

12437



# **Cenicafé**

CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE 'PEDRO URIBE MEJIA'

## **Fundamentos del Beneficio del Café**

Chinchiná, Octubre de 1991

6E6Ea:ya  
C25f

013082

**Cenicafé**  
CENTRO DE DOCUMENTACION  
01 FEB 1999

**TABLA DE CONTENIDO**

	INTRODUCCION	1
1.	<b>EL BENEFICIO Y LA CALIDAD DEL CAFE</b>	3
1.1	BIBLIOGRAFIA DE CALIDAD DEL CAFE	10
2.	<b>RECIBO DE LAS CEREZAS MADURAS</b>	11
2.1	TOLVA DE LA DESPULPADORA	11
2.2	TOLVA SECA	12
2.3	TOLVA HUMEDA	15
2.4	SISTEMAS PARA RETIRAR OBJETOS EXTRAÑOS DEL CAFE	16
	2.4.1 EN CEREZA	16
	2.4.2. EN BABA	21
2.5	BIBLIOGRAFIA	25
3.	<b>DESPULPADO</b>	26
3.1	TIPOS DE DESPULPADORAS.	30
3.2	DESPULPADO SIN AGUA	34
3.3	DAÑO MECANICO	38
3.4	EVALUACION DEL EJE ALIMENTADOR	39
3.5.	SELECCION DE DESPULPADORAS.	42
3.6.	DISEÑO DE LA TRANSMISION DE POTENCIA.	43
	3.6.1. DE ACOPLE DIRECTO.	43
	3.6.2. DE ACOPLE POR CONTRAEJE.	43
3.7.	BIBLIIOGRAFIA	45
4.	<b>REMOCION DEL MUCILAGO</b>	46
4.1	ASPECTOS GENERALES.	46
4.2	FERMENTACION	46
	4.2.1 ACCIÓN DE LOS MICROORGANISMOS.	47
	4.2.2 ACCIÓN QUÍMICA.	48
	4.2.3 TIPOS DE FERMENTACIÓN.	50
	4.2.4 DIMENSIONAMIENTO.	50
4.3	INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA SOBRE LA FERMENTACION Y EL SABOR DEL CAFE	53
4.4	REMOCION MECANICA DEL MUCILAGO	54
4.5	BIBLIOGRAFIA	55
5.	<b>LAVADO Y CLASIFICADO</b>	56
5.1	EQUIPOS UTILIZADOS	57
	5.1.1 PRELAVADORES	57
	5.1.2 LAVADORES Y CLASIFICADORES	60
5.2	BIBLIOGRAFIA	65
6.	<b>SECADO</b>	66
6.1	FUNDAMENTOS DEL SECADO DEL CAFE	66
	6.1.1 CONTENIDO DE HUMEDAD DE CAFÉ	66
	6.1.2 DETERMINADORES DE CONTENIDO DE HUMEDAD	67
	6.1.3 DIFUSIÓN DE HUMEDAD DENTRO DEL GRANO DEL CAFÉ	70

6.1.4	CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO	70
6.1.5	RELACIONES SICROMÉTRICAS DEL AIRE	72
6.2	SECADO SOLAR DEL CAFE	75
6.2.1	RADIACIÓN SOLAR	76
6.2.2	VELOCIDAD DEL VIENTO	76
6.2.3	SECADORES SOLARES DE CAFÉ	76
6.2.4	RASTRILLOS REVOLVEDORES DE CAFE	82
6.3	SECADO MECANICO DEL CAFE	85
6.3.1	CAUDAL DE AIRE	85
6.3.2	PASO DEL AIRE A TRAVÉS DEL CAFÉ	87
6.3.3	VENTILADORES	87
6.3.4	GENERADORES DE AIRE CALIENTE. INTERCAMBIADORES DE CALOR	88
6.3.5	SECADO MECÁNICO DE CAPA ESTÁTICA DEL CAFÉ	93
6.3.6	SECADO MECÁNICO DEL CAFÉ EN CARROS SECADORES.	99
6.3.7	DIMENSIONAMIENTO DE LOS SECADORES DE CAPA FIJA	102
6.3.8	SELECCIÓN DEL VENTILADOR	102
6.3.9	SECADOR INTERMITENTE DE FLUJOS CONCURRENTES, (IFC) .	103
6.3.10	SIMULACIÓN MATEMÁTICA	107
6.3.11	PROPIEDADES FÍSICAS	109
6.4	BIBLIOGRAFIA	116
<b>7</b>	<b>MANEJO DE LA PULPA</b>	<b>118A</b>
7.1	BIBLIOGRAFÍA	118F
<b>8.</b>	<b>TRANSPORTE</b>	<b>119</b>
8.1.	ANGULOS DE DESLIZAMIENTO	119
8.2	TRANSPORTE NEUMATICO	121
8.3.	BOMBA SUMERGIBLE	132
8.4.	TRANSPORTE DE CAFE CEREZA POR CABLE AEREO DE GRAVEDAD	137
8.5.	SISTEMA DE TRANSPORTE CABLE-DISCO POR TUBERÍA	141
8.6	BIBLIOGRAFIA	143
<b>9</b>	<b>LA CONSTRUCCION DE UN BENEFICIADERO DE CAFE</b>	<b>145</b>
9.1	ESTUDIO DE LA PRODUCCION Y DISTRIBUCION ANUAL DE LA COSECHA	145
9.2	ESTUDIO DE PROYECCION DE NUEVAS SIEMBRAS	146
9.3	ESTUDIO DE LOS RECURSOS DISPONIBLES EN LA ZONA	146
9.4	DISEÑO DE LAS DIFERENTES ETAPAS DE BENEFICIO Y DE LA CONSTRUCCION EN GENERAL	146
9.4.1	UTILIZACIÓN DE LA PENDIENTE.	146
9.4.2	CÁLCULO DE LAS AREAS Y ESPACIOS REQUERIDOS PARA CADA ETAPA.	146
9.4.3	ELABORACIÓN DE LOS PLANOS DE INGENIERÍA.	147
9.4.4	SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS Y MATERIALES PARA	

LA CONSTRUCCIÓN DEL BENEFICIADERO.	148
9.4.5 SELECCIÓN DEL SITIO.	148
9.5 DIRECCION DE LA CONSTRUCCION	148
9.6 INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCION	149
9.6.1 ASPECTOS GENERALES	149
9.6.2 CÁLCULO DE CONSTRUCCIONES	157
9.6.3 COSTOS DE CONSTRUCCION DEL BENEFICIADERO	159
9.7 BIBLIOGRAFIA	160
<b>10. ASPECTOS ELECTRICOS.</b>	161
10.1 DEFINICIONES BÁSICAS	161
10.1.1 INTENSIDAD DE CORRIENTE (I)	161
10.1.2 VOLTAJE, EXTENSIÓN O DIFERENCIA DE POTENCIAL. (V)	161
10.1.3. RESISTENCIA (R).	162
10.1.4 POTENCIA (P)	162
10.1.5 ENERGÍA O TRABAJO EFECTUADO	162
10.2 LEYES DE OHM Y DE JOULE	163
10.2.1 LEY DE OHM: 141	
10.2.2 LEY DE JOULE:	163
10.3 RELACIONES A PARTIR DE LAS LEYES DE JOULE Y OHM	163
10.4 CORRIENTE CONTINUA (CC)	163
10.5 CORRIENTE ALTERNA (CA)	164
10.6 CIRCUITOS ELÉCTRICOS	165
10.6.1 CIRCUITO EN SERIE	166
10.6.2 CIRCUITO EN PARALELO	167
10.7 ACOMETIDAS	167
10.8 CONDUCTORES (TIPOS, AISLAMIENTO, CAPACIDAD DE CORRIENTE)	168
10.9 NÚMERO MÁXIMO DE CONDUCTORES EN UN DUCTO	170
10.10 POTENCIAS TÍPICAS DE ALGUNOS EQUIPOS ELÉCTRICOS	170
10.11 EJEMPLO DE SELECCIÓN DE UN CONDUCTOR	171
10.12 PROTECCIONES	172
10.13 VOLTAJES MONOFÁSICOS Y TRIFÁSICOS	174
10.14 CAPACIDADES DE LOS TRANSFORMADORES	174
10.15 FUSIBLES PARA TRANSFORMADORES	175
10.16 SISTEMAS TÍPICOS DE DISTRIBUCIÓN EN BAJA TENSIÓN (HASTA 600 V)	176
10.17 MOTORES ELÉCTRICOS	177
10.1.7.1 CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR	178
10.1.7.2 PROTECCIÓN DE MOTORES	178
10.1.7.3 EFICIENCIA DE LOS MOTORES	179
10.18 CORRIENTES TÍPICAS EN LOS MOTORES	179
10.19 INVERSIÓN DE GIRO EN MOTORES TRIFÁSICOS	180
10.20 FACTOR DE POTENCIA (FP)	181
10.21 RESUMEN DE FORMULAS PARA CÁLCULOS EN CORRIENTE ALTERNA	182
10.22 PLANOS ELÉCTRICOS	182
10.21.1 UTILIZACIÓN DE LOS SÍMBOLOS	184
10.23 BIBLIOGRAFIA	186

## Fundamentos del Beneficio de Café

<b>11. DISEÑO DE UN BENEFICIADERO PARA UNA PRODUCCION ANUAL APROXIMADA DE 3.000 arrobas DE C.P.S. (37.000 KG) AL AÑO Y UN DIA PICO DEL 2.5%</b>	187
11.1 CALCULO DE LA TOLVA DE RECIBO	187
11.2 DESPULPADO	189
11.2.1 CALCULO DE LAS POLEAS TRANSMISORAS DE POTENCIA	190
11.3 CLASIFICACION DEL CAFE EN BABA	191
11.4 TANQUES DE FERMENTACION	191
11.5 LAVADO	192A
11.5.2 CON BOMBA 171	193
11.6 SECADO	193
11.6.1 DIMENSIONES DE LAS CAMARAS DE SECADO	193
11.6.2 CALCULO DEL VENTILADOR	193
11.7 FOSAS	195
11.8 ALMACENAMIENTO DE LAS AGUAS LLUVIAS Y SELECCION DE LA BOMBA	195
11.8.1 UTILIZACION DE LAS AGUAS LLUVIAS EN EL BENEFICIO DEL CAFE	195
11.8.2 CAPTACION DE AGUAS LLUVIAS	196
11.8.3 EJEMPLO DE TRANSPORTE HIDRAULICA DE CAFE AL SECADOR	197
11.9 DISEÑO ELECTRICO PARA EL BENEFICIADERO DE 3.000 ARROBAS CPS.	198
11.10 BIBLIOGRAFIA	200
<b>12. ALMACENAMIENTO DEL CAFE PERGAMINO A NIVEL DE FINCAS</b>	201
FORMAS DE MANIFESTARSE EL DETERIORO EN EL ALMACENAMIENTO	203
12.1 BIBLIOGRAFIA	204
<b>13. MANEJO DE AGUA EN EL PROCESO DE BENEFICIO HUMEDO</b>	206
13.1 CONCLUSIONES	208
13.2 RECOMENDACIONES	208
13.3 EL MUCILAGO Y EL LAVADO DEL CAFE FERMENTADO	210
13.4 BIBLIOGRAFIA	213
<b>14. COSTOS DE BENEFICIO</b>	214
14.1 BIBLIOGRAFIA	218

## APENDICE

TABLA A-1	DENSIDADES Y EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE LOS DIFERENTES ESTADOS DEL CAFE, LA PULPA Y EL CISCO	227
TABLA A-2	NUMERO PROMEDIO DE GRANOS DE CAFE PERGAMINO EN UN KILOGRAMO	228
TABLA A-3	SELECCION DE LA DESPULPADORA	228
TABLA A-4	SELECCION DE ZARANDAS PARA CAFE EN BABA	229
TABLA A-5	DIMENSIONES DE LOS TANQUES DE FERMENTACION	229
TABLA A-6	DIMENSIONES DEL CANAL DE CORRETEO	230
TABLA A-7	SISTEMA DE SECADO SEGUN LA PRODUCCION	230
TABLA A-8	PORCENTAJES DE PERDIDA CAUSADAS POR EL SECADO EXCESIVO DEL CAFE	231
TABLA A-9	DIMENSIONES DE LAS FOSAS PARA LA FERMENTACION DE LA PULPA	231
TABLA A-10	CANTIDADES DE AGUA REQUERIDA PARA BENEFICIAR 1 (UN) KG DE C.P.S. CON EL SISTEMA TRADICIONAL DE BENEFICIO	232
TABLA A-11	BALANCE DE MASA EN EL PROCESO DEL CAFE	232
TABLA A-12	PERJUICIOS CAUSADOS POR LOS SUB-PRODUCTOS DEL BENEFICIO DEL CAFE NO APROVECHADOS	233

### APENDICE A-13

<b>NORMA COLOMBIANA SOBRE DESPULPADORAS DE EJE HORIZONTAL - ICONTEC</b>		234
TABLA A-14	CANTIDAD DE ARENA Y CEMENTO POR M3 DE MORTERO Y RESISTENCIAS QUE SE OBTIENEN	243
TABLA A-15	CANTIDAD DE ARENA CEMENTO Y BALASTO POR M3 Y RESISTENCIAS QUE SE OBTIENEN	244
TABLA A-16	PESOS Y VOLUMENES DE MATERIALES EN OBRA	244
TABLA A-17	ALGUNOS CONSUMOS DE MATERIALES PARA CONSTRUCCION	245
TABLA A-18	PESOS Y MEDIDAS DEL ACERO	246
TABLA A-19	CARGAS PORTANTES DE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS	246
TABLA A-20	PESO POR METRO CUBICO DE DISTINTOS MATERIALES	247
TABLA A-21	PRESIONES ADMISIBLES EN EL TERRENO DE CIMENTACION	248
TABLA A-22	CLASIFICACION Y USO DE LAS ARENAS	248
TABLA A-23	CASQUETE ESFERICO - ESQUEMA	249
TABLA A-24	CASQUETE ESFERICO - DIMENSIONAMIENTO	250
TABLA A-25	DISEÑO BENEFICIADERO - PLANTA NIVEL 0.00	251
TABLA A-26	DISEÑO DE BENEFICIADERO - PLANTA NIVEL - 2.70	252
TABLA A-27	DISEÑO BENEFICIADERO - CORTE A-A	253
TABLA A-28	DISEÑO BENEFICIADERO - CORTE B-B	254
TABLA A-29	DISEÑO DE BENEFICIADERO - DISTRIBUCION ELECTRICA PLANTA NIVEL 0.00	255
TABLA A-30	DISEÑO BENEFICIADERO - DISTRIBUCION ELECTRICA PLANTA NIVEL - 2.70	256
TABLA A-31	CONVENCIONES ELECTRICAS	257

## INTRODUCCION

El café es el producto más importante para el desarrollo económico y social del país. Aporta del orden del 30% de las divisas que el país recibe por exportaciones. Para la compra de la cosecha anual se requiere de recursos superiores al 20% del Producto interno Bruto (PIB).

La aceptación del café colombiano en los mercados externos se basa en su alta calidad. Esta calidad está influenciada por varios factores entre los cuales el beneficio por vía húmeda ocupa un importante lugar.

En las operaciones requeridas para el beneficio por vía húmeda: Recibo, Despulpado, Fermentado, Clasificado, Lavado y Secado, el café es altamente susceptible de ser afectado en su calidad, pudiéndose producir a veces la pérdida total.

Para el manejo eficiente del beneficio del café, se necesitan los conocimientos y fundamentos básicos de cada una de las etapas que influyen en el proceso, para que la calidad intrínseca del café proveniente del campo se conserve al terminar su procesamiento, garantizando de esta forma la conservación de la alta calidad del café colombiano.

De otra parte, cada vez es más importante producir el café con criterio empresarial, es decir, disminuyendo hasta donde sea posible los costos del proceso, para que esta industria continúe siendo competitiva.

Si bien es cierto que el proceso del beneficio del café por vía húmeda produce una calidad reconocidamente superior, la operación es más elaborada y origina tradicionalmente una gran contaminación de las aguas que entran en contacto con el café o sus sub-productos y mas grave aún, con el uso indebido del agua y el poco ó ningún manejo de aquellos. Lo anterior muestra que en la producción de los cafés de alta calidad (suaves), los países productores están asumiendo un sobre costo debido a la contaminación de las corrientes de agua con los efluentes sólidos y acuosos del beneficio por vía húmeda, siendo de suma importancia el estudio de alternativas en el procesamiento que permitan eliminar esta contaminación o por lo menos que ésta sea la menor posible.

A través de los desarrollos tecnológicos que CENICAFE ha emprendido en el proceso del beneficio, está contribuyendo a resolver los problemas

de manejo de agua y de contaminación causada por el mal uso de los recursos.

Hoy, frente a la comercialización interna del café se hace necesario proteger el ingreso del productor, aplicando correctamente las normas de recibo de café pergamino seco, donde el caficultor pueda procesar su café dentro de las normas establecidas sin que amerite castigo alguno en el precio. La aplicación que se hace hoy de la norma, obliga al productor a emprender obras de infraestructura y manejo de altos volúmenes de agua, circunstancias que elevan sus costos de beneficio y por ende disminuyen sus ingresos.

Este material fue elaborado por la Disciplina de Ingeniería Agrícola, con la colaboración de la Disciplina de Química Industrial del Centro Nacional de Investigaciones del café, CENICAFE, con el propósito de presentar los fundamentos básicos en que se basan las etapas del beneficio del café. La información aquí presentada ha sido obtenida de los resultados de sus investigaciones y de la selección de la literatura existente, así como de la observación cuidadosa de los equipos y procesos existentes en el país, resultado de las numerosas contribuciones de los extensionistas del país y de los caficultores. En el desarrollo de las investigaciones se ha recibido un valioso aporte de las universidades, a través de los profesores que han realizado su año sabático y los estudiantes que han realizado sus trabajos de tesis.



21343

## 1. EL BENEFICIO Y LA CALIDAD DEL CAFE\*

La calidad del café Colombiano es el resultado de la interacción de factores varietales, climáticos, edafológicos, de prácticas culturales y principalmente del procesamiento poscosecha o beneficio y del almacenamiento.

En la evaluación de la calidad se consideran dos atributos: la calidad física y la organoléptica.

En la calidad física se evalúan los siguientes aspectos: "

"**OLOR:** El café pergamino debe venir con su olor característico. No se aceptará café pergamino con olores diferentes como a moho, fermento, derivados del petróleo, etc.

"El olor a fermento se origina principalmente por los siguientes factores: "

" demora excesiva en el despulpado sin remojar la cereza. "

" prolongación excesiva del proceso de fermentación. En general, se puede considerar que la fermentación no se debe prolongar más de 30 horas. Si se prolonga más allá de este tiempo se puede comprometer la calidad del café y generar el defecto de café con fermento, el cual es causal de rechazo.

" demora excesiva en iniciar el proceso de secado del café, después de haberse lavado. Lo que ocurre con frecuencia por la modalidad de comercialización del café lavado, en la cual se discontinúa el proceso del beneficio.

" mal lavado. Cuando el café se lava mal, permanecen adheridos al pergamino, restos de mucílago, los cuales le pueden transmitir al café pergamino, olor a fermento.

" si se almacena café en condiciones muy húmedas pueden crearse las condiciones propicias para el desarrollo de hongos. "

El uso de aguas contaminadas también puede transmitir olores desagradables al café.

Si se seca en secadores mecánicos de combustión directa el café puede presentar olores procedentes de los gases de la combustión.

Si se empaca el café donde antes había productos químicos, insecticidas,

fungicidas, raticidas ó abonos, el café puede tomar olor a quínicos.

**TEMPERATURA:** La temperatura del café debe ser normal, o sea la del medio ambiente. Cuando se mide el contenido de humedad del café por medio de equipos electrónicos la temperatura del café debe ser la ambiental, de lo contrario se estaría cometiendo errores.

**COLOR DEL PERGAMINO:** El color del pergamino debe ser el característico. Generalmente el color del pergamino es más blanco cuando es secado mecánicamente, en el secado al sol el pergamino es de color amarillento. Si se siguen los pasos apropiados en el beneficio, se puede evitar el manchamiento del pergamino, el cual es difícil de comercializar debido a su presentación, así no haya sufrido la almendra.

En un mismo lote de café, se encuentran diferencias entre diferentes granos en cuanto al color. Los granos sobremaduros presentan un pergamino manchado (después del proceso tradicional de fermentado y secado), generalmente tendiendo a adquirir el color de la pulpa. Los granos que no alcanzan a madurar suficientemente (granos inmaduros o verdes), tienen la tendencia a adquirir un color lechoso.

El color del pergamino también puede ser afectado durante el beneficio. El hierro y el Zinc le transmiten al pergamino una coloración grisácea que lo distingue de otros granos. Esta reacción con el hierro ó con el zinc puede ocurrir cuando se pone en contacto el café húmedo con láminas ó partes de las máquinas construidas con estos materiales.

La prolongación excesiva del tiempo de fermentación puede afectar el color del pergamino, el cual adquiere una coloración parda. Cuando el tiempo para la fermentación es insuficiente, el pergamino presenta una coloración característica: parda oscura, generalmente no difundida completamente en el pergamino.

**INFESTACION:** El café debe estar libre de todo insecto vivo. En caso de encontrarse infestación debe procederse a cuantificar la gravedad del problema y pedir ayuda al extensionista para darle un manejo adecuado.

Una vez el café cumple con los requisitos de olor, color y temperatura, se procede a analizar el porcentaje de pasilla del café tanto en pergamino como en la almendra. Existen dos calidades de café: el café tipo Federación y el café corriente.

Para que un café sea **TIPO FEDERACION** (el cual se paga a un mejor

precio) debe cumplir con los siguientes requisitos:

- tener un contenido de humedad entre el 10 y el 12% en base húmeda.
- tener menos del 0.5 % en peso entre impurezas y materias extrañas. Se denomina impureza a todo material distinto del café pergamino, tales como: cisco de café, restos de pulpa seca, puntillas, piedras, etc.
- No poseer más del 2% en peso de granos trillados o pelados. Se considera grano pelado al que tenga menos de la mitad del pergamino.
- No contener más del 3 % en peso de guayaba y media cara. Los granos guayabas se originan principalmente de frutos que no tuvieron un desarrollo completo, por efecto del clima y/o por las enfermedades. Presentan coloración de la pulpa oscura, y en general, carecen de mucílago y su contenido de humedad es más bajo, razón por la cual la pulpa no se separa adecuadamente de las semillas, y adicionalmente son de menor tamaño que los granos normales.

Los granos media-cara, en los cuales la mitad de la pulpa <sup>es más,</sup> queda adherida al pergamino, se originan durante el despulpado a partir de granos en los cuales el mucílago es escaso, o no existe, ya sea por tratarse de granos verdes o de granos atacados por enfermedades de origen fungoso como la mancha de hierro.

-Tener en el análisis en almendra (que se obtiene al trillar el café pergamino mediante un método de fricción) un porcentaje inferior al 5.5 % en peso de granos defectuosos.

Cuando se analiza la almendra, el color y el olor deben ser característicos. Una almendra bien beneficiada y de buena calidad presenta una coloración azul verdosa uniforme. Generalmente el color de la almendra depende de muchos factores, entre ellos: la procedencia (altura sobre el nivel del mar), la variedad, el método de secado, etc.

Se considera granos defectuosos (ó pasilla en la almendra) a toda almendra que presente una coloración y/o forma diferente al promedio de los granos (excluyendo los granos triángulos, caracoles y monstruos, siempre que estén enteros y tengan un tamaño normal).

El café tipo Federación, no debe contener granos vinagres ni flojos. El grano flojo es aquel que presenta exceso de humedad y posee una

coloración verde oscura y es de consistencia blanda. Para efectos del análisis en el recibo, los granos cristalizados se consideran como defectuosos.

La norma de calidades número 5 V1 de agosto de 1988, impartida por la Federación Nacional de Cafeteros, a través de la Gerencia Comercial y de la Unidad de Control de Calidades, considera los siguientes granos defectuosos:

**-GRANO NEGRO O PARCIALMENTE NEGRO:** Es todo grano de café que presenta total o parcialmente un color negro, el cual se debe a mala recolección del café cereza. También puede ser causado por heladas y por fermentaciones muy prolongadas. Afecta el aspecto y el sabor.

**-GRANO CARDENILLO.** Café atacado por hongos (*Aspergillus* ó *Penicillium*) debido a almacenamiento húmedo del producto. También es consecuencia de una fermentación descontrolada ó prolongada antes del lavado y de interrupciones prolongadas durante el secado. El hongo va destruyendo el grano por las partes más blandas, produciendo polvillo amarillo ó amarillo rojizo.

**-GRANO VINAGRE O PARCIALMENTE VINAGRE:** Se entiende como tal, a todo grano de café en almendra que presenta un color que va de crema a carmelita oscuro. Se produce por sobrefermentación en el beneficio o por almacenar café húmedo. El grano posee olor a vinagre. El grano que presenta un color similar al del grano vinagre, siendo por efecto del reposo, dentro de café fresco, se clasifica dentro de este grupo.

**GRANO CRISTALIZADO:** Es todo grano de café almendra de color gris azulado producido por exceso de temperatura en el proceso de secamiento (mayor de 55°C). El grano es quebradizo al golpearlo. Este es diferente al grano sobresecado; cuando se detecta a nivel de compras debe incluirse en los defectos; en el excelso (café almendra destinado a la exportación) no presenta problemas y no se castigará.

**GRANO DECOLORADO:** Es todo grano de café que ha sufrido alteración en su color natural y se vuelve generalmente de color blanco, amarillo, gris oscuro ó con vetas y que resalta ó hace contraste en la muestra. Lo causan distintas irregularidades en el beneficio, especialmente por mal secamiento ó deficiente almacenamiento. Se clasificará de acuerdo con el color que presente según lo siguiente:

- **GRANO VETEADO:** Grano decolorado resultante de humedecerse después de haber sido secado (presenta vetas blancas).

- **GRANO REPOSADO:** grano decolorado por efecto de almacenamientos prolongados y/o condiciones adversas del mismo, presentando colores que van desde el blanqueado, crema, amarillo hasta el carmelita.

- **GRANO AMBAR O MANTEQUILLO:** Grano decolorado por efectos de problemas en los nutrientes del suelo (presenta un color amarillo transparente).

- **GRANO SOBRESECADO O QUEMADO:** Grano de café de color ámbar ó ligeramente amarillento, producido por dejar el grano demasiado tiempo secando. En el secado al sol también se puede producir el grano sobresecado. En ensayos realizados en CENICAFE, se ha observado que el café sobremaduro presenta en el momento de la cosecha, un contenido de humedad significativamente inferior al del grano pintón y maduro : 48% para el grano sobremaduro y 53 % para el grano pintón y maduro. Esta circunstancia compromete la uniformidad del secado, tanto en secadores mecánicos como al sol, ya que los granos sobremaduros se sobresecan para alcanzar el valor final medio deseado, sin que se encuentren granos flojos.

- **GRANO MORDIDO Y CORTADO:** Se llaman así a los granos de café en almendra que han sufrido una herida o cortada y se han oxidado. Se producen durante el proceso de despulpado con camisa defectuosa, ó mal ajuste de la máquina. Las heridas se tornan amarillas o negras durante el proceso de fermentación, secamiento ó almacenamiento. Afecta el aspecto y a veces el sabor.

- **GRANO PICADO POR INSECTOS:** Son granos de café que presentan pequeños orificios hechos por insectos (gorgojo picudo del café ó por la broca). Según la última circular de la Federación, el grano brocado entra dentro de los granos defectuosos.

- **GRANO PARTIDO:** Son trozos de grano de café almendra, producidos por rotura del grano en el proceso de la trilla. Consecuencia de tratamiento rudo y de maquinaria de procesamiento defectuosa. Afecta el aspecto, el rendimiento en la torrefacción y a veces el sabor. Se incorpora con el grano mordido.

- **GRANO MALFORMADO O DEFORMADO:** Se denomina así a todo grano de café almendra que presenta alguna malformación ó deformación de tipo genético y que por medios mecánicos se pueden

extraer del lote, es decir tienen bajo peso específico ó son muy grandes. Dentro de este grupo se encuentra el grano elefante ó monstruo, el triángulo, el averanado ó chupado ó arrugado, consecuencia de un desarrollo pobre en el cafeto, debido a sequías, debilidad del cafeto, etc. Si el grano presenta buen peso no se considera defecto. En el caso del grano elefante, si no se parte no se considera defecto.

- **GRANOS INMADUROS:** Presentan un color verdoso ó gris claro, y procede de un grano recolectado antes de llegar a su madurez. La cutícula no desprende y el grano presenta un tamaño menor que los demás y es de aspecto encorvado. En taza da sabor astringente e inmaduro. Dentro de este grupo se incluye el grano llamado de paloteo. Estos últimos tienen un contenido de humedad hasta del 60 % b.h., después de lavados, valor que se considera muy alto, y que altera significativamente el proceso de secado (elevando la relación de café lavado a café pergamino seco).

- **GRANOS APLASTADOS:** Son todos aquellos que han sufrido un aplastamiento, debido al mal trato durante el proceso de beneficio, causado durante el secamiento, al pisar el café, al trillar cafés húmedos, por trato rudo en las camisas de las despulpadoras ó mal ajuste de la máquina. Afecta el aspecto, el tostado y el sabor. Es un gran problema en la trilla, debido a que en el excelsa produce ripio al romperse.

- **GRANOS FLOTADORES O BALSUDOS:** Se llaman así a todos los granos de café almendra de color blanco, forma rugosa, densidad muy baja, de apariencia de corcho, provenientes de deficiencias en el secado y el almacenamiento. En los cafés muy húmedos expuestos a climas húmedos, se forma una capa alrededor del grano que, con el tiempo, se torna blanco. El grano se hincha. Afecta el aspecto, el tostado y el sabor.

- **GRANO FLOJO:** Son granos de color gris oscuro ó verde oscuro, de aspecto blando, debido a falta de secado, en algunas partes lo llaman café verde.

En la Figura 1.1, se presentan esquemáticamente los defectos que se pueden ocasionar, por el empleo de malas prácticas de beneficio, tanto al café pergamino como a la almendra. Se puede observar que la etapa que puede generar mayor cantidad de defectos es el proceso de secado.

Hasta aquí se ha explicado el análisis físico, el cual es el que se efectúa regularmente en las cooperativas y puestos de compra de particulares.

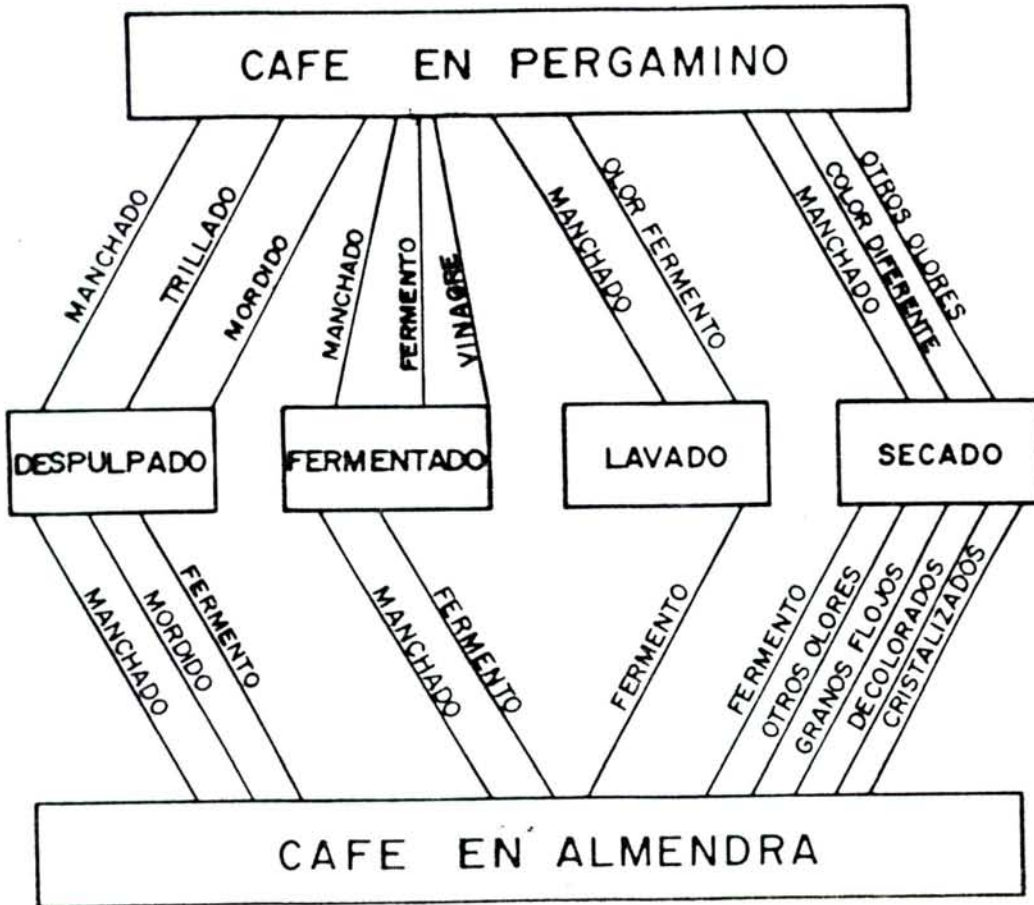


FIGURA 1.1 Posibles malos efectos en la calidad del café en las etapas de beneficio del café

La otra evaluación de la calidad es la ORGANOLEPTICA, la cual se evalúa en lotes de café con destino a trillas, a exportación ó cuando se sospecha en el momento del recibo de posibles defectos en la taza por malas prácticas de beneficio. Por medio de esta evaluación, se detectan sabores extraños originados por malas prácticas de cosecha y beneficio, como son: sabores a fermento, inmaduro, astringente, a frutty, stinker, a madera, reposo, semireposo, a cebolla, a aceite, sucio, etc. Esta evaluación la efectúa el personal de un panel de catación.

## 1.1 BIBLIOGRAFIA DE CALIDAD DEL CAFE

- 1- JARAMILLO, H. M. Norma de calidades. Gerencia Comercial y Unidad de Control de Calidades. Bogotá. No. 2 V2 de agosto de 1988. 21 páginas.
- 2- LOPEZ, C. I.; BAUTISTA, E. & MORENO, E. Factors related to the formation of "overfermented coffee beans" during the wet method and storage of coffee. ASIC, 13 e colloque, Paipa. 1989. p: 373-383.
- 3- MENCHU, J. F. Manual de beneficiado del café. Asociación Nacional del café (ANACAFE). Guatemala. 119 páginas.
- 4- PEÑA, B. C. A. Manual de control de calidad en compras y recibo de café. Almacenes Generales de Depósito de café S. A. ALMACAFE -. Departamento de análisis y control de calidad. 40 p. 1983.



21344

## 2. RECIBO DE LAS CEREZAS MADURAS \*

El café en cereza maduro recolectado en el campo se conduce a un determinado lugar en el cual se efectúa su RECIBO, desde el cual se pueden iniciar o no (tolvas en el campo) las diferentes etapas que constituyen el proceso del beneficio. El inicio o no de las etapas del proceso desde este lugar, depende de la programación de la recepción de las cerezas en el beneficiadero, así como de las instalaciones que para tal fin se dispongan en el mismo. En algunas fincas dicho recibo se efectúa en sitios convenientemente seleccionados en los lotes y desde allí se conduce hasta el beneficiadero; en otras, en el mismo beneficiadero. Además, estos lugares permiten efectuar un mejor control visual sobre el material recibido, y en algunos de ellos, una alimentación constante y controlada de las cerezas al equipo o dispositivo en el cual se ha de efectuar la etapa a seguir.

El recibo se efectúa por peso o por volumen. Por peso permite un recibo más rápido, además de un control directo, **peso a peso**, de la eficiencia del beneficio y de la producción, al permitir conocer la relación entre el café en cereza cosechado y el café en pergamino seco obtenido. Por volumen, es más lento que el anterior, a la vez que dificulta la determinación de la relación entre el **volumen** del café cereza recibido y el **peso** del café en pergamino, debido a la misma naturaleza biológica del material que hace muy variable dicha relación, pues depende de factores tales como clima y labores culturales, entre otros.

La supervisión sobre las características externas de las cerezas recibidas, la presencia de objetos extraños, etc, son labores que se realizan en el momento y lugar del recibo, lográndose de esta forma mayor seguridad para la calidad final a obtener una vez procesado el café, así como en el buen desempeño de los equipos del beneficiadero.

Se conocen diferentes dispositivos para el recibo de las cerezas tales como: la tolva de la despulpadora, la tolva seca (en los lotes o en el beneficiadero) y la tolva húmeda.

### 2.1 TOLVA DE LA DESPULPADORA

En fincas con producciones inferiores a los 3.750 kg de café pergamino seco al año (300 @), el recibo se puede efectuar en la tolva de la despulpadora, a la cual se le aumenta frecuentemente su capacidad prologándole sus paredes utilizando madera o láminas metálicas. Normalmente se llena la tolva con el café y se dejan los bultos restantes

\* Ing. Agr. Jairo R. Alvarez H. - Investigador Científico III -  
Cenicafé.

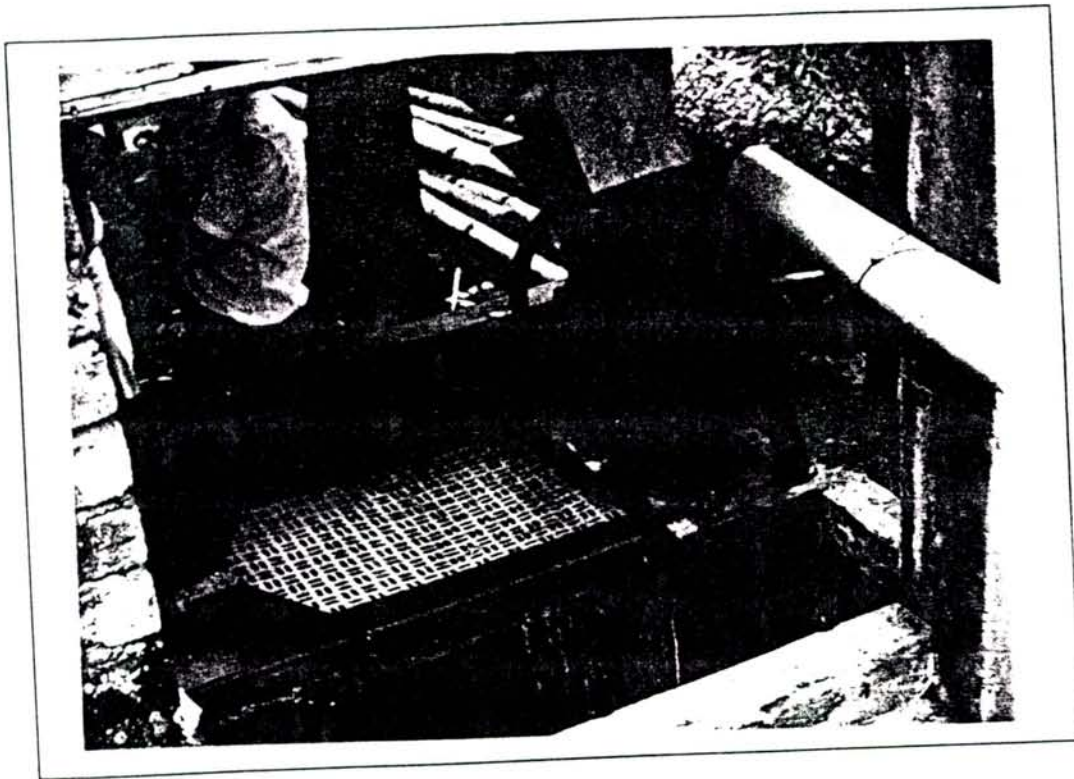


FIGURA 2.1 Tolva de la despulpadora

en el piso a la espera de su turno para ser descargados.

## 2.2 TOLVA SECA

Como su nombre lo dice, no se utiliza agua para el transporte de las cerezas a su destino, tanque sifón o despulpadoras, sino la fuerza de la gravedad. Generalmente construidas en forma de tronco de pirámide invertido acoplado a un paralelepípedo, y se localizan por encima de las despulpadoras. Pueden ser construidas en madera u otros materiales, teniendo presente que sus paredes formen un ángulo de 45 a 50° con la horizontal (el piso), o sea una pendiente superior al 100%. Esta pendiente también se debe respetar en los ductos que conducen las cerezas a las despulpadoras, especialmente en los casos en los cuales la tolva de recibo se encuentra fuera del beneficiadero, para aprovechar la gravedad. En estas tolvas se puede recibir el café transportado en sacos o a granel. Si es a granel, se debe disponer de facilidades para la descarga de las cerezas a la tolva desde un vehículo (camión, volqueta, etc.).

Cuando se reciben las cerezas en bultos, la altura de la tolva con respecto al nivel del piso más adecuada es de 1.20 m. pudiendo ser superior en caso necesario. Esta altura permite mayor comodidad para colocar los bultos en la repisa que la tolva debe tener en su parte superior y por lo menos en uno de sus lados, con un ancho entre 0.30 y 0.50 m, que a la vez facilita el vaciado de los bultos a la tolva. Su volumen y dimensiones dependen de la programación de la recepción del café, de la masa de cerezas recolectadas en el día de máxima cosecha (día pico) y del número de despulpadoras requeridas para despulpar dicha masa (Tablas 2.1 y 2.2)(1).

**TABLA 2.1 Dimensiones para tolvas de 1.2 m de altura**

	N = 1	N = 2		N = 3		N = 4		N = 5		N		
x	a	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	
0.4	1.0	0.96	2.0	1.93	3.0	2.89	4.0	3.86	5.0	4.82	$2.0 + (N-2)$	$0.96 + (N-1)0.965$
0.5	1.2	1.29	2.2	2.40	3.2	3.52	4.2	4.64	5.2	5.75	$2.2 + (N-2)$	$1.29 + (N-1)1.115$
0.6	1.4	1.63	2.4	2.87	3.4	4.12	4.4	5.36	5.4	6.61	$2.4 + (N-2)$	$1.63 + (N-1)1.245$
0.7	1.6	1.96	2.6	3.31	3.6	4.67	4.6	6.02	5.6	7.38	$2.6 + (N-2)$	$1.96 + (N-1)1.355$
0.8	1.8	2.26	2.8	3.71	3.8	5.15	4.8	6.60	5.8	8.04	$2.8 + (N-2)$	$2.26 + (N-1)1.455$
0.9	2.0	2.53	3.0	4.04	4.0	5.56	5.0	7.07	6.0	8.59	$3.0 + (N-2)$	$2.53 + (N-1)1.515$
1.0	2.2	2.74	3.2	4.30	4.2	5.87	5.2	7.43	6.2	9.00	$3.2 + (N-2)$	$2.74 + (N-1)1.565$
1.1	2.4	2.87	3.4	4.47	4.4	6.06	5.4	7.66	6.4	9.25	$3.4 + (N-2)$	$2.87 + (N-1)1.595$
1.2	2.6	2.92	3.6	4.53	4.6	6.13	5.6	7.74	6.6	9.34	$3.6 + (N-2)$	$2.92 + (N-1)1.605$

$N = \#$  de despulpadoras.

$V =$  Volumen total requerido.

$L =$  Longitud de la tolva.

Las dimensiones de la tolva se pueden determinar con base en el volumen total requerido, calculando el correspondiente a cada una de las dos secciones (tronco de pirámide y paralelepípedo) en forma independiente. **FIG. 2 2a**

El volumen del tronco de pirámide,  $V_v$ , se calcula por medio de la ecuación:

$$V_v = 1/3 h [B_M + B_m + \sqrt{B_M * B_m}]$$

en donde la base mayor,  $B_M$ , es la parte de cargue de la tolva, la base menor,  $B_m$ , es el área de la sección del ducto de descarga, y  $H$  corresponde a la altura

$B_m = L^2$        $L = (3 V_p)^{1/3}$        $h = \frac{L}{2} - 0.1$

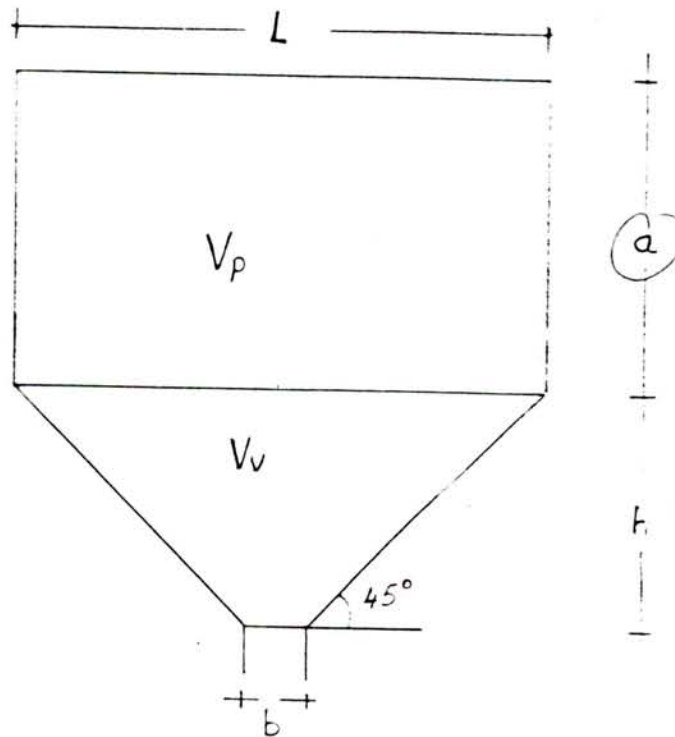


FIGURA 2.2A TOLVA DE RECIBO

En la determinación del volumen de la tolva se puede tomar la información de las Tablas o efectuar los cálculos respectivos por medio de las fórmulas que se incluyan.

