frac{0.06 \times 2500 \times 100}{93} \right) \times 1.034 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ} (780^\circ \text{C})$$
$$= 1300.8 \text{ Kcal}$$

ACETONA

$$\Delta H = \left( \frac{0.14 \times 2500 \times 1000}{58} \right) \times 0.791 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ \text{c}} (780^\circ \text{c})$$
$$= 3723.2 \text{ Kcal}$$

METANOL

$$\Delta \Delta H = \left( \frac{0.13 \times 2500 \times 1000}{32} \right) \times 0.792 \frac{\text{cal}}{\text{mol}^\circ \text{c}} (780^\circ)$$
$$= 6274.13 \text{ Kcal}$$

Luego

$$\Delta \Delta H \text{ total de Prod.} = 98389.5 \text{ Kcal}$$

$$\Delta H \text{ reac} = \Delta H_{r \times n - 25^\circ} + \Delta H_{20-800^\circ \text{c}}$$
$$= (48913 + 98389.5) \text{ kcal}$$

$$\Delta \Delta H \text{ reac} = 147302.5 \text{ Kcal}$$

## RESUMEN

Dada la importancia que tiene el uso del carbón activado en el país, hemos visto posible la utilización de la cascarilla del arroz provenientes de las grandes zonas arroceras del Perú y aserrín de madera provenientes de los aserraderos del lugar, como materia prima para la fabricación del carbón activado.

Nuestro objetivo es la obtención del carbón activado químicamente para lo cual tendremos que primeramente seleccionar la cascarilla, el cual será sometido a un análisis de su composición, así como de las propiedades y características tales como: humedad, cenizas y carbón fijo. Posteriormente la cascarilla seleccionada será impregnada mediante un reactivo químico ( puede ser  $ZnCl_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $H_3PO_4$ , etc.), luego será sometido a una carbonización-activación en una mufla; esta operación se hará a diferentes temperaturas y tiempos de permanencia dentro de la mufla. Cada producto obtenido será sometido a un análisis del carbón activado, tales como: Humedad, porcentaje de cenizas, Adsorción del Azul de Metileno, Número de Yodo, densidad aparente, pH, etc., para fijar los parámetros o variables adecuados que nos permitan obtener un producto de buena calidad de acuerdo a las Normas establecidas. Además se hará un estudio de mercado para establecer el tamaño de la planta principalmente; con ello haremos un

diseño completo de la planta. Una vez realizado dicho diseño se hará una evaluación económica del proyecto para ver la rentabilidad de la misma.

Para observar si el rendimiento del carbón activado es considerable, realizamos pruebas de laboratorio; obteniéndose un valor que se encuentran en el rango de 78% a 80% de decoloración del azúcar crudo y de aceites esenciales, el cual es apreciable de acuerdo a los datos que nos proporciona la bibliografía, en la cual se establece que un carbón activado con características similares posee un poder decolorante del orden del 80% a 90%, lo cual en nuestro caso es bastante aceptable teniendo en cuenta que el ensayo no tuvo las condiciones óptimas para verificar dicha característica. Pero aún así se obtuvo un carbón activado aceptable, de acuerdo a las normas técnicas establecidas.

Como subproducto existe la posibilidad de un aprovechamiento de los gases piroleñosos que se producen durante la carbonización en cantidades apreciables.

En el proceso de extracción y refinación se diseñaron los siguientes equipos:

Molienda: Molino de bolas con clasificador de partículas

Carbonización: Horno tipo mufla, con calentador mediante sopletes a combustible(diesel).

Otras operaciones: Lavador, secador, elevador, transportador de banda, transportador helicoidal, filtro de bolsas, equipo de ablandamiento de agua.

- El proyecto requiere de una inversión de \$ 151449 (1998)
- La tasa interna de retorno TIR es de 28.06% en dólares
- El VAN resulta \$ 96.786.
- El periodo de recuperación de la inversión resulta de 3 años

Por otro lado el presente trabajo es posible presentar como propuesta de un posible proyecto a los organismos multilaterales, para lo cual hemos elaborado un **MARCO LOGICO** como parte importante de este proyecto ( ver anexo 10).



## CONCLUSIONES

Debido a que el costo de la materia prima es bastante bajo, se reducen los costos de inversión, lo cual influye en que la instalación de una planta de carbón activado sea rentable.

La producción de arroz es casi continua durante todo el año, siendo los meses de mayo, junio y julio los meses de mayor producción, esto hace posible que se tenga a disposición materia prima suficiente para una producción continua de carbón activado. Para nuestro caso se recomienda localizar la planta en la zona Industrial del Norte del País (Lambayeque).

El carbón activado es un insumo químico importante en diferentes procesos químicos a gran escala por lo que su comercialización está garantizado por la gran demanda.

Debido a que en la elaboración del carbón activado se requieren pocas operaciones unitarias, esto nos permite utilizar un menor número de personal y hace que el proceso sea simple, en donde el control de la misma no requiere de automatización.

En el diseño de equipos hemos seleccionado los equipos ROSEDOWS, MARCY y otros de fabricación Nacional, como el horno y secadores(HORNOS INDUSTRIALES S.A.), cangilones, transportadores,

calentador de agua, equipo de ablandamiento de agua (Fábrica de equipos INTESA) entre otros.

Con los valores de VAN y TIR obtenidos para nuestro proyecto, se concluye que la instalación de una Planta de Carbón Activado es rentable.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. INDECOPI  
Normas de Control de Calidad para Carbón Activado.
2. Kern, Donald .  
Procesos de Transferencia de Calor  
Mc. Graw Hill, agosto 1986
3. Kirck, Raymond E.- Othemer, Donald F.  
Enciclopedia de Tecnología Química.  
Vol. I-VIII
4. Klumpar, Iván  
Update Cost factors : Process Equipment  
“Chemical Engineering”  
Mc Graw Hill, july 1992
5. Ludwing, Ernest E.  
Applied Process design for Chemical and  
Petrochemical Plants Vol. I  
Gulf Publishing Company, Houston – Texas 1964
6. Ministerio de Agricultura  
Boletín Estadístico del Sector Agrario 1998
7. Perry-R. - Chilton C.  
Biblioteca del Ingeniero Químico  
Mc Graw Hill, México 1994
8. Peters, Max S.- Timmerhaus, Klaus D.  
Diseño de Plantas y su Evaluación Económica  
para Ingenieros Químicos.  
Géminis, 2da. Edición, Buenos Aires 1986
9. Rosedowns, Publicaciones  
Fábrica de Carbones y Arcillas Activadas.
10. Normas Técnicas sobre Carbones Activados (1997)  
Fuente de información : INDECOPI