Para el cálculo de la tolva se debe tener presente las siguientes consideraciones:

- La inclinación de las paredes del tronco de pirámide tienen una pendiente del 100% ( $45^\circ$ ) respecto a la horizontal (piso).
- El área de la base menor corresponde a la del tubo de descarga del café a la despulpadora, se toma un valor de  $0.04 \text{ m}^2$ .
- El volumen del tronco de pirámide es igual a  $2/3$  del volumen del paralelepípedo.
- El volumen máximo de la tolva debe ser el 70% del volumen correspondiente al café en cereza recibido en una o en cada una de las dos tandas, dependiendo del sistema de recibo establecido en la finca.

TABLA 2.2 Dimensiones para tolvas de 1.4 m de altura

	N = 1		N = 2		N = 3		N = 4		N = 5		N	
x	a	V	L	V	L	V	L	V	L	V	L	V
0.4	1.0	1.16	2.0	2.33	3.0	3.49	4.0	4.66	5.0	5.82	2.0 + (N-2)	1.16 + (N-1)
0.5	1.2	1.58	2.2	2.93	3.2	4.29	4.2	5.64	5.2	7.00	2.2 + (N-2)	1.58 + (N-1)
0.6	1.4	2.02	2.4	3.59	3.4	5.07	4.4	6.59	5.4	8.12	2.4 + (N-2)	2.02 + (N-1)
0.7	1.6	2.46	2.6	4.13	3.6	5.31	4.6	6.98	5.6	8.66	2.6 + (N-2)	2.46 + (N-1)
0.8	1.8	2.91	2.8	4.17	3.8	6.52	4.8	8.32	5.8	10.13	2.8 + (N-2)	2.91 + (N-1)
0.9	2.0	3.33	3.0	5.24	4.0	7.16	5.0	9.07	6.0	10.99	3.0 + (N-2)	3.33 + (N-1)
1.0	2.2	3.70	3.2	5.71	4.2	7.71	5.2	9.72	6.2	11.72	3.2 + (N-2)	3.70 + (N-1)
1.1	2.4	4.03	3.4	6.10	4.4	8.18	5.4	10.25	6.4	12.30	3.4 + (N-2)	4.03 + (N-1)
1.2	2.6	4.28	3.6	6.40	4.6	8.53	5.6	10.65	6.6	12.78	3.6 + (N-2)	4.20 + (N-1)
1.3	2.8	4.44	3.8	6.59	4.8	8.75	5.8	10.90	6.8	13.06	3.8 + (N-2)	4.44 + (N-1)
1.4	3.0	4.49	4.0	6.66	5.0	8.82	6.0	10.99	7.0	13.15	4.0 + (N-2)	4.49 + (N-1)

Para el volumen del paralelepípedo,  $V_p$ , la ecuación es:

$$V_p = B_M \cdot a \quad \left( a = \frac{V_f}{L^2} \right)$$

en donde  $a$  corresponde a la altura del paralelepípedo.

Es recomendable colocar en la parte superior de la tolva una malla metálica que retenga materiales tales como cucharas, palos, cabuya, etc., que pueden perjudicar el funcionamiento de las despulpadoras.

La tolva tendrá en su parte inferior un ducto por el cual se descargan las cerezas a la despulpadora en forma regular y controlada, este ducto puede ser de sección circular (tubo) con un diámetro de 15.24 cm (6"), o de sección cuadrada, con 20 cm de lado. De igual forma el ducto tendrá una compuerta (guillotina) que permita controlar o suspender el flujo de granos en el momento que se requiera y su extremo inferior debe quedar a unos 5 cm del borde superior de la tolva de la despulpadora (Figura 2.2).

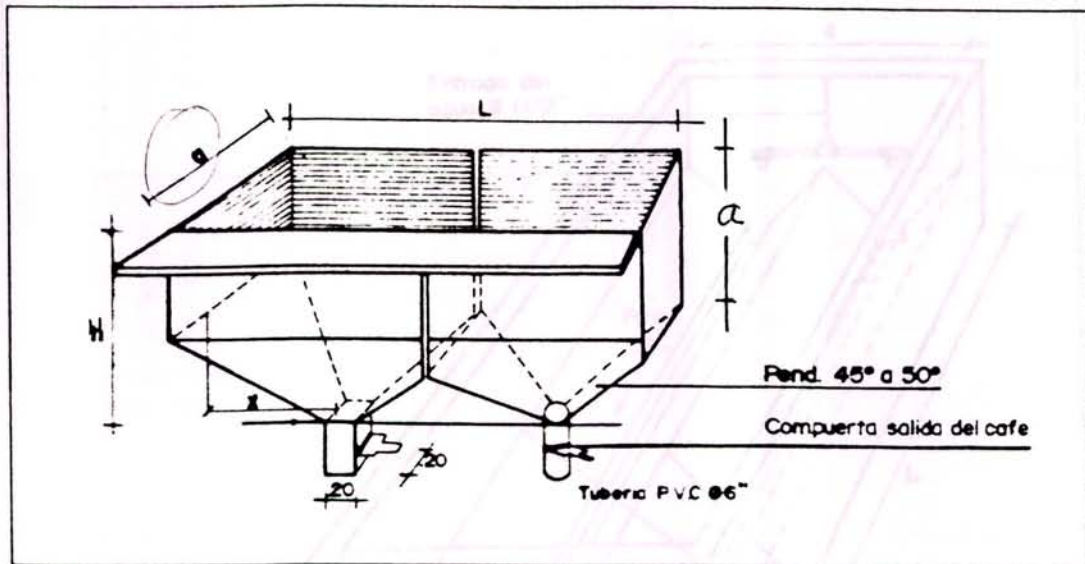


FIGURA 2.2 Tolva Seca para Café en Cereza

### 2.3 TOLVA HUMEDA

Se denomina tolva húmeda (Fig 2.3) a un tanque en el cual se reciben las cerezas, de donde son transportadas hacia las despulpadoras o al tanque sifón por medio de una corriente de agua, la cual actúa erosionando la masa. La forma de la tolva generalmente es rectangular. El piso está formado por canales (que facilitan el transporte del café y permiten bajos consumos de agua), originados al construir en su fondo caballetes con bases de 0,50 m y ángulos de  $45^\circ$ , separados 0,1 a 0,2 m y con una pendiente hacia las salidas de 4 a 5%. Las dimensiones y el número de canales de la tolva, dependen del volumen total de recibo que satisfaga las necesidades de la finca, esto es, del número de "entregas" (uno o dos) por parte de los cosecheros y de la cantidad de café cereza recolectada en el día. Cada canal, en su parte inicial, debe contar con una alimentación de agua en tubería de 2.54 cm (1") de diámetro, con el fin de permitir un flujo continuo y controlado del café.

Cada canal tiene una salida al <sup>canal</sup> general de transporte de las cerezas hasta el tanque sifón o a las despulpadoras, localizado externamente a la tolva y debe tener trampas para objetos duros (trampa para piedras) Figura 2.4. Los canales deben disponer de compuertas tipo guillotina, que permite suspender el flujo de granos en el momento requerido.

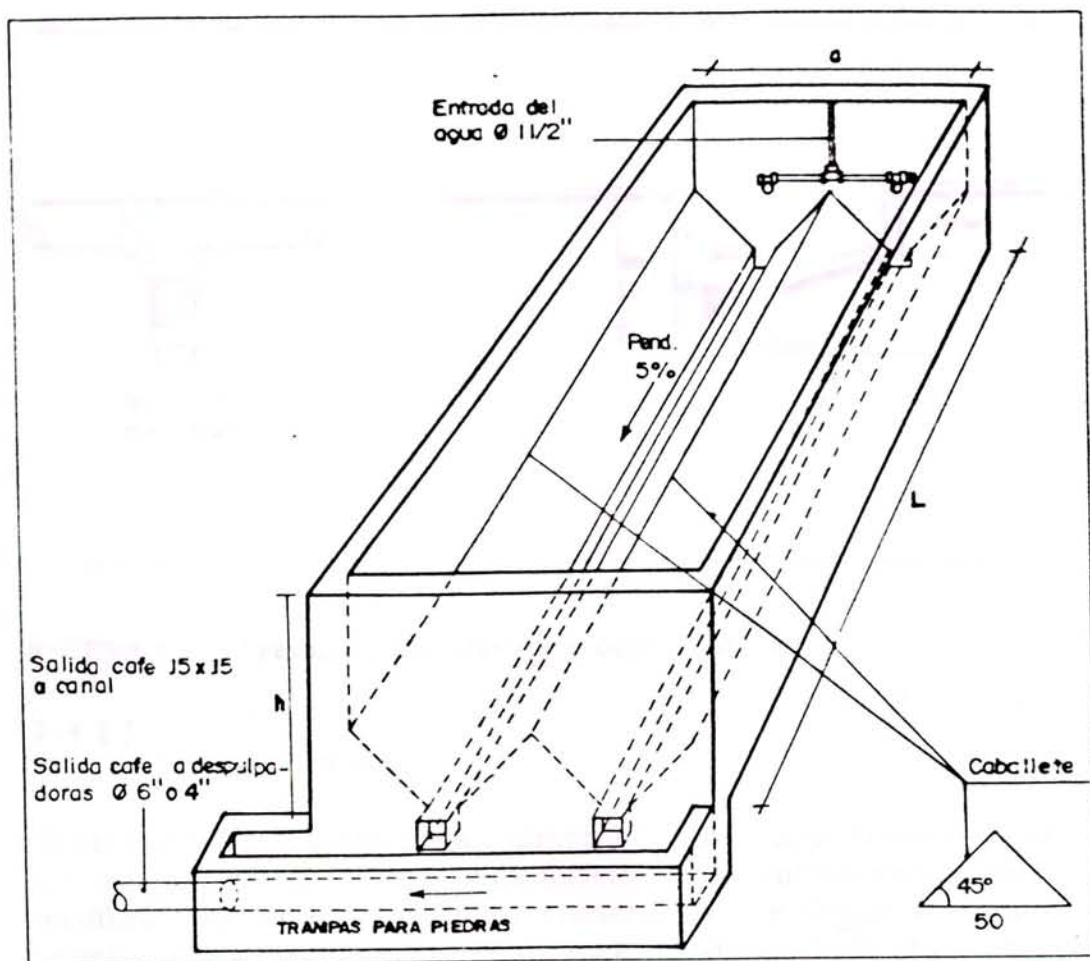


FIGURA 2.3 Tolva Húmeda

## 2.4. SISTEMAS PARA RETIRAR OBJETOS EXTRAÑOS DEL CAFÉ

### 2.4.1 En Cereza

#### 2.4.1.1 Trampas para Objetos Pesados

Son dispositivos sencillos que permiten, por sedimentación, retirar de la masa de cerezas y agua que se conduce a las despulpadoras, materiales pesados como piedras, clavos, etc. que frecuentemente llegan con el café al beneficiadero aumentando el riesgo de daños en las máquinas, especialmente en la camisa (rallo). En la Figura 2.4 se presentan algunos de los dispositivos normalmente utilizados.

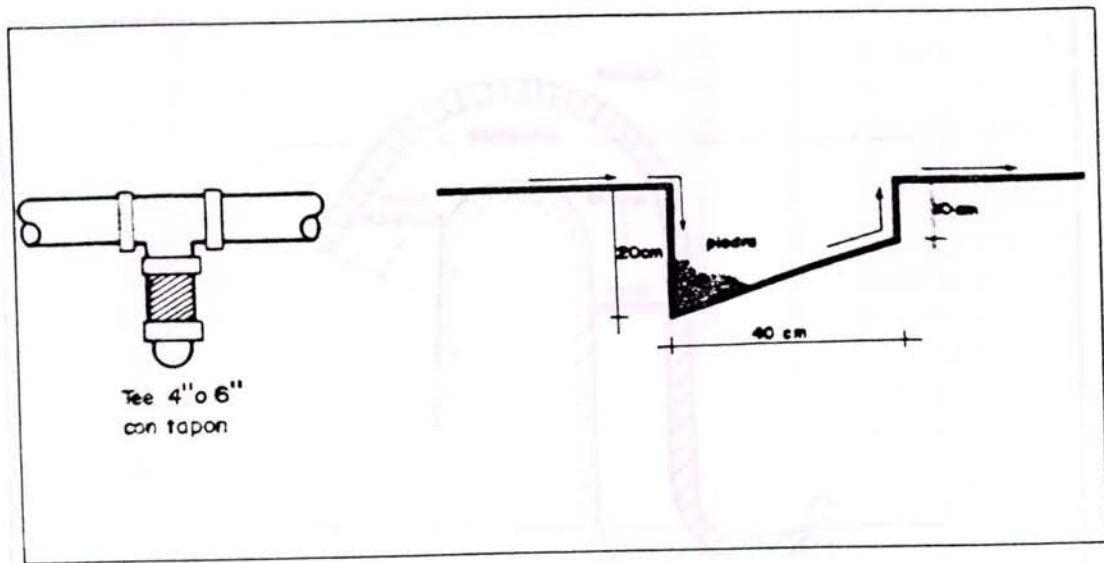


FIGURA 2.4 Trampa para piedras y objetos duros

#### 2.4.1.2

##### Tanque Sifón

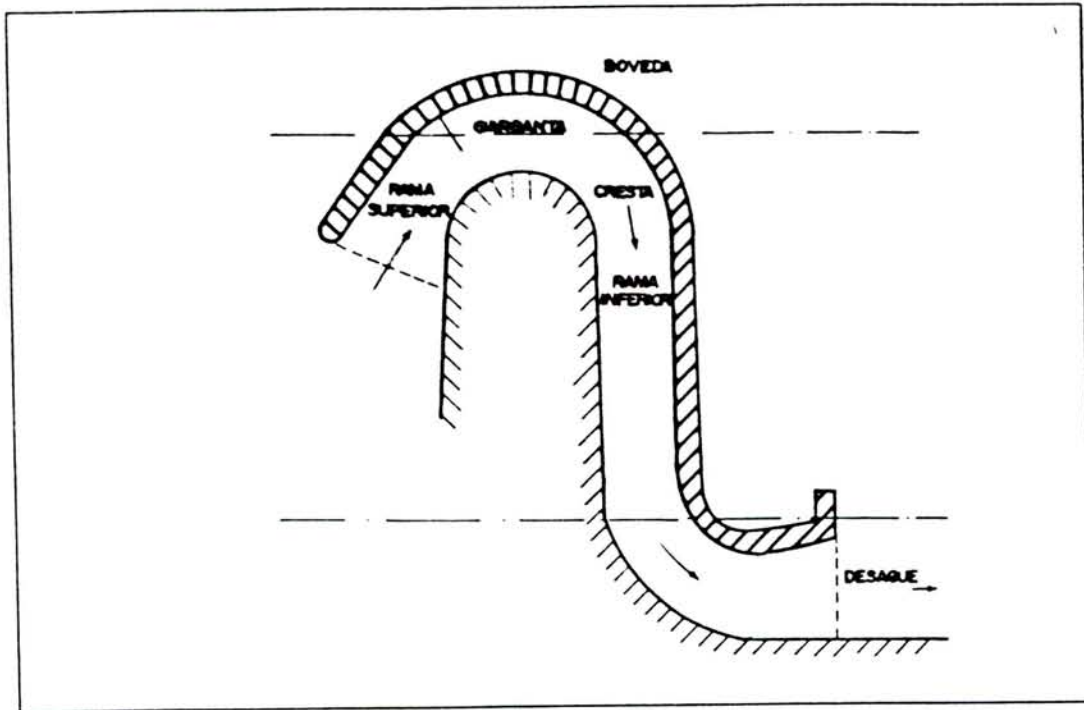
El tanque sifón cumple principalmente la función de separar rápida y eficazmente las cerezas con características diferentes (cerezas buenas, pasillas, vanos, etc.) y de otros materiales que llegan con ellas al beneficiadero (hojas, ramas, piedras, etc.), así como la de alimentar con cerezas las despulpadoras, en forma controlada. Esta separación se basa en la diferencia de densidades de las cerezas y distintos materiales y la del agua, esto es, los materiales con densidad superior a la de ella se sedimentan y aquellos con inferior, flotan, permitiendo su arrastre por una corriente de agua.

El sifón consiste esencialmente en un conducto de poca longitud que pasa por encima de la línea de nivel hidráulico (superficie del agua). La existencia de presiones inferiores a la atmosférica (succión) permite que las cerezas más densas (buenas) sean succionadas en conjunto con el agua para luego ser descargada a un nivel inferior.

#### 2.5.

El mecanismo de operación puede observarse en la Figura . Se requiere una subida gradual del nivel del agua en el tanque. El flujo comienza cuando el agua rebasa la cresta del sifón, en cuyo momento se verifica el flujo de la misma manera que en un vertedero. Una mayor altura del nivel conduce a un aumento de la velocidad de la masa y al arrastre de parte del aire almacenado en la bóveda. Como la salida está cerrada por el agua, no hay reposición de este aire desde la atmósfera.





**FIGURA 2.5** Esquema Funcionamiento del Sifón

La progresiva eliminación del aire y la caída de presión originada conduce a que finalmente el agua fluya a sección llena, momento en el que se dice que el sifón está cebado (2). El caudal en un sifón se puede determinar por medio de la fórmula siguiente.

$$Q = A_t V$$

donde:

Q : caudal, m<sup>3</sup>/s;  
 A<sub>t</sub> : área del sifón, m<sup>2</sup>; y

01 FEB 1999

- V : velocidad a la salida del sifón ( $2gh$ ), m/s  
 g : aceleración de la gravedad,  $9.8 \text{ m/s}^2$   
 h : diferencia entre el nivel agua y la salida del sifón, m.

El tanque sifón está constituido de un tanque cuyo fondo puede tener una de las formas que se muestran en la Figura 2-6, con pendiente de  $45^\circ$  (100%) en sus superficies inclinadas; la salida del café se efectúa por tubería de 7,62 ó de 10,16 cm (3" ó 4"), que puede estar en el centro del tanque o contra uno de sus lados; la diferencia de altura entre el nivel del agua y la salida del tubo en la tolva de la despulpadora debe ser 0,70 m; el nivel del agua se controla por medio de tablillas de 0,05 m de alto, colocadas en la salida para el material flotante (5). Este material es conducido al tanque para pasillas o a la repasadora, según el diseño del beneficiadero. La separación entre la parte inferior del tubo del sifón al fondo del tanque debe ser de 0,20 m y la distancia horizontal mínima entre el tubo y las paredes del tanque debe ser de 0,15 m. Es conveniente colocar en el fondo una rejilla de  $0,20 \times 0,20$  m encima del desagüe para retirar los materiales y el agua que allí quedan al finalizar la operación. El tubo del sifón en su trayecto horizontal debe quedar sumergido por lo menos 0,05 m.

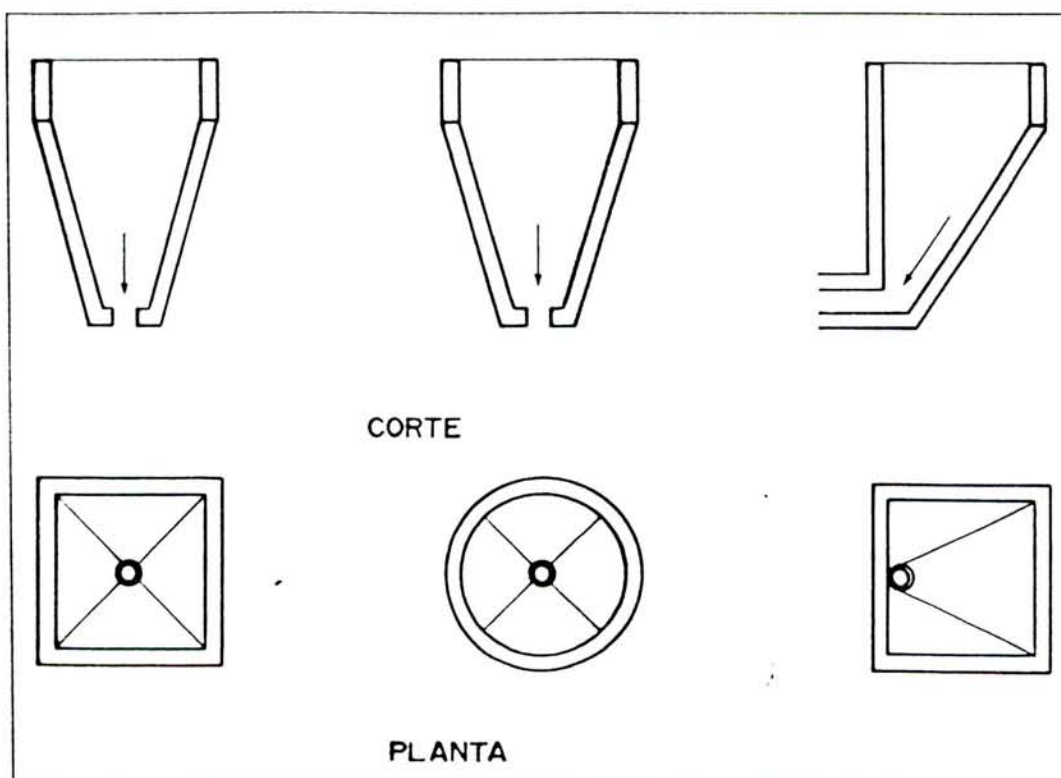


FIGURA 2.6 Tipos de Fondos en Tanques Sifón. Corte y Planta.

Se recomienda instalar un tubo sifón por cada dos despulpadoras. Las cerezas se distribuyen a cada una de las máquinas por medio de una Tee en PVC del mismo diámetro del tubo sifón. Si se dispone de un solo tubo sifón, la distribución de los granos a las despulpadoras se puede efectuar por medio de Tees, localizando sus descargas en forma horizontal. Otra forma de distribuir el café es por medio de un tanque de sección cuadrada, de dimensiones variables y de 0.40 m de profundidad, al cual se descarga el café proveniente del sifón. De aquel, y por medio de tubos de 7,62 cm (3") se conduce la cereza a las despulpadoras, pudiéndose contar con un tubo para cada despulpadora.

En las Figuras 2-7 y 2-8 se presentan una vista en planta y un corte de un tanque sifón. En la construcción de un tanque sifón se debe tener presente aspectos tales como:

- No debe ser diseñado para el recibo de café;
- Su capacidad no debe ser mayor a un (1) metro cúbico y su sección no mayor a un (1) metro cuadrado.
- Para su operación se requieren de 1 a 1,5 litros por kilogramo de café cereza.

Para garantizar un menor consumo de agua, una buena separación y una mínima supervisión, además de mantener las alturas citadas, es necesario asegurar que el tubo sifón se encuentre completamente lleno

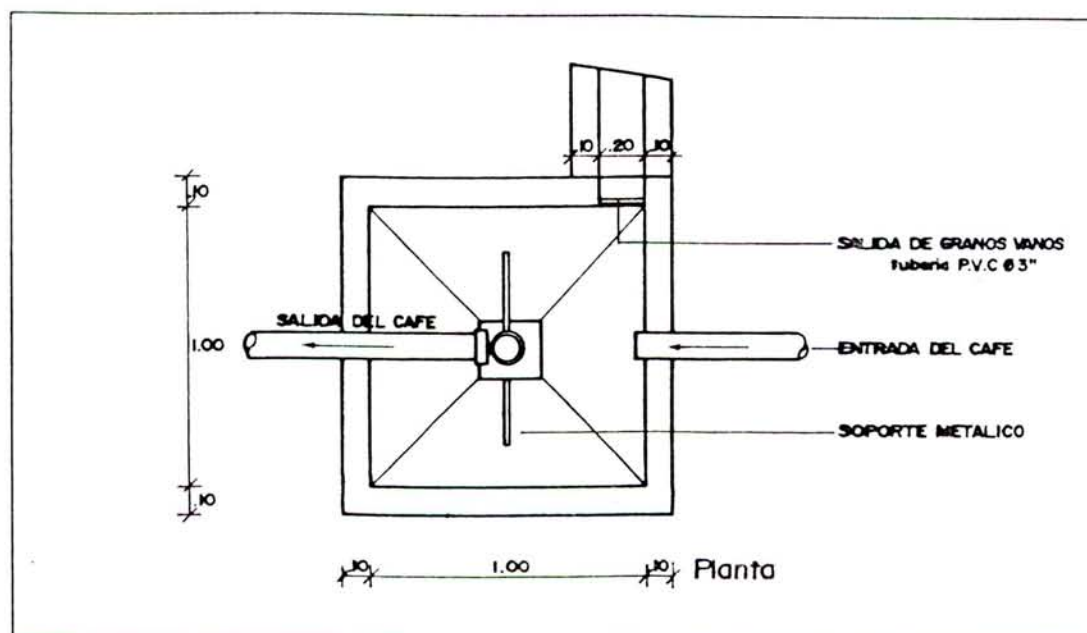


FIGURA 2.7 Vista en Planta de un Tanque Sifón.

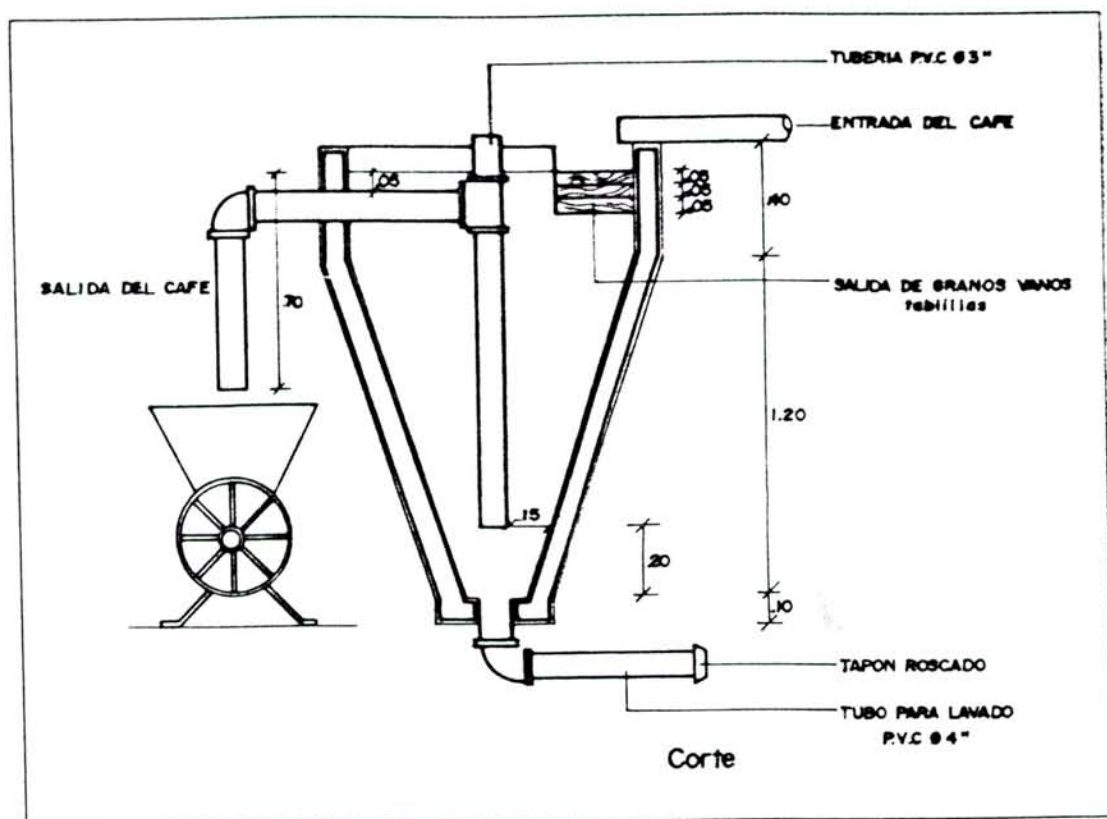


FIGURA 2.8 Corte transversal de un Tanque Sifón.

de cerezas buenas. para presentar la máxima resistencia, o presión estática, al paso del agua, esto es, antes de iniciar el funcionamiento de las despulpadoras, poner en operación el sifón hasta lograr lo anterior. Adicionalmente, instalando dos boquillas de agua (tubo aplastado en su extremo) en dos esquinas opuestas, una de ellas en frente de la salida de los materiales flotantes, se crean corrientes en la superficie de la lámina de agua y de café, por medio de las cuales se propicia la salida de dichos materiales, sin ayuda manual de un operario (5).

#### 2.4.2

##### En baba

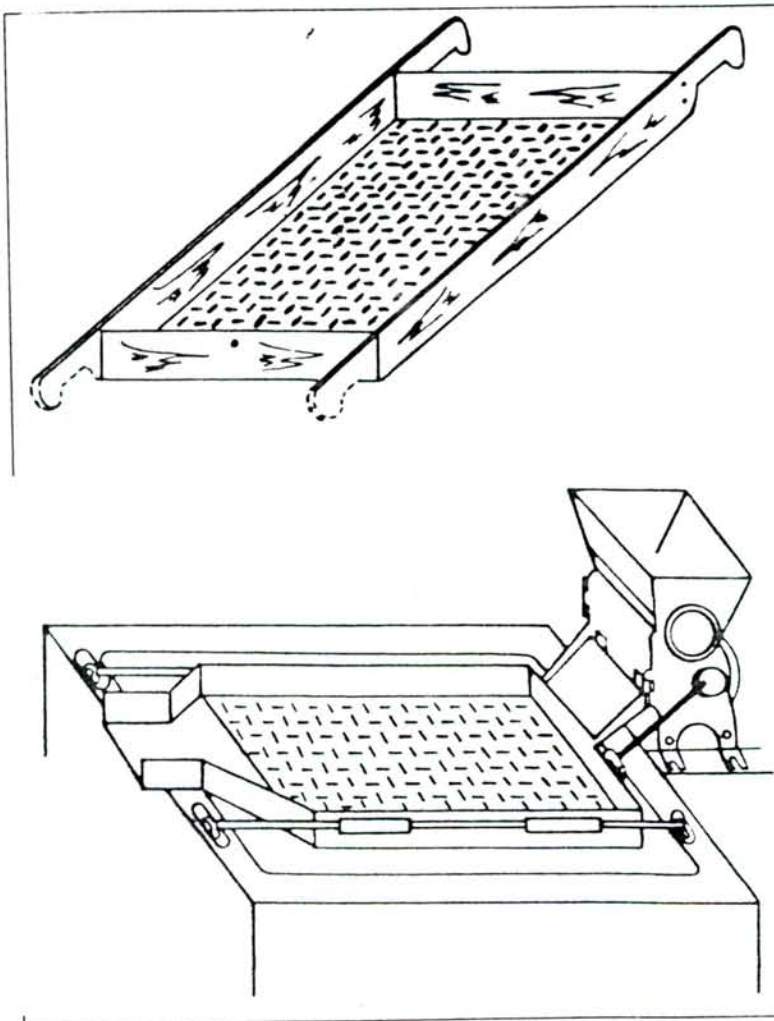
Es difícil que las cerezas sean en su totalidad bien despulpadas ya que la masa de café presenta diferencias en su tamaño, grado de madurez, etc., se hace necesario el uso de dispositivos para separar el café en "baba" bien despulpado de las cerezas mal o no despulpadas (pasillas, flotes, etc.), entre los cuales se encuentran las zarandas.

Las zarandas se utilizan para separar y/o clasificar el café de objetos extraños y diferentes tipos de café, por tamaño, consiguiéndose uniformidad y limpieza de la masa de café. Este método de separación, también llamado tamizado, se basa en las variaciones que presentan las propiedades físicas del grano, tales como longitud, ancho y espesor, que lo diferencian del material indeseable.

Cuando se utilizó zaranda plana después del despulpado se logró retener más de un 55% de la pasilla que contiene la cereza, reduciendo en un 29 % el consumo específico de agua en las etapas posteriores, no requiriéndose de otros dispositivos específicos para la clasificación del café. Cuando se emplean esta zaranda en combinación con canal de correteo, se aumenta en un 17% la capacidad de éste (3).

## 2.4.2.1.

## Planas



Las zarandas planas Figura 2.9a y 2.9b son muy empleadas en café; pueden ser manuales o estar acopladas a las despulpadoras. Cuando son manuales normalmente se construyen de 90 cm de largo, 45 cm de ancho y entre 8 y 10 cm de alto, Figura 2.9a. Cuando está acoplada a una despulpadora, su acción se da por movimientos vibratorios (vaivén) provenientes de la acción una excéntrica que

FIGURA 2.9 a Zaranda plana manual.  
2.9 b. zaranda plana acoplada

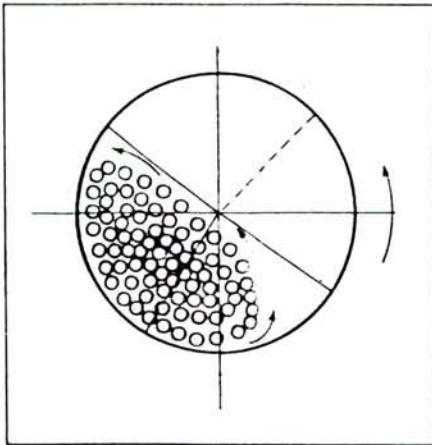
produce entre 300 a 400 carreras por minuto y un recorrido entre 4 y 5 cm. El ancho de los orificios más común está en el rango de 7 a 8 mm. Una inclinación en sentido longitudinal del 1%. Se estima un rendimiento para este tipo de zarandas de 300 a 600 kg de café despulpado/hora-metro<sup>2</sup>, Figura 2.9b (4).

2.4.2.2

#### Circulares

Son muy utilizadas para café; son normalmente accionadas desde un contraeje que les permite rotar entre 20 y 30 rpm; pueden ser de varillas paralelas con separación entre ellas de 7 a 9 mm, y de lámina troquelada con perforaciones oblongas de 7 a 8 mm de ancho.

La variación de la pendiente (2,3 y 4%) y de la velocidad de rotación (15,25 y 35 rpm) no son apreciables en cuanto a la eficacia de clasificación. También observaron que las velocidades de entre 15 y 25 rpm permiten una mejor clasificación. De igual forma determinaron que la zaranda clasifica solo en un cuarto de su área total y es mejor desempeño cuando el desplazamiento del café dentro de ella es en forma de cascada Fig 2.10. La recuperación de granos buenos en la zaranda presenta valores mayores al 98% , y la recuperación de pasillas, entre el 70 y el 91% (4).



**FIGURA 2.10** Desplazamiento del Café Tipo Cascada.

En ensayos realizados en CENICAFE, utilizando zaranda de lámina troquelada de 0.60 m, una longitud de 2.0 m y operando a 30 rpm, se observó que la capacidad de separación fue de 4,000 kg/h.

En fincas con producciones medianas y grandes son más utilizadas las zarandas de varillas ya que permiten una mayor eficacia de separación por la facilidad que ofrecen para que el grano exponga su espesor y dado que dispone de un mayor porcentaje de aberturas permite una mayor capacidad de separación; se construyen de 1.5 m de longitud y 0.4 m de diámetro. Figura 2.11 (página 25).

Las zarandas de varilla pueden funcionar con su parte inferior sumergida en agua lográndose una separación del grano por tamaño y por densidad en forma simultánea, normalmente va equipada de una hélice interior que facilita la retirada del material retenido por la

zaranda, la cual tiene una altura de 0.05 m y con un paso de 0.25 m.; su cárcavo se debe diseñar de tal forma que permita controlar el nivel del agua, por medio de un sifón graduable.

Tanto las zarandas de varillas como las de lámina troquelada pueden funcionar sin estar semisumergidas en agua. En este caso, el fondo del cárcavo debe tener pendiente del 8% en el mismo sentido del flujo del grano dentro de la zaranda e instalarse una tubería a lo largo de ésta con agujeros espaciados que la bañen continuamente.

Para determinar el ancho de los orificios de la zaranda en lámina o la separación de las varillas, tome una muestra de un kilogramo de café en cereza de cada uno de los lotes, preferiblemente en el "pico" de la cosecha, mezcle las muestras y retire de la masa un kilogramo, despúlpelo (a mano o en máquina), tome 100 GRANOS al azar y páselos por los orificios de la plantilla plástica anexa, procurando que pasen rozando los bordes sin necesidad de forzarlos. Sume el número de granos que pasa por las diferentes aberturas, en la abertura por la cual halla pasado un 80-90% de los granos indica la dimensión requerida, con la cual se solicita la construcción de la zaranda, información que se debe complementar con la longitud y diámetro de la misma, tomando como base la Tabla 2.3

## 2.3

En la tabla se presentan las dimensiones recomendadas por el Comité de Cafeteros de Antioquia para las zarandas circulares de varillas (8).

## 2.3

**TABLA Dimensiones para Zarandas Circulares de Varillas Recomendadas por el Comité de Cafeteros de Antioquia. \***

Despulpadora		Zaranda	
Identificación	Cantidad	Diámetro (cm)	Longitud (cm)
2	1	30	50
3	1	35	50
4	1	40	70
3 ó 4	2	40	80
3 ó 4	3	45	120
3 ó 4	4	45	150

2.5

**BIBLIOGRAFIA**

1. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA.  
Tecnología del cultivo del café. Fundación Manual  
Mejía. Chinchiná. Caldas 1.988
2. MARQUEZ G., S. Evaluación y optimización de la operación del  
tanque sifón para el clasificado del café cereza.  
Medellín(Colombia), Universidad Nacional de  
Colombia.1987.117p (Tesis graduación).
3. TORRES A., Sandra E. Clasificación del café pergamino en canal  
de correteo y en máquina aire-zaranda. Bogotá. Colombia  
Universidad Nacional de Colombia, 1990.103p.
4. VELEZ R.,L; OSPINA. A.,J. Evaluación de una zaranda cilíndrica  
rotatoria de varillas utilizada en la clasificación del café en  
baba. Medellín (Colombia), Universidad Nacional de Colom  
bia, 1990. 34p.(Proyecto Tesis Graduación).
5. WEBBER, N.B. Mecánica de fluidos para ingenieros. Bilbao,  
Ediciones Urma, 1969. 370 p.

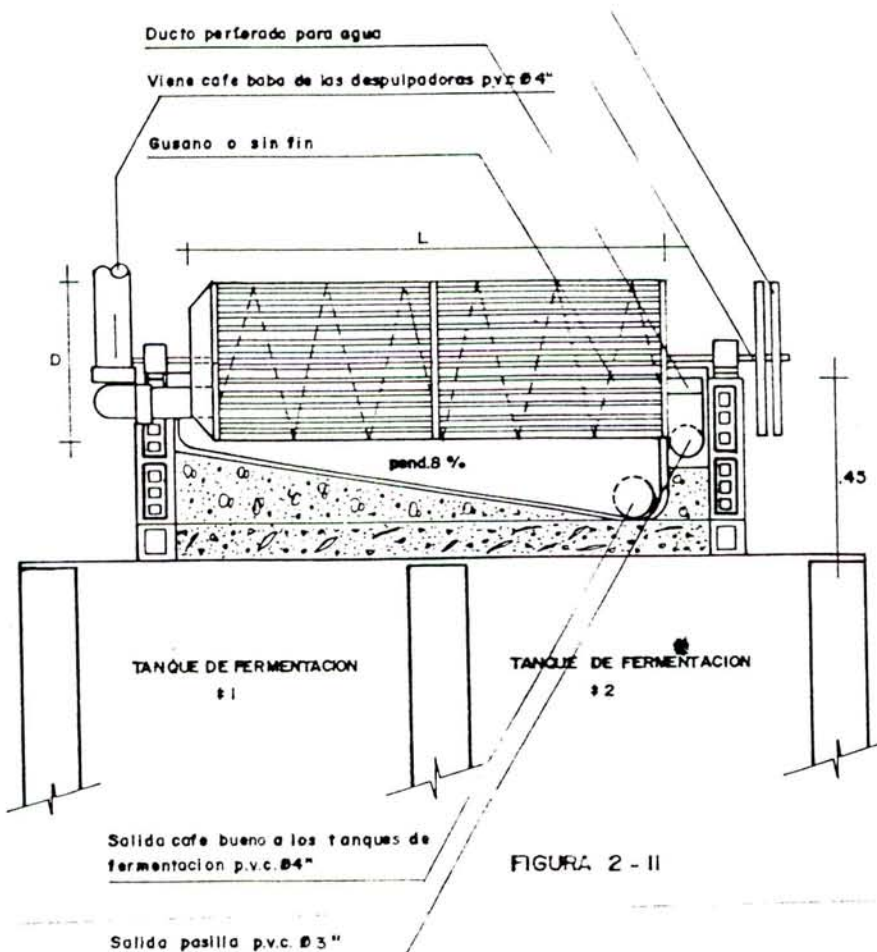


FIGURA 2 - II



### 3. DESPULPADO\*

El despulpado permite realizar la primera transformación física del café en su proceso de conversión de cereza a pergamino, quitándole el epicarpio ( pulpa ) con el propósito de obtener granos cuyo endocarpio (pergamino) esta rodeado por una serie de capas celulares denominado mucílago.

El exocarpio o epicarpio o pulpa está constituido por una capa única de células poligonales, provistas de pequeños estomas, el colorante rojo de la pulpa es una antocianina. La pulpa descompuesta es utilizada como fuente de materia orgánica, abono para los cafetales establecidos y desarrollo de almácigos.

El mesocarpio o mucílago que está adherido al pergamino, la forman tejidos hialinos y jugosos ricos en azucares y pectinas.

El endocarpio o pergamino es de naturaleza celulósica, es atacado por microorganismos en tiempos largos de fermentación, sirve como combustible y como preparado para compost.(6).

El café cereza a despulpar es cosechado en distintos estados de madurez, cuyas características principales (1) se observan en la tabla 3.1

**TABLA 3.1. Caracterización de los diferentes estados de madurez del café cereza variedad Caturra.**

Estado de Madurez	color exocarpio	rango color	peso promedio l cereza	CONTENIDO DE humedad %
ROJO	Rojo definido	rojo a uva	1.77	67.4
AMARILLO	Amarillo		1.73	66.7
PINTON	Mezclas de amarillo y rojo con ver	amarillo verdoso rojo-verde	1.60	68.4
SOBREMADURO	Vino tinto sin brillo	vino tinto café oscuro	1.70	63.6
VERDE	Verde		1.06	67.4
PASILLA	Café oscuro	de café a negro	0.90	46.8

Awatramani citado por Valencia (5) revela que en los dos últimos meses de maduración del fruto se presenta un aumento de peso de 40% de su peso final, situación reflejada en la tabla cuando se relacionan los pesos del café verde y pasilla con referencia a los pesos de café cereza maduros y pintones.

La pulpa o epicarpio o exocarpio se separa de los granos por la acción de esfuerzos combinados, de presión y de cizallamiento, sobre la cereza. Para conocer los parámetros básicos sobre el despulpado de un grano de café cereza bajo el efecto de presión y/o cizallamiento es necesario conocer el ángulo de ataque requerido de acuerdo a la posición del grano de cereza la fuerza necesaria para que se efectúe el despulpado y la profundidad del canal en el pechero.

En un estudio realizado por Penagos y Hoyos (4) para medir la acción cizallante (Figura 3.1) sobre un grano de café para ser despulpado, encontraron un ángulo promedio de ataque de 45 grados y la fuerza normal ( $F_n$ ) necesaria para obtener un grano despulpado de 1392 gramos, ésta fuerza tiende a decrecer con el ángulo para alturas de canal de pecheros pequeños, pero si las alturas de los canales son grandes (8.4mm), esta fuerza tiende a crecer con el ángulo, para los

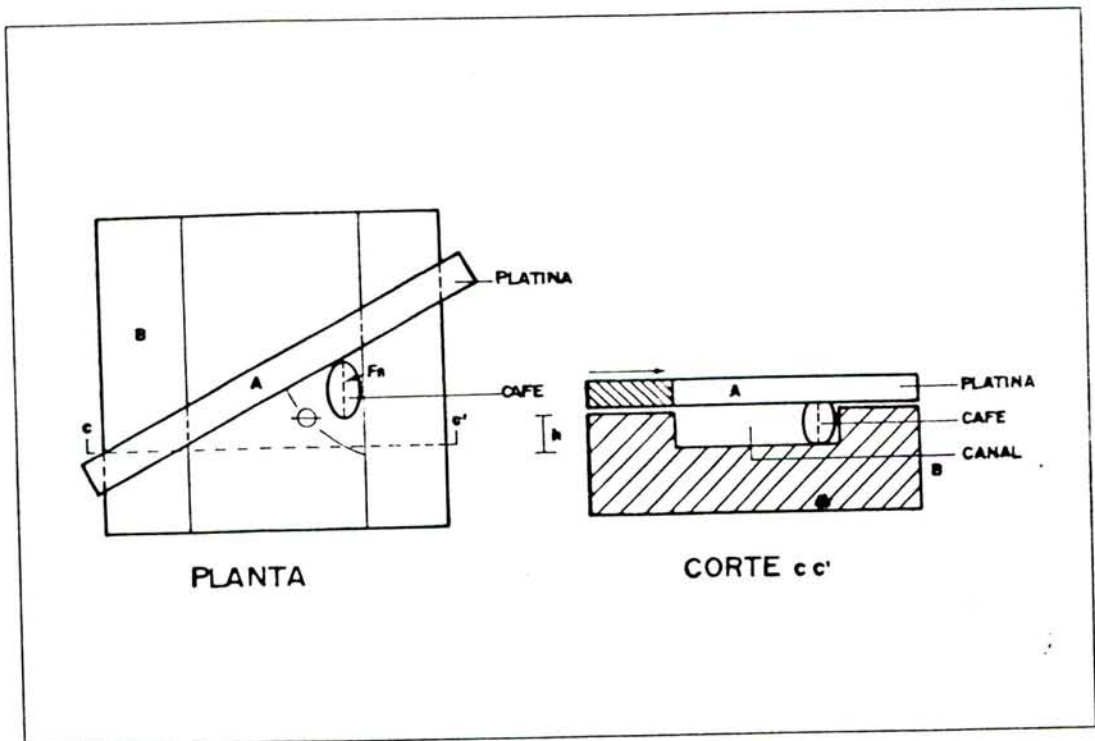


FIGURA 3.1 Despulpado por cizallamiento

ángulos menores y a decrecer para los ángulos mayores.

Los mismos autores encontraron que para despulpar un grano de café por acción de presión (Figura 3.2) requiere un ángulo de ataque entre 10 y 15 grados y que la fuerza requerida para efectuarlo es 5500 gr, observándose una relación ascendente entre la fuerza normal y el ángulo.

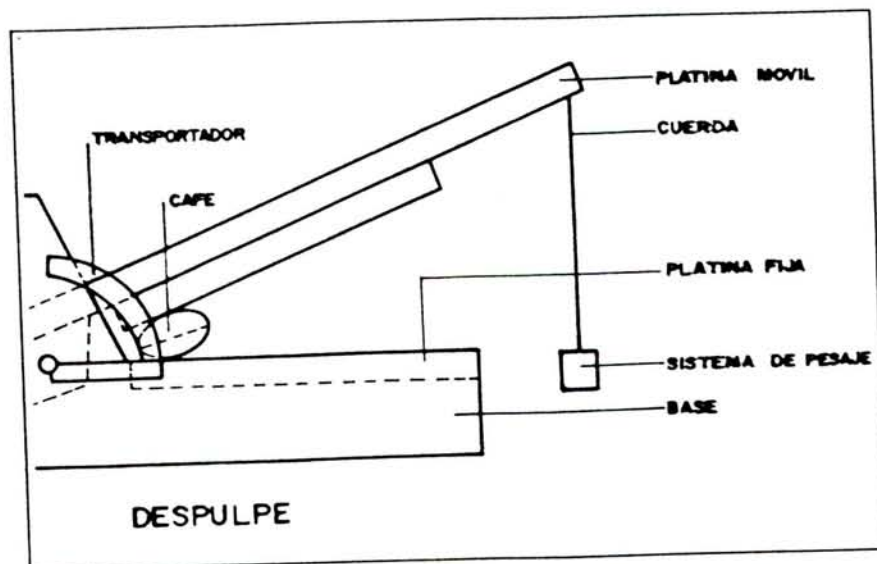


FIGURA 3.2 Despulpe por presión.

En un trabajo conjunto entre Cenicafé y el Instituto Colombiano de normas técnicas ICONTEC desarrollaron la norma técnica 2090 C2.71/81 que establece los requisitos que deben cumplir las despulpadoras de cilindro horizontal en cuanto a los materiales para su construcción (fundición gris y acero al carbono) y las precauciones que se deben seguir en la construcción misma, así como los requisitos de capacidad de despulpeado, consumo de agua y de potencia y el análisis de la calidad de despulpeado para sus condiciones de operación (3). En el apéndice B se encuentran transcritas las normas.

Duque (2) estudió ensayó y analizó materiales de fibra de vidrio y caucho vulcanizado, que por su misma estructura y características pueden ser útiles para el diseño de una máquina despulpadora de café (Figura 3.3).

El caucho vulcanizado se comportó bien como elemento giratorio en la resistencia al desgaste y en la calidad del grano despulpado principalmente en las variables grano mordido, grano sin despulpar

y café en la pulpa: recomienda el uso de material gris para la construcción de pecheros. En la tabla 3.2 se comparan las propiedades mecánicas de la fibra de vidrio y el caucho vulcanizado.

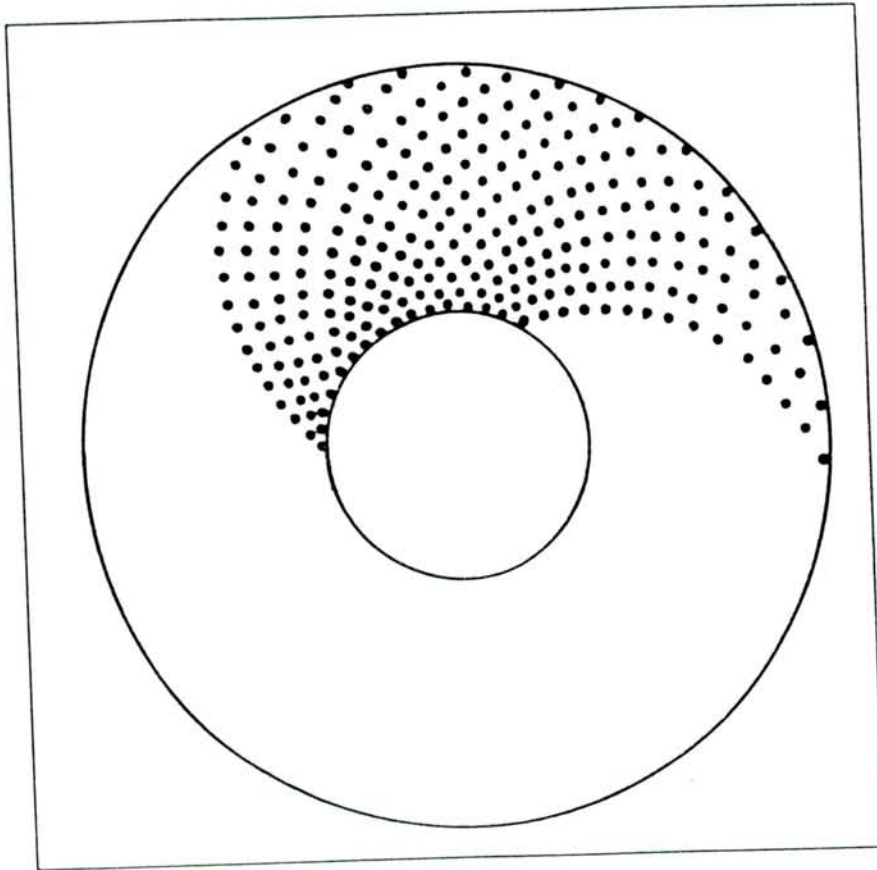


FIGURA 3.3 Disco despulpador. de caucho vulcanizado

TABLA 3.2. Comparación de propiedades mecánicas de la fibra de vidrio y el caucho vulcanizado.

	PRUEBA CON FIBRA			PRUEBA CON CAUCHO		
	ANTES	DESPUES	INCREMENTO	ANTES	DESPUES	INCREMENTO
DUREZA [%]	77.46	79.86	3 %	33.70	36.20	2.5%
ESFUERZO DE TENSION [kg/cm <sup>2</sup> ]	570.00	231.00	59.4 %	52.70	SIN	0.0
RESISTENCIA AL DESGASTE (PERDIDA DE PESO)	0.32	0.15	53.0	0.075	0.035	52.0

El mismo autor halló en su diseño de un disco en caucho vulcanizado, que los botones de las camisas sean debidamente calculados, tanto la forma como la altura; si son bajos hacen que muchas cerezas pasen sin despulpar, si son altos, muerden los granos. Tampoco deben estar demasiado próximos unos a otros, ello provoca el desmenuzamiento de la pulpa, siendo difíciles de separar de los granos.

En la tabla 3.3, se presentan las características encontradas en CENICAFE de los botones de las camisas de los modelos de despulpadoras más corrientemente utilizadas en el beneficio (1) y sus diferencias.

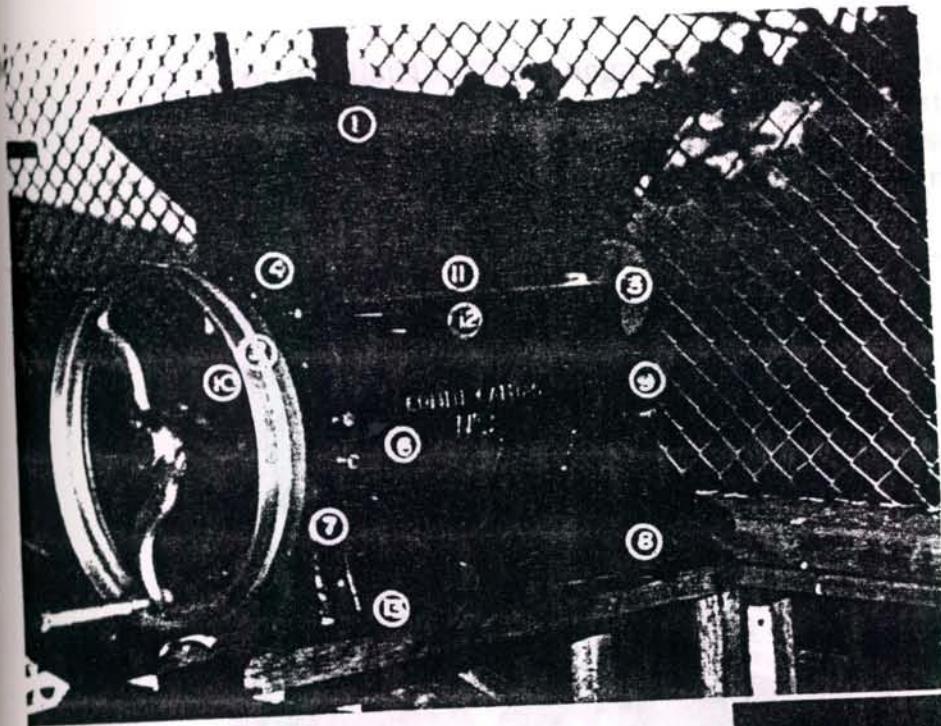
**TABLA 3.3. Dimensiones de los botones de las camisas.**

Marca	ancho	largo	altura	espacio entre botones	No. de bot. por $25\text{cm}^2$
	mm	mm	mm	mm	—
Comitecafe	7.0	4.6	1.8	5.5	29
Cordillera	9.0	5.0	1.5	3.5	32
Fimar	9.0	5.5	2.2	4.0	28
Penagos	8.5	4.4	2.2	2.7	33

### 3.1 TIPOS DE DESPULPADORAS.

Las despulpadoras de cilindros horizontal y vertical (FIGURA 3.4) consisten en un cilindro giratorio recubierto con una lámina de cobre y de acero inoxidable y un pechero fijo ajustable, con canales cuya sección va disminuyendo de arriba a bajo y terminan en ventanillas que permiten la salida del café despulpado (6).

Las despulpadoras de disco (FIGURA 3.5) consisten en uno o varios discos, en general de 18 pulgadas de diámetro, colocadas en un eje horizontal, éstos discos son de fundición con botones en ambas caras y pueden estar recubiertos con planchas de cobre, caucho vulcanizado, que se sustituyen cuando su desgaste es grande. Las cuchillas de despulpado se colocan lateralmente y son regulables. La cereza pasa



1. Tolva
2. Volante
3. Engranaje del eje alimentador
4. Eje alimentador
5. Cilindro
6. Pechero
7. Cureña
8. Escurridor
9. Cufias de graduacion
10. Camisa
11. Cuchilla de abastecimiento
12. Cuchilla de retencion
13. Tornillo de suspension

1. Tolva
2. Alimentador
3. Agitador
4. Cilindro
5. Camisa
6. Pechero
7. Codo de transmision
8. Piñon conico del eje vertical
9. Pinon conico del eje horizontal
10. Estrella de la base
11. Eje vertical
12. Eje horizontal
13. Volante
14. Bastidor
15. Sistema fusible
16. Babero

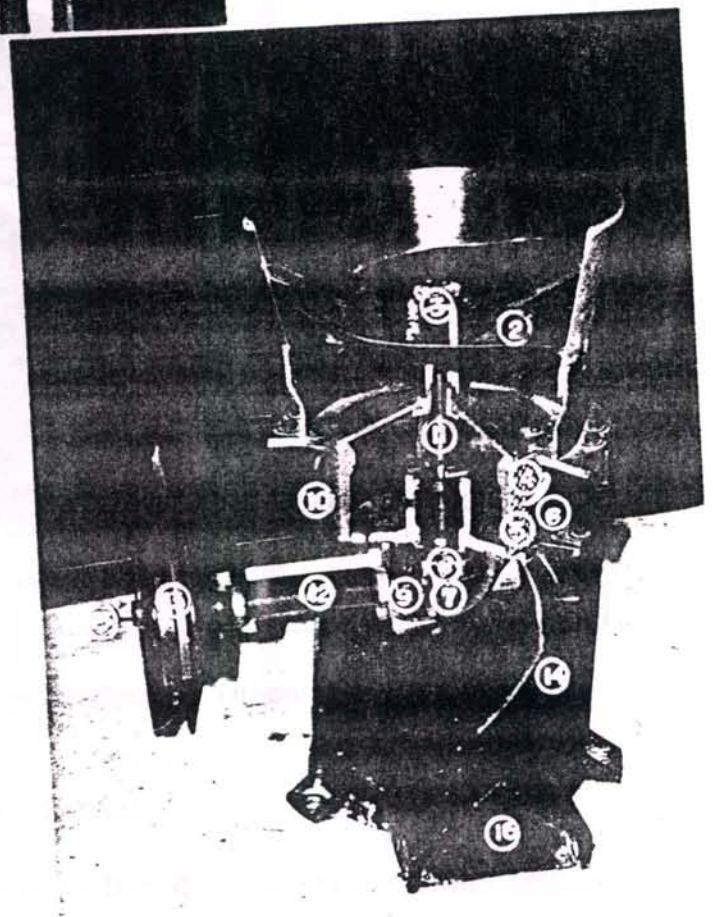
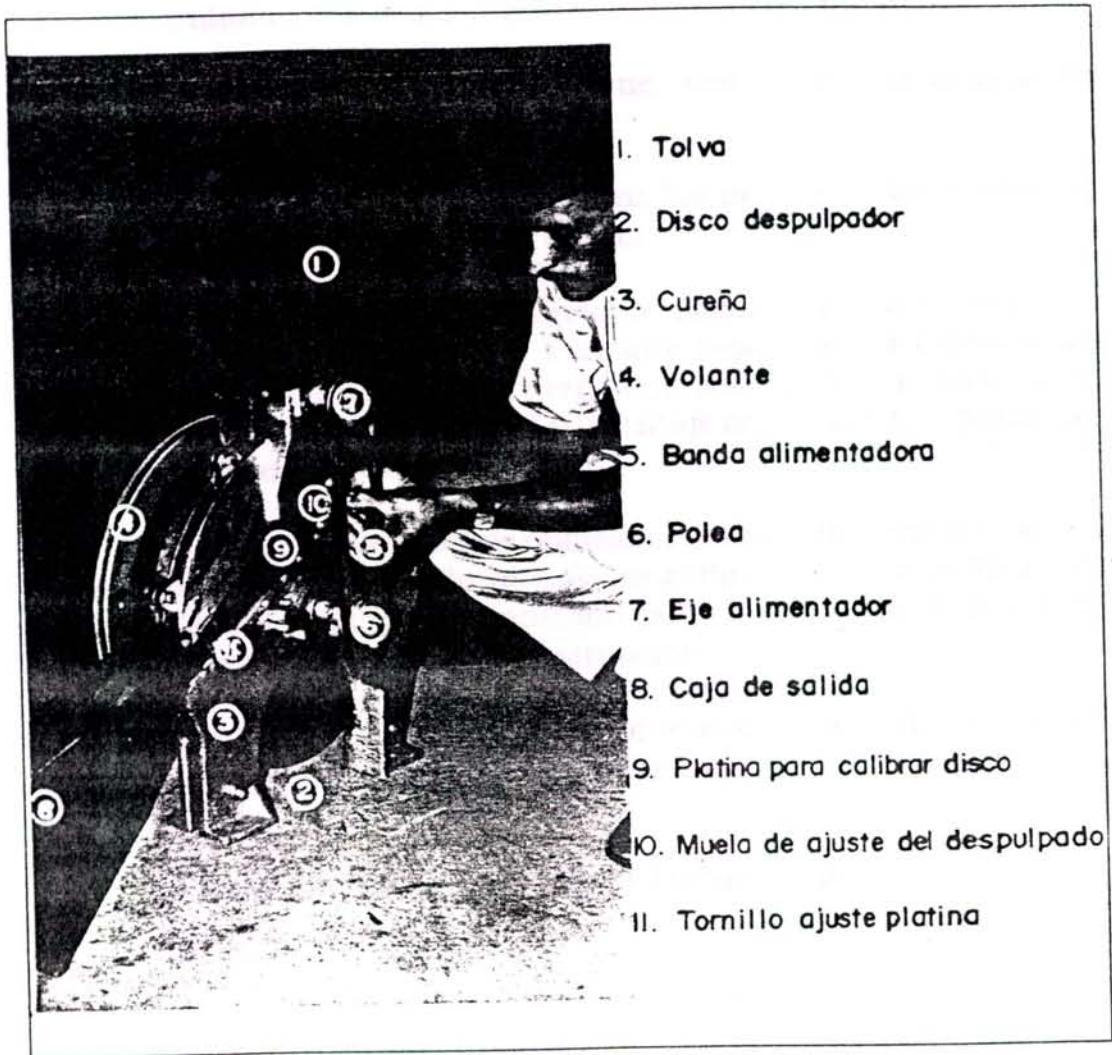


FIGURA 3.4 Partes Despulpadora. a)Cilindro horiz.b)cilindro vert.

por un distribuidor y llega al disco cuyos botones la arrastran y las desgarran por roce con las barras y en este estado son llevadas hacia la cuchilla fija, colocada bastante cerca del disco para impedir el paso del grano, pero lo bastante separada para permitir el de las pulpas



**FIGURA 3.5 Partes de una Despulpadora de Discos.**

arrastradas por los botones del disco.(6).

Para efectuar un buen despulpado hay que observar ciertas reglas generales:

- 1.-Las cuchillas en la de disco y las camisas en las de cilindro horizontal y vertical deben sustituirse antes de que su desgaste

comprometa la calidad del despulpado.

- 2.-La regulación de las barras y pecheros, de los canales de despulpado y de la cuchilla ha de ser perfecta y debe comprobarse frecuentemente.
- 3.-La despulpadora debe girar a la velocidad conveniente
- 4.-La alimentación debe ser uniforme, una afluencia brusca de cerezas provoca obstrucciones.
- 5.-Las cerezas deben ser maduras, ni las negras ni las verdes se despulpan bien y mas bien se dañan.
- 6.-Las barras en la de disco y el fondo del canal de los pecheros en las otras se deben mantener lo bastante separados del discoo del cilindro para que no quiten el pergamino a los granos, ni los muerda y lo bastante cerca para que el porcentaje de cerezas que pasan sin despulpar sea pequeño.

En CENICAFE en varios ensayos realizados se halló que los rendimientos de las máquinas despulpadoras hay que estimarlos entre un 75 a 85% por debajo del rendimiento indicado por el fabricante. Wilbaux (6) reporta en años anteriores igual situación.

La norma ICONTEC 2090 establece que el café despulpado deberá cumplir con los porcentajes (en peso). indicados a continuación:

#### ANÁLISIS DE CALIDAD DEL DESPULPADO.

---

Pulpa en el café despulpado	< 2%
Granos sin despulpar	< 1%
Granos mordidos	< 0.5%
Granos trillados	< 0.5%

---

Así mismo, establece la metodología y el procedimiento de como hallar los porcentajes arriba indicados, ver apéndice B.

Las despulpadoras de cilindro horizontal son las más utilizadas por el caficultor colombiano. Estas, en general conservan las características constructivas de los primeros modelos y solamente en años recientes se han introducido algunas modificaciones como sistemas de seguridad



contra elementos duros que dañen la camisa y en otras se ha incrementado sensiblemente la capacidad de despulpado.

En la experimentación que se ha venido desarrollando en Cenicafé, se han tenido en cuenta distintos tipos de despulpadoras así: de cilindro horizontal. las marcas COMITECAFE, CORDILLERA Y FIMAR, de cilindro vertical. la marca PENAGOS GRANDE Y PEQUEÑA, así como la de discos en su marca MAQUILES, las cuales han sido sometidas a los distintos parámetros de estudio. En la tabla 3.4, se presentan las características de las despulpadoras nombradas anteriormente.

**TABLA 3.4. Características de las despulpadoras.**

PARAMETROS	TIPOS DE CILINDRO					
	HORIZONTALES			VERTICALES		DISCO
	COMITE	CORDI.	FIMAR	183LT	256LT	MAQUIL.
Rpm de operación	160	160	110	250	400	225
Potencia Eléctrica	1/2	1/2	1.0	1.5	3.0	3/4
Kg/hora de café	350	950	1.200	1000	2000	1200
Diametro cilindro[cm]	19	20	25.4	12.5	26.6	43.3
Diametro volante	15"	17"	16.5"	14.5"	14.5	18"
peso neto	45	63	151	18	28	73
Numero de chorros	3	3	4	3	6	

### 3.2 DESPULPADO SIN AGUA

En ensayos realizados se comprobó la posibilidad de realizar el despulpado sin agua con diferentes modelos de máquinas de cilindro horizontal, al observar poca diferencia en la capacidad de despulpado obtenido, y la buena calidad del grano despulpado.

Entre las principales ventajas que se presentan por la no utilización del agua en el despulpado se pueden enumerar: Disminución del tiempo de fermentación del café; no contaminación del agua; eliminación del empobrecimiento de la pulpa al entrar en contacto con ella; el beneficio del café no queda supeditado a la disponibilidad de grandes cantidades de agua.

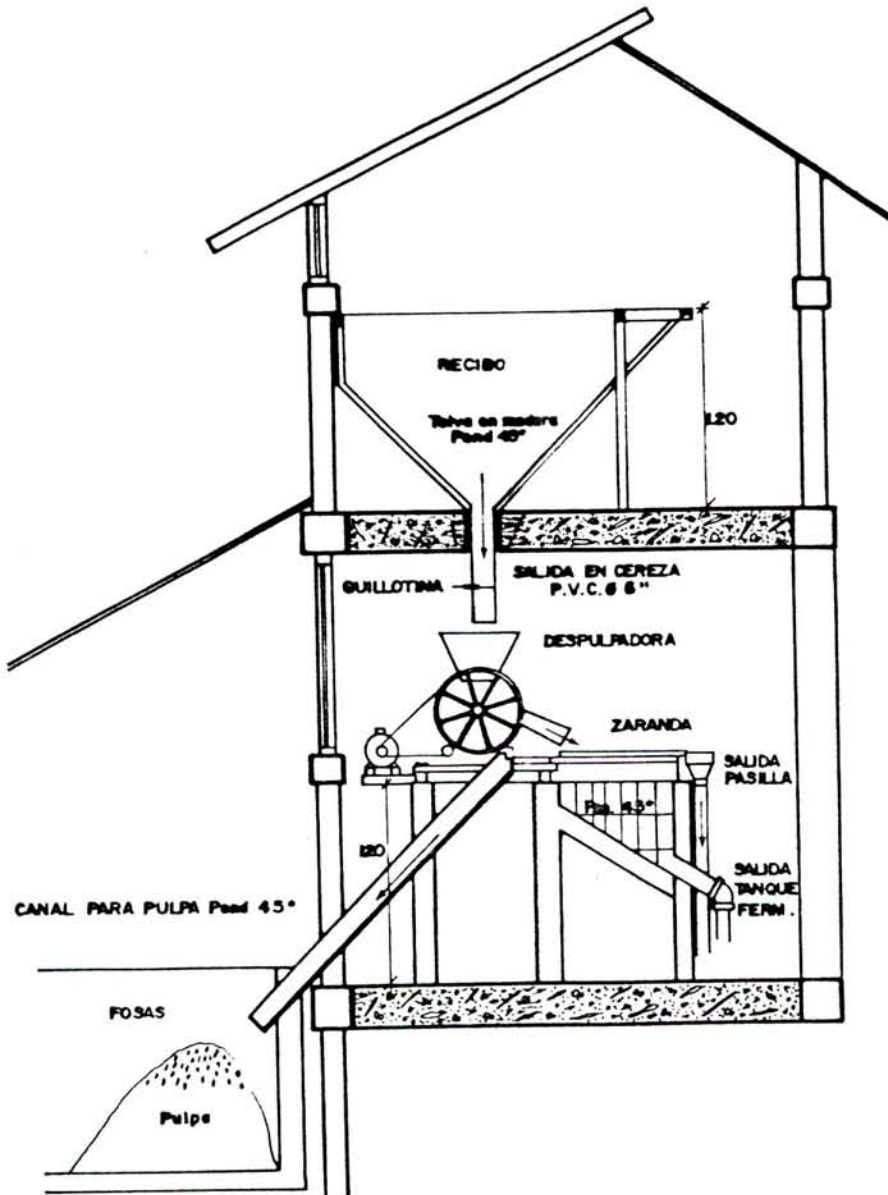


FIGURA 3.6 Dispositivo para despulpar sin agua.

Para efectuar el despulpado sin utilizar agua, se necesita simplemente disponer de una tolva en seco, ver figura 3.6. que descarga a la tolva de una despulpadora de cilindro horizontal: en el descargue de la pulpa se coloca un canal abierto para que, por gravedad sea trasladada a las fosas para su descomposición, Así mismo, para el descargue del café en baba, también se utiliza tubería abierta de pvc de 4" que permite que el grano despulpado vaya a la zaranda y/o al tanque fermentador. Para el caso de pequeños agricultores no es necesario disponer de la tolva seca.

Para el caso de beneficiaderos existentes o de grandes productores, ó de centrales de beneficio, en que se puede dificultar implementar el esquema de la figura 3.6, se necesitaría de un dispositivo mecánico para el transporte de los granos y de la pulpa, en seco.

En la tabla 3.5 se presentan los resultados del análisis de calidad y de la capacidad del despulpado, para algunos modelos comerciales de despulpadoras de cilindro horizontal.

**TABLA 3.5. Resultados del Análisis de calidad del despulpado efectuado con y sin aplicación de agua.**

VARIABLES	COMITECAFE No 3 agua		CORDILLERA No 3 agua		FIMAR No 8 agua		NORMA
	sin	con	sin	con	sin	con	
	grano trillado,%	0.39	0.37	0.29	0.29	0.26	
grano mordido,%	0.14	0.25	0.26	0.26	0.29	0.30	0.5
grano sin des pulpar,%	2.79	1.84	3.18	1.57	2.58	1.73	1.0
pulpa en el grano,%	2.26	1.88	1.44	1.10	2.05	2.15	2.0
capacidad de despulpado kg/h	388	348	781	743	893	915	

El análisis estadístico de los resultados no muestra diferencias significativas entre las variables grano trillado, mordido y pulpa en el grano, bajo la aplicación, o no, de agua en el despulpado, en tanto que la variable grano sin despulpar, si mostró diferencia significativa, no

obstante, los porcentajes obtenidos en ambos casos resultan superiores a lo establecido por la norma Icontec para despulpado.

Se encontró poca influencia de la aplicación del agua en la capacidad del despulpado de las despulpadoras de cilindro horizontal, permitiendo ejecutar la labor sin necesidad de utilizar agua. Debe tenerse en cuenta, que cuando se realiza el despulpado del café, bien con agua o sin ella, en el análisis de la calidad del despulpado, se obtienen granos de café cereza que entran a la zaranda sin ser despulpos, de forma que siempre es necesario la operación de las repasadoras.

En la tabla 3.6 se presentan los resultados obtenidos del análisis de calidad y de la capacidad de despulpado, para algunos modelos comerciales de despulpadoras de cilindro vertical y de discos.

**TABLA 3.6** Analisis de calidad del despulpado bajo el efecto de la aplicación ó no de agua. (1 litro kg de cereza).

VARIABLES	PENAGOS 183L		PENAGOS 256LT		MAQUILES	
	agua		agua		agua	
	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con
%Grano trillado	0.73	0.77	1.19	1.06	0.84	0.78.
%Grano mordido	0.48	0.42	1.27	1.16	0.50	0.56.
%Grano sin desp	2.25	1.32	2.11	0.74	2.14	1.34.
%Pulpa en el g	2.11	1.82	1.20	1.36	5.19	3.92.
Capacidad kg/h.	910	967	2600		477	481
				2636		

1.-Porcentaje de grano trillado: Los promedios obtenidos en ambos tratamientos están por encima de la norma Icontec, la tendencia que se muestra es que el porcentaje sea mayor cuando se utiliza el tratamiento sin agua

2.-Porcentaje de granos mordidos: La tendencia observada en las despulpadoras penagos muestra que el porcentaje de grano mordido aumenta sin la utilización del agua con respecto a la norma. contrario a lo que se observa en la despulpadora de disco cuyo tratamiento con agua incide en mayor porcentaje en el grano

mordido, se observa además que las despulpadoras Penagos, modelo pequeño, y de discos se sitúan próximas a la norma del 0.5% aceptable en nuestro caso.

3.-Porcentaje de granos sin despulpar; Se observa la tendencia de mayores % de grano sin despulpar bajo el tratamiento sin agua en las tres despulpadoras. al cual se le aplica igual criterio en el uso de la despulpadora repasadora.

4.-Porcentaje de pulpa en el grano: Los promedios obtenidos muestran las despulpadoras verticales con un buen comportamiento situado bajo normas para ambos tratamientos, diferente a la despulpadora de disco que presenta elevados % de pulpa .

En cuanto las despulpadoras verticales y de disco se observa igual comportamiento en cuanto a la poca influencia de la aplicación del agua en la capacidad de despulpado de las máquinas utilizadas

### 3.3 DAÑO MECANICO

Esta variable nos permite cuantificar en el café pergamino seco, el daño en el grano por acción de las despulpadoras, se mide conociendo los parámetros en seco expresados en porcentaje de los granos trillados y mordidos, en la tabla 3.7 se observan los resultados obtenidos.

Tabla 3.7. Porcentajes de daño mecánico en despulpadoras.

	CILINDROS			DISCOS	
	Horizontales		Fimar	Verticales	
	Comite	Cordillera		Penagos 256lt	Maquiles
Sin agua	0.85%	0.90%	1.05	3.89%	1.32%.
Con agua	0.97	0.99	1.35	4.07	1.25.

observamos los promedios del porcentaje de daño mecánico obtenidos en las distintas despulpadoras estudiadas bajo los tratamientos de aplicación de agua y en ausencia de ella, la norma de ALMACAFE para el recibo de café seco admite el 2%, correspondiendo a la acción de las despulpadoras el 1%, se observa un mayor % de daño en el tratamiento con agua de la fimar y en ambos tratamientos para la despulpadora de discos y penagos como consecuencia de los altos % de granos trillados y mordidos obtenidos en los análisis de calidad respectivos.

### 3.4 EVALUACION DEL EJE ALIMENTADOR

Se ha querido conocer la influencia del eje alimentador en la capacidad de despulpado de las máquinas despulpadoras de cilindro horizontal, para tal efecto se han realizado pruebas con la comitecafé, midiendo su capacidad de despulpado y efectuando su respectivo análisis de calidad.

**TABLA 3.8** Variación de velocidad en el eje alimentador.  
Despulpadora Comitécafé N°3

	velocidad de rotacion			
	42	80	120	160
capacidad	378.5	684	667	754
incremento (%)	—	80.7	76.2	99.2

Los resultados en la despulpadora comitecafé #3, muestran que al aumentar la velocidad del eje alimentador aumenta la capacidad de despulpado de la máquina en un 80%. Al comparar las otras velocidades seleccionadas con respecto al análisis de calidad en el despulpado nos damos cuenta que la velocidad de 160 rpm afecta la calidad del despulpado no siendo recomendable esta velocidad.

En CENICAFE se diseñó una bicicleta en guadua (FIGURA 3.7) con el propósito de disponer de una tecnología apropiada para el pequeño productor cafetero que le propicie mejora técnica y personal para la labor de despulpado del café, se comparó su desempeño con respecto a las despulpadoras accionadas manualmente.

**TABLA 3.9** Analisis de calidad del despulpado con variación en el eje alimentador. Comitecafé N° 3.

parámetros	velocidad de rotación del eje			
	42	80	120	160
grano trillado	0.26	0.26	0.40	0.55
grano mordido	0.25	0.26	0.27	0.51
grano sin despulpar	3.13	6.97	2.89	5.63
pulpa en el grano	1.46	1.31	1.31	2.64

**TABLA 3.10** Promedios obtenidos en la capacidad de despulpado según el sistema utilizado.

SISTEMAS	VELOCIDAD CILINDRO (rpm)	VELOCIDAD DEL ALIMENTADOR (rpm)	CAPACIDAD DE DESPULPADO kg café cereza/ hora	PRUEBA TUKEY
Manual	121	32	234	A
Despulpado con bicicleta	173	42	419	B
Despulpado con bicicleta modificado	165	82.5	534	C

A , B , C = diferentes estadísticamente.

En la Tabla 3.10 , se observan las capacidades de despulpado, obtenidos en la evaluación considerando las variables : velocidad de rotación del cilindro (rpm) y la velocidad del eje alimentador (rpm). En las pruebas realizadas se encontró que la velocidad angular del cilindro obtenida con los pedales es similar a las revoluciones utilizadas para la operación de una despulpadora accionada con motores eléctricos convencionales.

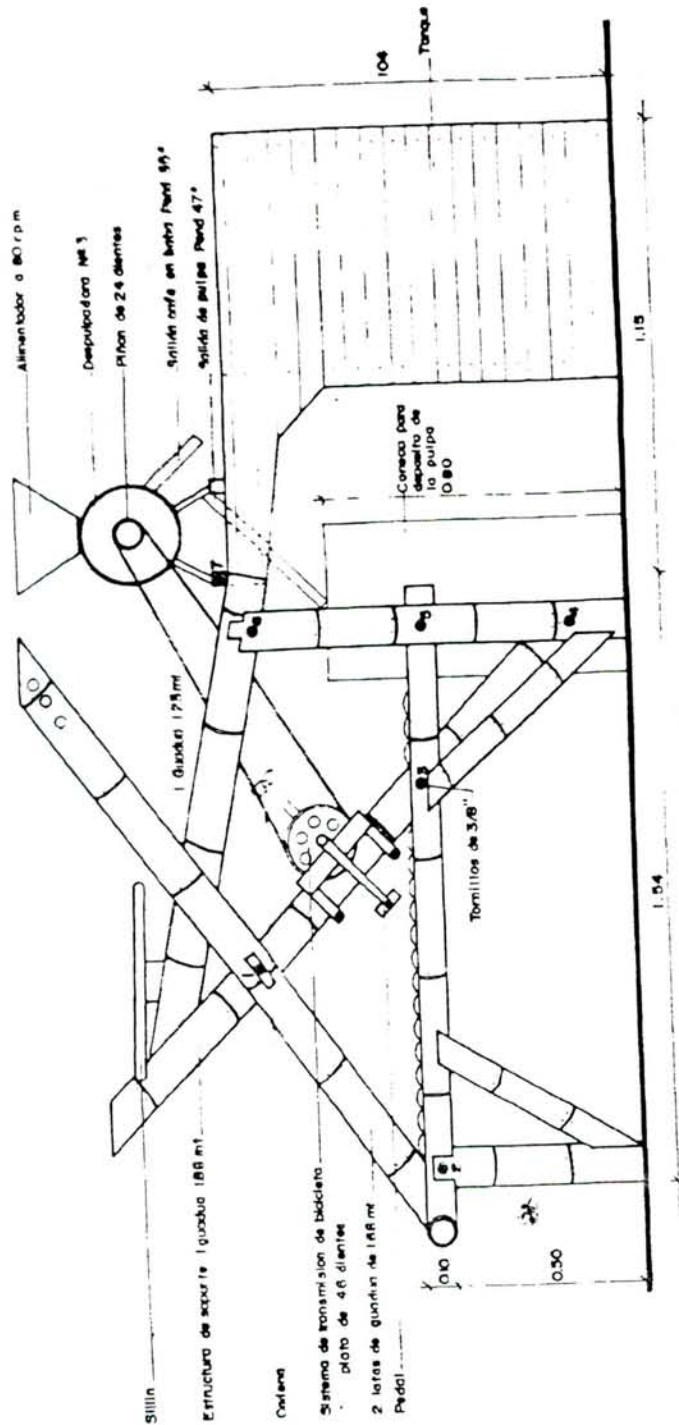


FIGURA 3.7 Diseño de la bicicleta para despulpar a pedal.



De los resultados mostrados en la tabla 3.10, se puede deducir que la Cenicleta y la Cenicleta modificada aumentan la capacidad del despulpado manual en un 87% y 138% respectivamente, además el sistema modificado aumenta la capacidad en un 27%. con respecto al sistema no modificado.

En la Tabla 3.11, se presenta la evaluación con respecto a la calidad física del café, para los tres tipos de sistemas.

**TABLA 3.11 Valores promedios obtenidos sobre la calidad del despulpado en los sistemas de despulpado propuestos.**

Variables	Manual	Bicicleta	Bicicleta Norma* modificado Icontec	Norma*
Grano trillado (%)	0.112	0.270	0.08	0.5
Grano mordido (%)	0.155	0.152	0.182	0.5
Grano sin despulpar(%)	2.07	2.95	1.87	1.0
Pulpa en el grano (%)	0.817	0.880	1.11	2.0

\* Norma 2090 del Instituto de Normas Técnicas de Colombia.

Estos resultados ofrecen una tecnología apropiada del despulpado del café para el pequeño productor cafetero, al obtener una mayor capacidad de despulpado en un menor tiempo de operación; una misma calidad en el café despulpado; disponer de mayor comodidad de operación para el operario y sustituir, en el mayor grado posible, el motor eléctrico de las despulpadoras pequeñas, sin disminuir apreciablemente la capacidad de despulpado.(1).

**PARA EVITAR LA CONTAMINACION DE LAS AGUAS Y FACILITAR EL MANEJO DE LA PULPA, ES RECOMENDABLE NO UTILIZAR AGUA EN EL DESPULPADO.**

### **3.5. SELECCION DE DESPULPADORAS.**

Para determinar el número de despulpadoras que se requieren para el beneficio se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Producción de la finca en el día pico.
- El tiempo máximo de despulpado diario.
- La marca, modelo y capacidad de la despulpadora.

### 3.6. DISEÑO DE LA TRANSMISION DE POTENCIA.

Es práctico, cuando la producción lo justifique, poseer al menos dos (2) despulpadoras para sortear las dificultades cuando se averíe una de ellas.

Para su accionamiento se puede utilizar el acople directo o el acople por medio de contraejes.

#### 3.6.1. De acople directo.

Mediante este sistema se acopla directamente el motor a la despulpadora por medio de poleas y bandas o por medio de piñones, permitiendo instalar fácilmente dispositivos de protección contra la acción de objetos pesados, permitiendo además que su operación sea segura para el operario.

Tiene la desventaja de propiciar alto patinaje entre la correa y la polea, ya que se requiere de poleas de diámetro de 1 1/2", cuando se utilizan motores de 1.750 rpm y de 2 1/2" en el caso de utilizar motores de 1.100 rpm. En ambos casos no se cumple con las recomendaciones establecidas para el diseño de transmisiones de potencia, que establecen que el diámetro mínimo de la polea a colocar en motores girando a 1.750 rpm debe ser como mínimo de 4 pulgadas.

#### 3.6.2. De acople por contraeje.

Contraeje es el nombre que se le da al eje que recibe el movimiento suministrado por un motor y transfiere la potencia requerida para accionar las despulpadoras y las zarandas. Se ha encontrado que las rotaciones más aconsejadas para los contraejes están en el rango de 500 a 700 rpm.

La inversión inicial con éste sistema, con relación al acople directo, es más baja. Como desventaja se puede anotar que en períodos de baja producción, en instalaciones equipadas con contraejes, se subutiliza el motor. Además, este tipo de instalación aumenta los riesgos de accidentes en el beneficio.

### 3.6.3 Cálculo de las poleas transmisoras de potencia.

Para calcular las dimensiones de las poleas (FIGURA 3.8), se aplica la siguiente fórmula general:

$$D \cdot \text{RPM} = d \cdot \text{rpm}$$

en donde:

- D = diámetro de la polea motriz o del motor.
- RPM = Revoluciones por minuto de la polea motriz.
- d = Diámetro de la polea movida o de la despulpadora.
- rpm = Revoluciones por minuto de la polea movida o de la despulpadora.

Para el caso del contraeje se procede así:

Conociendo la velocidad de rotación del motor, las rpm del contraeje y el diámetro de la polea del motor, se calcula el diámetro de la polea movida en el contraeje. Conociendo las rpm de la despulpadora, del contraeje (RPM) y el diámetro de la polea de la despulpadora (d), se calcula el diámetro de la polea motriz (D).

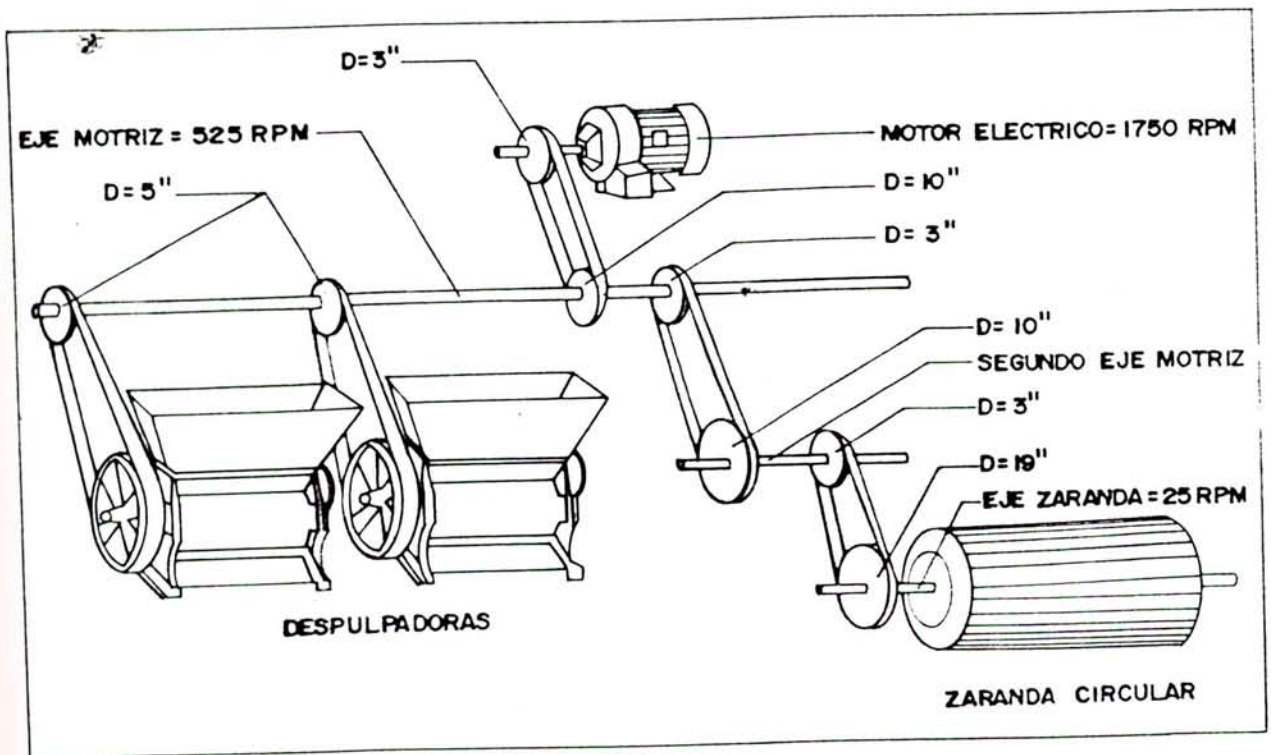


FIGURA 3.8 Acople por contraeje

### 3.7. BIBLIOGRAFIA

- 1- ALVAREZ G.,J. Aspectos generales sobre despulpado. Chinchiná. Cenicafe. 1.991. Ensayos varios.
- 2.- DUQUE G. Estudio y ensayo de materiales para el disco y pechero de la máquina circular Bebutep. Tesis de grado. Universidad Tecnológica. Pereira.1.980.
- 3.- NORMA ICONTEC 2090. Requisitos que deben cumplir las despulpadoras de café de cilindro horizontal.
- 4.- PENAGOS, DF. HOYOS.M. Despulpadora circular de café. Análisis experimental de parámetros básicos. Tesis de grado. Universidad Tecnológica. Pereira 1.983.
- 5.- VALENCIA,G. Fisiología del café. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Boletín técnico No 5 .Cenicafé 1977. resúmenes. \*

## 4. REMOCION DEL MUCILAGO \*

### 4.1 ASPECTOS GENERALES.

21346

El grano de café despulpado (café en baba) está rodeado de una película ( mucílago ) que puede ser removida por medios biológicos, químicos o mecánicos. Las prácticas más utilizadas son: La Fermentación natural del grano, la aplicación de enzimas digestivas que aceleren la remoción y el empleo de dispositivos mecánicos que remuevan rápidamente el mucílago del grano.

### 4.2 FERMENTACION

Algunos autores (6) sostienen que la fermentación natural es necesaria para obtener una buena calidad física (apariencia) al pergamino y una buena taza. Aunque otros afirman que la finalidad de la fermentación es hacer soluble el mucílago para facilitar el lavado. No obstante si el café se sobrefermenta, se demeritan sus características organolépticas y si no se le remueve o se remueve parcialmente el mucílago, se dificulta el secado y se origina un café pergamino manchado.

El mucílago es una película de 0.5 a 2 mm que envuelve el grano; es un hidrogel transparente, su constituyente químico incluye pectina, polisacáridos, carbohidratos, ácidos orgánicos, proteínas y agua (4).

El mesocarpio o mucílago se encuentran células que contienen materias pécticas en la pared celular y en la laminilla media. En los tejidos vegetales éstas células están pegadas unas con otras por capas relativamente insolubles de pectinatos y pectatos de calcio. Este cuerpo químico llena todos los intersticios celulares, desempeñando el mismo papel que la mezcla para unir ladrillos de una pared. Es por eso que se hace necesaria su degradación (fermentación natural) para que se vuelva soluble en agua.

El café despulpado es llevado a tanques en donde se da lugar una fermentación natural a fin de provocar por vía biológica la descomposición del mucílago adherido al pergamino (7)

Para algunos autores (3), la operación de fermentación es de orden puramente físico. Mientras que para otros ejerce también un efecto de naturaleza química y en esos cambios químicos intervienen microorganismos y reacciones químicas.

BECKLEY (1) reporta que el agente activo en la fermentación del café es una enzima presente en la materia azucarada y que ni microbios ni aditivos, son normalmente necesarios para el proceso; formándose azúcares fermentables en el mucílago y si estos a medida que se forman son eliminados por un microbio apropiado, el proceso es acelerado.

#### 4.2.1 Acción de los microorganismos.

CASE (2), manifiesta que los principales fenómenos comprendidos en la fermentación del café se deben a la acción de :

- Enzimas de la cereza responsable del proceso.
- Los microorganismos que se desarrollan durante la fermentación.
- La producción de ácido durante la fermentación

PERRIER en Brasil y FRITZ en Guatemala, citados en (3), lograron aislar los microorganismos que ayudan a solubilizar el mucílago, la pectinasa presente no es destruida y más bien se activa a temperaturas de 40 grados Centígrados, concluyendo que el mucílago puede solubilizarse bajo la acción de la pectinasa contenida en el grano maduro, sin presencia de microorganismos .

El papel de los microorganismos es elevar la temperatura durante el proceso de fermentación y ayudan a la acción de la pectinasa, pero si ésta no es suficiente en los granos, los microorganismos pueden suplir la deficiencia, adaptándose a los cambios de pH que suceden en la masa de café (3)

En CENICAFE Scharrer (5), encontró que la fermentación del mucílago, inicia con una levadura, microorganismo capaz de atacar y elaborar sustancias hidrocarbonadas (azúcares); cuando la levadura ha degradado las moléculas primarias, esta muere y deja el campo preparado para los microorganismos de la acidificación secundaria, cuya acción también está limitada para dar cabida a la obra de los agentes de la destrucción molecular final, que producen sustancias de mal olor.

Las levaduras necesitan del aire atmosférico, situación favorable cuando se realiza el despulpado sin agua y se transporta el café en baba sin agua al tanque de fermentación.

En la superficie de las cerezas del café, se hallan en forma natural un número considerable de levaduras, que al despulpar el café se ponen

en contacto con la capa mucilaginosa del grano descerezado, en compañía de otros microbios que tienen gérmenes de levadura de la atmósfera abundantes en zona cafetera (5).

Los microorganismos por sí solos en determinadas circunstancias provocan la solubilización de las materias pécticas, entre estos se encuentran:

- Hongos :Oidium - Mucor - Aspergillus.
- Bacterias : Bacterias acéticas.
- Levaduras : Mycodermis - Sacarhomyces.(3)

Los factores para que se desarrollen los microorganismos que originan la fermentación son:

- Composición del agua empleada en el despulpe.
- Grado de madurez del fruto.
- Composición del mucílago.
- Tiempo transcurrido entre la recolección y el despulpado.
- La pulpa que dejan pasar las despulpadoras.
- Los gérmenes de enfermedades que atacan la cereza.(3).

#### **4.2.2 Acción química.**

El mucílago del café contiene 15% de sólidos en la forma de un hidrogel coloidal insoluble sin estructura celular; los sólidos presentes en él tienen un 80% de ácidos pécticos y 20% de azúcares.

Los ácidos pécticos están compuestos de polímeros de ácido galacturónico y son clasificados como protopectinas, ácido pectínico, pectinas y ácido péctico que dan lugar a la formación de sus propias enzimas como la protopectinasa, pectinasa, pectinesterasa y pectasa, que actúan específicamente sobre su componente del mismo nombre (4).

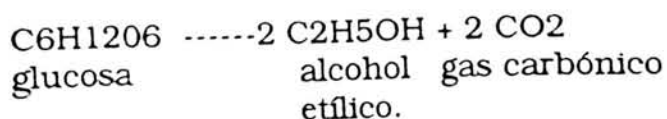
Hay dos procesos que permiten cuantificar los cambios que en pocas horas experimenta la masa de café en la fermentación: La temperatura y las variaciones de pH, la temperatura aumenta y el pH disminuye desde cuando inicia la fermentación, cuando el pH alcanza el valor de 4.0 se considera que el café está listo para ser lavado (4).

FRITZ citado por (3) en trabajos sobre medición de temperaturas en fermentación, reportó que el proceso se inicia entre los 21 a 23 grados Centígrados y que el café da punto para ser lavado cuando la temperatura asciende a 27-28 grados.

Hay divergencias entre los investigadores cuando explican los tipos de fermentaciones encontradas, ya que éstas varían de una zona a otra y de un continente a otro; para unos autores se presenta la fermentación alcohólica seguida de la acética, otros la clasifican como exclusivamente láctica, otros la ven como una fermentación láctica seguida de una butírica. Para Fritz en el Salvador las cuatro fermentaciones interfieren unas con otras, pero cumplen un orden así: alcohólica, láctica, acética y butírica como se puede observar enseguida

#### Fermentación alcohólica:

Se observa en las dos primeras horas de depositado el café despulpado, es muy activa y llega hasta la décima hora. La reacción que da origen al alcohol se efectúa a expensas de los azúcares invertidos



#### Fermentación Láctica:

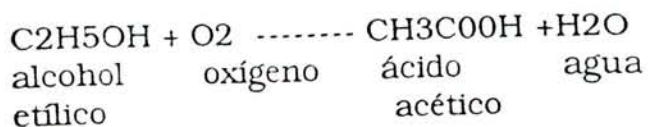
Se inicia después de 2 a 3 horas de estar el café en el tanque y se prolonga durante 20 a 24 horas. Se efectúa a expensas del azúcar así:



Azúcares invertidos      ácidos lácticos. No hay ni absorción ni desprendimientos de gases.

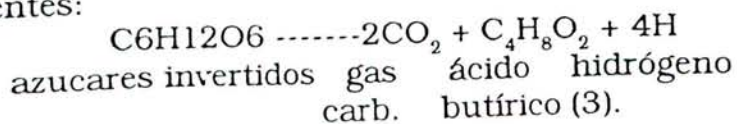
#### Fermentación Acética:

Se inicia a la octava hora de estar el café en los tanques, a expensas del alcohol etílico originado en la fermentación alcohólica así:



#### Fermentación butírica:

Se realiza a expensas de rastros de azúcares o de almidón o de celulosa, es marcadamente anaeróbica. Las reacciones que se verifican son las siguientes:





Woottom citado por ROLZ (4). reporta que la degradación del mucílago se da por las enzimas naturales, la acción de la enzima es función del pH del proceso, siendo su mayor actividad a pH neutro, su mayor actividad. El ácido acético y láctico siempre son producidos por la fermentación natural. El butírico y propiónicos pueden ser producidos.

### **4.2.3 Tipos de fermentación.**

#### **4.2.3.1 Fermentación bajo agua.**

Una vez la masa de café esta depositada en el tanque, se le da entrada al agua limpia hasta cubrir la masa. Esto permite encontrar uniformidad en la bebida y el color del grano, si todos los granos están en contacto con un volumen igual de oxígeno: pero el mayor tiempo que demanda esa labor resulta inconveniente, produciendo blanqueamiento del pergamino y de la película plateada, la presencia de superficies de hierro produce coloración negruzca en el pergamino (2,6).

#### **4.2.3.2 Fermentación en seco.**

Se deja abierta la compuerta de desagüe de los jugos. Cuando el mesocarpio esta bastante desprendido y se puede lavar la masa de café, se considera la labor terminada. se cierra la compuerta de evacuación de aguas y se hace entrar agua en el tanque hasta cubrir la masa, se vacía esas aguas para proceder luego a lavar el café.(7).

### **4.2.4 DIMENSIONAMIENTO.**

Para determinar el dimensionamiento de cada uno de los tanques y el número de ellos requerido, se observa en la práctica que se facilita el manejo del secador, cuando la capacidad de sus cámaras es igual a la cantidad de café contenido en el tanque de fermentación o en un múltiplo de ellos. (Figura 4.1)

Aplicando éste criterio, se requiere primeramente calcular la capacidad del secador, y consecuentemente la capacidad de cada cuarto, para dimensionar el volumen de los tanques.

Se considera que el número de días con producción igual al día pico es de cuatro (4). El numero de tandas de secado por semana es igual a tres (3). Esta información permite determinar la necesidad de secado y la capacidad total del secador y con ello lo de cada tanda o compartimento.

Un tanque de fermentación deberá tener una capacidad tal que al fermentar, lavar y secar una masa de café, se obtenga el café correspondiente a una tanda. Conocido el volumen mínimo requerido para depositar el café en baba, se determinan las dimensiones de cada uno de los tanques con las siguientes ecuaciones :

$$V = 1,664 a^2 L$$

en donde :

V	=	Volumen del tanque, m <sup>3</sup> .	$\bar{h} = 1,5 a$
a	=	Ancho del tanque, m.	$b = 0,1 m.$
L	=	Longitud del tanque, m.	

Conocidos los valores de a y de L, se determina los valores de H<sub>2</sub> profundidad superior y de H<sub>1</sub> profundidad inferior por medio de la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} H_1 &= 1.5 a - 0.03L \\ H_2 &= 1.5 a + 0.03L \end{aligned}$$

En el desarrollo de las anteriores ecuaciones se tienen presentes las siguientes consideraciones :

- La profundidad debe ser 1.5 veces el ancho.
- La pendiente de su fondo hacia la salida de café es de 6%.
- El ancho del canal en el fondo es de 0.1 m.
- La pendiente transversal del fondo es de 50% (30 grados).
- La altura media es 1.5 \* a.

Conocido el volumen de cada tanque y teniendo presente que en la práctica puede ocurrir una recolección de café en cereza superior a la esperada en el día pico, o se puede demorar el secado por daños en los equipos o por cortes del fluido eléctrico, se requiere disponer de capacidad adicional de tanques ya sea para fermentar el exceso de café o para almacenarlo temporalmente mientras se dispone del secador.

Adicionalmente, el área en fermentación por su relativo gran volumen es el aspecto arquitectónico más crítico para futuras ampliaciones en el beneficiadero. Por las razones expuestas anteriormente se considera que el volumen de los tanques de fermentación a construir, se debe calcular multiplicando el valor de la capacidad mínima requerida por un factor de seguridad que puede estar comprendido en el rango de 1.2 a 2.0. La escogencia del factor se hará considerando, para cada caso

TANQUES DE FERMENTACION

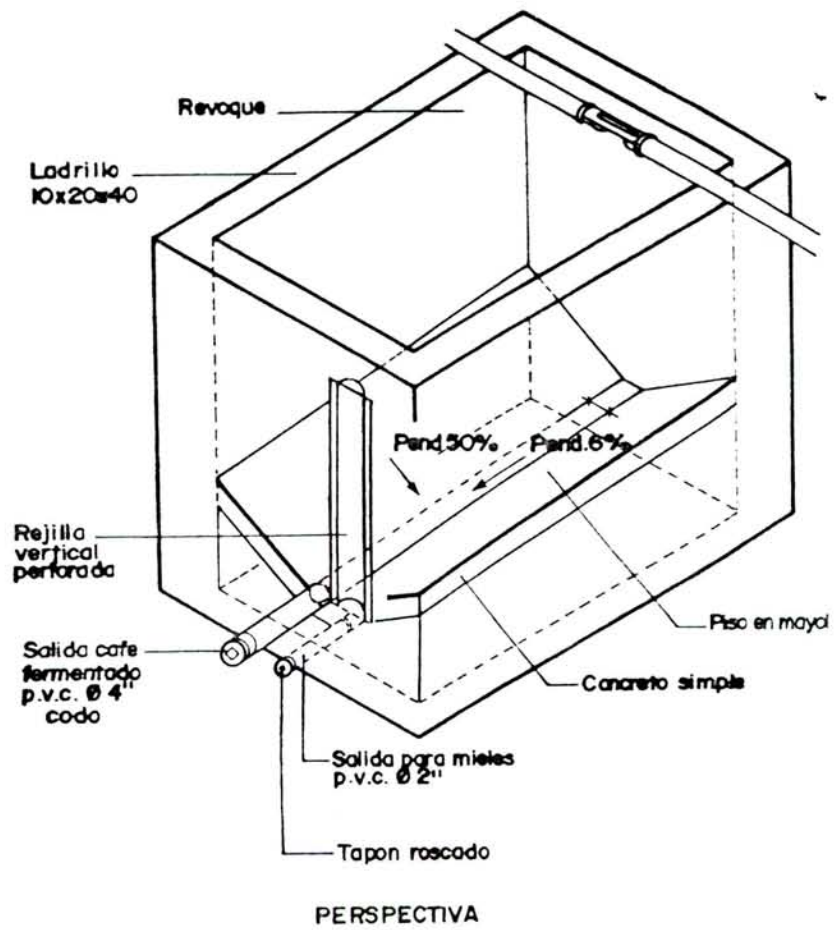
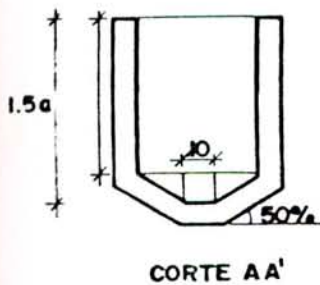
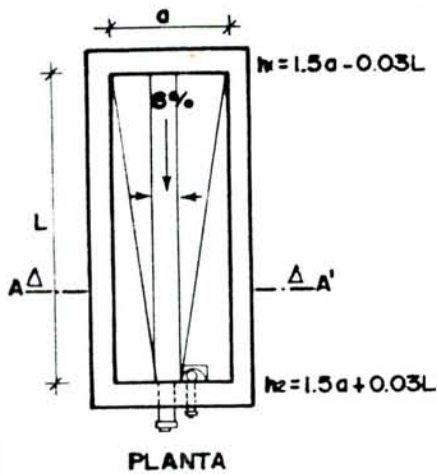
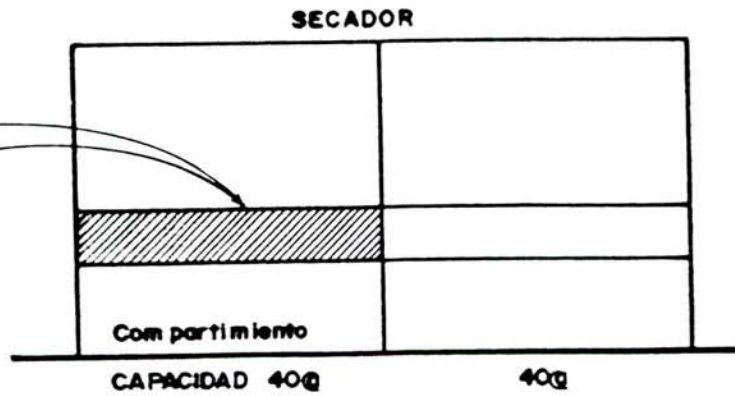
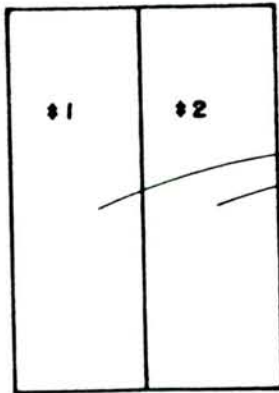


FIGURA 4.1 Dimensionamiento Tanques.

particular, además de la producción de la finca, la infraestructura de que se disponga.

En la figura 4.1 se presentan detalles de diseño y construcción de tanques de fermentación.

En un beneficiadero se debe tener por lo menos dos (2) tanques de fermentación y el número total requerido se determina dividiendo la cantidad de café en baba obtenida en el día pico sobre el volumen de cada tanque. Este número se multiplica por el factor de seguridad determinado para conocer el número total de tanques de fermentación requeridos. Siempre se debe disponer de un tanque más y de igual capacidad al conocido como tanque de trabajo. Ver apéndice para los cálculos respectivos.

### **4.3 INFLUENCIA DE LA CALIDAD DEL AGUA SOBRE LA FERMENTACION Y EL SABOR DEL CAFE**

Es muy poca la atención prestada a la calidad del agua para el despulpado y la fermentación del café.

Empleando en el despulpado aguas contaminadas, se inocula al café en fermentación microorganismos perjudiciales que entorpecen la producción de ácido láctico en la fermentación, y provocan la aparición de sabores extraños a fétidos (7).

Las aguas alcalinas, rebajan la acidez de la masa, interfiriendo la formación de ácido láctico, necesario para proteger el café de los microorganismos perjudiciales.

El arrojado de las aguas residuales y de la pulpa a los ríos conlleva gran cantidad de materia orgánica, que a pesar de conseguir alguna dilución aguas abajo, son utilizadas para el beneficio causando malos sabores al café (7). Los iones férricos pueden comunicar al café un sabor metálico, si el agua contiene 5mg/litro o más. El café fermentado y lavado con agua turbia conserva un olor a tierra.

Si el agua utilizada contiene magnesio, o si tiene una reacción ácida, estos elementos entorpecen la acción de solubilizar el mucílago, de allí la prolongación en el tiempo de fermentación y la obtención del punto de lavado.

Si el agua contiene trazas de cloro, éste puede inhibir la acción de los fermentos microbianos.

Si el agua empleada se halla recargada de materias húmiferas en vías de descomposición, lleva a la masa de café gérmenes que desde un principio dan origen a la fermentación butírica.(3).

#### 4.4 REMOCION MECANICA DEL MUCILAGO

Hoy en día se esta pensando evitar la solubilización de la materia péctica, con el empleo de medios para desprenderla mecánicamente, sometiendo los granos de café a la fricción de manera que el roce provoque el desprendimiento del mucílago.(7).

Existe en la actualidad un dispositivo diseñado en CENICAFE, que remueve mecánicamente el mucílago de café por fricción entre los granos, de tal manera que después de unos cuantos segundos de cargar café despulpado, éste sale desmucilaginado.

El equipo consta de dos tubos concéntricos que forman una corona circular donde se realiza la labor, el tubo interior gira sobre su eje y el tubo exterior es fijo. Cada una de estas partes tiene anclado rígidamente a ella filas de dedos de 9.525 mm (3/8") de diámetro, como lo muestra la figura 4.2.

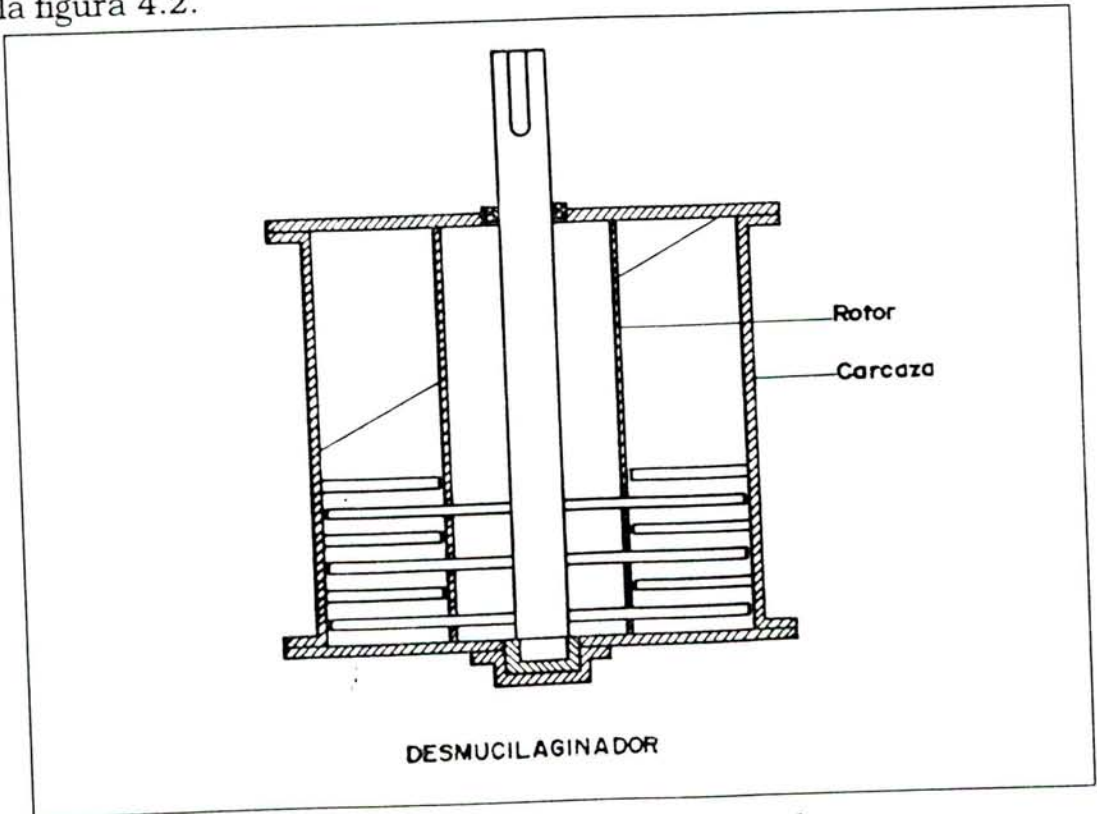


FIGURA 4.2 Desmucilagador mecánico por tandas

La mejor operación del equipo se obtiene utilizando una corona circular de 119 mm, esto es, la corona circular comprendida entre diámetros de 406 y 168 mm; la velocidad angular óptima es de 360 rpm; la distancia entre los ejes de los dedos de 50 mm y una separación entre los dedos móviles y los fijos de 15 mm.

El equipo funciona por tandas de 13 kg de café despulpado y el tiempo utilizado en la labor de desmucilaginado es de 35 s con una aplicación de agua de 0.5 l/kg de café baba. El daño mecánico es tolerable, ya que el porcentaje de grano trillado es menor del 0.5%. los requerimientos de potencia son bajos (se requiere de un motor de 2.6 kw) y la eficacia mayor del 94%.

Se tienen buenos resultados de pruebas de taza después de 9 meses de almacenamiento en las bodegas de ALMACAFE en el páramo de Letras. Información obtenida en Centroamérica reporta además de los buenos resultados en pruebas de taza, información sobre comparaciones entre diversos tratamientos con fermentación natural y desmucilaginado mecánico, obteniéndose un aumento relativo de peso (hasta 2%) cuando se realiza desmucilaginado mecánico y se comienza el secado en las siguientes 6 horas como máximo.

#### 4.5 BIBLIOGRAFIA

1. BECKLEY M.A. La fermentación del café. Dept of agriculture of Kenya No 8.
2. CASE M. Una nota sobre la fermentación del café. Traducción sección técnica. Kenya p.3.
3. FRITZ A. Fermentación del café. Salvador p 23.(mimeografiado).
4. ROLZ C. et al. Coffee fermentation studies. ASIC 5o colloque, Lisboa. 1972.
5. SCHARRER R. Contribución al estudio de la fermentación del café. Revista cafetera de Colombia. Vol 8 No 110 diciembre de 1.942.Bogotá p. 2017 - 2024
6. SPRINGETT L. El desarrollo de calidad y color en cafés por medio de fermentación. Ed E.A. Bentall & company Ltda. p. 11- 13.
7. WILBAUX R. El beneficio del café. FAO. Roma. 1.971.

## 5. LAVADO Y CLASIFICADO \*

Cuando en la etapa de remoción del mesocarpio (mucílago) se sigue el proceso de fermentación, es indispensable eliminar la totalidad de los productos originados durante el desarrollo de aquel, lo mismo que los microorganismos que se han multiplicado en el mismo, una vez el grano esté en el "punto de lavado", esto es, cuando el mucílago sea soluble en agua por efecto de la fermentación. La eliminación del mucílago, que se realiza con agua, es indispensable dado que, en el curso del escurrido, en el secado y aún en el almacenamiento, los restos de mucílago adheridos al pergamino podrían continuar su fermentación, perjudicando posiblemente la calidad de la bebida.

Así mismo, el caficultor debe comercializar su café enmarcado en las normas establecidas por la Federación de Cafeteros las cuales permiten la presencia de diferentes materiales hasta valores definidos en la misma.

Esta etapa (prelavado, lavado y clasificado) se inicia con un jugado inicial que se realiza en los mismos tanques de fermentación, en la cual se logra retirar aproximadamente el 62-63% de los residuos de la fermentación (4). Los residuos restantes son retirados en el prelavado y lavado, labores que generalmente van complementadas con la separación y clasificación hidráulicas del material.

Es común citar las operaciones de prelavado, lavado y clasificado, como una sola, debido a que se utilizan dispositivos que las realizan en forma simultánea, como en el canal de correteo. Sin embargo, las operaciones son independientes y de gran importancia para la calidad final del café.

El **PRELAVADO** es la remoción parcial de los productos resultantes de la digestión del mucílago que no fueron retirados en el enjuague, operación en la cual entran y salen del dispositivo la mezcla del café, el mucílago y el agua, siendo necesario completar la operación de lavado en otro dispositivo.

En el **LAVADO** se completa la labor de remoción, retirando con agua los residuos de la fermentación. La diferencia con el prelavado radica en la salida del café en forma independiente de la mezcla mucílago-agua.

La **SEPARACION HIDRAULICA** y la **CLASIFICACION HIDRAULICA** del café son procesos físico por medio de los cuales se retiran de la

masa materiales de diferentes características físicas, tales como pulpa, granos vanos, etc. en el primero y, en el segundo, se ordenan los diferentes tipos o calidades de los granos de acuerdo a sus propiedades físicas. ||

Los procesos citados se basan en la teoría de la sedimentación impedida de partículas, la cual ocurre cuando la fuerza de gravedad supera o iguala las fuerzas de empuje y de viscosidad que actúan sobre el material suspendido. En este tipo de sedimentación, el movimiento de cada grano está notablemente influenciado por el de los demás. Estos fenómenos se complementan con la acción de arrastre que ejerce una corriente de agua sobre las diferentes partículas en sedimentación y/o clasificación (1.2).

## 5.1 EQUIPOS UTILIZADOS

### 5.1.1 Prelavadores

#### 5.1.1.1 De Agitador Horizontal

Son conocidos comúnmente como lavadores horizontales y son de operación continua. Consisten fundamentalmente de un cilindro de lámina, dentro del cual gira un árbol central provisto de paletas que aseguran la agitación y el avance de la masa de café y de la mezcla agua-mucílago hasta la descarga al tiempo que se efectúa el prelavado, Figura 5.1. Normalmente el árbol central gira a unas 40 rpm y la

potencia necesaria para mover el prelavador es del orden de 2 HP, cuando el cilindro es de 1,80 m de largo y 0,40 m de diámetro.

Su capacidad se estima en 1500 kg de café fermentado/hora y un consumo de 0.3 litros de agua por kilogramo de café fermentado. Estos equipos se alimentan con una

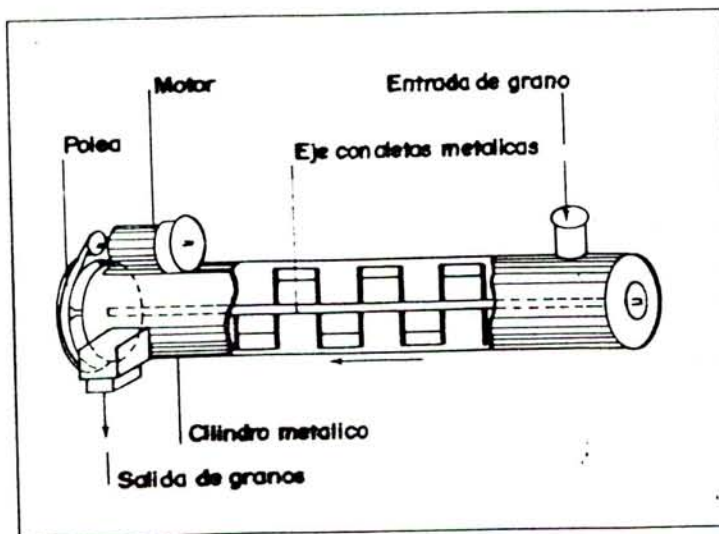


FIGURA 5.1 Prelavador de Agitador Horizontal.



mezcla de café fermentado y agua en la relación de 1/1. en volumen. En la actualidad estos equipos han entrado en desuso debido a la existencia de otras alternativas, principalmente las bombas sumergibles, que hacen el mismo efecto de lavado y simultáneamente transportan el café.

### 5.1.1.2 Bombas

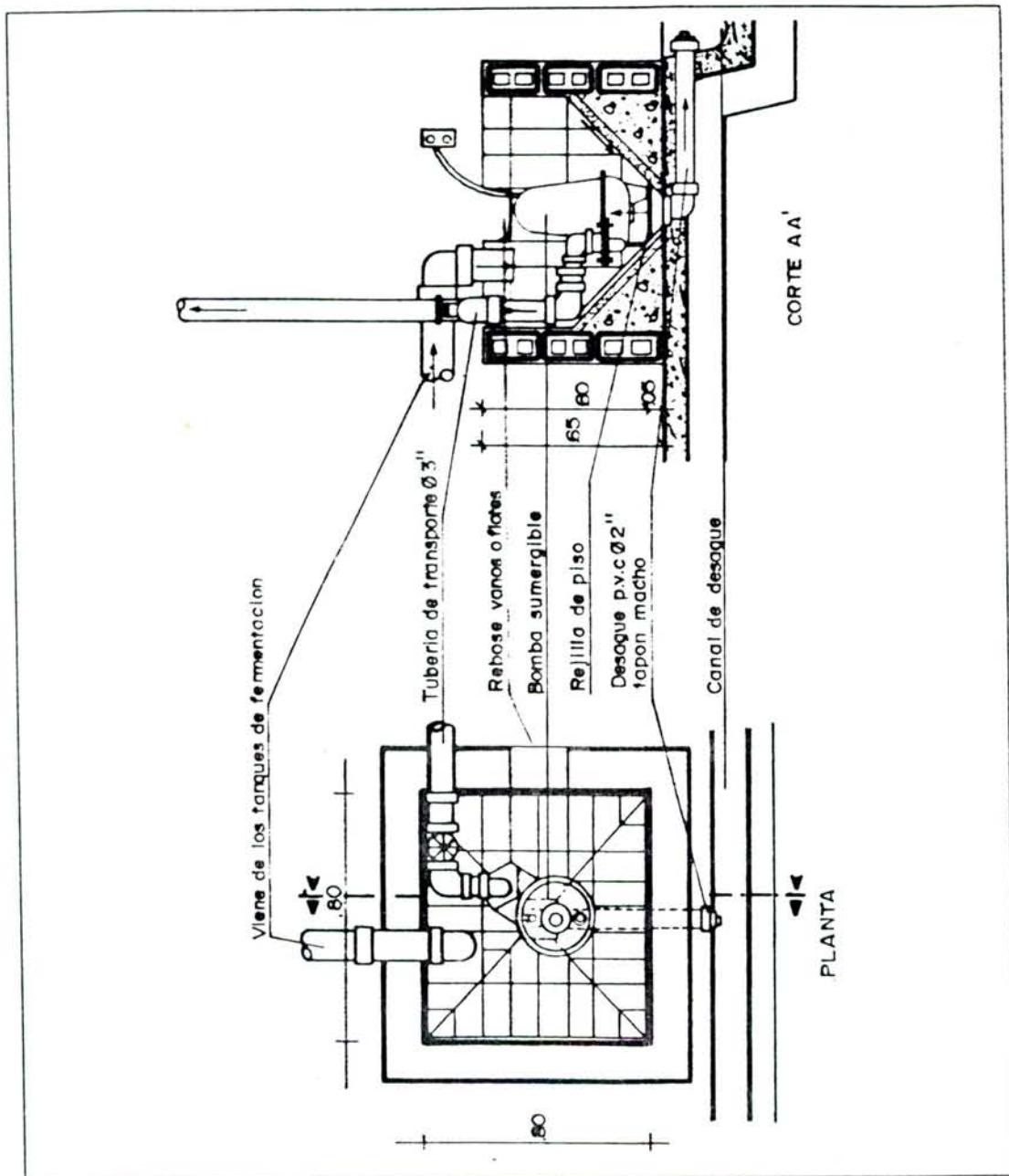
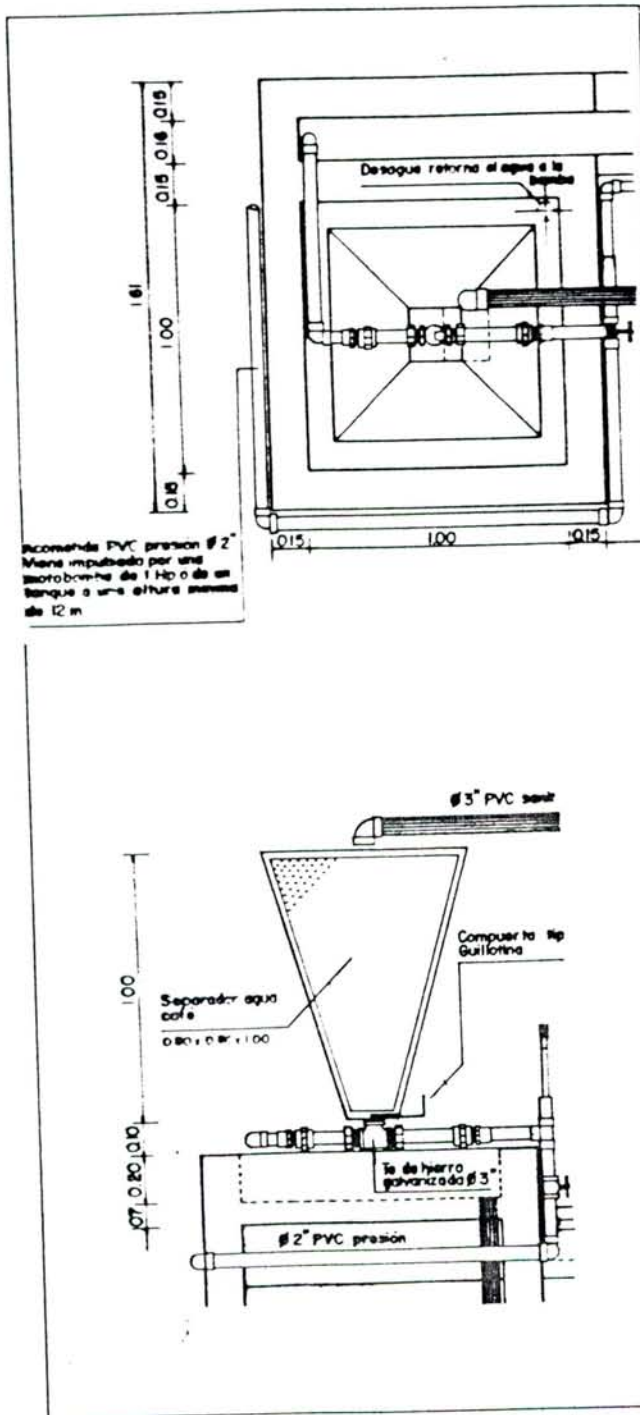


FIGURA 5.2 Bombas. Detalle de instalación

En estos dispositivos, también de operación continua, el prelavado se realiza al agitar y frotar la masa entre sí, en el interior de la bomba y en la tubería de conducción.



Las bombas centrífugas verticales de sección abierta (sin tubo de succión) y de rotor de dos álabes, conocidas bajo el nombre de bombas sumergibles, son las más empleadas para la operación de prelavado de café. Se recomienda operarlas con una relación café fermentado/agua de 1/1, en volumen, y una alimentación continua y regulada con dicha mezcla a fin de obtener una mejor operación del dispositivo.

Los detalles para la instalación de la bomba se muestran en la Figura 5.2. En capítulo 5 se tratan con más detalle los aspectos relacionados con las bombas.

### 5.1.1.3 Eyectores hidráulicos (venturi).

El prelavado se realiza por fricción al pasar el café fermentado por la tubería, el venturi y durante su transporte posterior. Figura 5.3.

Los eyectores hidráulicos operan con presiones entre 2.5 y 4.0 atmósferas, que

FIGURA 5.3 Eyectores Hidráulicos (venturi).

se obtienen mediante bombas o por cabeza hidráulica por diferencia de nivel. Se recomienda operarlos con una relación de mezcla café fermentado/agua de 0.4 en volumen.

Los eyectores hidráulicos también han perdido popularidad porque se puede eliminar y sustituir por una bomba bien localizada, además, cuando son accionados por medio de motobombas, el consumo de potencia en ellas es alto.

### 5.1.2 Lavadores y Clasificadores

*Por el lavado de la muestra*

#### 5.1.2.1 Tanques de fermentación.

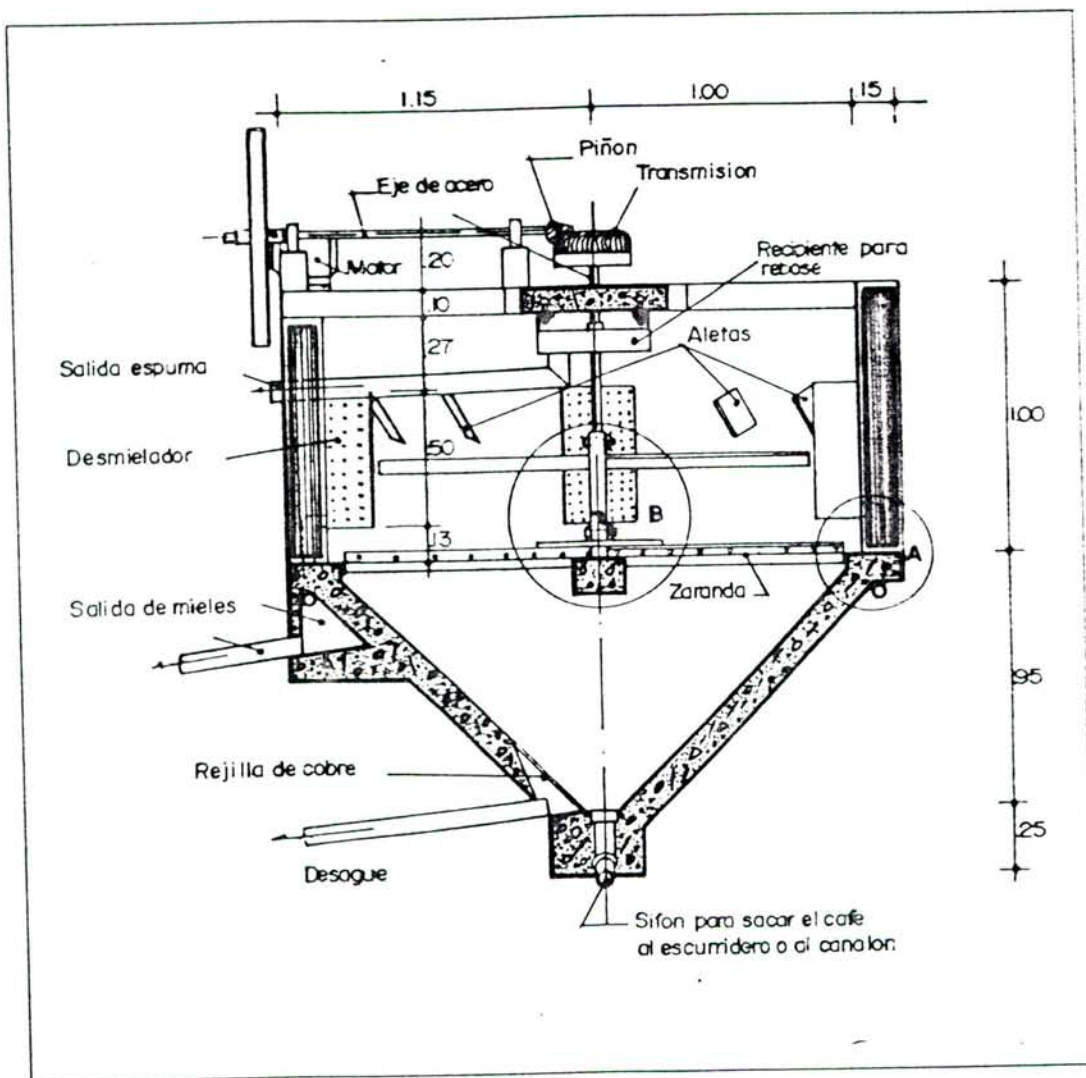


FIGURA 5.4. Corte Transversal del Lavador de Agitador Vertical.

En fincas de producciones menores de 6.250 kg de c.p.s./año (500 @), el lavado se puede efectuar en los tanques de fermentación, procediendo de la forma siguiente: se llena el tanque con agua limpia hasta quedar la masa de café sumergida; se agita esta con las paletas para remover tanto el mucílago como los materiales extraños; se permite la salida al agua turbia, se repiten las operaciones anteriores hasta cuando el agua salga limpia. Los flotes se pueden retirar por medio de canastos ó por medio de rebosaderos localizados a alturas convenientes.

### 5.1.2.2 De Agitador vertical

Consisten de un tanque circular dispuesto verticalmente (metálico o en mampostería) y de un árbol de paletas localizado en su centro. Figura 16.

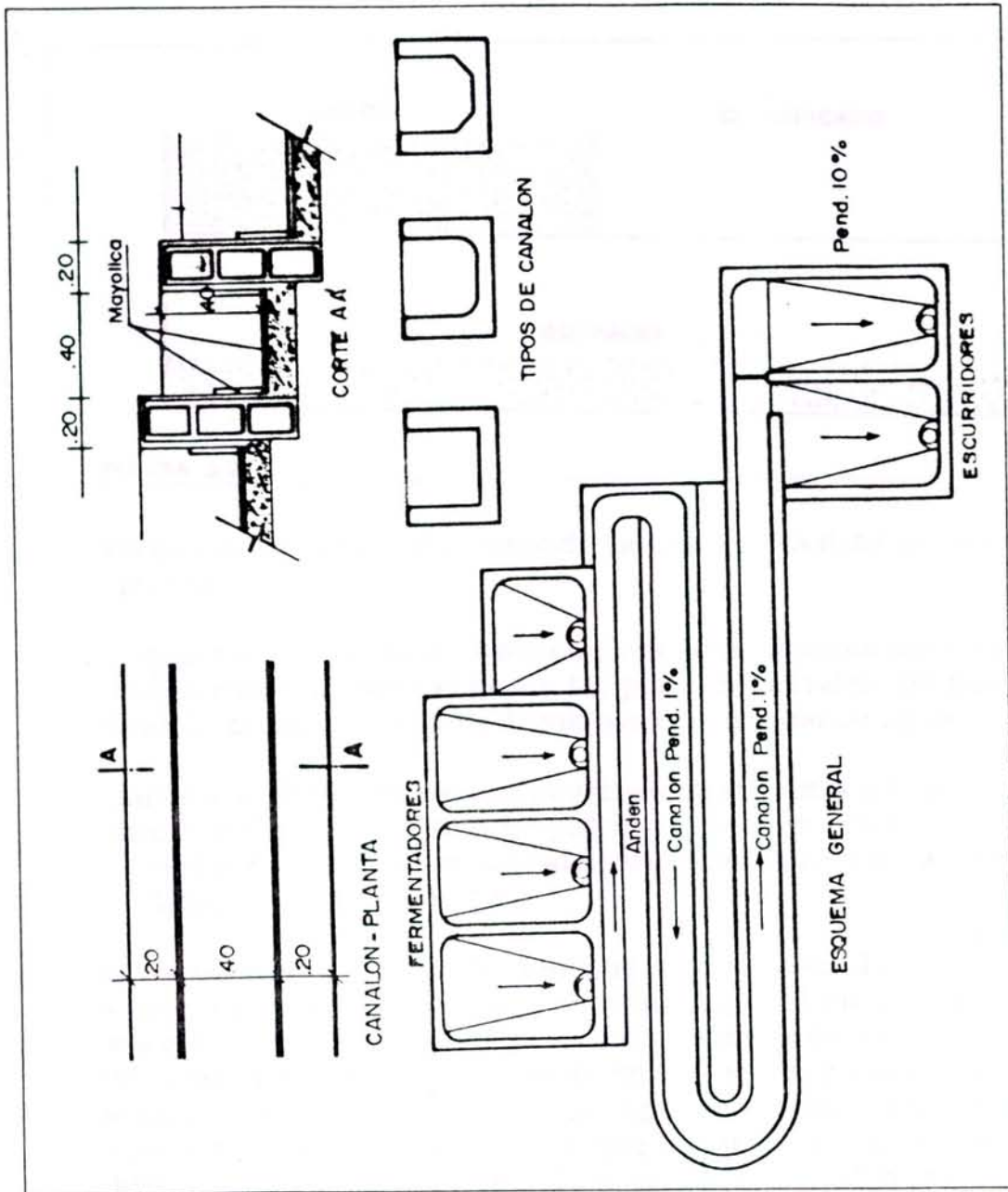
El café fermentado se agita en este dispositivo hasta dejarlo limpio, permitiendo que el agua utilizada salga continuamente del equipo por rebose y por medio de compuertas localizadas en el fondo. Adicionalmente, también por rebose se consigue la evacuación de los flotes.

La acción mecánica de la separación del mucílago (mesocarpio) es enérgica cuando se trabaja con poca agua y lo es mucho menos cuando se aumenta la relación de agua/café. El lavador se puede operar iniciando la operación de lavado con poca agua y terminarla con agua abundante. El árbol central gira a aproximadamente 18 rpm y la potencia del motor es de 1 ó 2 HP, según se opere con o sin agua abundante, en un tanque de capacidad de 0,8 metros cúbicos. Este equipo permite operar en forma continua. Figura 5. 4

### 5.1.2.3 Canal de correteo

El lavado por "correteo" en canalón, tiene la gran ventaja de permitir simultáneamente una separación y clasificación de los granos por diferencias de densidad del material. Se pueden obtener diferentes tipos de café, por sedimentación natural, propiciada por la acción de la agitación generada con las paletas. Durante este proceso se forman ondas u olas en la superficie del agua, que son las responsables de "arrastrar" los diferentes materiales o clases de café.

El canalón, debe ser construido con poco desnivel, normalmente con una pendiente del 1.0% (por cada metro de longitud baja el piso 1 centímetro). Si no es posible construir el canalón en un solo tramo recto debe tener el mínimo número de curvas. Debe ser de sección



**FIGURA 5.5** Disposición del Canal de Correteo. Tanques de Fermentación. Detalles del Canal.

recta, su ancho puede medir de 0,30 a 0,40 m, lo mismo que su profundidad. La longitud varía de acuerdo a la producción de la finca siendo siempre mayor de 10 m y nunca superior a 40 m, que correspondería a una producción aproximada de 3.000 @ cps/año. Adicionalmente, esta longitud depende de la capacidad de los tanques de fermentación y del número de tandas a lavar en un día. Desde el

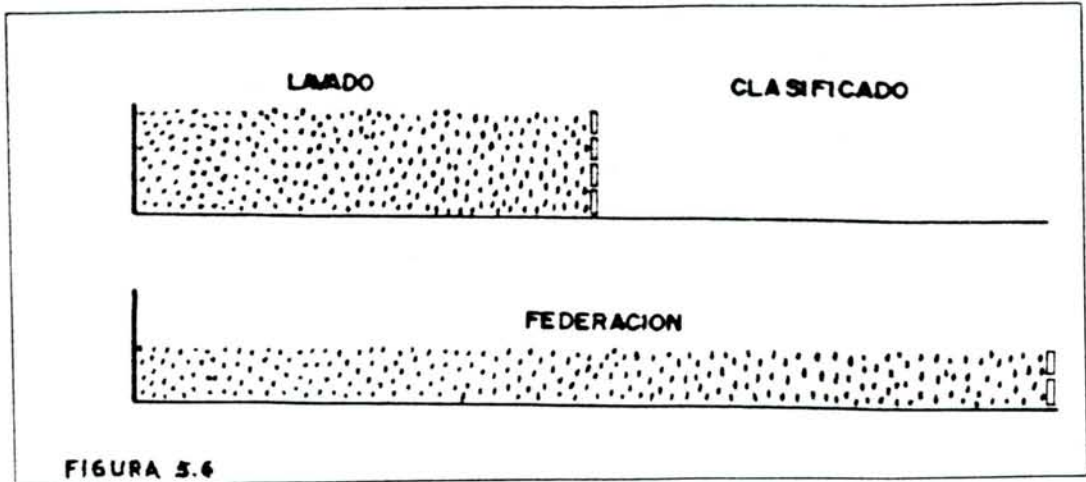


FIGURA 5.6

punto de vista práctico, el número de tandas por día debe ser inferior a cinco (5).

La incorporación de ochaves, o sea chaflanes o esquineros contruidos del mismo material entre el piso y las paredes laterales del tanque, facilitan la tarea del patiero y disminuye el consumo de agua.

El canalón se debe recubrir con materiales resistentes a la acción de las mieles del café, tales como: mayólica, alfarés, etc. Debe tener dos compuertas de clasificación, una al final del canalón y otra a la mitad de su longitud. Figura 5.5

5.5

Una vez jugado el café en el tanque de fermentación, Figura 5.5 se conduce a la primera de las dos secciones iguales en las cuales se divide el canal, división que logra con la instalación de compuertas de madera (u otro material) de unos 5 cm de ancho, y cuya altura se gradúa añadiendo o quitándolas. La agitación o paleo del café con determinado flujo de agua, a la vez que elimina paulatinamente los residuos, provoca el sobreaguado y arrastre por el agua de los materiales más livianos, los cuales se van acumulando conforme avanza el trabajo, según se ilustra en la Figura 5.6, en las secciones formadas por el tabique.

La separación y/o clasificación se hace más o menos complicadas, de acuerdo con la limpieza del café que se ha fermentado y a la calidad final que se desee. El consumo de agua en este dispositivo es del orden de 4,3 l/kg cps (2.3).

5.1.2.4

Canal semisumergido (c.s.s.)

Permite la separación y la clasificación del café tanto en cereza, despulpado y lavado, siendo más empleado con los dos últimos tipos de café, con los cuales se logran eficacias de separación superiores al 90%. La clasificación se realiza, en el caso específico del café pergamino, en el canal de sección rectangular de 0.20 m de ancho y longitud entre

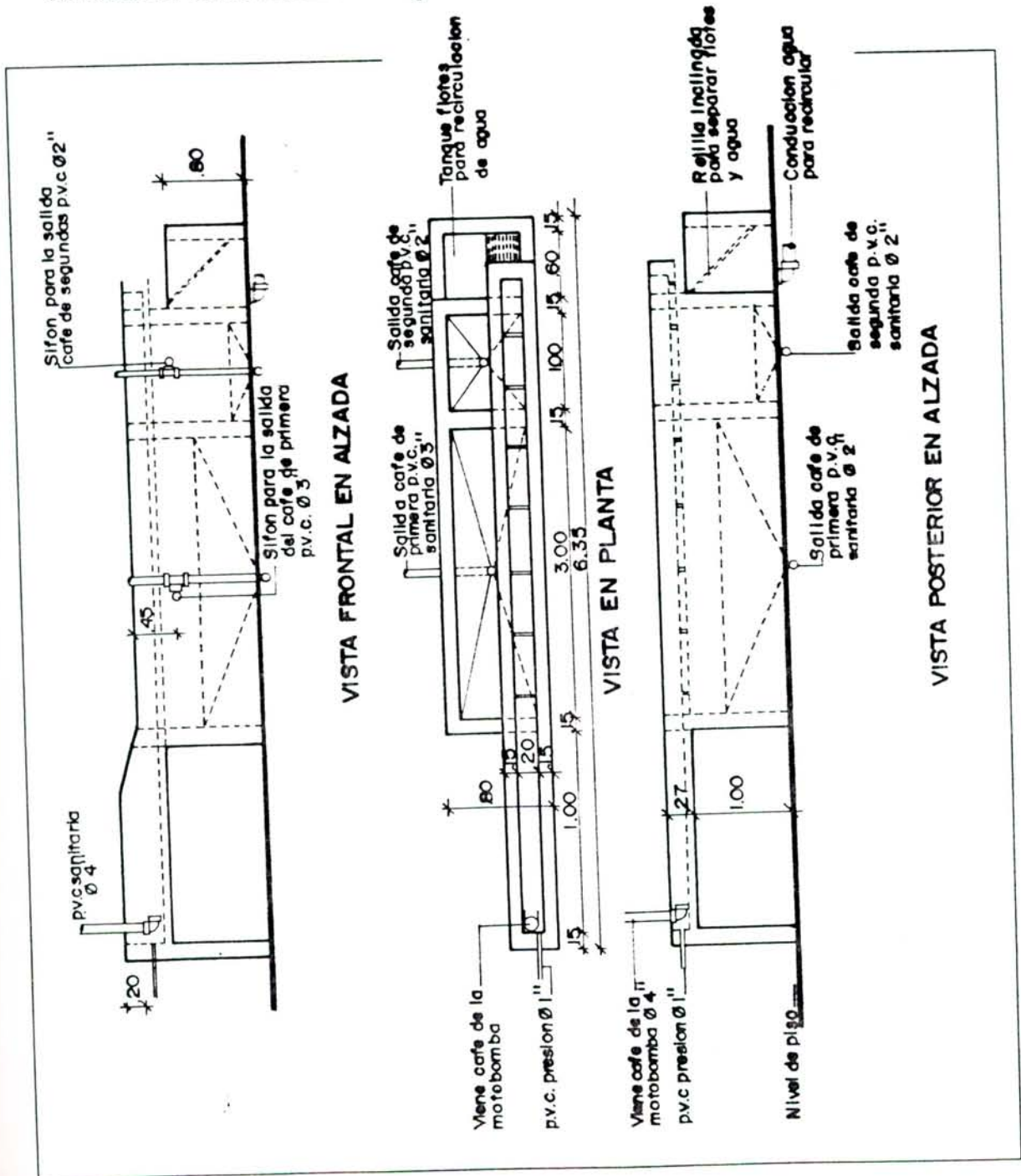


FIGURA 5.6. Canal Semisumergido.

2 y 3 m, sin pendiente en toda su longitud, con 4 ranuras en el fondo, de longitud igual al ancho del canal, por las cuales se sedimenta el café de acuerdo a su densidad. Las ranuras tienen un ancho de 0.04 m, separadas entre sí 0,50 m. El canal de acceso debe tener igual sección y pendiente que el mismo c.s.s. y una longitud mínima de 1.0 m. La Figura 5.6 describe el c.s.s. y sus elementos. En CENICAFE se ha observado que el consumo de agua es de 3.2 l/kg de café pergamino húmedo (6.4 l/kg de c.p.s.), con una capacidad de 7000 kg de café pergamino húmedo/hora.

## 5.2 BIBLIOGRAFIA

1. ALVAREZ H.,J. Desenvolvimento e avaliação do desempenho de um separador hidráulico para café. Viçosa, Brasil, Universidad Federal de Viçosa, 1988. 50p (Tesis de M.Sc.)
2. CASTRO Q.,G. Estudio comparativo del lavado y clasificado del café fermentado en canalón canal semisumergido. Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Agrícola, 1987. 68p.
3. MENCHU J.,F. Manual práctico de beneficio de café. Guatemala, Asociación Nacional del café, Subgerencia de Asuntos Agrícolas, Boletín No. 13. 1973. 96p.
4. ZAMBRANO F., D. Contaminación originada por los subproductos del beneficio del café. Chinchiná(Colombia), Cenicafé, 1991. (Conversación Personal).



## 6. SECADO \*

21348 ya enteros

### 6.1 FUNDAMENTOS DEL SECADO DEL CAFE

#### 6.1.1 Contenido de humedad de café

Se entiende como contenido de humedad de un grano el valor, expresado en porcentaje, (en base húmeda), de la masa del agua en relación con su masa total. La masa total es la suma del agua y de los sólidos constituyentes. Otro método de expresar la humedad de los granos, más útil para estudiar el fenómeno del secado, es en base seca, e indica el porcentaje del agua con relación al peso seco.

Aproximadamente el contenido de humedad del café cereza es 67% base húmeda. Esto quiere decir que el contenido de humedad es aproximadamente igual a las dos terceras partes de la masa total: la tercera parte restante la constituyen los sólidos. El contenido de humedad expresado en base seca es el 200%, que corresponde a dos partes de agua por una de materia seca, expresada en forma porcentual.

El café lavado posee un contenido de humedad aproximado del 50% base húmeda, o 100% base seca.

El contenido de humedad del café es un atributo de su calidad física. En Colombia las normas vigentes para la comercialización del café en pergamino establecen que su contenido de humedad debe estar comprendido en el rango del 10 al 12% b.h.

La humedad es el factor más importante que se debe controlar para que los granos se puedan conservar adecuadamente. Actividades fisiológicas como la respiración se realizan con mayor intensidad cuando el grano presenta alto contenido de humedad: se consume materia seca y se libera calor, lo cual se traduce en pérdida de peso del producto y de calidad.

Adicionalmente, el aire intergranular adquiere niveles altos de humedad relativa por lo cual la actividad de los microorganismos, especialmente hongos y mohos, se incrementa considerablemente contribuyendo al deterioro, a veces total, de la calidad del producto. Estos procesos bioquímicos son más críticos en regiones de clima cálido.

### 6.1.2 Determinadores de contenido de humedad

Los instrumentos determinadores de humedad de los granos han sido estudiados profundamente a lo largo de todos los tiempos.

Para determinar el contenido de humedad los caficultores se guían por métodos subjetivos, tales como la observación del color de la almendra y su dureza evaluada con las uñas, dientes o con el filo de una navaja. Estos métodos arrojan, en general, resultados erróneos, como se observó en una encuesta efectuada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, FEDERACAFE (9).

En efecto, de 623 muestras de café pergamino beneficiadas en igual número de fincas, el 25% tenían menos del 10% de humedad y el 13% tenían más del 12%, o sea que sumando los dos extremos de defecto y de exceso de humedad, el 38% de las muestras no poseían el contenido de humedad final adecuado.

El método standard, propuesto en la norma ISO 6673 de 1982 para café trillado es utilizado para café pergamino por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia para la calibración de los medidores indirectos utilizados para la determinación de la humedad en café pergamino seco. En una balanza con precisión de  $\pm 0.1$  g se pesa una muestra de 25 gramos y se coloca en una estufa con temperatura controlada de  $105 \pm 1^\circ\text{C}$ , durante 16 horas  $\pm 0.5$  horas. Se coloca la muestra en una campana de desecación durante 25 minutos y pesa en una balanza con precisión de 0,1 mg.

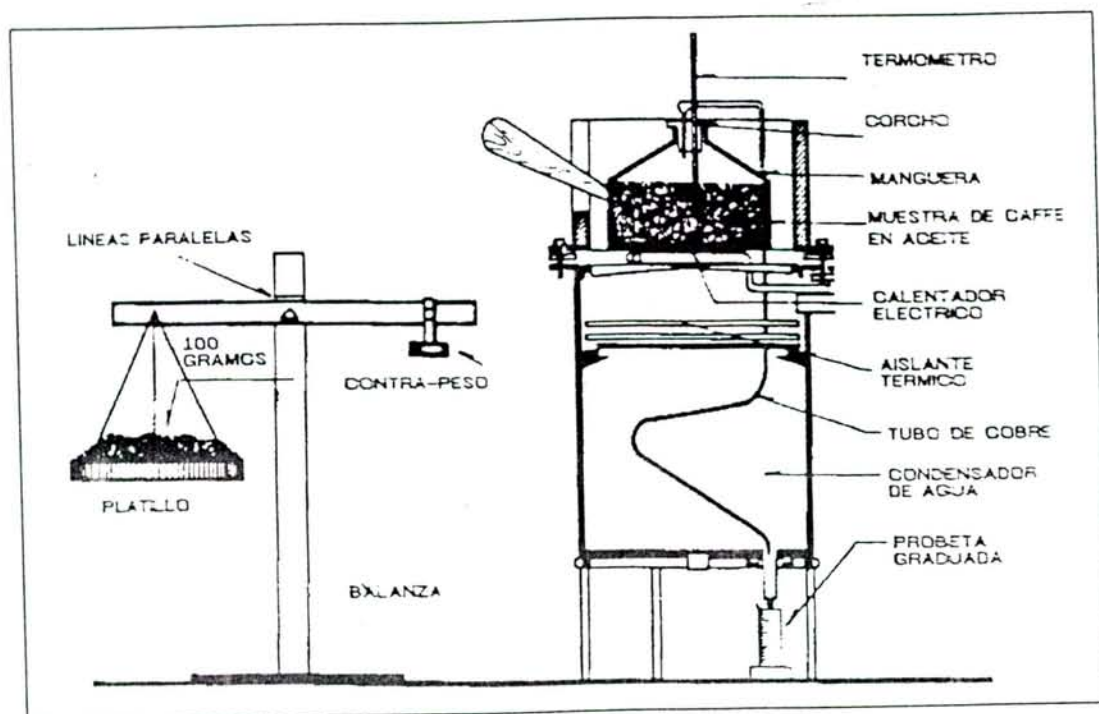
Los métodos indirectos de determinar el contenido de humedad del café, como su nombre lo indica, miden una propiedad del grano que varía con su contenido de humedad. Las propiedades más estudiadas, y que han permitido desarrollar medidores de humedad de amplia utilización, son: la conductividad eléctrica y la capacitancia.

En Colombia se utilizan los medidores del tipo dieléctrico para el recibo del café en pergamino en los puestos de compra establecidos por ALMACAFE. Anualmente se verifica su precisión en el Laboratorio de Investigaciones del la Química de café, LIQC, en Bogotá

POSADA y col. (19) compararon las lecturas obtenidas en el rango de humedad de 8 a 18% b.h. con los medidores Kappa y con el método de la estufa propuesto por ISO para café trillado (6673 de 1982) llegando a las siguientes conclusiones:

- Los medidores Kappa muestran buena precisión en las lecturas y un alto grado de repetibilidad en el rango de 8 a 18% b.h. Los límites de error en las calibraciones oscilan entre 0,2% y 0,3% b.h.. según el rango considerado.

Fue desarrollado y evaluado, a nivel de laboratorio y en ensayos de campo, un medidor de humedad tipo directo para el café en pergamino, denominado medidor de humedad **CENICAFE-MH, OLIVEROS y ROA, (16), (Figura 6.1)** basado en el método de destilación de Brown-



**Figura 6.1 Determinador de Humedad CENICAFE-MH**

Duvel y en los ensayos pioneros del CENTREINAR en el Brasil.

El procedimiento consiste en pesar una muestra de 100 gramos y colocarla en el recipiente con aceite vegetal, calentar la mezcla hasta que alcance un valor previamente calibrado y que se mide con un termómetro. El calor transferido a los granos permite que toda el agua del grano se evacue en forma de vapor de agua, que se recupera y se mide por la acción del condensador y la probeta graduada. El tiempo requerido para cada determinación de humedad fue 20 minutos.

1. Los elementos constituyentes del medidor tales como el recipiente de la mezcla café aceite, condensador y resistencia eléctrica, están

dispuestos en un sólo cuerpo, lo cual facilita su manejo y aumenta su durabilidad.

2. La fuente de energía necesaria para la evaporación del agua es eléctrica.

Se seleccionó una resistencia de 550 watios, la cual corresponde a la resistencia interior del conjunto de una resistencia eléctrica de una estufa eléctrica convencional de 1.200 watios a 110 voltios.

Para condensar el vapor extraído de los granos se diseñó un condensador compuesto por un tubo de cobre de 6,35 mm (1/4"), de diámetro nominal y de 25 cm de longitud, doblado en forma de L invertida, girado 45 grados. El tubo es sumergido en un depósito de 2.7 litros de capacidad.

Se realizaron 100 lecturas de calibración en el laboratorio con humedades del café pergamino variando en el rango de 10.4 a 45,8% b.h. El 90% de las lecturas presentaron desvío absoluto inferior a 1.0% b.h.. La mayor precisión del equipo se obtuvo en el rango de 10.4 a 20% b.h.

Para la etapa de campo, en la cual se evaluó la precisión del equipo para determinar la humedad a muestras extraídas de secadores mecánicos de café, operado por usuarios con diferente nivel de instrucción, se construyeron nueve (9) medidores de humedad similares al utilizado en la primera etapa, denominado medidor de humedad y se asignaron a igual número de usuarios en plantas de procesamiento (beneficio) de café con el fin de controlar la operación de secado del café pergamino. Se realizaron en ésta etapa un total de 239 lecturas de humedad variando en el rango de 28 % a 7.7% b.h. El 63.4% de las lecturas tuvieron un desvío absoluto inferior al 1.0% b.h. Estos resultados, a pesar de ser inferiores a los obtenidos en la etapa de laboratorio, se consideran aceptables considerando que: las muestras de café pergamino fueron tomadas de secadores de capa fija en los cuales la humedad final es desuniforme, especialmente cuando se utilizan temperaturas de aire superiores a 55 °C, y el personal encargado del manejo del medidor de humedad fue, en general, de bajo nivel de instrucción.

Con base en las recomendaciones de tipo práctico propuestas por los usuarios del medidor de humedad en la prueba de campo se realizaron modificaciones al modelo inicial, para facilitar su utilización.

Los resultados obtenidos en el desarrollo del medidor de humedad, tanto a nivel de laboratorio como a nivel de campo, su precisión para determinar la humedad del café en pergamino sometido a secado, la alta resistencia del equipo, su facilidad de construcción en talleres no especializados y su bajo costo, permiten recomendar al medidor CENICAFE MH para la determinación de la humedad del café en pergamino en los procesos de secado y de almacenamiento.

### 6.1.3 Difusión de humedad dentro del grano del café

Durante el secado cada uno de los granos cede la mayor parte de su humedad al aire que lo rodea. Inicialmente la humedad de la superficie del grano se transfiere fácilmente al aire. A medida que transcurre el secado se inicia una migración de agua de la parte más interna del grano a la más externa para sustituir la humedad perdida en la superficie. Este fenómeno de movimiento de la humedad dentro del grano se denomina difusión.

Como resultado de la difusión de humedad los contenidos de humedad dentro del grano, durante el secado, son diferentes, más altos en el interior y mínimos en la superficie. A medida que disminuye la humedad del grano, la difusión de humedad tiende a ser más lenta y la forma de aumentarla es aumentar la temperatura del grano. El aumento de la temperatura origina un aumento de la presión de vapor del agua (que es la variable que determina directamente las tasas de difusión del agua dentro del sólido entre la interfase sólido-aire)

El aumento de la temperatura de los granos a medida que progresa el secado ocurre naturalmente porque cuando hay menos humedad, hay menos tasas de secado y menos enfriamiento por evaporación.

En la sección 6.3.9.4 se presenta con algún detalle las ecuaciones de difusión empleadas en la simulación matemática.

### 6.1.4 Contenido de humedad de equilibrio

El proceso de pérdida de humedad del grano al aire termina cuando la presión de vapor del agua en la superficie del grano se iguala a la presión de vapor del aire, evento que se presenta en diferentes condiciones y depende, del contenido de humedad del grano, de la humedad del aire y de la temperatura, normalmente común, del aire y del grano.

CONTENIDO DE HUMEDAD DE EQUILIBRIO DEL CAFE PERGAMINO

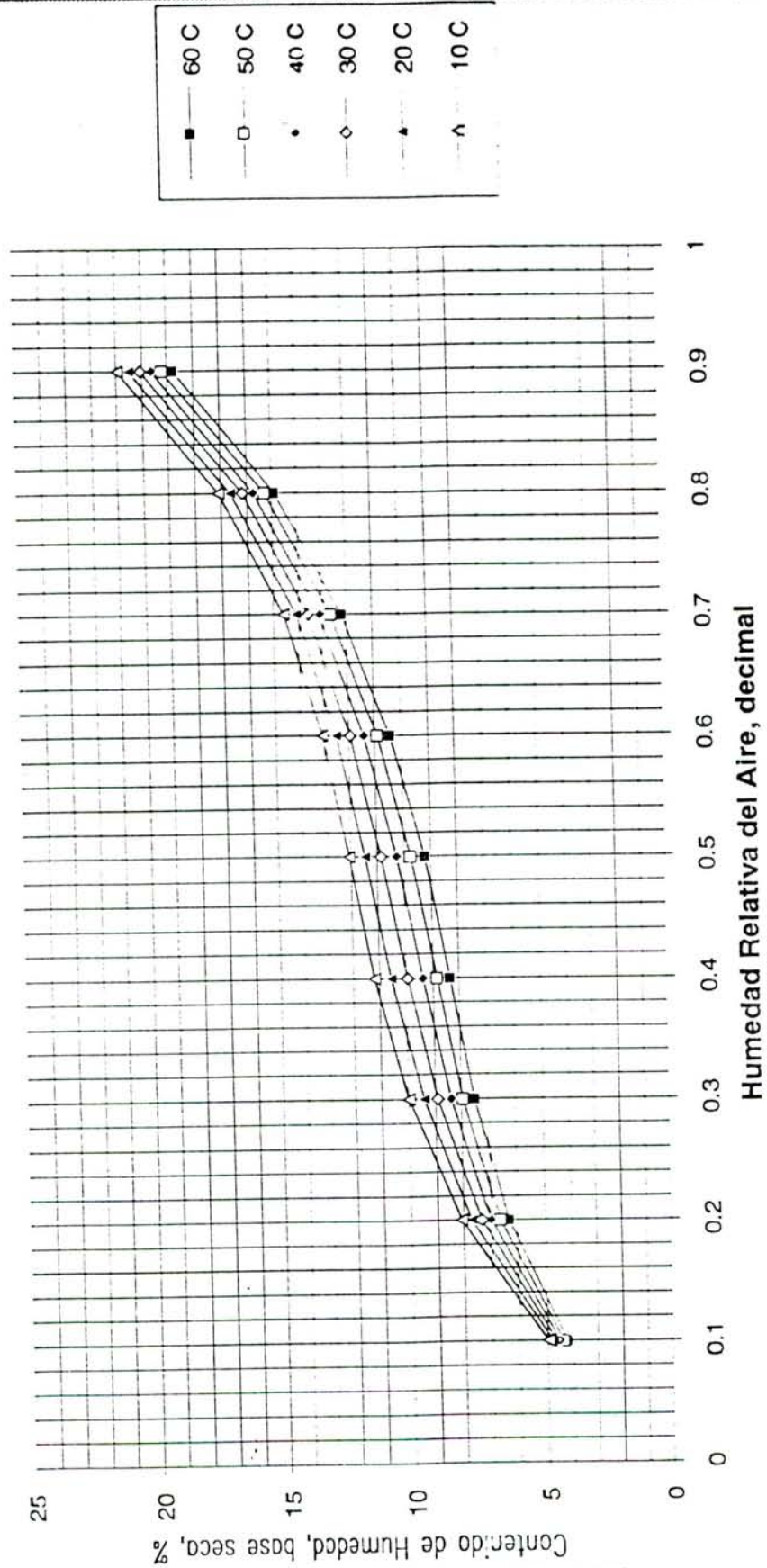


Figura 6.2 Curva de Contenido de humedad de Equilibrio

Es posible también que el grano absorba humedad del aire, cuando su presión de vapor sea menor.

Las relaciones de humedad de equilibrio son determinantes para el entendimiento del comportamiento del grano en el secado y en el almacenamiento. *FIGURA 6.2*

En la sección 6.3.9.3 se amplía el concepto de humedad de equilibrio y se presentan algunas de las ecuaciones que representan el fenómeno de humedad de equilibrio del café pergamino.

### 6.1.5 Relaciones sicrométricas del aire

El aire es, desde un punto de vista simplificado, pero correcto para los cálculos de secado y de almacenamiento de los granos, es una mezcla de aire seco y de humedad en forma de vapor de agua. Las propiedades termodinámicas de esta mezcla y la cantidad de que de ellas se dispongan, no solamente son la fuente de suministro de la energía para la evaporación de la humedad del café sino que determinan, en conjunto con otras propiedades, como las curvas de humedad de equilibrio, las tasas de transferencia de humedad entre los dos medios.

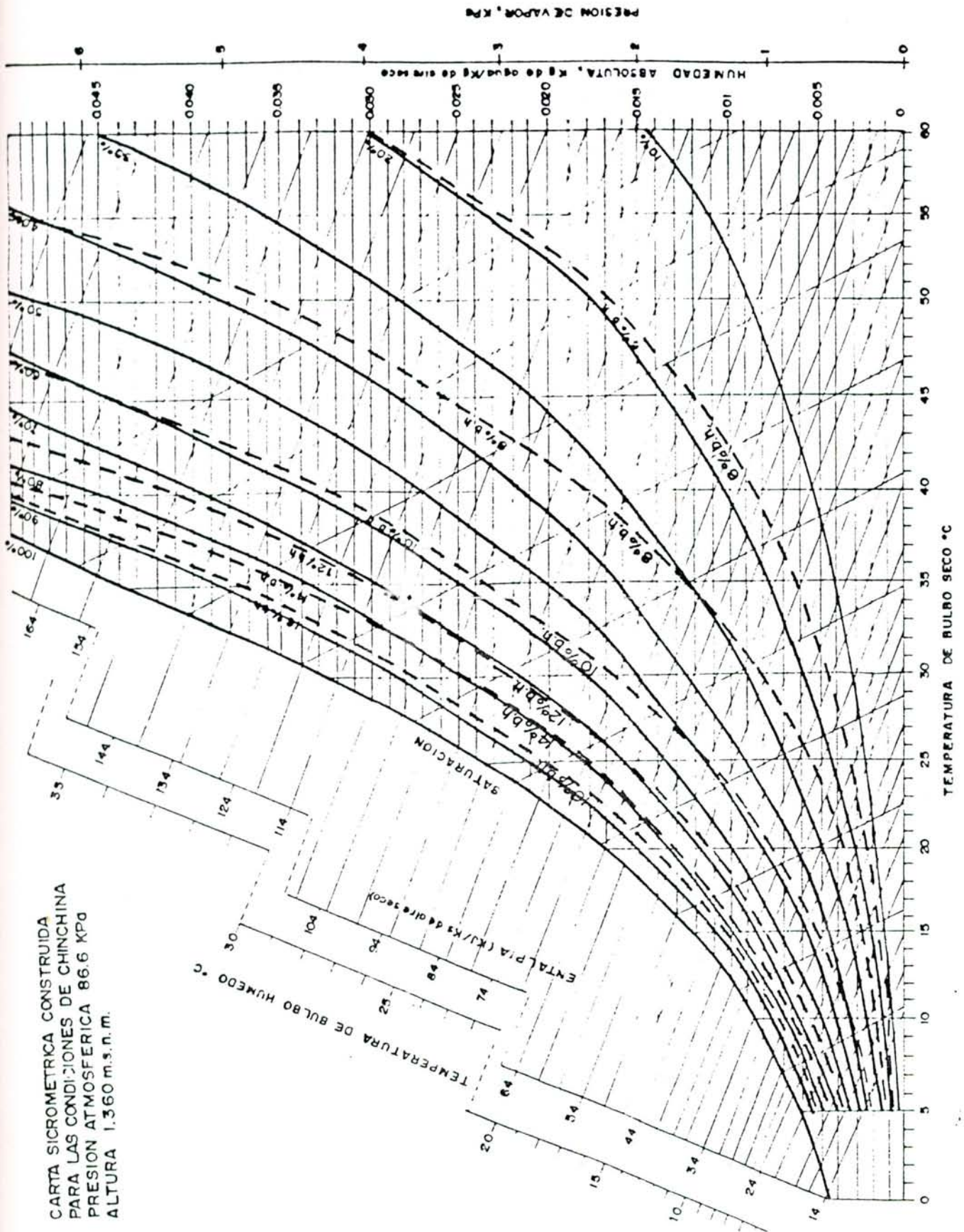
El entendimiento de las relaciones sicrométricas. BROOKER y COL. (3) son fundamentales para entender, diseñar y operar adecuadamente los sistemas de secado y de almacenamiento.

Afortunadamente todas las relaciones sicrométricas necesarias para éstos cálculos se han logrado representar en el diagrama o carta sicrométrica (Figura 6.3). En ella se encuentran:

**Temperatura de bulbo seco.** que es la temperatura que indica un termómetro común, y corresponde al eje de las x's. en la carta sicrométrica.

**Humedad absoluta,** es la cantidad de vapor de humedad que el aire posee, con relación a la cantidad de aire seco contenido en el mismo volumen. Se expresa en gramos de agua por gramos de aire seco. Corresponde al eje de la y's, dibujadas en el lado derecho de la carta sicrométrica.

**Humedad relativa,** es una relación expresada en porcentaje, de la presión de vapor que ejercen las moléculas del vapor de agua con relación a la máxima presión que podrían ejercer. lo que ocurre cuando



CARTA SICROMETRICA CONSTRUIDA  
 PARA LAS CONDICIONES DE CHINCHINA  
 PRESION ATMOSFERICA 86.6 KPa  
 ALTURA 1,360 m.s.n.m.

6.3 Diagrama sicrométrico del aire



el aire posee la máxima cantidad de agua posible (saturación). Se indican en la carta psicrométrica como líneas de humedad relativa constante. La curva de 100 % de humedad relativa es la curva de saturación.

**Entalpía del aire**, es la energía asociada al aire, expresada en el diagrama psicrométrico en kilojulios por kilogramo de aire seco. Se indican en el diagrama psicrométrico como líneas rectas con ángulos inclinadas.

**Densidad del aire**, se indican en el diagrama psicrométrico, por su valor inverso, en  $\text{m}^3/\text{kg}$  de aire seco, como líneas rectas inclinadas.

**Temperatura de bulbo húmedo**, es definida como la temperatura que acusa un termómetro que posee una película de agua en su bulbo en evaporación máxima.

**Temperatura de punto de rocío**, es definida como la temperatura más baja que el aire puede llegar sin que su humedad se condense, cuando se enfría, a valores de humedad absoluta constante. En la carta psicrométrica corresponde al corte del valor de la humedad absoluta que pasa por el punto considerado, con la línea de saturación.

En forma resumida los procesos termodinámicos más comunes en el secado se indican de la siguiente manera:

El **calentamiento del aire** ocurre de izquierda a derecha a lo largo de una línea de humedad absoluta constante.

El **enfriamiento del aire** ocurre de derecha a izquierda a lo largo de una línea de humedad absoluta constante. Cuando el aire llega a la saturación puede continuar su enfriamiento a lo largo de la línea de saturación.

\*La **humidificación del aire**, cuando se seca una capa gruesa de granos, ocurre a lo largo de líneas de entalpía constante. La deshumidificación del aire ocurre cuando se hidrata una capa gruesa de granos, y toma lugar a lo largo también de líneas de entalpía constante, en sentido contrario. En caso de caudales de aire bajos, como se emplean en aireación, durante el almacenamiento de grandes masas de granos, los procesos de humidificación o deshidratación del aire son alterados siguiendo las curvas correspondiente a las condiciones de equilibrio del aire con el grano.

Las curvas de humedad de equilibrio del grano, correspondientes a valores de humedad constante, por ejemplo 11%, base húmeda, pueden ser graficados, seleccionando los pares de valores de temperatura de bulbo seco y de humedad relativa correspondiente a un valor constante de las curvas de humedad de equilibrio.

## 6.2 SECADO SOLAR DEL CAFE

El secado solar se practica desde el mismo momento en que se inició la producción del café, y todavía se utiliza básicamente el mismo procedimiento. Tampoco se espera que el método tradicional del secado del café varíe sustancialmente en el futuro, porque el aprovechamiento de la energía disponible (la radiación solar incidente y la energía propia del aire) es aceptable, y los costos de los equipos utilizados son razonablemente bajos.

El intercambio de energía y de humedad toman lugar en la superficie de los granos. Los granos que están en la parte inferior, en contacto con la superficie prácticamente permanecen en el mismo estado. Por tanto, el revolvimiento de ellos es necesario. Se recomienda hacer tres o cuatro revolvimientos por día. Se utiliza un rastrillo de madera sencillo para efectuar el revolvimiento.

Los granos sometidos al secado solar en la parte superior de la capa no llegan a estar en equilibrio higroscópico con el aire que lo rodea porque reciben una energía extra del sol, que origina su calentamiento y el aumento de la presión de vapor de agua en su superficie.

Los fenómenos de transferencia de energía y de humedad en el secado solar es compleja, porque son numerosas las variables que tienen importancia: la radiación solar que varía grandemente; la temperatura, humedad y velocidad del aire que también varían; el contenido de humedad del grano que va disminuyendo gradualmente; el tipo de piso sobre el cual descansa el grano; el espesor de la capa del grano; el procedimiento y periodicidad utilizado para revolver los granos.

Como consecuencia el tiempo total de secado varía grandemente, desde dos o tres días hasta uno o dos meses.

En términos generales, para la zona cafetera colombiana, se considera necesario que para un agricultor que produzca 300 arrobas (3.7 ton) de café seco, se debe disponer de por lo menos 100 metros cuadrados para secar su café al sol. Este valor corresponde a 27 metros cuadrados

por tonelada de café pergamino seco, o a 1.5 metros cuadrados de área de secado solar por cada cinco (5) arrobas de café pergamino seco.

### 6.2.1 Radiación solar

En un buen día de sol la energía radiante tiene una intensidad en la superficie terrestre de  $1\text{kJ/s}\cdot\text{m}^2$ . En un día (8 horas de sol) se tendrían disponibles  $28800\text{kJ/m}^2$ , con lo que se podrían evaporar  $11.7\text{kg}$  de agua, o lo que es equivalente secar  $0.83$  arrobas de cps ( $10.3\text{kg}$ ). Este valor sólo se consigue en aproximadamente 10 días porque la eficiencia del aprovechamiento solar es muy baja, aproximadamente entre el 7 y el 13%, SIVETS y FOOTE (24). La baja eficiencia se explica porque la radiación sólo es captada por una fracción pequeña de los granos y porque la superficie del pergamino no es un colector solar muy eficiente.

### 6.2.2 Velocidad del viento

Las masas de aire que se mueven naturalmente por factores atmosféricos se encarga de remover la humedad desprendida de los granos y de entregar parte de su energía calorífica (entalpía). La energía del aire no es despreciable porque es obtenida de otras superficies terrestres de área infinita.

En general, entre mayor sea la velocidad del viento mayores son las tasas de secado del café pergamino, principalmente en el inicio del proceso, cuando es mayor el contenido de humedad en la superficie del grano, de fácil evaporación. La influencia del viento en el secado se hace menor a medida que los granos presentan menor contenido de humedad, porque la resistencia principal a la evaporación reside en el interior del grano, o sea que la difusión del vapor de agua se hace más lenta. En esta etapa es necesario aumentar la temperatura del grano de forma que la presión de vapor interna aumente. De esta forma, las corrientes de aire pueden enfriar los granos, produciendo una acción negativa de secado.

### 6.2.3 Secadores solares de café

#### 6.2.3.1 Bandejas o paseras.

Generalmente se construyen en madera con piso de mallas o de madera, Figura 6.4.

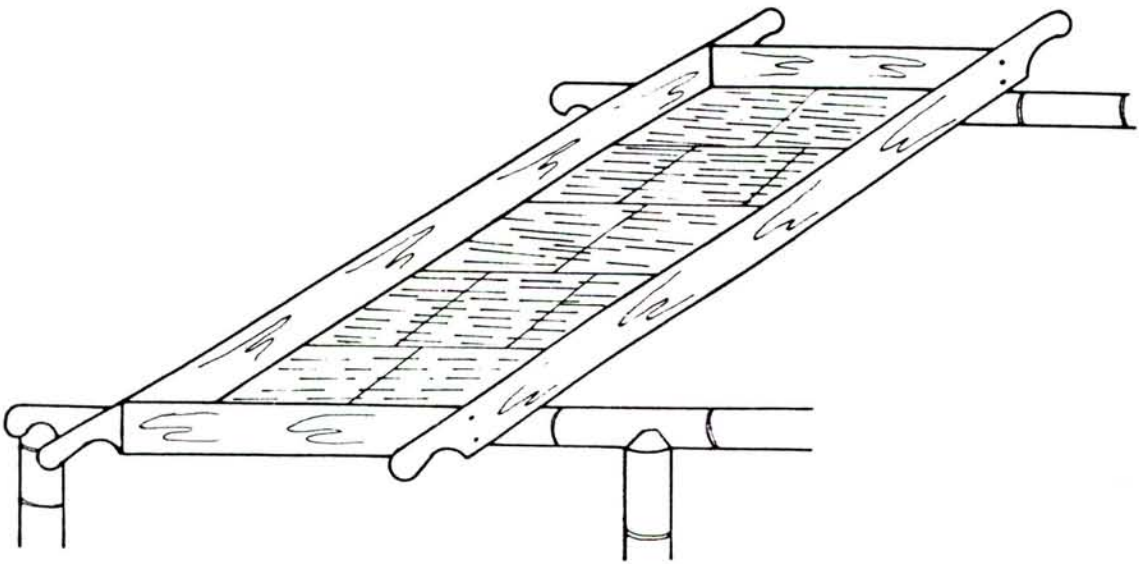


FIGURA 6.4. Paseras

Las dimensiones más utilizadas son de 1.2 metros de ancho por 2 de largo y 0.15 centímetros de alto (y 3.5 cm de capa de grano). Se colocan sobre estructuras construidas en madera o guadua.

### 6.2.3.2 Patios .

Construidos generalmente en concreto. Se recomienda construirlos con una pendiente longitudinal del 1%. Se pueden construir casetas para proteger al café de la lluvia, que es frecuente durante la cosecha. Algunos productores acostumbran levantar sardineles, en ladrillo revocado, en forma de herradura, con el fin de proteger al café del agua que pueda escurrir sobre el patio.

La inversión inicial, por unidad de área, es relativamente alta pero se compensa por la duración prolongada del secador. No se recomienda colocar el café cuando el patio está muy caliente, lo que normalmente ocurre después del medio día, para disminuir posibles daños al pergamino.

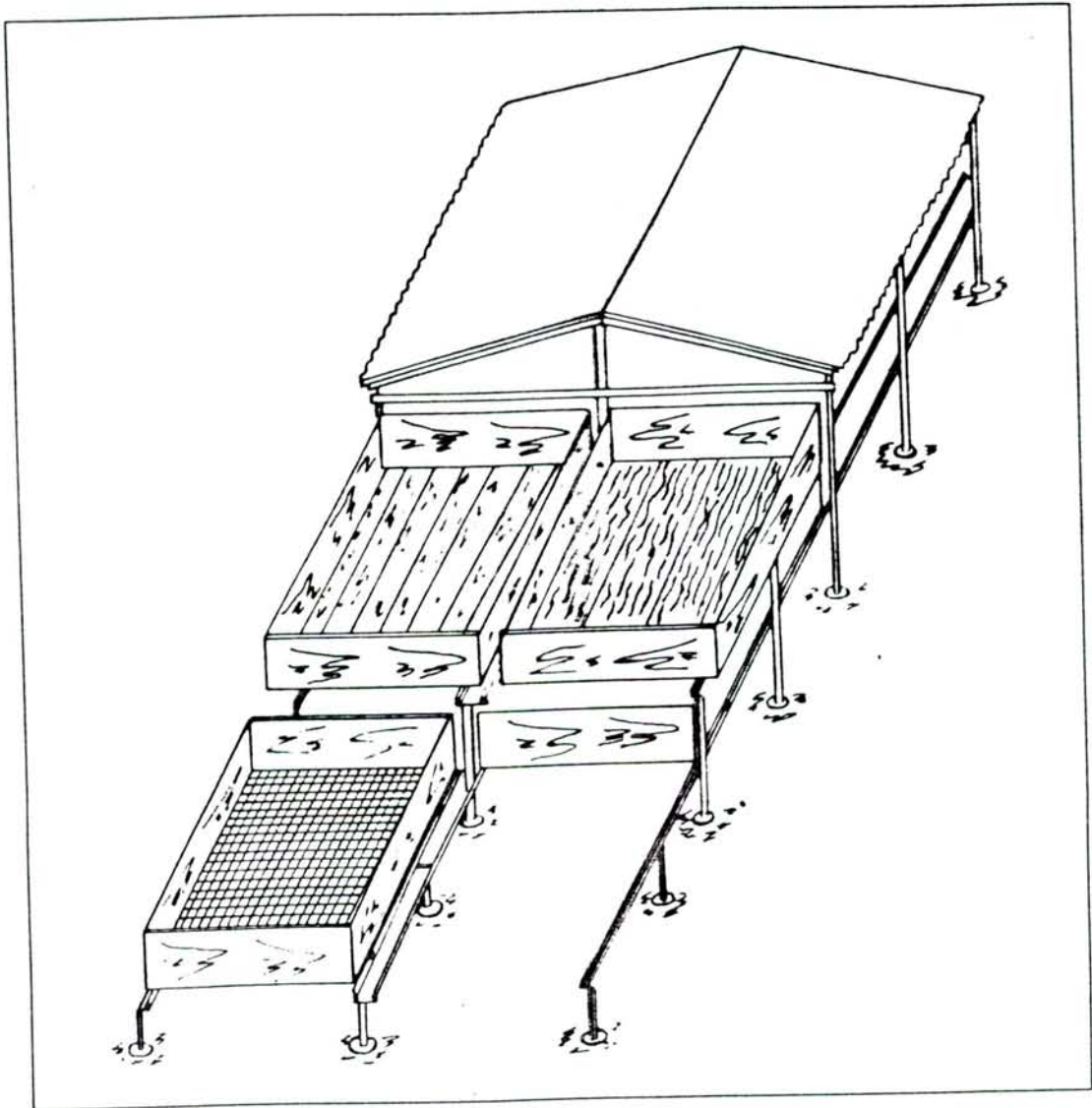
### 6.2.3.3 Carros.

Consisten en estructuras móviles construidas en madera, con fondos de madera, esterilla o lámina perforada, (cuando se dispone de ésta lámina se obtienen los menores tiempos de secado). Los carros van colocados sobre rieles de tal forma que se pueden deslizar y proteger de la lluvia colocándolos bajo un techo común. Esta característica permite actuar con mayor rapidez en presencia de las lluvias. Estos dispositivos se adaptan a los niveles de producción pequeñas y medianas. Su costo inicial es comparativamente alto. En la Figura 6.5 se muestran los carros secadores.

### 6.2.3.4 Marquesinas.

Son estructuras de hierro o de madera con techo en vidrio o en plástico y pisos y paredes generalmente en mampostería. Figura 6.6. Estos secadores permiten aprovechar la radiación difusa, durante los días poco soleados o lluviosos y la radiación directa durante las horas de sol.

También acumulan energía en forma de calor, la cual es muy importante en las últimas etapas del secado cuando se requiere de mayor temperatura del grano para acelerar la difusión del vapor de agua. Lo anterior representa ventajas con respecto a los otros secadores desde el punto de vista del aprovechamiento de energía solar y del aire. Sin



**Figura 6.5. Carros Secadores**

embargo, la inversión inicial para estas estructuras y el área que se debe destinar para su instalación, constituyen sus principales limitaciones para medianos o grandes productores.

#### **6.2.3.5 Bandejas rotatorias**

Se han evaluado en CENICAFE, en forma comparativa, con los carros y las marquesinas, demostrando mayor eficiencia para el aprovechamiento de la energía solar, útil para el secado del café.

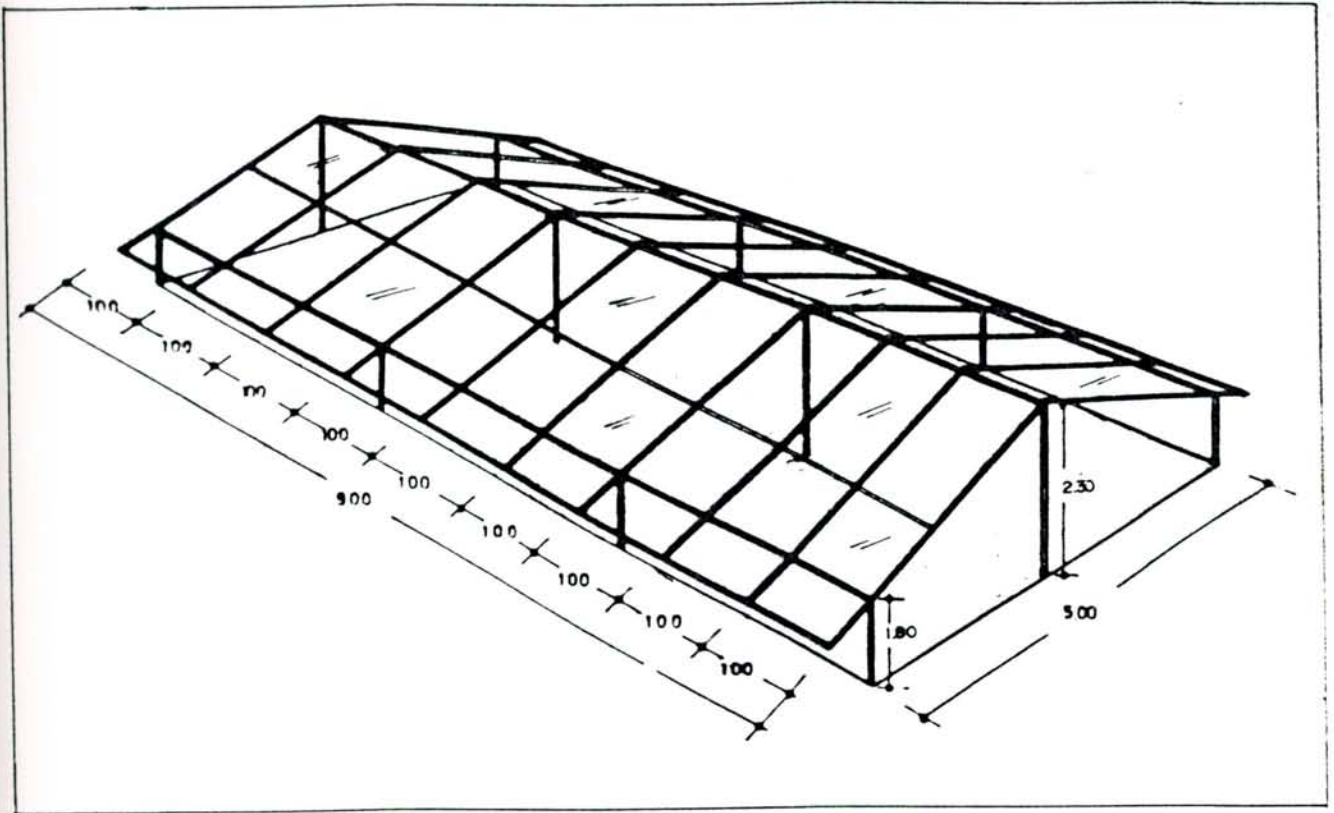


FIGURA 6.6 Marquesinas

Para las mismas cantidades de café (3.8 cm de capa), secan el producto en tiempos inferiores al requerido en las otras estructuras comúnmente utilizadas para el secado solar. GONZALEZ (10).

Las bandejas rotatorias permiten el secado en capas de café contenidas entre dos mallas de aneje, que pueden ser colocadas en diferentes posiciones, para seguir la trayectoria del sol. La remoción del grano se consigue girando la bandeja alrededor de su eje, evitándose el uso del rastrillo. Otras ventajas adicionales, son la limpieza de la operación y la protección del café en caso de lluvia. Su costo es comparable al de las paseras.

En la Figura 6.7 se muestran los detalles constructivos de los secadores de bandeja rotatoria solar.

Las curvas de secado obtenidas en CENICAFE para bandejas rotatorias, estufa solar y carro con piso de malla se presentan en la FIGURA 6.8. Los tres secadores fueron cargados hasta tener una capa de 3.8 cm de espesor.

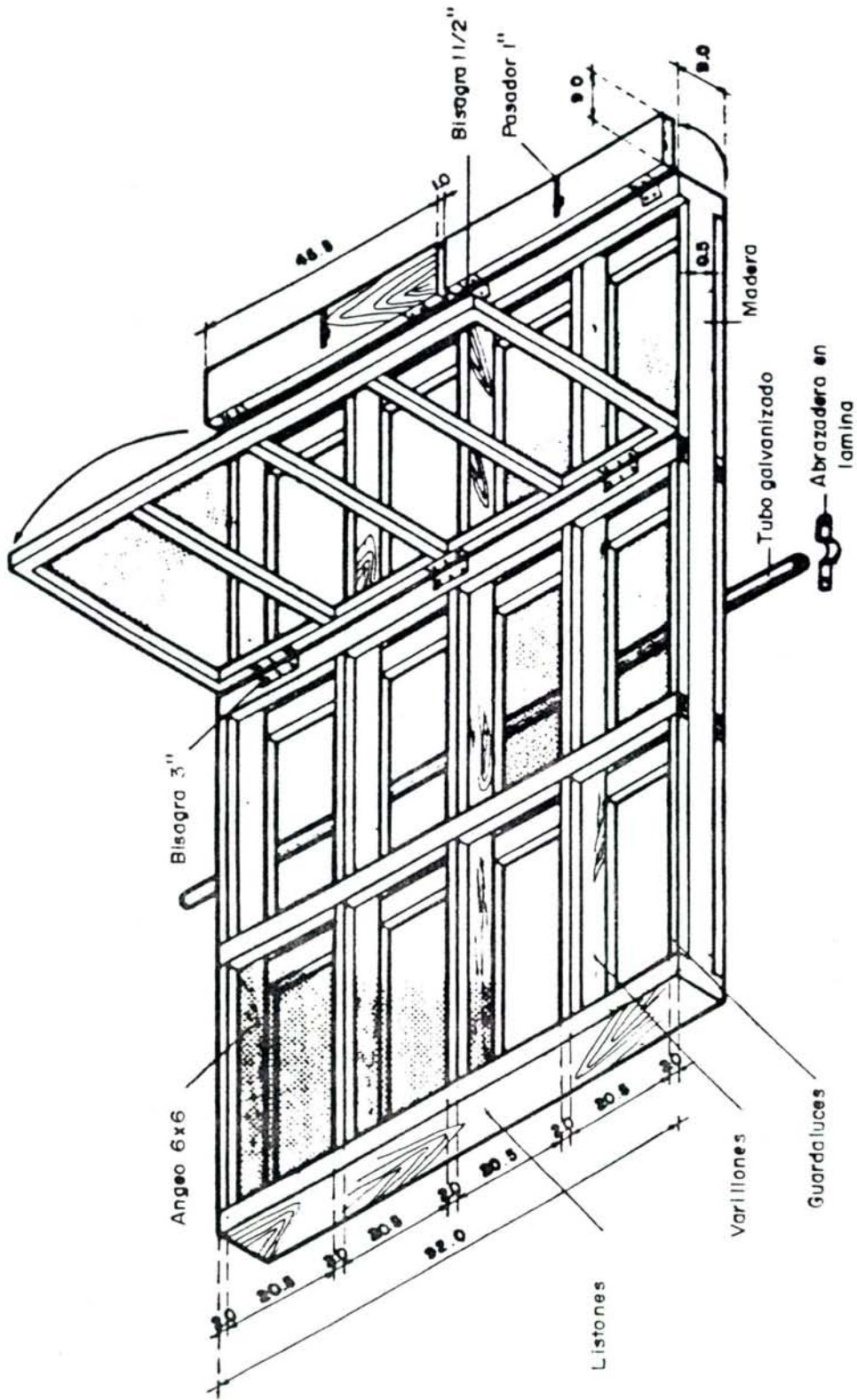
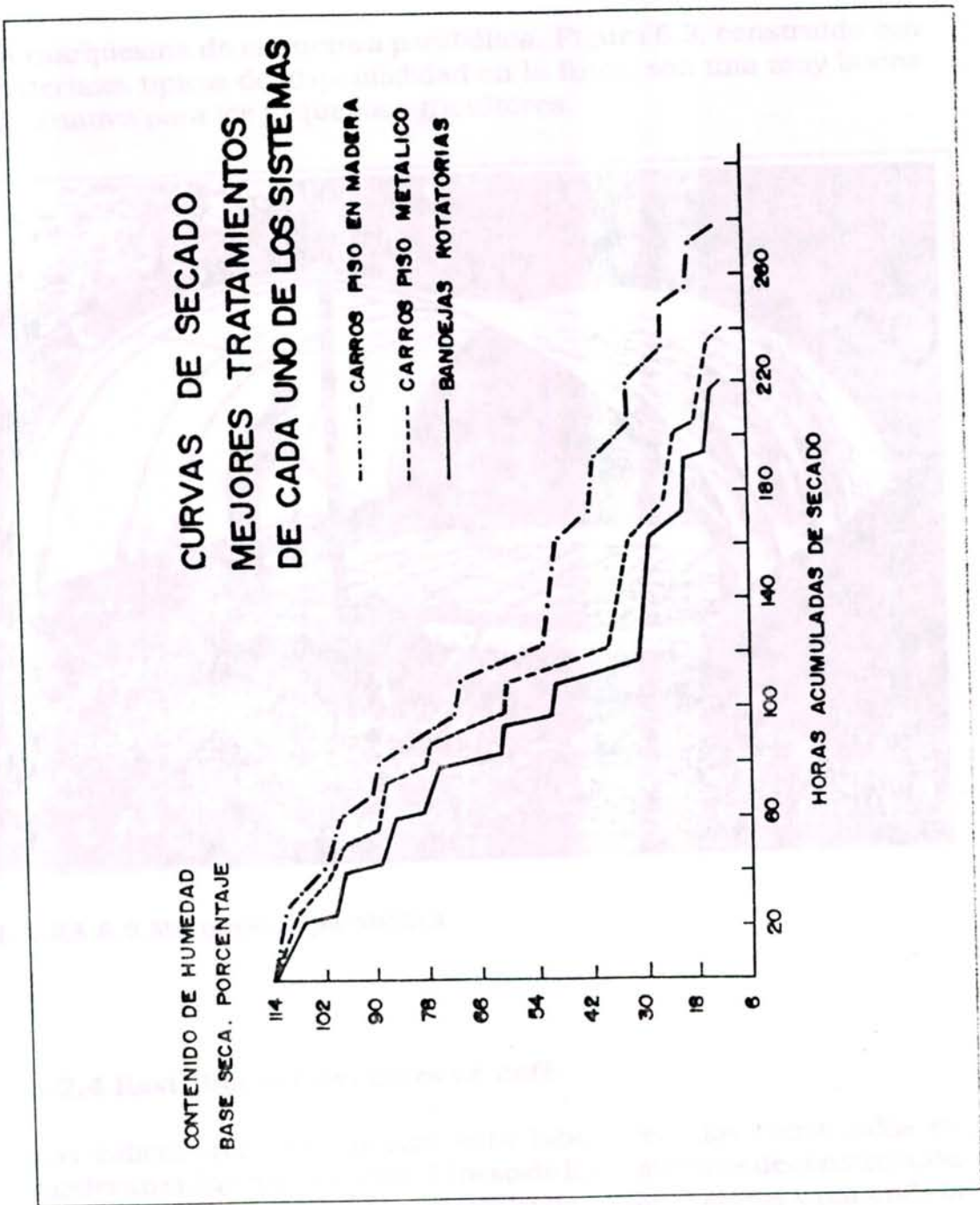


FIGURA 6.7 Secador de Bandeja Rotatoria.





**FIGURA 6.8** Curvas de secado para Secadores rotatorios, Marquesina y Carros secadores

Como puede observarse en las bandejas rotatorias se consigue secar en menor tiempo, aproximadamente un (1) día menos, que en la marquesina recubierta en plástico. Para el carro con piso de malla se requirieron tres (3) días adicionales de secado.

La marquesina de estructura parabólica, Figura 6.9, construida con materiales típicos de disponibilidad en la finca, son una muy buena alternativa para los pequeños agricultores.

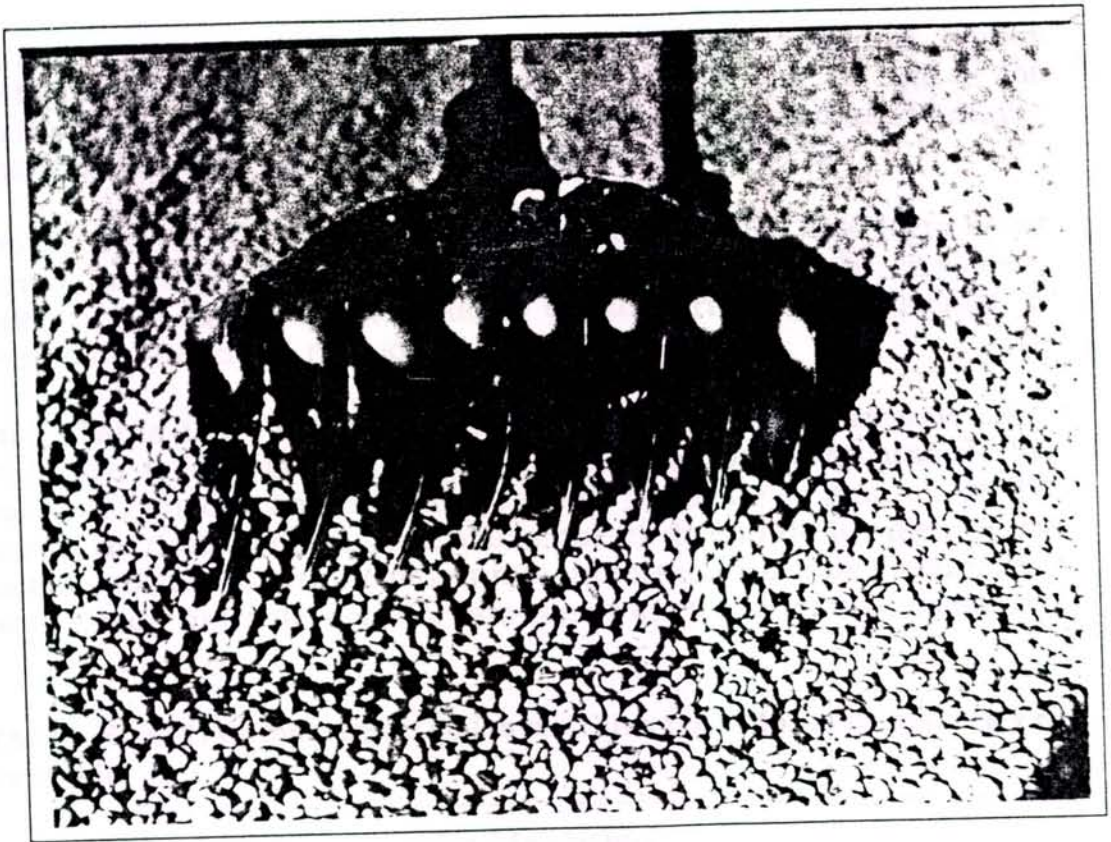


FIGURA 6.9 Marquesina parabólica

#### 6.2.4 Rastrillos revolvedores de café

Los caficultores utilizan para esta labor rastrillos construidos en madera o en lámina de hierro. El peso de los materiales de construcción de los rastrillos conlleva la utilización de mangos cortos y por ende la necesidad de que el operario pise el café para revolverlo dando como resultado grano pelado, resquebrajado y contaminado con materiales extraños. La presión y fricción del rastrillo sobre el grano puede originar además aplastamiento del grano. Estos defectos comprometen la calidad física del café.

Se presenta un nuevo rastrillo revolvedor. ALVAREZ (2), cuyo material



**FIGURA 6.10. Rastrillo revolvedor CENICAFE.**

de construcción es una lámina de PVC proveniente de un tubo de 6" y 5 mm de espesor, que es sometido a una temperatura de 150 grados centígrados durante cinco ( 5 ) minutos para volverlo maleable y darle la forma adecuada.

El rastrillo (Figura 6.10) se diseñó con ocho dientes de 4 cm de ancho, con un giro 105 grados. El rastrillo se fija a una Te de PVC de presión de 1-1/2". Por medio de una reducción de 1-1/2" a 1/2" se acopla a un mango (cabo) de madera de 3 m de longitud

Se efectuaron cinco (5) pruebas para evaluar el desempeño del nuevo rastrillo comparándolo con el rastrillo tradicional en madera. En dos carros secadores se colocó la misma cantidad de café pergamino lavado, (120 kg/carro) con una capa de 3.5 cm de espesor y se sometieron al proceso de secado. La masa de café fue revuelta tres veces al día con cada uno de los rastrillos.

Para determinar la efectividad y uniformidad de volteo de ambos rastrillos evaluados, se pintó la capa inferior de café de uno de los carros, mostrando visualmente mayor efectividad en la mezcla y mayor uniformidad de la capa revuelta el rastrillo CENICAFE.

Los resultados muestran que con el rastrillo CENICAFE, se logra secar el café, hasta un contenido de humedad final del 12% b.h., en setenta y dos horas menos que cuando se utilizó el rastrillo tradicional, el tiempo de secado se redujo en un 25%.

En la Tabla 6.1 y Figura 6.11 se presentan los resultados de daño mecánico (grano pelado, trillado), originados por cada uno de los rastrillos, encontrándose que el rastrillo Cenicafé origina un 46.2% menos de daño mecánico, debido a que el diseño de los dientes del rastrillo Cenicafé permite mover más uniformemente el café y realizar su labor desde fuera del secador, sin comprometer la calidad física. ver

**TABLA No 6.1. Comparación de los rastrillos tradicional en madera y el Cenicafé.**

Prueba	Daño Mecánico	
	R. Tradicional	R. Cenicafé
1	2.43	1.25
2	0.40	0.30
3	0.48	0.12
4	0.55	0.24
5	0.46	0.10
Promedio	0.864	0.402

Para un adecuado funcionamiento del rastrillo Cenicafé, se deben tener en cuenta:

- Aplicarlo sobre toda la masa de café en forma uniforme, sin dejar ni crear espacios para que se seque el piso del secador.
- Revolver por lo menos tres veces al día el café.
- Ejecutar la operación cada vez, sobre la masa total en una dirección

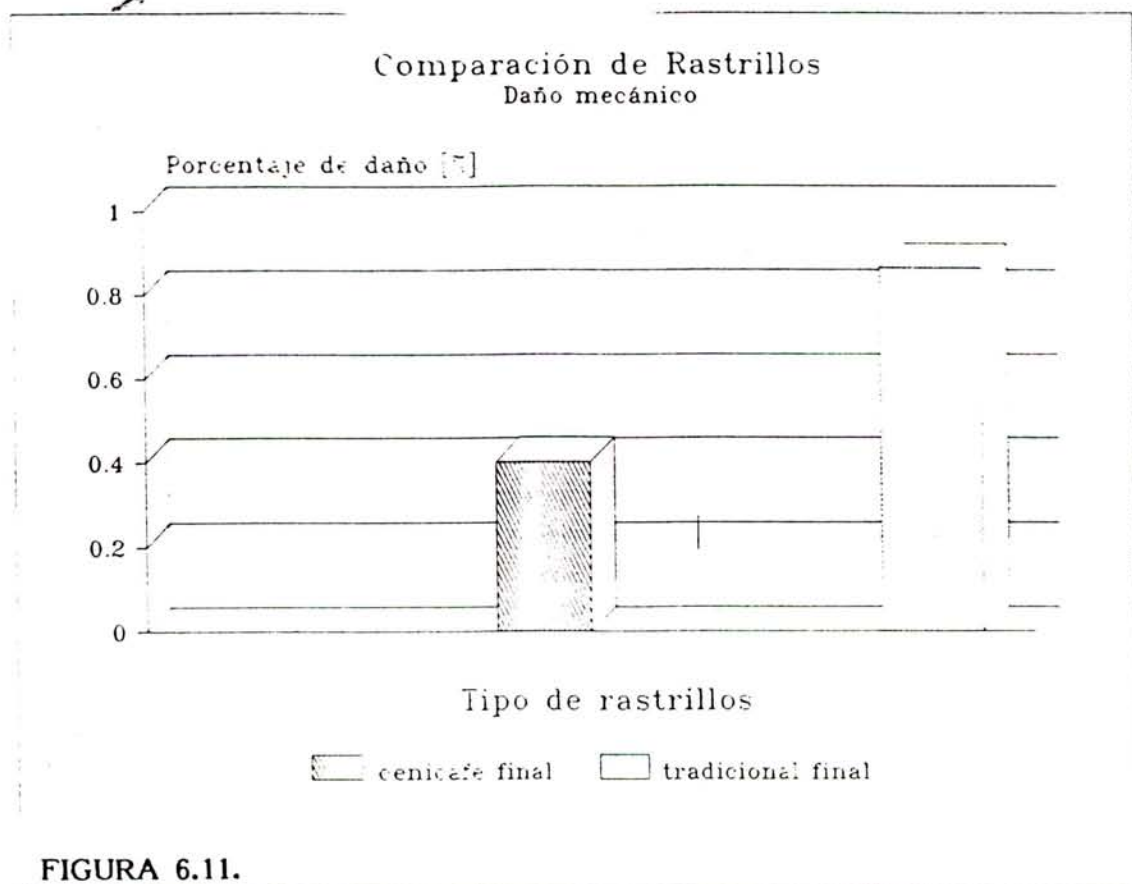


FIGURA 6.11.

FIGURA 6.11

y luego en sentido perpendicular a la anterior.

- Realizar la operación de revolver con el rastrillo desde fuera del secador, no se debe pisar el café.

### 6.3 SECADO MECANICO DEL CAFE

EL secado del café en Colombia con aprovechamiento de las energías del sol y del aire es viable para aquellos casos en que el flujo de cosecha es pequeño, generalmente en fincas con producción anual de menos de 1,000 arrobas de c.p.s.

La cosecha generalmente coincide con la época de lluvias, lo cual hace que el secado bajo esta técnica sea lento, a veces casi nulo y, para el caso del café, por su condición de alto contenido de humedad, es necesario iniciar el proceso con la menor demora posible. Como consecuencia de ello se requiere, para el caso de producciones anuales superiores a la antes mencionada, de una elevada inversión en equipos y en mano de obra para atender el secado. Ante estas limitantes, se opta por el secado mecánico que consiste en introducir aire caliente (no mayor a 50 °C de temperatura, para los secadores de capa estática) a través de la masa de granos, movido por un ventilador y calentado por medio de la combustión de diferentes fuentes de energía.

El método más sencillo, eficiente y de más bajo costo, de secado mecánico de los granos, consiste en el proceso de convección de calor y de masa, que ocurren al calentar el aire y pasarlo a través de la masa del café, que puede estar estático o en movimiento.

En éste proceso se aprovechan las propiedades excelentes del grano para el secado como son presentar un espacio intergranular (entre el 40 y el 45% del volumen total) que permite el paso del aire y ofrecer un gran área superficial para el intercambio de energía y de humedad (aproximadamente 780 metros cuadrados por metro cúbico de café pergamino).

#### 6.3.1 Caudal de aire

El paso del caudal adecuado por la masa del café que se desea secar es de la mayor importancia para el éxito de la operación.

La cantidad de aire que circula por el espacio intergranular es la responsable por entregar la energía para producir la evaporación y

remover el vapor de agua resultante.

Si el aire es insuficiente, normalmente se incrementa el tiempo de secado y los granos presentan altas desuniformidades en el contenido final de humedad, presentándose granos sobresecados y granos flojos, con humedades superiores al 14%. De otro lado si el caudal es mayor de lo necesario, se estará costearo innecesariamente una potencia mayor del motor que acciona el ventilador, y mayores consumos de calentamiento del aire y de energía eléctrica, lo que incidirá negativamente en el costo del secado.

Es muy importante operar los secadores de café con el correcto valor de los caudales de aire. Los resultados de investigación, resumidos por OSPINA (17), indican que para secado en capa estática el valor recomendado es el de 25 metros cúbicos por minuto por cada metro cúbico que ocupe el grano. Este valor es equivalente al de un caudal de 66 metros cúbicos por minuto por tonelada de café pergamino seco o de 20 metros cúbicos por minuto por metro cuadrado, cuando la capa total de los granos es de 0.8 m (con cámara de presecado) o de 10 metros cúbicos por minuto por cada metro cuadrado de secador, cuando la capa de grano es de 0.4 m.

En la Tabla 6.2 se indica el caudal recomendado y las equivalencias

**Tabla 6.2. Caudales recomendados para el secado en capas estáticas**

CAUDAL *	UNIDADES EQUIVALENTES
25	$m^3/(\text{min} \cdot m^3)$
66	$m^3/(\text{min} \cdot \text{ton cps})$
20	$m^3/(\text{min} \cdot m^2)$ para $h=0.8\text{m}$
10	$m^3/(\text{min} \cdot m^2)$ para $h=0.4\text{m}$

(\*) Es preferible utilizar las primeras dos recomendaciones (por unidad de volumen ocupado por el grano o por tonelada de café pergamino seco) porque estos valores siempre son constantes, para cualquier masa de café depositada en el silo-secador

### 6.3.2 Paso del aire a través del café

El paso del aire por la masa de granos es posible gracias a la energía mecánica suministrada por el ventilador. La resistencia ofrecida por el café es proporcional al caudal por unidad de área y se manifiesta por una pérdida de presión estática. La relación encontrada por OLIVEROS y ROA (16), para café pergamino en tres estados de humedad, húmedo, parcialmente seco y seco.

Se debe utilizar para los cálculos la ecuación correspondiente al café húmedo, ya que en este estado el grano ofrece la máxima resistencia al paso de aire.

Para este estado del café la ecuación es la siguiente:

$$P/L = 0.0527 (Q/A)^{1.4845}$$

donde:

P	=	Caída de presión, centímetros de agua ;
Q	=	Caudal de aire, m <sup>3</sup> /min ;
L	=	Altura de la capa de secado, considerando el café depositado en ambas cámaras, m
A	=	Área, m <sup>2</sup>

### 6.3.3 Ventiladores

Los ventiladores tienen la misión de forzar cantidades adecuadas de aire por la masa de los granos.

El cálculo y selección del ventilador adecuado es una tarea para especialistas que deben conocer los requerimientos de los caudales mínimos de secado del café pergamino y el cálculo de las pérdidas de presiones estáticas y dinámicas que el aire sufre al pasar por las capas del café y por cada uno de los elementos por donde debe pasar el aire (ductos, transiciones, expansiones abruptas, curvas, compuertas, válvulas, etc.). El ventilador se selecciona calculando el caudal que debe entregar contra la suma de todas las presiones parciales de que consta el sistema. BROOKER y COL. (2) presentan los cálculos necesarios para el correcto diseño de los sistemas aire-grano.

Otros factores importantes en la selección del ventilador son el tipo (centrífugo, axial), la eficiencia mecánica, el nivel de ruido aceptable,



la estabilidad mecánica, el balanceo estático y dinámico, la calidad y duración de los materiales, la calidad de los rodamientos, el sistema de conexión entre el motor y el eje del ventilador, la posición del ventilador, etc.

La potencia total para mover el ventilador, considerando la eficiencia del ventilador y las pérdidas en la transmisión de potencia, se calcula en la forma siguiente:

$$HP = \frac{(Q \times Pf)}{458 \times n}$$

en donde:

HP	=	potencia en caballos
Q	=	Caudal en metros cúbicos por minuto
Pf	=	presión estática total (cm de agua)
458	=	factor de conversión
n	=	eficiencia mecánica del ventilador, decimal

#### 6.3.4 Generadores de aire caliente. Intercambiadores de calor

Para calentar el aire se utilizan diferentes dispositivos que permiten convertir la energía química almacenada en los combustibles en energía térmica. Los combustibles más utilizados son: ACPM, coque, carbón mineral y algunos productos resultantes de la refinación del petróleo.

Los dispositivos empleados para la conversión de energía deben permitir el calentamiento del aire sin que los productos resultantes de la combustión entren en contacto con él (generadores de aire caliente de tipo indirecto). La correcta operación y mantenimiento de uno de los equipos más utilizados para quemar ACPM por los agricultores, es presentada por Alvarez y Mejia (1).

Los diseños adecuados de generadores de aire caliente deben disponer de características adecuadas para el mayor aprovechamiento de la energía térmica (buena eficiencia), tanto para combustibles líquidos como sólidos. Estas características incluyen la siguientes:

- Buena área para intercambio del calor entre cámara de combustión y las superficies que calientan el aire, que normalmente se aumentan

por medio de aletas.

- Adecuada turbulencia en las regiones de intercambio de calor para garantizar una máxima transferencia de calor.
- Flujos de gases de combustión y del aire con direcciones opuestas.

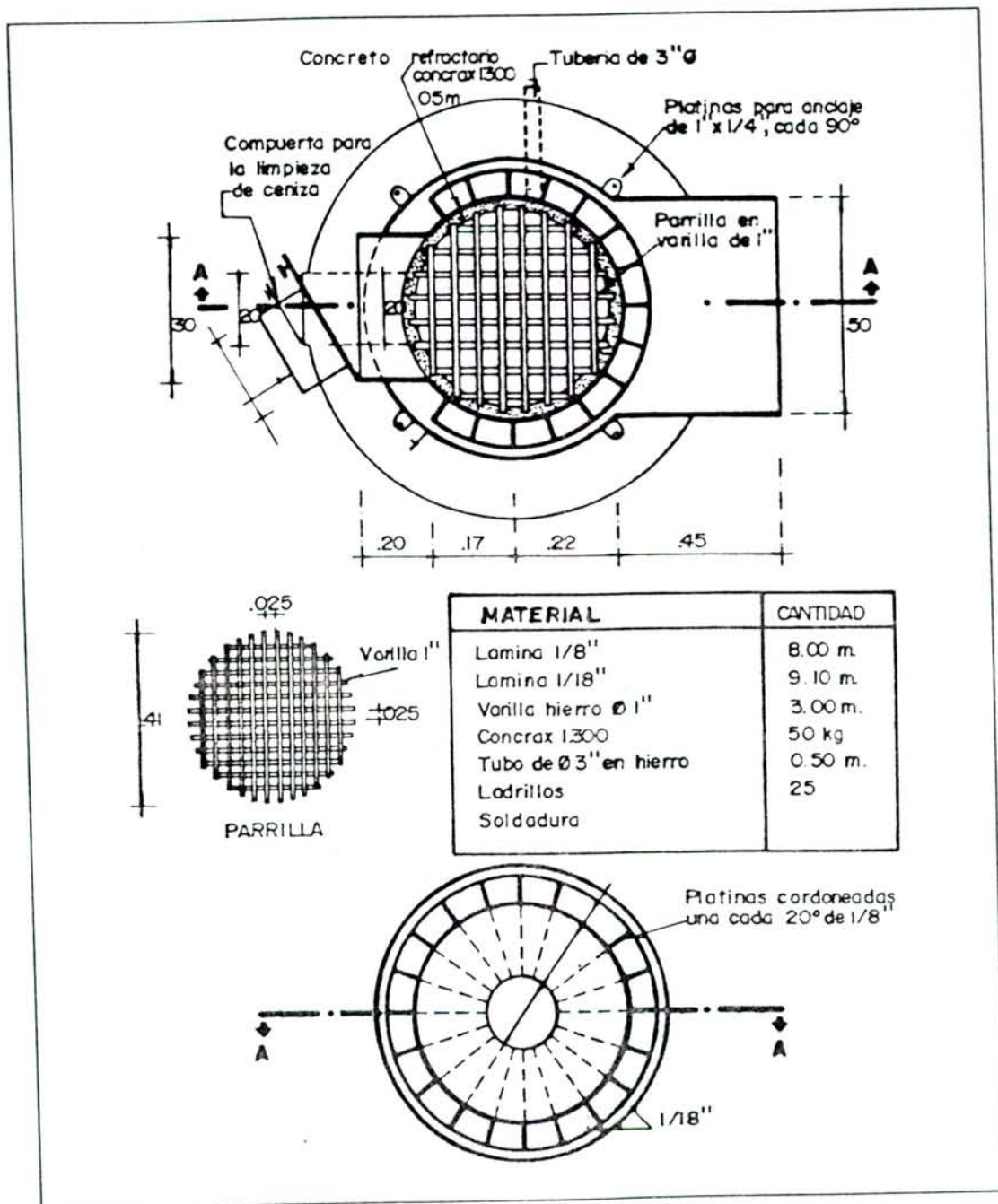


Figura 6.12 Intercambiador Vertical - Planta

NOTA:

Para combustibles líquidos se suprime: La parrilla, la compuerta limpieza de ceniza, tubería de 3"Ø, base en concreto y aleta control de tiro.

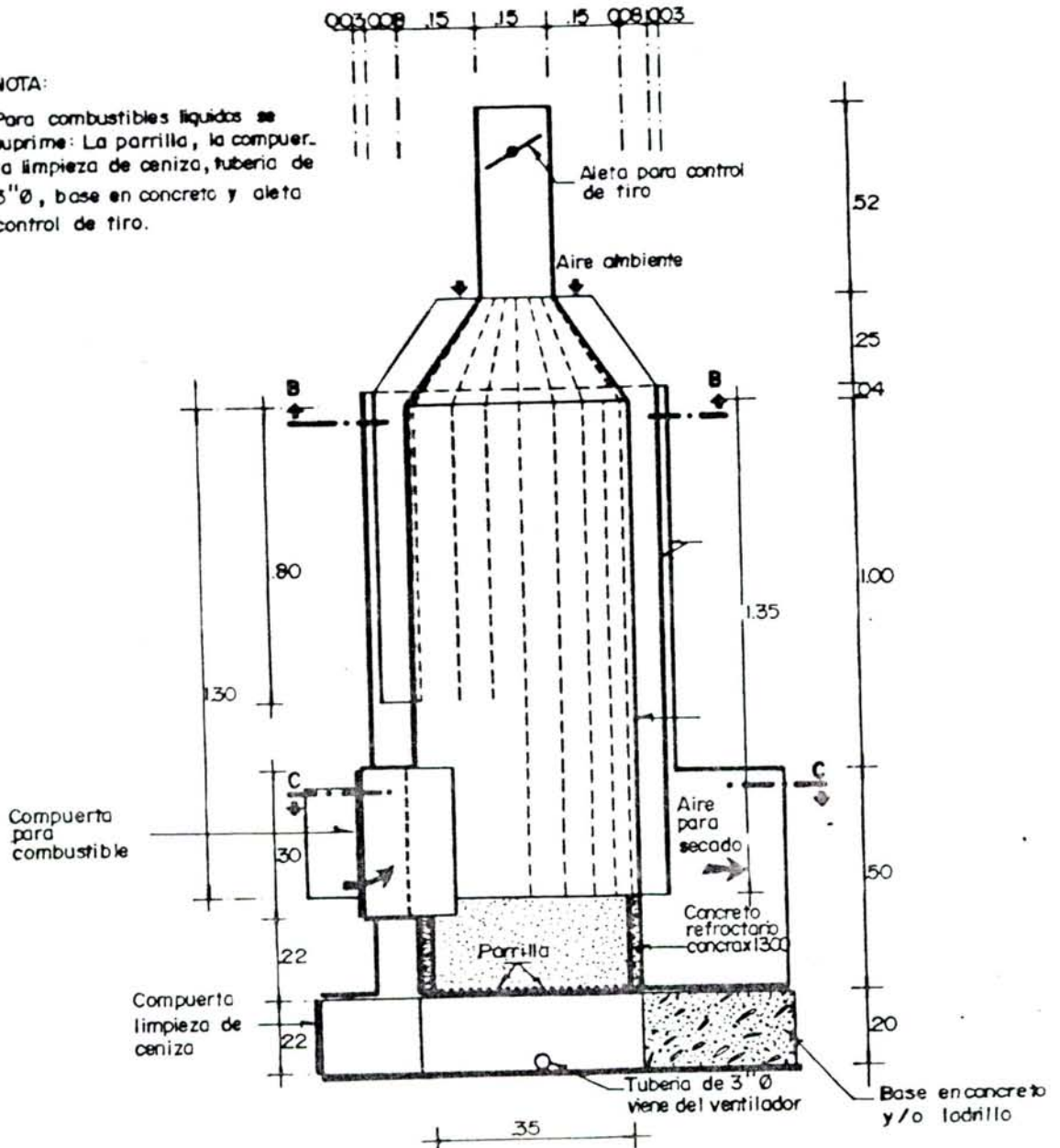


Figura 6.13 Intercambiador Vertical - Corte

En las Figuras 6.12 y 6.13 se presentan esquemáticamente diseños de intercambiadores de calor desarrollados en CENICAFE.

Los combustibles más empleados para calentar el aire para el secado del café son el ACPM y el coque. El ACPM presenta ventajas sobre el COQUE por la autonomía, por su mayor disponibilidad, por la menor inversión inicial en el quemador y por la mayor posibilidad de reducir los riesgos de contaminación del grano.

El COQUE, de menor costo que el ACPM, generalmente se quema en dispositivos de combustión directa, que permiten que los gases de combustión entren en contacto con los granos, con la cual se afecta la calidad del café. Requieren de una alimentación frecuente (normalmente inferior a 3 horas) y no es posible, en la práctica, mantener la temperatura con poca variación alrededor de 50 °C, originando graves problemas con la calidad del café, principalmente por el cristalizado del grano.

La utilización del carbón mineral, o hulla, para la generación de aire caliente en el secado de café es cada vez más creciente. Se dispone ya de quemadores automáticos producidos por la industria nacional que garantizan un buen desempeño tanto energéticamente y con los que se pueden obtener eficiencias próximas al 50%. La de autonomía de alimentación del combustible y la durabilidad de las partes de los equipos, para producir un aire completamente limpio, también han sido refinadas.

Colombia produce en forma general, carbón de buena calidad, en muy buena cantidad, y distribuido por las principales zonas cafeteras. Si bien la inversión inicial en el quemador-intercambiador de calor es más alto que cualquiera de las otras opciones, el costo del combustible es sustancialmente menor.

En la selección del tipo de combustible a utilizar se deben tener en cuenta los criterios antes mencionados y los posibles incrementos en los costos de beneficio por el exceso de la mano de obra que se requiera para alimentar y supervisar algunos quemadores, la cual es de alto valor en horario nocturno.

Para calcular el consumo horario de combustible se debe tener presente: el flujo de aire; las temperaturas máxima de aire de secado y la mínima ambiental; la eficiencia de conversión energía química/energía térmica. Este último factor depende del tipo de intercambiador utilizado. Desde un punto de vista práctico, se puede considerar, para

el caso de intercambiadores utilizados con quemadores de combustibles líquidos lo siguiente:

- Un intercambiador con superficie aleteada permite obtener fácilmente un 50% de eficiencia.
- Con los intercambiadores sin aletas rara vez se obtienen eficiencias superiores al 40%.
- Para la quema de coque, en general, los caficultores utilizan equipos que tienen eficiencia baja, máxima de 30%.

Para calcular el consumo horario de combustibles se recurre al siguiente balance de energía:

Energía generada por el combustible = Energía ganada por el aire + las pérdidas

Las pérdidas están constituidas por las energías transferidas al ambiente y principalmente por la energía perdida en los gases que salen por la chimenea.

A partir de este balance, y para simplificar los cálculos, se puede calcular el consumo horario con la siguiente ecuación:

$$\text{CONSUMO} = Q \times DT \times 60 / (n \times C)$$

en donde:

- Q = caudal de aire, en m<sup>3</sup>/min;
- DT = Diferencia de temperatura entre el aire de secado, generalmente 50 °C para secadores de capa estática, y la temperatura mínima del medio ambiente (varía de una región a otra dependiendo especialmente de su altitud);
- n = Eficiencia del intercambiador, decimal;
- C = Poder calorífico del combustible, kJ/kg.

Para los combustibles más utilizados podemos considerar los valores promedios de poder calorífico presentados en la **Tabla 6.3**

**Tabla 6.3** Poder calorífico de algunos combustibles

COMBUSTIBLE	PODER CALORIFICO
ACPM	146,000 (kJ/gal)
HULLA (antracita)	33,440 (kJ/kg)
HULLA (muestra Riosucio, Caldas)	28,750 (Kj/kg)
COQUE	30,514 (Kj/kg)

### 6.3.5 Secado mecánico de capa estática del café

#### 6.3.5.1 Secado en una sola dirección del aire

Los secadores mecánicos utilizados para café en Colombia son, en general, de capa fija. esto es, el grano se coloca en un depósito provisto de un piso construido en lámina perforada y el aire lo atraviesa en una o en dos direcciones.

Los secadores de capa fija, en la que el aire la atraviesa en una sola dirección producen en general, para todos los granos, un gradiente muy marcado de humedad a lo largo de toda la capa. Para el caso del café pergamino esta diferencia de humedad es todavía más grande debido al alto contenido inicial de humedad del café (cuatro veces mayor que los cereales cosechados húmedos, con 25% de humedad, base seca).

En evaluaciones efectuadas en CENICAFE sobre este tipo de secadores y con la colaboración de los fabricantes se verificó, CENICAFE (6), que para obtener una uniformidad aceptable en el contenido de humedad de los granos, el aire de secado debía controlarse de forma que la humedad relativa no estuviese por debajo de 40 %, lo que se conseguía con temperaturas máximas de 35°C. Estas condiciones de operación del secador de capa fija implicaron que el tiempo total de secado estuviera por encima de 82 horas, valor exageradamente alto, e inaceptable, con relación a los tiempos normales que se consiguen con equipos que permiten la inversión de la dirección del caudal del aire.

Evaluaciones más recientes efectuadas en CENICAFE, OSPINA (17), indican que secando café en un silo secador de capa fija de 0.40 m sin invertir la dirección del flujo del aire con temperaturas de aire de secado de 50 °C y caudal de 60 m<sup>3</sup>/min.ton cps, después de 26 horas

de secado, las diferencias en el contenido de humedad entre las capas extremas fue del 13% (23.8 - 10.8), mientras que la humedad promedio de los granos era de 17%.

Para disminuir el gradiente de humedad en la capa estática del café se ha demostrado válida la opción de invertir, a intervalos de 6 a 12 horas, la dirección del sentido del aire en la capa, de forma que se disminuya el sobresecado en los granos que reciben el aire con mayor temperatura y simultáneamente se disminuye la humedad de los granos localizados en la otra superficie de la capa. Mediante esta operación los granos más húmedos están localizados en el interior de la capa. Si el caudal de aire utilizado no es igual o superior al recomendado (Tabla 6.3), se obtendrán diferencias de humedad que comprometen la calidad del producto y propician su deterioro.

#### 6.3.5.2 Secado con inversión y presecado.

Una forma de mejor utilizar la capacidad de secado del aire consiste en aprovechar el aire de salida de la primera capa estática para que atraviese otra capa, antes de salir a la atmósfera. Esta nueva cámara se denomina cámara de presecado. Es necesario disponer de suficiente potencia en el ventilador para poder cumplir con el caudal mínimo.

Al aumentar la masa de café, se debe aumentar en igual proporción el caudal expresado en metros cúbicos por minuto por metro cuadrado del secador. Los valores de caudales expresados en metros cúbicos por metro cúbico ocupado por el grano o por tonelada de café pergamino seco deberán quedar iguales [ $25 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{m}^3)$  ó  $66 \text{ m}^3/(\text{min}\cdot\text{ton cps})$ ].

El intercambio de las direcciones del caudal del aire y con cámara de presecado se consigue mediante la operación de compuertas, como en el secador CENICAFE, comúnmente conocido silo-secador CENICAFE.

En la Figura 6.14 se muestra el secador CENICAFE, en ella se observa que este equipo se caracteriza por tener presecado en uno de los dos compartimientos y la posibilidad de inversión de flujo del aire tanto en el secado como en el presecado.

La cámara para el presecado también puede estar localizada en la parte superior y solamente es posible la inversión del flujo del aire en la cámara de secado. Este secador, mostrado en la Figura 6.15, es una adaptación del secador CENICAFE en la cual se trata de reducir área para su construcción y consecuentemente costos. Estos secadores son

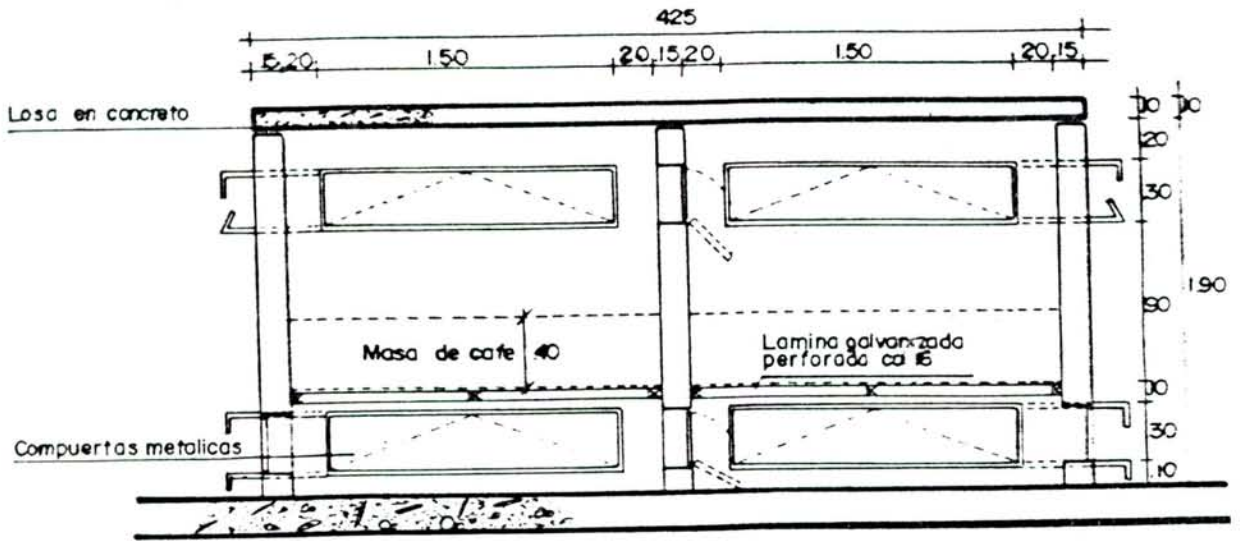


Figura 6.14 . SECADOR CENICAFE.

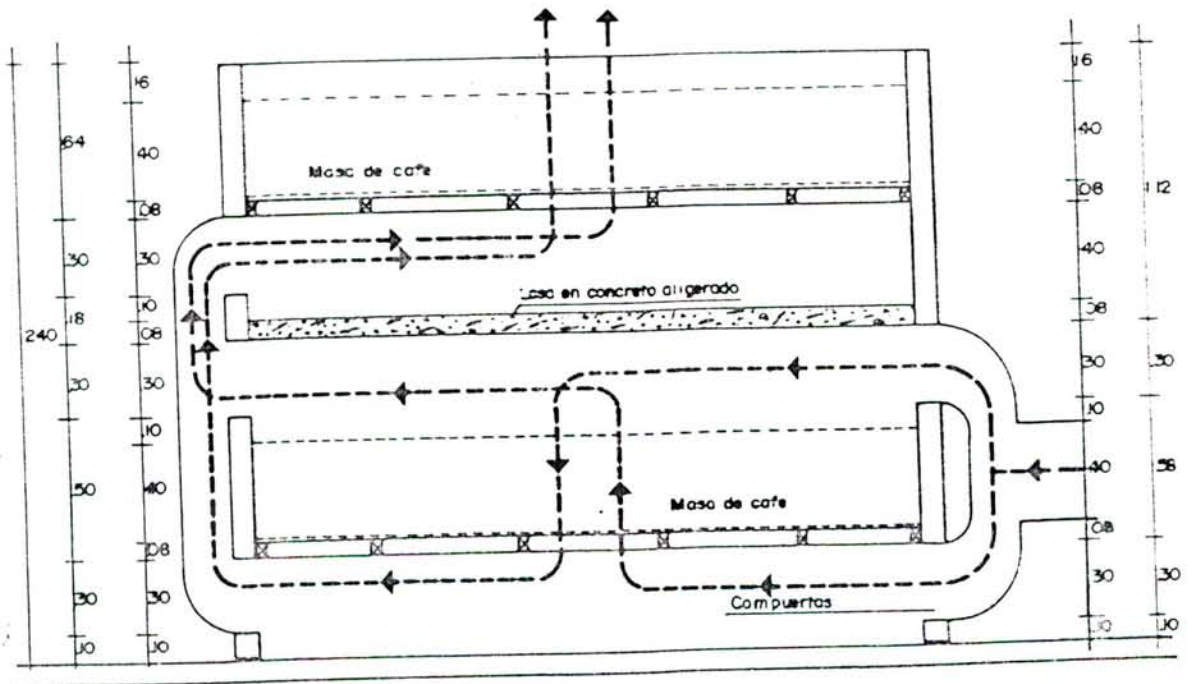


Figura 6.15 Secador de cámaras verticales



de fácil construcción, generalmente de ladrillo y concreto. Su capacidad puede variar de 625 a 6,250 kg de c.p.s. (50@ a 500@). La temperatura máxima del aire de secado debe ser 50 °C.

No se debe utilizar, con éste tipo de secadores, temperaturas superiores a 50 °C ya que ello conlleva a incrementar la desuniformidad de la humedad final (secado disparejo) y pueden dar origen a los granos decolorados, por resecamiento, y a granos cristalizados.

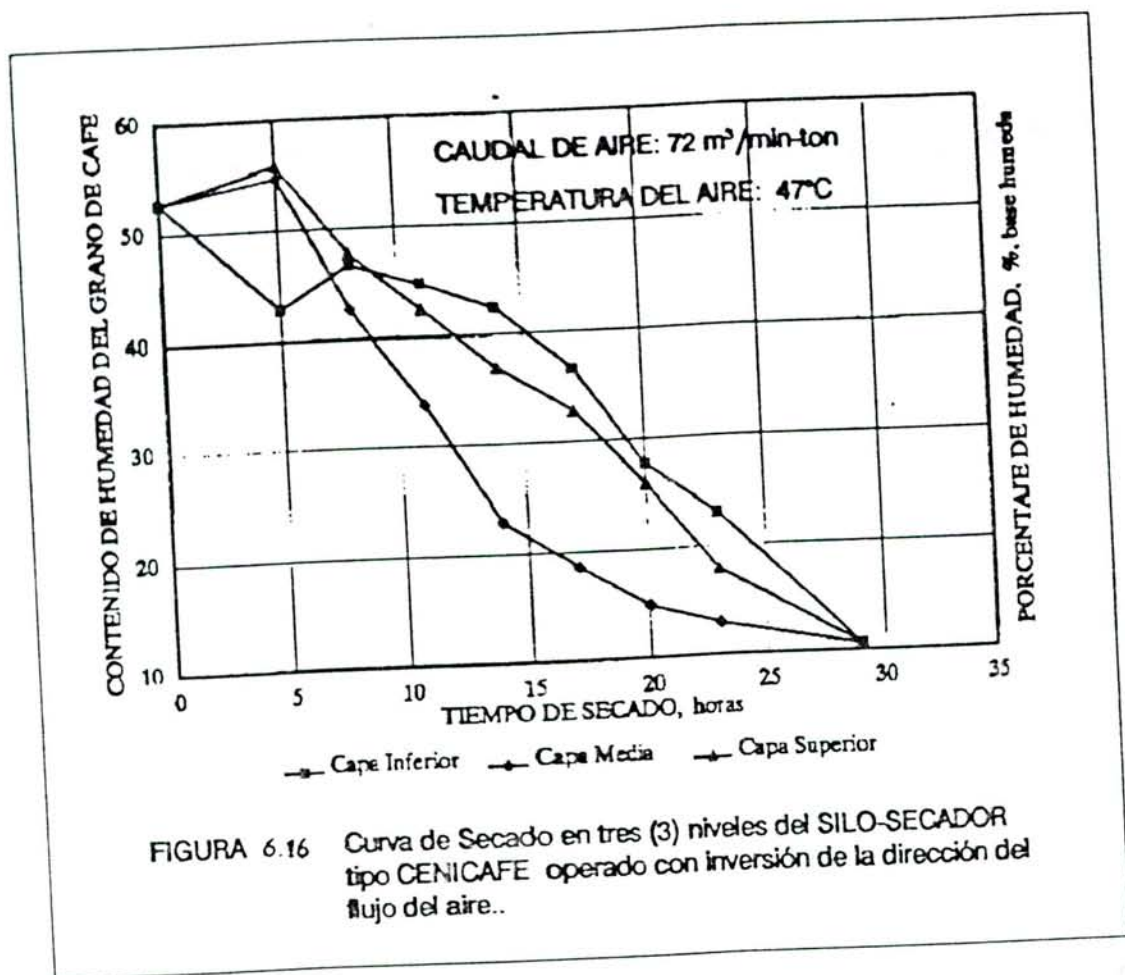
El uso de temperaturas superiores a los 50 °C, aunque disminuye el tiempo de secado, conduce a una disminución en los ingresos del caficultor, por el resecado que es necesario crear en las capas exteriores para evitar la presencia de granos húmedos en las capas intermedias de la masa.

La inversión de la dirección del aire, por medio de compuertas, permite disminuir la desuniformidad de la humedad final de la masa de café. En general, esta operación se puede realizar cada seis (6) horas. Este intervalo de tiempo se puede considerar conveniente desde el punto de vista del desempeño del secador y de la calidad del producto y también desde el punto de vista práctico.

Cuando no se dispone de compuertas para invertir la dirección del aire de secado el producto final es altamente desuniforme en humedad. Esto se traduce en pérdidas de calidad y de dinero: no solamente se castiga la calidad del café, afectando su precio, sino que resulta menor cantidad de café seco para la venta.

En la Figura 6.16 se presentan las curvas de secado para los granos localizados en la capa inferior, en la capa media y en la capa superior en un secador CENICAFE, en el cual se aplicó un caudal específico de aire de secado de 72 m<sup>3</sup>/min.ton cps. Por medio de compuertas se invirtió la dirección del aire de secado cada seis (6) horas. Durante las primeras 6 horas de secado el aire se forzó de abajo hacia arriba. La temperatura media del aire en la cámara plenum fue de 47° C.

Como se observa en la figura por medio de la inversión del flujo de aire de secado se consigue disminuir las diferencias de humedad entre granos localizados a diferentes alturas. Sin embargo, utilizando un caudal que se puede considerar aceptable e invirtiendo la dirección del flujo del aire cada seis (6) horas, que de acuerdo con estudios realizados en CENICAFE da buenos resultados, la humedad en granos localizados en las capas inferior, media y superior al final del secado fue 6.8, 11.0 y 8.7%



Esta desuniformidad en la humedad final del café ocasiona pérdida de calidad del producto y pérdidas económicas al productor de café.

En la Figura 6.17 se muestra el efecto de la desuniformidad del secado en la pérdida de peso de café pergamino seco. La capa de granos de 0.40 m de espesor, se asumió compuesta por capas de 0.05 m de espesor y la humedad de cada capa delgada se calculó considerando una variación lineal entre la humedad de la capa media y la humedad en las capas externas (gradiente de humedad constante). De acuerdo a lo mostrado en el gráfico, cuando el secado se realiza en equipos tipo CENICAFE, con capacidad para 160 @ de c.p.s., se dejan de vender aproximadamente 14 kg de café seco en cada tanda procesada. Para el caso de una finca con producción anual de 5,000 @ de c.p.s., considerando un consumo específico de 0.5 galones/@ c.p.s las pérdidas serían equivalentes al 34% de los costos del combustible para el secado del café.

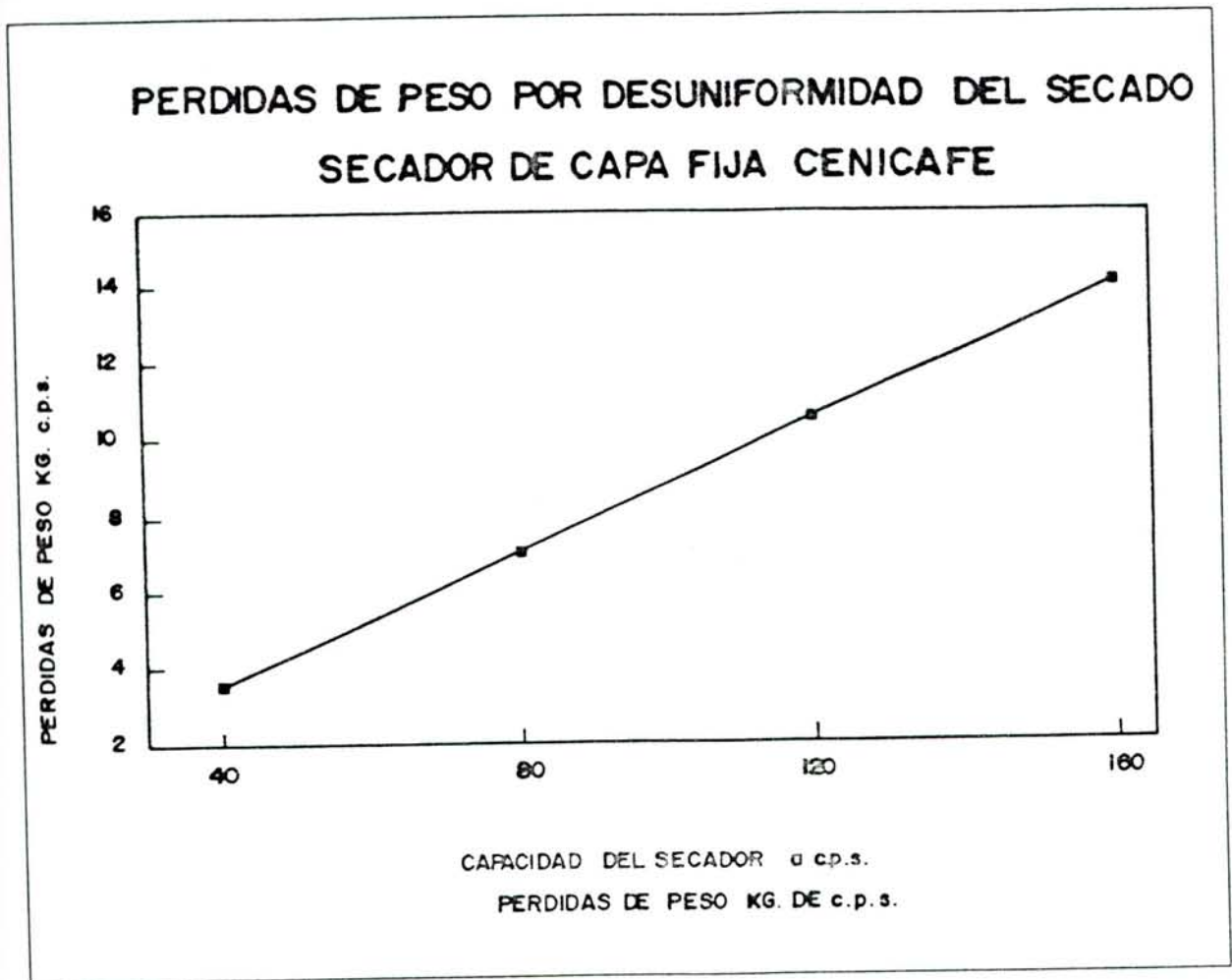


Figura 6.17 Pérdida de Peso por desuniformidad de secado

El análisis anterior es válido para secadores en los cuales se utiliza una cantidad adecuada de aire de secado, mayor de  $66 \text{ m}^3/\text{min.ton cps}$ , y una temperatura media de aire de secado de  $50^\circ \text{ C}$ . El control de temperatura se realizó con un termostato con banda de  $\pm 4^\circ \text{ C}$ . Cuando el caudal de aire es insuficiente y la temperatura de aire de secado excede  $50^\circ \text{ C}$ , con mal control, las pérdidas pueden ser superiores a las mencionadas.

En la Figura 6.18 se muestran las curvas de secado obtenidas en un secador en el cual no se invirtió la dirección del flujo del aire. Como se observa en el gráfico, a pesar de que el proceso de secado fue realizado bajo parámetros que permiten reducir la desuniformidad en la humedad final (temperatura y caudal específico de aire de secado de  $45^\circ \text{ C}$  y  $140 \text{ m}^3/\text{min.ton c.p.s.}$ , respectivamente), las capas inferior, media y superior, después de 26 horas de secado tienen humedades de 10.8.

## CURVAS DE SECADO CON INVERSION DEL FLUJO DEL AIRE

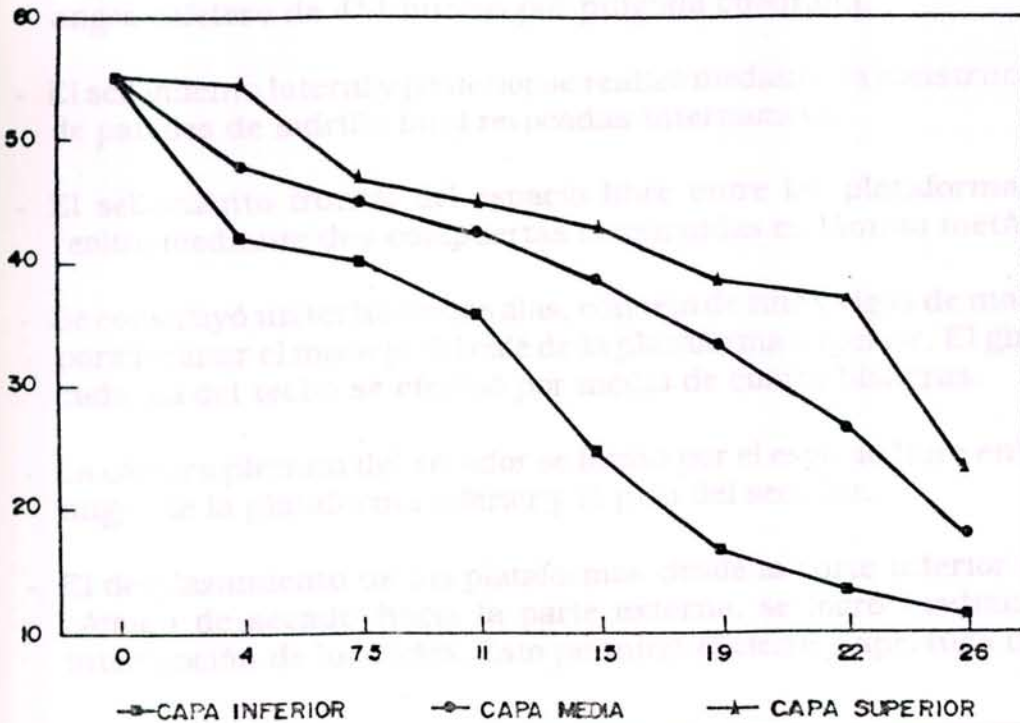
TEMP. PROMEDIO 45 °C. CAUDAL DEL AIRE 140 m<sup>3</sup>/min POR C.P.S.

Figura 6.18 Curva de secado en capa fija sin inversión

17.5 y 23.8 % b.h., respectivamente. Para disminuir la humedad de la capa superior hasta 12% es necesario resecar las capa media e inferior a niveles significativamente inferiores al 10%. En este caso las pérdidas de calidad y económicas, es decir la menor cantidad de café c.p.s. disponible para la venta, son muy superiores a las mencionadas para los secadores tipo CENICAFE.

### 6.3.6 Secado mecánico del café en carros secadores.

BUITRAGO y COL. (3) desarrollaron un secador mecánico de capa fija para pequeños y medianos caficultores, con capacidad alrededor de 750 kg (60 @ c.p.s.), a partir de un secador solar de carros, igual al utilizado tradicionalmente por los caficultores. El secador solar de carros está constituido por varias plataformas de secado dispuestas una sobre otra, soportadas sobre rodachinas que facilitan su desplazamiento para exponer el grano al sol o resguardarlo en caso de lluvia.

Las siguientes modificaciones fueron necesarias en la estructura tradicional para efectuar el secado mecánico del grano.

- El piso de madera de las cuatro plataformas fue reemplazado por angeo cafetero de 4\*4 huecos por pulgada cuadrada.
- El sellamiento lateral y posterior se realizó mediante la construcción de paredes de ladrillo farol revocadas internamente.
- El sellamiento frontal del espacio libre entre las plataformas se realizó mediante dos compuertas construidas en lámina metálica.
- Se construyó un techo de dos alas, con teja de zinc y vigas de madera para facilitar el manejo del café de la plataforma superior. El giro de cada ala del techo se efectuó por medio de cuatro bisagras.
- La cámara plenum del secador se formó por el espacio libre entre el angeo de la plataforma inferior y el piso del secador.
- El desplazamiento de las plataformas desde la parte interior de la cámara de secado hacia la parte externa, se logró mediante la interrupción de los rieles. Esto permitió el cierre y apertura de las

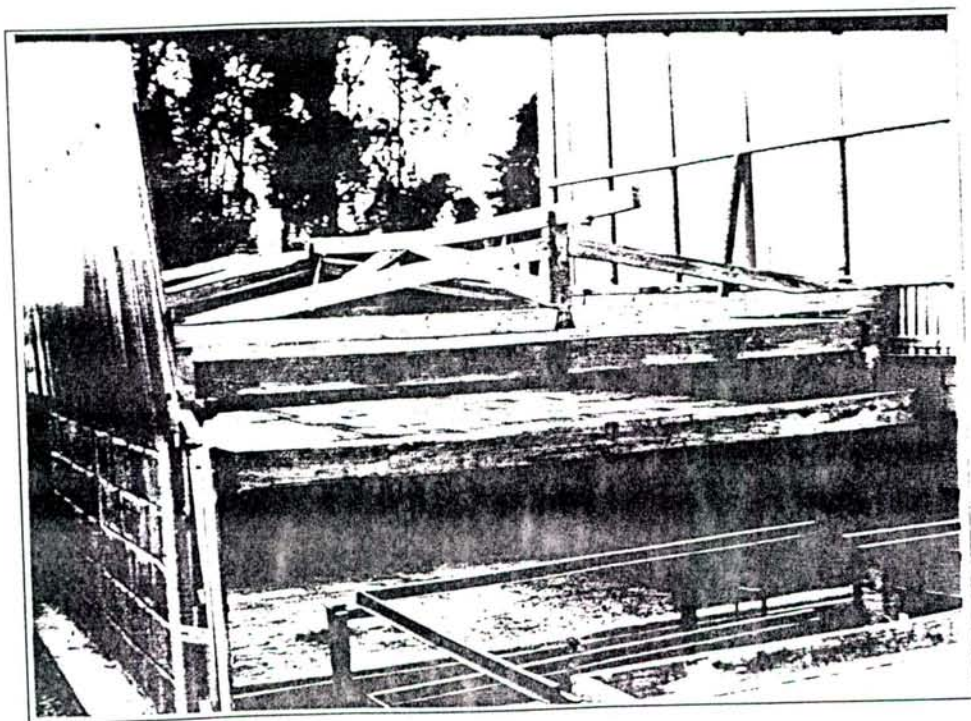


Figura 6.19. Secador mecánico de carros

compuertas del secador, Figura 6.19.

El secador solar de carros modificado, presentó un comportamiento satisfactorio, obteniéndose buenos resultados en el proceso de secado.

El caudal promedio utilizado para las cinco primeras experiencias fue de  $5.6 \text{ m}^3/\text{min.m}^2$ , lo que es equivalente a  $23.5 \text{ m}^3/\text{min.m}^3$  o a  $61 \text{ m}^3/\text{min.ton cps}$ . A medida que se retiraban las capas los caudales aumentaron hasta un 80% de los valores anotados.

En la Tabla 6.4 se muestra el desempeño del secador para cuatro experiencias. Se puede observar, en la primera experiencia que la primera capa obtuvo el contenido de humedad final de 11% a las 23 horas de secado, momento en que fue retirada del secador. La última capa fue retirada a las 36 horas de inicio del secado (13 horas después de retirar la primera capa).

TABLA 6.4 Tiempo total de secado para cada plataforma y para cada prueba.

PLATAF.	NUMERO DE PRUEBA					
	1	2	3	4*	5	6
	TIEMPO h.					
1	23.5	24.0	23.5	-	24.0	23.0
2	28.0	27.0	28.0	23.75	27.5	26.5
3	29.5	36.0	32.0	32.5	36.0	30.5
4	36.0	38.0	36.0	37.5	38.5	35.5

\* En esta prueba no fue cargada la plataforma inferior.

\*\*En esta prueba el espesor de la capa de grano fue 0.20m

La uniformidad del contenido final de humedad, fue muy aceptable, presentando coeficientes de variación inferiores al 10%, cuando el valor correspondiente en los silos secadores con inversión del sentido del aire, y con los caudales recomendados, es de aproximadamente 15%.

La eficiencia térmica del secador fue en promedio para las cinco experiencias de  $4638 \text{ kJ/kg}$  de agua evaporada, lo que es un valor muy aceptable.

### 6.3.7 Dimensionamiento de los secadores de capa fija

En términos prácticos se considera que el número de tandas (cantidad de producto depositado en un secador de capa fija) que se pueden secar semanalmente es igual a tres (3).

La cantidad de producto a secar (valor de diseño) en una semana pico es igual a cuatro (4) veces la producción en el día pico. Este valor se justifica por las operaciones reales de la práctica del secado y porque se puede presentar en el futuro un aumento en la producción del día pico y/o de la semana pico y se debe disponer de capacidad adicional de secado para atender esta situación. Por otra parte, por la condición inicial del café, de alto contenido de humedad, el secado se debe iniciar lo más rápido posible, después de terminar la operación de lavado y clasificado.

6.3.8

#### Selección del ventilador

Una vez que se conoce la cantidad de café a secar en una tanda, se puede calcular la cantidad de aire que debe pasar por la masa de café y la presión estática a la cual va a suministrar el ventilador ese caudal de aire. Para el cálculo de la presión estática se utilizan las ecuaciones desarrolladas en CENICAFE para este efecto. Esta información se obtuvo para café en los estados de lavado, presecado y seco. Se debe utilizar para los cálculos la ecuación correspondiente al café húmedo, ya que en este estado el grano ofrece la máxima resistencia al paso de aire.

Para este estado del café la ecuación es la siguiente:

$$P/L = 0.0527 (Q/A)^{1.4845}$$

donde:

- P = caída de presión, centímetros de agua ;
- Q = caudal de aire, m<sup>3</sup>/min ;
- L = altura de la capa de secado, considerando el café depositado en ambas cámaras, m

Conociendo el caudal de aire requerido, las dimensiones del secador, el área de cada cámara, (para el caso de que se diseñe secadores de dos (2) cámaras y la altura de la capa de granos, generalmente 40 cm en cada cámara), se puede utilizar la ecuación antes mencionada para

obtener la presión estática correspondiente. Cuando los ductos y las compuertas se dimensionan adecuadamente, es decir, cuando su área es 50% mayor que el área de la succión del ventilador, estas pérdidas son pequeñas comparadas con las pérdidas a través de la capa de granos. Como criterio práctico se las puede estimar iguales a 15% de las que ocurren a través del grano.

En la sección 11.6 de este manual se ilustra el uso de las ecuaciones de dimensionamiento con el desarrollo de un ejemplo.

### 6.3.9 Secador intermitente de flujos concurrentes, (IFC) .

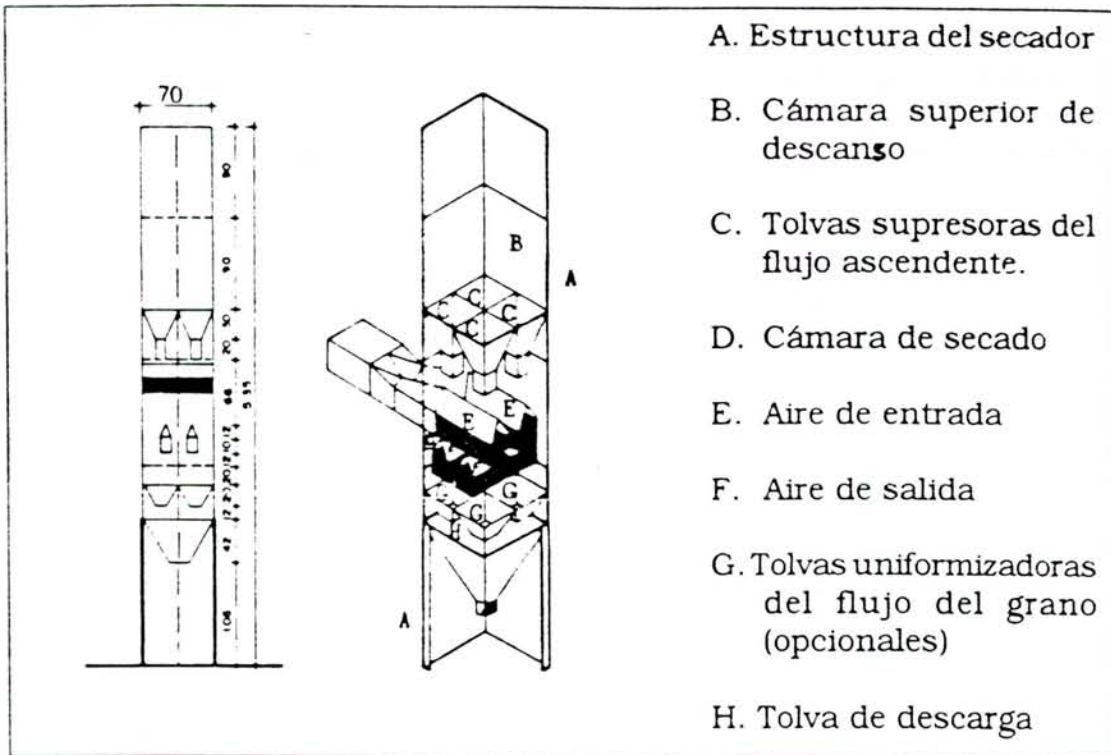
Los secadores de capa fija ocupan gran espacio en los beneficiaderos, ya que normalmente tienen las cámaras de secado y de presecado en un mismo nivel. Por ejemplo ocupan 20 m para el caso de un secador tipo CENICAFE, con capacidad de 2,000 kg de cps. Cuando se decide construir las dos capas del secador en el mismo nivel, se debe tener en cuenta la necesidad de disponer de una altura suficiente, o de levantar el techo de la construcción. Estas características físicas incrementan los costos de construcción de beneficiaderos en las fincas de gran producción anual.

Con el fin de aportar alternativas para superar las limitaciones observadas en los secadores de capa fija, disponer de una tecnología con mejor desempeño técnico que el secador CENICAFE (menor tiempo de secado, mejor rendimiento térmico (kJ/kg de agua evaporada)), facilidad de control de la operación, incluyendo la cargada y descargada, se diseñó y evaluó mecánicamente un prototipo de secador Intermitente de Flujos Concurrentes (IFC) con capacidad para 1000 kg de cps.

El secador IFC, en su estructura básica, **Figura 6.21**, está compuesto de dos partes principales: la cámara de secado y la cámara de reposo.

En la cámara de secado, el aire y el grano fluyen en el mismo sentido, de ahí el nombre de concurrente. En esta cámara, el aire más caliente encuentra el grano más húmedo y se produce una alta tasa de evaporación, la cual ocasiona su rápido enfriamiento, lo que impide al grano acercarse a la temperatura del aire. Esta característica posibilita el uso de temperaturas más elevadas que las utilizadas en otros secadores con la masa de granos en movimiento, por ejemplo, de flujos cruzados y en contracorriente y permite que los secadores concurrentes sean energéticamente más eficientes (por consideraciones termodinámicas).





De la etapa de secado, el grano pasa a la de reposo inferior, en la cual el grano no está en contacto con el aire caliente, y ocurre dentro de él la redistribución de humedad, del interior al exterior del grano. El grano se recircula a través del secador hasta obtener el contenido de humedad deseado, en el rango de humedad del 10 - 12% b.h. Por la forma del grano recibir la energía en forma discontinua, el secador recibe el nombre de intermitente.

En los secadores IFC todos los granos reciben el mismo tratamiento de secado por lo cual el producto final es homogéneo, en lo que se refiere a humedad y temperatura.

El prototipo IFC de capacidad de 500 kg de cps (40 @) fue construido por LOPEZ (11) y evaluado, por CORREA (7), en su desempeño técnico y en la calidad final del café, obteniendo muy buenos resultados.

El mismo secador fue modificado para mejorar el sistema de recirculación interno del grano. En una evaluación de la operación y de la calidad del producto obtenido, OSPINA (17) realizó 8 experiencias con un secador con temperaturas de aire de secado de 80 a 86°C y flujos de granos de 0.024 a 0.048 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup>. El tiempo total de secado varió entre 26 y 32 horas. El contenido de humedad inicial

promedio fue de 53.8 (1.65% C.V.). El contenido de humedad final promedio fue de 11.0 (5.72 C.V.), valor este último que indica la casi perfecta uniformidad de contenido final de humedad, requisito para la fácil comercialización y buena conservación durante el almacenamiento.

Todas las curvas de secado obtenidas en el secador IFC, prototipo y comercial, muestran la característica de la disminución de humedad lineal con relación al tiempo y que la temperatura del grano se mantiene por debajo de los 50°C, cuando la temperatura del aire de secado es de 80°C.

Las pruebas de calidad física y de taza a que fueron sometidas todas las muestras fueron muy aceptables, calificándose siempre como café de alta calidad.

OSPINA (18) desarrolló una metodología para finalizar las experiencias de secado de forma que utilizando la energía propia de los granos, se finalizara la operación con el contenido de humedad final deseado (11 - 12%, bh) mediante la aireación natural.

La conclusión general del estudio es de que se comprobó que el secador de flujos concurrentes para café pergamino es un sistema válido y que será competitivo con otros sistemas mecánicos, siempre y cuando los costos sean comparables.

OLIVEROS (15) apoyado en los resultados de optimización operacional del secador desarrollado por MONTROYA y COL (14) construyó y evaluó un secador IFC de capacidad de 1000 kg de cps similar al prototipo, al que se le efectuaron reformas e innovaciones para optimizarlo y disminuir a menos de 1% la trilla de granos, durante toda la operación, y para evitar la decoloración de los granos por las reacciones del café pergamino con las láminas de hierro galvanizado y los elementos metálicos.

ROA (22) evaluó el secador IFC de 1000 kg utilizando un quemador de carbón mineral. En la Figura 6.22 se indica la característica disminución lineal de la humedad desde 54%, hasta 12%, bh. La temperatura de secado se mantuvo constante en un valor de 83%. con un coeficiente de variación de sólo 3.3% C.V. gracias a un dispositivo electrónico, para controlar el quemador de hulla, construido en CENICAFE.

En la Figura 6.23 se indican las diferencias entre las temperaturas del aire de secado (valor medio de 82.6 °C) y las temperaturas máximas alcanzadas por el grano (valor medio de 42.2 °C), lo que garantiza una

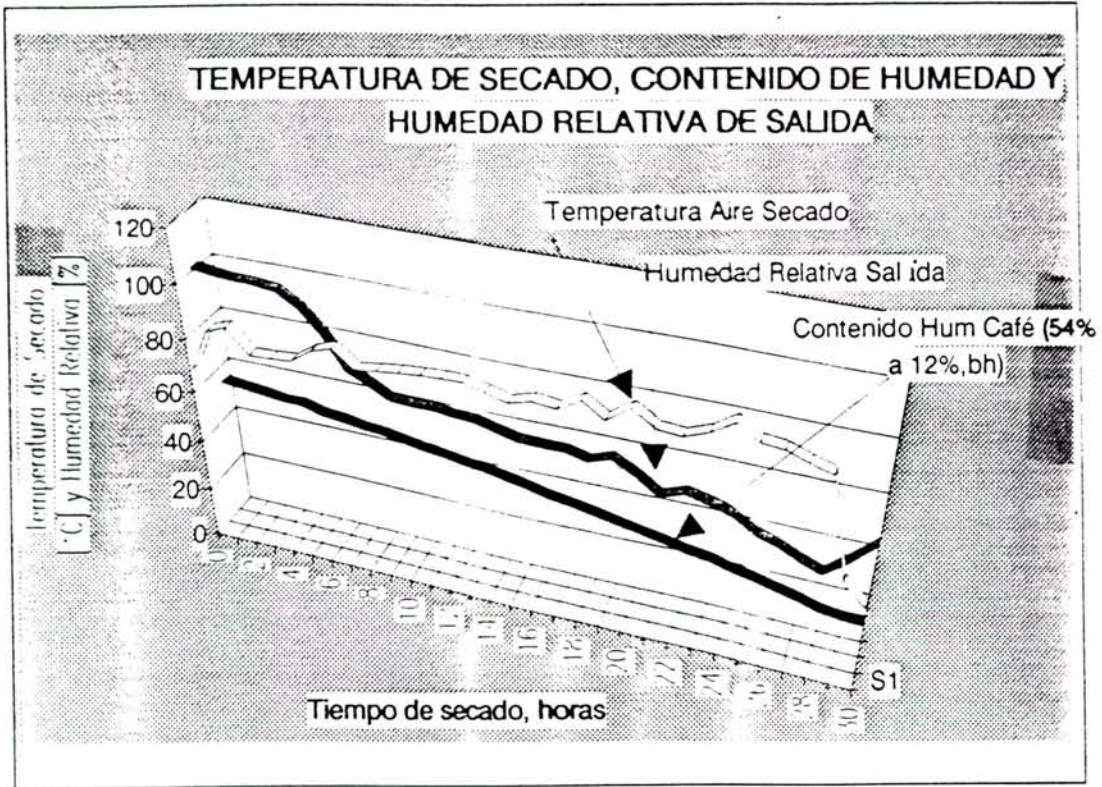


Figura 6.22 Curva típica de secado en el secador IFC

excelente calidad del producto, como en efecto ya ha sido plenamente comprobado.

El hecho de poder trabajar a temperaturas relativamente altas de secado es muy conveniente desde el punto de vista de eficiencia termodinámica. En efecto, en la Figura 6.24 se muestran las humedades absolutas de salida y de entrada en el secador, que indican que el proceso de extracción de la humedad es muy alta, y constante, a lo largo del todo el proceso de secado (lo que también se puede confirmar por el carácter lineal de la curva de secado, Figura 6.22).

La eficiencia del secador expresada en kJoules/kg de agua evaporada fue determinada con la ayuda de un paquete sicrométrico, BROOKER y COL. (3). El valor resultante de 3763 Kj/kg de H<sub>2</sub>O, indican la altísima eficiencia del secador. En términos relativos, la eficiencia del secador comparada con la evaporación de agua libre es del 63.4%.

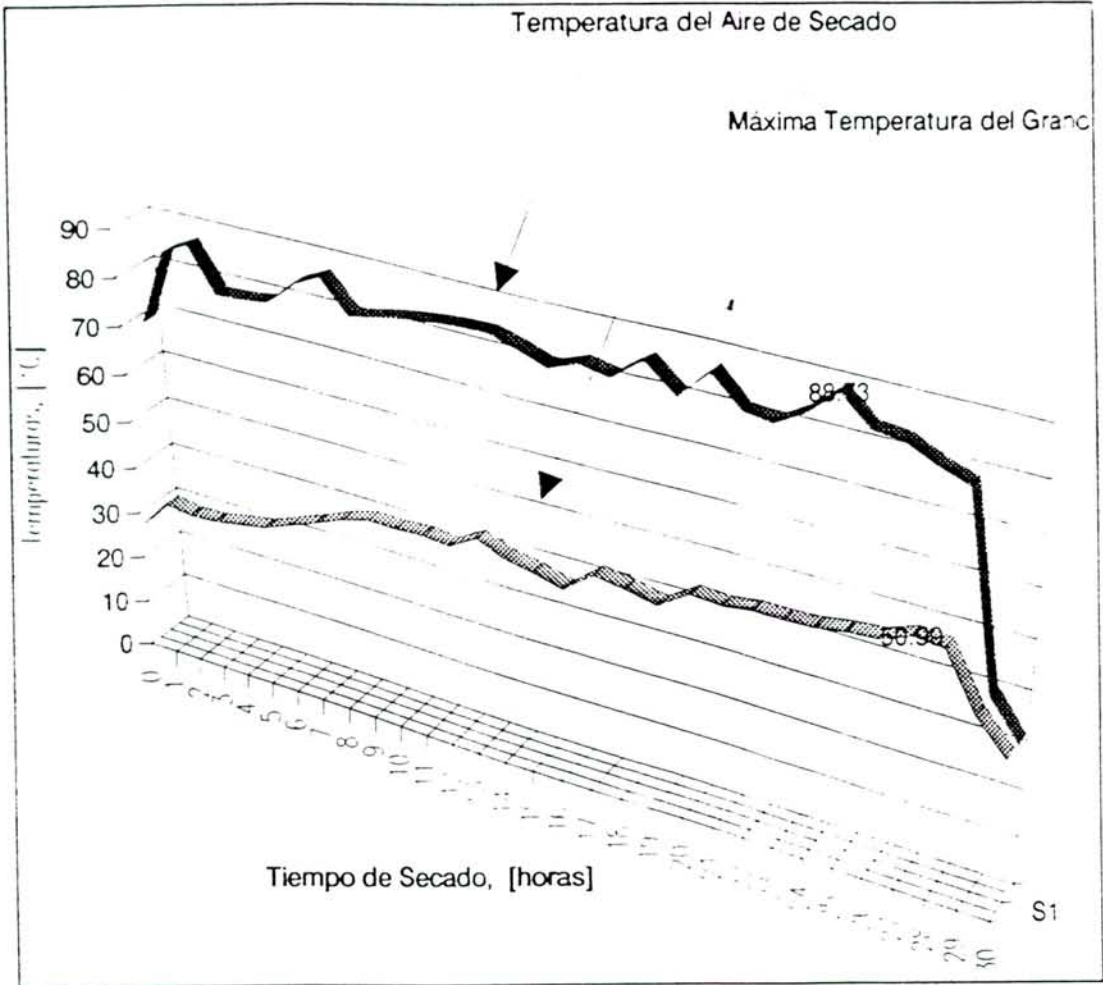


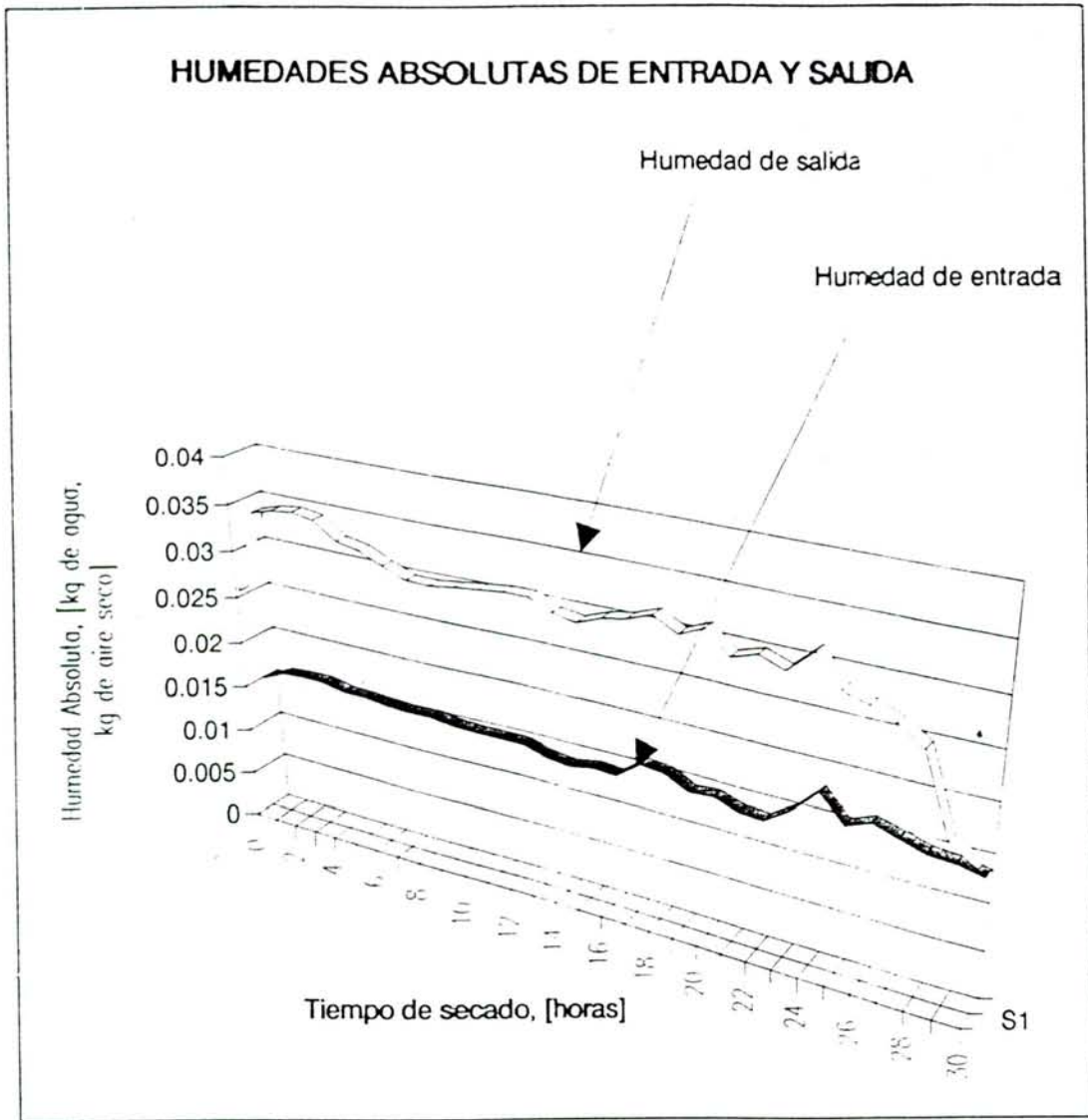
Figura 6.23. Temperaturas de aire de secado y máxima del producto

### 6.3.10 Simulación matemática

Desde hace tres décadas, cuando se iniciaba el uso comercial de los computadores, se han utilizado intensivamente los modelos matemáticos para describir los procesos de enfriamiento y de secado de los granos.

Desde el inicio de estas aplicaciones se indicó al secado y enfriamiento de los granos como muy buenos ejemplos de gran utilidad de la simulación matemática, que en aquella época trataba de justificarse.

En efecto, la gran uniformidad de los granos en su tamaño y forma; su estructura fuerte que le permiten soportar el peso de decenas de otros granos: el considerable espacio intergranular y la gran área superficial



**Figura 6.24 Humedades de entrada y de salida al secador**

por unidad de volumen de granos, permiten disponer los granos a granel en silos de varias decenas de metros de altura. Una vez dispuestos en los silos se ha demostrado que es técnica y

económicamente rentable forzar aire a través de los granos durante su almacenamiento con varios objetivos, principalmente para bajar la temperatura de la masa de granos, disminuyendo así la actividad metabólica de los organismos vivos y preservar la calidad por períodos largos.

Se ha demostrado en los estudios de secado mecánico de granos que, cualquiera que sea la configuración del secador es siempre posible modelar matemáticamente el secado, o sea, predecir mediante ecuaciones las variaciones de la humedad y temperatura de los granos, y del aire, en cualquier instante y en cualquier posición del secador.

Desde que se demostró este principio, y con la masificación de los secadores (década de los años sesenta), se hace uso intensivo de los modelos matemáticos para diseñar y operar óptimamente los secadores.

Los procesos de diseño y de optimización de equipos, se han podido hacer en tiempos muy cortos, debido a que la simulación matemática se ejecuta en tiempos breves, y con menos errores, comparado con los procesos reales.

La simulación matemática para el secado y el enfriamiento del café pergamino ha sido aplicada con éxito por TREJOS y COL. (27) y MONTOYA y Col. (14). En esos trabajos se presenta la fundamentación físico-matemática de los modelos.

En general, los modelos matemáticos de secado y enfriamiento para el café pergamino son adaptaciones y modificaciones a los modelos de THOMPSON y PERT (25) y de la Universidad de Michigan, BROOKER y Col. (3), a los cuales se les han incorporado las propiedades físicas del café pergamino.

### **6.3.11 Propiedades físicas**

#### **6.3.111 Secado de capa delgada**

El espesor de la capa delgada es de un grano. Varios centenares de granos se colocan en una capa delgada, sobre una malla perforada, y se someten a diferentes condiciones de temperatura y de humedad del aire y de la muestra de granos, en un secador de laboratorio en donde las capas delgadas pueden estar separados por capas espesas, para obtener datos en condiciones más reales de los secadores, JARAMILLO, (11) y MONTOYA y col. (14), ROSSI y ROA (20). Los valores de las variaciones del contenido de humedad del grano con relación a la variación de las condiciones de temperatura y humedad del aire se han correlacionado con éxito en la ecuación semiempírica de capa delgada propuesta por ROA Y MACEDO (23), que ha sido utilizada para numerosos productos, ROSSI Y ROA (20).

La ecuación de capa delgada para café pergamino ha sido determinada por JARAMILLO (9) y por LOPEZ & OSPINA (12), adaptando las ecuaciones y la metodología desarrollada por ROA & MACEDO (22). La ecuación de capa delgada en su forma diferencial es:

$$dm/dt = -m \cdot q \cdot (M - Me) \cdot (Pvs - Pv)^n \cdot t^{(q-1)}$$

en donde,

$dm/dt$  = tasa del cambio del contenido de humedad del grano por unidad de tiempo

$m$ ,  $n$ ,  $q$  = parámetros de la ecuación de capa delgada, que se obtienen mediante procedimientos de regresión lineal o no-lineal, e integración numérica.

$M$  = contenido de humedad del café en el tiempo "t", decimal base seca

$Me$  = contenido de humedad de equilibrio del café, dec., base seca

$Pvs$  = presión del vapor saturado, Kpa

$Pv$  = presión parcial del vapor de agua, Kpa

$t$  = tiempo, horas

Si las condiciones de temperaturas y humedades son constantes a lo largo del secado la ecuación diferencial se puede integrar para obtener:

$$\frac{M - Meq}{Mo - Meq} = \text{EXP} [ -m \cdot (Pvs - Pv)^n \cdot t^q ]$$

Los valores de  $m$ ,  $n$  y  $q$  obtenidos por JARAMILLO (11), para el rango 40-60 °C y contenidos de humedad del 5 al 55%, base seca, fueron:

$m$  = 0.014206

$n$  = 1.2212

$q$  = 1.00106

Los valores de m,n y q obtenidos por **LOPEZ y OSPINA (13)** para el rango 10-27 °C fueron:

$$\begin{aligned} m &= 0.0152903 \\ n &= 0.661219 \\ q &= 0.9197173 \end{aligned}$$

para el rango 27-50 °C fueron:

$$\begin{aligned} m &= 0.0096638121 \\ n &= 0.93929774178 \\ q &= 1.1734281822 \end{aligned}$$

para el rango 50-60 °C :

$$\begin{aligned} m &= 0.0062738 \\ n &= 1.1262299 \\ q &= 1.039511 \end{aligned}$$

Los parámetros m,n y q obtenidos por **LOPEZ y OSPINA (13)** son válidos para contenidos de humedad en el rango del 5 al 120%, base seca (4.8 a 54.5 %, base húmeda).

Las curvas de secado de una capa delgada en el rango 27 - 50 °C, para las condiciones de Chinchiná, a 1300 m.s.n.m y a condiciones ambientales promedios de 18 °C y 75 % de humedad relativa se pueden observar en la Figura (6.25)

**MONTOYA y col. (14)** estudiaron el fenómeno de difusión de humedad (descrito en la sección 6.1.3) en granos de café pergamino y utilizaron exitosamente la ley de Fick para correlacionar las tasas de secado de un grano.

Dentro de los modelos matemáticos propuestos para describir el movimiento de humedad en el interior de una cuerpo, se tiene la expresión propuesta por Fick, (**BROOKER y col. (4)**) :

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

donde,



### CURVAS DE SECADO DE CAPA DELGADA DE CAFE PERGAMINO

Condiciones Ambientales Naturales de Chinchiná: 18°C, 75% H.R.

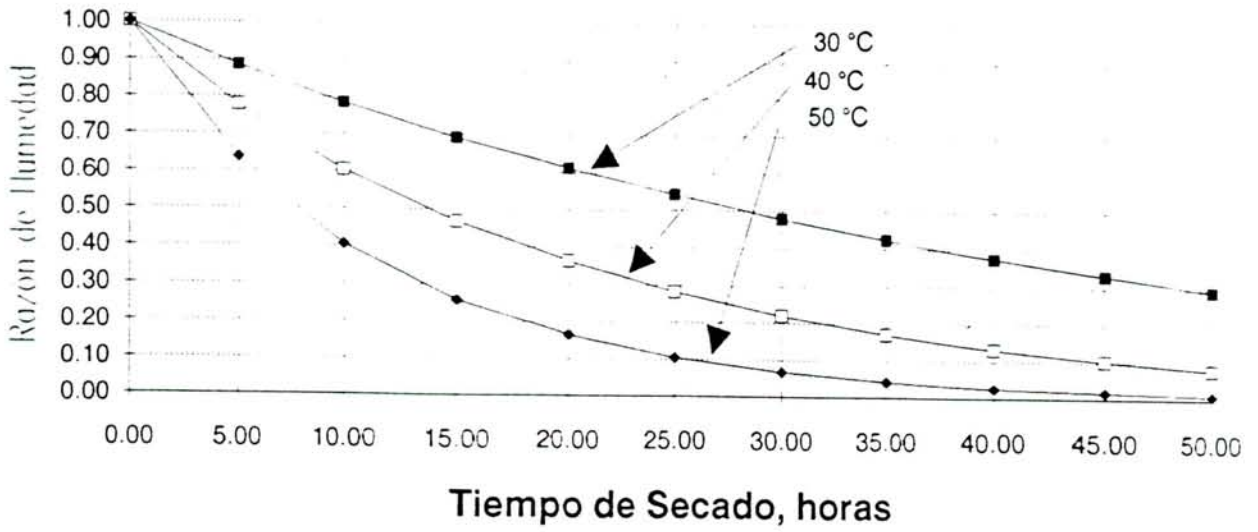


FIGURA 6.25

C	=	Concentración de líquido. kg.m <sup>-3</sup>
t	=	Tiempo de secado. s
D	=	Coefficiente de difusión, m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>

Considerando la partícula como un medio poroso con contenido de humedad M,

El coeficiente de difusión de humedad de diferentes granos fue determinado en función del contenido de humedad y de la temperatura del producto. El coeficiente de difusión se expresó en función solamente de la temperatura del grano cuando este presenta alto contenido de humedad. La metodología experimental más utilizada para la determinación del coeficiente de difusión es el monitoreo de los fenómenos de absorción o de desorción, que consiste en determinar el cambio de peso, a lo largo del tiempo, de una capa delgada del producto sometida a condiciones controladas de aire. Como resultado del estudio se obtuvo el coeficiente de difusión de humedad.

Se encontró que, al igual que para otros granos, que el coeficiente de difusión de humedad dentro del café pergamino depende del contenido de humedad promedio del grano considerado y de su temperatura.

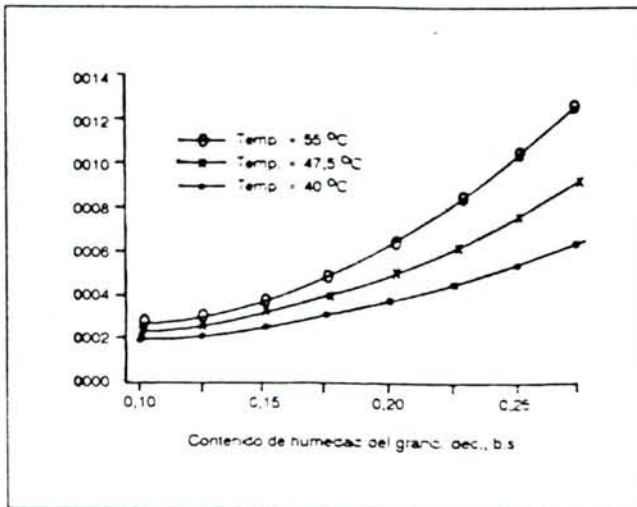
El modelo obtenido, para el coeficiente de difusión del café pergamino, según ajuste tipo Arrhenius fue:

$$D = 4.1582 \times 10^{-8} \text{ Exp } [(0.1346\phi + 2.2055)M - 1184 \cdot (\phi + 273.16)^{-1}]$$

Donde:

D	:	difusión de humedad, (m <sup>2</sup> .min <sup>-1</sup> )
M	:	Contenido de humedad media del grano, dec., b.s.
φ	:	Temperatura del grano, (°C)

En la Figura 6.26 se presentan los valores del coeficiente medio de difusión de humedad para el café pergamino, según la ecuación obtenida. En esta figura se observa el efecto significativo del contenido de humedad y de la temperatura del grano sobre el valor del coeficiente de difusión. El coeficiente alcanza su mayor valor cuando la humedad y la temperatura son las más altas.



### 6.3.11.2 Contenido de humedad de equilibrio

Las diferentes condiciones de equilibrio descritas en la sección 6.1.4 de esta obra, pueden ser representadas por curvas de contenido de humedad de equilibrio, que fueron obtenidas por TREJOS y col. (26) para café pergamino, y ampliadas para un mayor rango de temperatura (42 a 56°C) y

**Figura 6.26 Coeficiente de Difusión**

de humedad (10.5 a 26%, base seca) por MONTOYA y col. (14). En ambos casos se utilizó la ecuación desarrollada por ROA (21)

La obtenida por MONTOYA

$$Meq = (53.7966 HR - 105.531 HR^2 + 82.721750 HR^3) \text{EXP} ((-0.048 HR + 0.113602 HR^2 - 0.092276 HR^3)/T)$$

en donde,

- Meq = contenido de humedad de equilibrio del café pergamino, %, base seca  
 HR = humedad relativa, decimal  
 T = temperatura del aire, grados centígrados

Las curvas correspondientes a ésta ecuación se presentan en la figura (6.2).

JARAMILLO (11) utilizando otra metodología experimental obtuvo la siguiente relación:

$$Meq = (4.03903 + 25.9263 HR) \text{EXP} ((-0.0290517 + 0.111085 HR - 0.282076 HR^2 + 0.224537 HR^3)/T)$$

### 6.3.11.3 Calor latente de vaporización

El calor latente de vaporización del café pergamino, ha sido determinado por TREJOS y col. (26) y por JARAMILLO (11).

La expresión obtenida por Trejos es :

$$L = (2502.4 - 2.4295 T) \cdot (1 + 1.44408 \text{EXP} (-21.5011 \cdot M))$$

en donde,

- L = calor latente de vaporización del café pergamino, Kj/kg  
 T = temperatura, grados centígrados  
 M = contenido de humedad del café, decimal base seca

La expresión obtenida por Jaramillo, es:

$$L/L' = 1 + 1.115056 \text{EXP} (-0.04645837 \cdot M^{1.507415})$$

Ecuación (5)

en donde,

- M = contenido de humedad, % base seca  
 L Y L' = calor latente de vaporización del café y del agua libre, respectivamente, Kpa.

### 6.3.11.4 Area superficial

Considerando el grano de café como una esfera, MONTOYA y COL. (14) obtuvieron un área específica de 779.8 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> para café pergamino, en el rango de humedad del 25.6% - 10% b.h.

En la validación de la metodología utilizada para calcular el área superficial del café pergamino, considerando su forma esférica, y mediante la medida del área del pergamino con el planímetro, se observó que dicha información coincide en un 50% con datos experimentales.

### 6.3.11. 5 Calor específico

Las expresiones existentes para calcular el calor específico del café pergamino son:

La ecuación obtenida por MONTOYA y col. (14) es:

$$CS = 1.3556 + 5.7859 \cdot M$$

en donde,

$$\begin{aligned} CS &= \text{calor específico del café. Kj/kg}^2\text{K} \\ M &= \text{contenido de humedad. dec. base seca} \end{aligned}$$

La obtenida por JARAMILLO (11):

$$CS = 0.364 + 1.465 \cdot M^{0.1879}$$

en donde,

$$\begin{aligned} CS &= \text{calor específico. Kj/kg}^2\text{K} \\ M &= \text{contenido de humedad. \% base seca} \end{aligned}$$

### 6.3.11.6 Densidad aparente

Las densidades aparentes del café pergamino han sido determinadas por OLIVEROS & ROA (15), JARAMILLO (11), TREJOS y col. (26), para diferentes contenidos de humedad.

MONTOYA y col. (14), obtuvo una expresión para la densidad aparente del café pergamino como función de su contenido de humedad:

$$Dap = 365.884 + 2.707 \cdot M$$

en donde,

$$\begin{aligned} Dap &= \text{densidad aparente del café pergamino, kg/m}^3 \\ M &= \text{contenido de humedad del café, \% base seca} \end{aligned}$$

## 6.4 BIBLIOGRAFIA

- 1- ALVAREZ H., J. MEJIA G., F. Manejo de quemadores eléctricos para secado de café. Boletín Técnico No. 7. CENICAFE. 1981 19p.
- 2- ALVAREZ, G. J. Rastrillo revolver de café para café pergamino. Ingeniería Agrícola, CENICAFE. Chinchiná.
- 3- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying Cereal Grains. Westport (Estados Unidos), The AVI Publishing Co. Inc. 1974. 265p.
- 4- BUITRAGO, B., O. ALVAREZ, G., J., OSPINA, M., J. E. ROA, M., G. Implementación del secado mecánico de café en carros secadores. Ingeniería Agrícola. CENICAFE.
- 5- CLEVES, S., R. El secamiento mecánico del café. Boletín de Promecafé. San José de Costa Rica. 1(9): 4-6, 1986.
- 6- CENICAFE. Evaluación del silo SBIC 22/6 en el secado del café. Sección de Ingeniería Agrícola. CENICAFE. Informe Anual 1976-1977.
- 7- CORREA P., A. Evaluación del secado del café - Coffea arabica en un secador intermitente de flujos concurrentes. Tesis de Ingeniería agrícola. Medellín, Universidad Nacional. 1987. 258 p.
- 8- FEDERACAFE. Manual del cafetero Colombiano. 4 Ed. Chinchiná. CENICAFE. 209p. 1980.
- 9- FEDERACAFE. Análisis de la encuesta sobre beneficio y calidades de café. Documento interno. Sección Ingeniería Agrícola. CENICAFE. Enero 1984.
- 10- GONZALES, R., F.O. Estudio comparativo de secadores solares por convección natural para café pergamino. Tesis de Ingeniería Agrícola. Universidad del Valle. 1988. p. 192.

- 11- JARAMILLO, G.B. Propiedades físicas del café pergamino (coffea Arábica Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Física. Bogotá 1989.
- 12- LOPEZ P., H. Diseño, construcción y evaluación mecánica de un secador Intermitente de Flujos Concurrentes para café pergamino. Tesis de Ingeniería Mecánica. Cali. Universidad Autónoma de Occidente, 1985. 220 p.
- 13- LOPEZ, J. & OSPINA J. Ecuación de capa delgada para el café pergamino. Ingeniería Agrícola. CENICAFE. Investigación desarrollada por los autores en desarrollo del año sabático. 1990.
- 14- MONTAÑA, E.C., OLIVEROS T., C.E., ROA, M., G. Optimización operacional del secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino. CENICAFE, 41(1):19-33. 1990. Chinchiná, Caldas.
- 15- OLIVEROS, T., C. E. Comunicación Personal. CENICAFE. 1989.
- 16- OLIVEROS, C.E. <sup>Y ALYABEZ, J</sup> ROA, G. Determinador rústico y de bajo costo del contenido de humedad del café pergamino. Ingeniería Agrícola. CENICAFE. Chinchiná .
- 17- OSPINA, M., J. E. Silo secador CENICAFE. Informe de labores de año sabático. Ingeniería Agrícola. Julio de 1990. 57 p.
- 18- OSPINA, M., J. E. Evaluación del prototipo modificado. intermitente de flujos concurrentes. Informe de labores de años sabático. Ingeniería Agrícola. Julio 1990. 69 p.
- 19- POSADA, E.: ORTIZ, A.; LOPEZ, M. & JARAMILLO, H. Calibración de medidores de humedad para café pergamino por dos métodos de estufa. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Junio de 1982
- 20- ROSSI, S.J.: ROA, M., G. Secagem e Armazenamento de Produtos Agropecuarios com uso de Energía Solar e Ar Natural. ACIESP N° 22. Academia de Ciencias do Estado de São Paulo. São Paulo. Brasil. 1980. 295 p.
- 21- ROA, M., G. Natural Drying of Cassava. Ph. Thesis. Michigan State University. East Lansing, Mi. (Estados Unidos) 1974.

- 22-ROA, M., G. Comunicación personal. CENICAFE. 1991.
- 23-ROA, G.M.& MACEDO, I.C. Grain Drying in stationary bins with solar heated air. Solar Energy (U.K.). Pergamon Press. 18: 445-449.76
- 24- SIVETS, M. and FOOTE, H. Coffee Processing Technology. Westport, (Estados Unidos). AVI publishing Co. p.p. 100-154. 1963.
- 25- THOMPSON, T.L and PERT R.,M. Mathematical simulation of corn drying new model. TRANS ASAE 1968. p: 582-86.
- 26- TREJOS R., ROAM., G; OLIVEROS T., C.E. Humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde. CENICAFE. (Colombia) 40(1):5-15. 1989.
- 27- TREJOS, R., R.; ROA, M., G., LOPEZ, Z., J. Cruz, M. Implementación del modelo de Thompson para la simulación del enfriamiento y secado del café pergamino. Ingeniería Agrícola, CENICAFE. Chinchiná. 1991.



21349 y.c. este

## 7. MANEJO DE LA PULPA \*

La pulpa de café está constituida por el epicarpio y <sup>parte del</sup> mesocarpio del fruto y representa aproximadamente el 40% de su peso total. La pulpa fresca contiene 77% de humedad, 0.34% de nitrógeno total, 0.116% de fósforo total y 1.77% de potasio. Además de estos elementos, la pulpa contiene algo de calcio, magnesio, azufre, hierro, manganeso y boro. BRESSANI y col. , 1972 (1).

La pulpa de café es una gran fuente de materia orgánica que por fermentación, en condiciones apropiadas de humedad, temperatura y aire, se convierte en humus, consiguiéndose así todas las características físicas, químicas y bioquímicas que este elemento proporciona al suelo. URIBE, (4).

El sistema tradicional que se ha utilizado para el manejo de la pulpa ha sido la descomposición en fosas (Ver Figura 7.1). Se puede decir que las fosas son lugares o construcciones en los cuales ocurre la transformación de la pulpa en humus, para lo cual se requiere de algunas operaciones de manejo que radican, fundamentalmente, en volteos periódicos de la masa, que se deben efectuar cada 15 días para lograr su transformación en aproximadamente 4 meses.

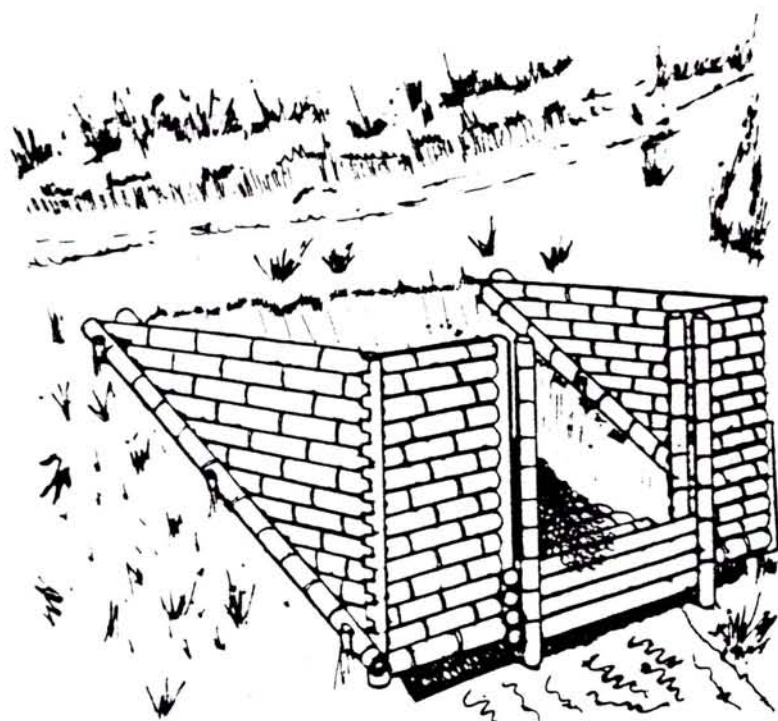
Una condición importante en el manejo de la pulpa es un adecuado contenido de humedad de la masa, debiendo ser este valor no muy alto, por lo cual se recomienda practicar un despulpado sin agua y un transporte de la pulpa hasta las fosas por medio de la gravedad.

El tipo y tamaño de la fosa depende de la producción de la finca. Para fincas con producciones inferiores a 500@, la fosa podría hacerse en tierra complementada con guadua o en "chiqueros" (Ver Figura 7.1).

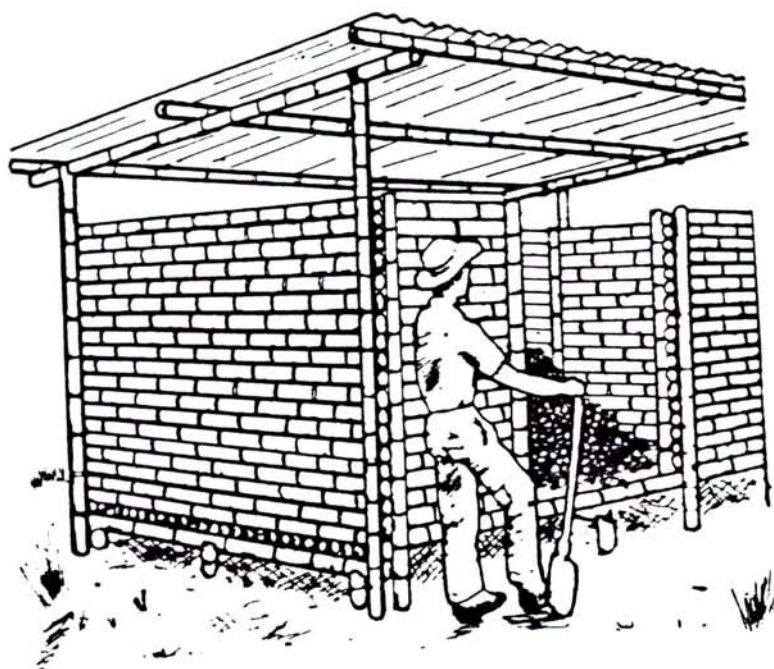
Para producciones mayores, se recomienda construir las fosas sólidas y duraderas con adobe y cemento. //

La fosa se debe hacer techada y contar con compartimientos que permitan facilitar el control sobre los volteos, recomendándose que en el primero se pueda depositar la pulpa de 15 días de la semana pico o del mes de dicha semana. El volumen requerido para los otros compartimientos se reduce en 1/4, por cada volteo, exceptuando el último que se emplea como depósito del material transformado. Así mismo, por lo menos los dos primeros compartimientos deben tener un sobrepiso que permita escurrir los líquidos resultantes de su transformación, a unos 0.15m del piso, con una pendiente del 2%.

\* Ing. Quim. María Teresa Dávila A. - Asistente de Investigación Pag N 118A



Fosa en tierra complementada con guadua



Chiquero de guadua para descomposicion de la pulpa

Figura 7.1 Fosa y chiquero para la transformación de la pulpa en abono orgánico

para facilitar dicho escurrido. La altura de los muros no debe ser superior a 2 m y el techo debe ser lo suficientemente alto para permitir la entrada libre de vehículos en el caso necesario, para el cargue de la pulpa transformada. (Ver Figura 7.2).

Para producciones superiores a las 5000 @/año el costo de una fosa resulta elevado. Una alternativa podría ser ubicar diferentes lotes para depositar la pulpa. Estos sitios deben contar con techo que podrá ser en materiales rústicos tales como cinc, paja, teja de asbesto-cemento, etc. Este manejo, además de reducir el costo de la construcción de la fosa, permite contar con la pulpa en diferentes lotes para utilizarla una vez descompuesta.

En la Tabla A-9 se indican las dimensiones y volúmenes de diferentes configuraciones de las fosas.

Durante los últimos años, se han venido realizando numerosas investigaciones conducentes a determinar mecanismos adecuados, a través de los cuales se logre un reciclaje rápido de la pulpa de café y se pueda minimizar el deterioro del medio ambiente, así como diversas formas de aprovechamiento.

El cultivo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*, Sav.), utilizando como sustrato alimenticio la pulpa de café, representa una alternativa eficiente para la transformación, en humus, de este subproducto, con las siguientes ventajas: Disminución del tiempo de descomposición de la pulpa, reducción de la contaminación porque no se desprenden olores desagradables en el proceso, economía debido a que las instalaciones requeridas son sencillas y se necesita muy poca mano de obra, obtención de humus y lombrices que se pueden utilizar en la finca.

Las instalaciones se pueden construir en guadua, organizándolas en forma de hileras similares a las utilizadas en los cultivos de verduras, con ancho de 1 m, altura no mayor de 0.5 m y longitud variable dependiendo del área disponible. Debe contarse con una separación prudencial entre hileras para permitir la manipulación del cultivo. Así mismo, debe disponerse de un cobertizo en material plástico, para proteger el cultivo de las inclemencias del clima.

El cultivo puede iniciarse con la cantidad de lombrices que disponga el caficultor. Debe tenerse una capa inicial de unos 20 cm de pulpa descompuesta o humus, en la cual se realizará la siembra de las lombrices. Esta capa debe remojar hasta lograr una humedad

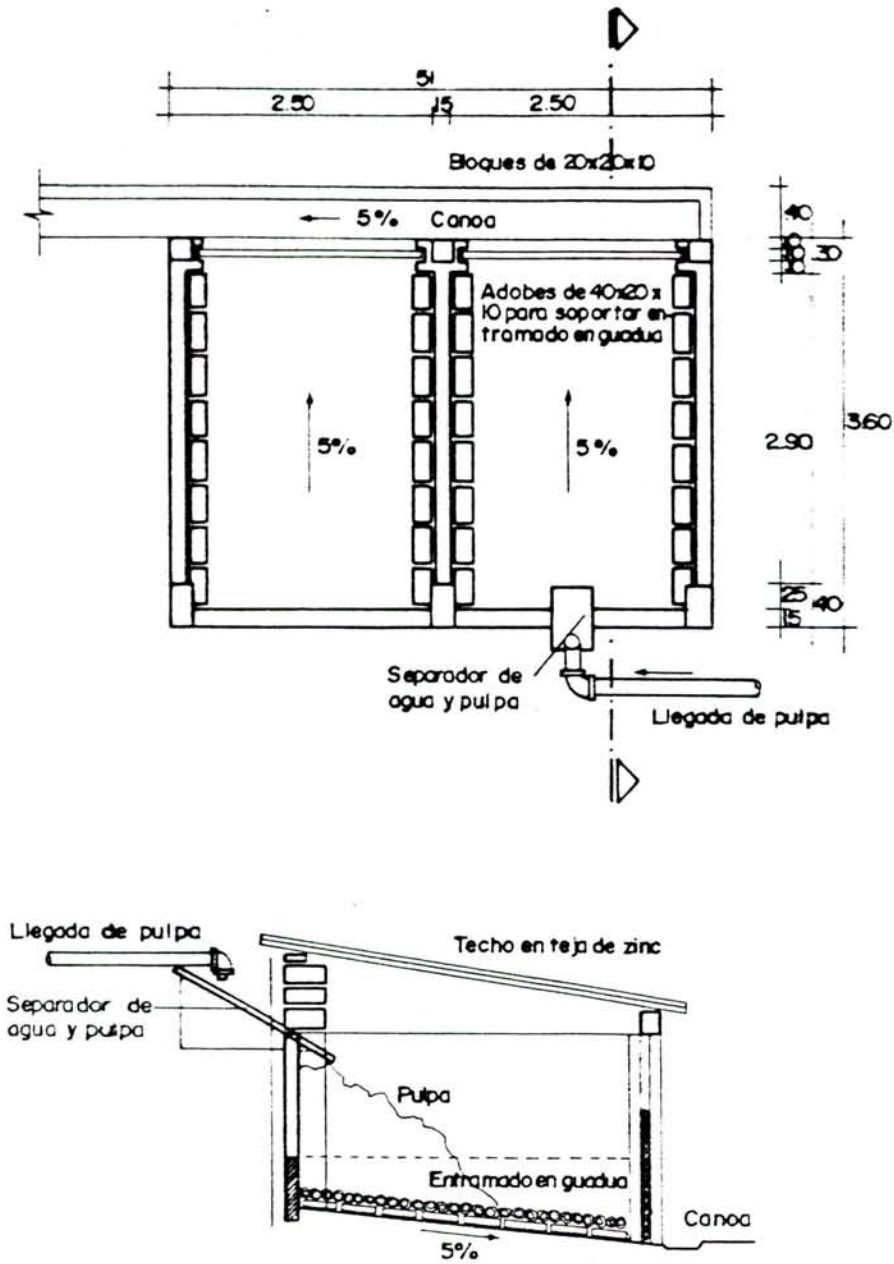


FIGURA 7.2 Esquemas de las fosas, separador de agua y pulpa y circuito de recirculación de aguas.

adecuada que se comprueba en forma práctica tomando un puñado del material y observando que, estando totalmente húmedo, no escurre agua. Cuando se observe que las lombrices se adaptan y profundizan en este medio, se puede proceder a alimentarlas con capas delgadas de pulpa fresca, teniendo la precaución de remojar con la frecuencia necesaria para mantener la humedad adecuada y de cubrir las hileras con pasto para conservar la humedad y proteger del ataque de depredadores. Para tener una idea de la relación lombriz/pulpa, puede tomarse como base el hecho de que las lombrices consumen aproximadamente el equivalente a su peso al día. FERRUZI, (2).

En cuanto a los posibles usos del humus, se tienen varias alternativas: en preparaciones para almácigos, para huertas y, en general, como acondicionador de suelos.

Otra alternativa bastante atractiva y de gran dimensión acerca de la utilización práctica de la pulpa de café la constituye el cultivo de las especies de hongos comestibles del género *Pleurotus* spp., contribuyendo así a la obtención de nuevas fuentes proteínicas para la comunidad, además de brindar una posible fuente económica a los cultivadores.

Las ventajas que ofrece el cultivo son: Bajo costo de producción, obtención de grandes cantidades de hongos en tiempos relativamente cortos, obtención de un producto rico en proteína, instalaciones sencillas y que ocupan poco espacio, obtención de un residuo que puede ser utilizado en alimentación animal.

La caseta de cultivo puede ser construida en materiales sencillos como madera y plástico. Una caseta de 3 m de ancho, 6 m de largo y 3.5 m de altura, permite el manejo de aproximadamente 2 ton de pulpa inoculada con semilla del hongo. El proceso de producción involucra cinco etapas, a saber: Fermentación aeróbica de la pulpa durante 5 ó 6 días, seguida de una pasteurización a 70°C durante 30 minutos, una fase de inoculación con la semilla del hongo, la fase de incubación en la caseta de cultivo y por último la fase de producción.

Debido a que la pulpa de café es un producto estacional y, en el cultivo de las especies de hongos comestibles del género *Pleurotus* spp. y de la lombriz roja californiana, se requiere de pulpa fresca para mantener una producción continua de estos cultivos, es deseable, por tanto, la conservación de la pulpa de café cuando no pueda ser utilizada inmediatamente, o para tenerla disponible durante los meses en que

no se presente producción del fruto, con el fin de utilizarla como sustrato para estos dos cultivos.

Un proceso que ofrece grandes perspectivas de poder ser aplicado exitosamente, con el propósito antes mencionado, es el ensilaje, que consiste en almacenar la pulpa, proveniente de un despulpado en seco, en silos de fosa o de trinchera cuyas paredes deben estar revestidas con plástico y en los que la pulpa debe ser compactada a razón de 1 ton/m<sup>3</sup> para garantizar una buena conservación de la misma GONZALEZ. (3). Una vez ensilada la pulpa, se debe cubrir la fosa con un plástico, una capa de tierra y paja seca. Además, se debe construir un cobertizo para evitar que las lluvias puedan alterar el producto.

#### 7.1

#### BIBLIOGRAFIA:

- 1- BRESSANI, R., E. Estrada y R. Jarquin. Pulpa y pergamino de café. I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa. Tuarrialba, 22:299-304, 1972.
- 2- FERRUZI, C. Manual de lombricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, 1987.
- 3- GONZALEZ, J.M. Boletín Informativo de la División de Ciencias Agrícolas y de Alimentos del INCAP. VIII. Preparación de ensilaje de pulpa de café. AGA: 16-19, 1973.
- 4- URIBE H., A. Fosas para pulpa de café. Avances Técnicos. Cenicafé, Colombia. N°68, julio de 1977.

21350 ya está

## 8. TRANSPORTE

Ing. Mec. Juan Rodrigo Sanz Uribe - Asistente de Investigación - Cenicafé.

Como el beneficio de café es un proceso continuo, es de gran importancia tener un conocimiento con alguna profundidad de diferentes sistemas de transporte de café de un lugar a otro, en diferentes estados y de la pulpa. Con este capítulo se pretende suplir de un material, extractado principalmente de trabajos realizados en CENICAFE, para la adecuada selección de los sistemas de transporte que más se aproximen a las necesidades de determinado beneficiadero.

### 8.1. ANGULOS DE DESLIZAMIENTO \*

Cuando un cuerpo se encuentra sobre un plano inclinado, sobre él actúan las fuerzas que aparecen en el diagrama de cuerpo libre, Figura 8.1.

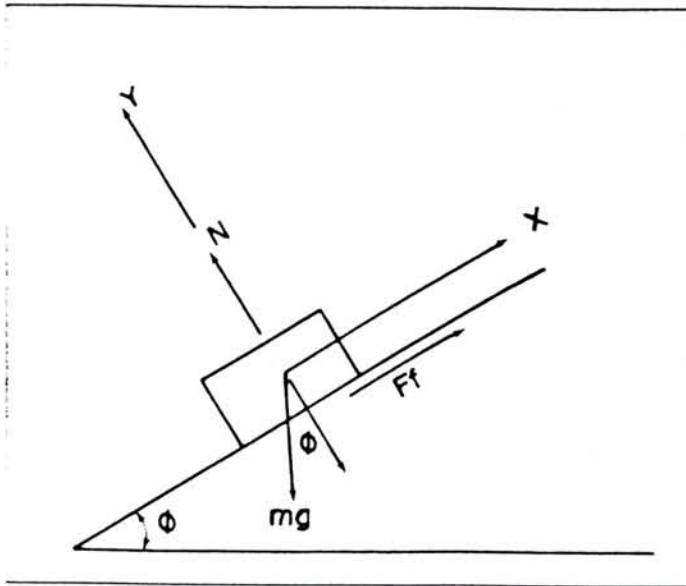


Figura 8.1. Diagrama de cuerpo libre de un cuerpo sobre un plano inclinado

Cuando el plano se encuentra inclinado con un ángulo igual al ángulo de deslizamiento del cuerpo con la superficie, en el instante anterior a que el cuerpo empiece a moverse, éste se encuentra en equilibrio, o sea:

$$F_x = 0 : F_f - m g \operatorname{sen} \phi = 0$$

\* Es el ángulo de inclinación de una superficie, en el cual se empieza a mover sin rodar, el cuerpo que se encuentra sobre ella.

Como:  $F_f = \mu N$

Entonces:  $N = m g \operatorname{sen} \phi$  (1)

$$F_y = 0 : N - m g \cos \phi = 0$$

$$N = m g \cos \phi$$
 (2)

Dividiendo (1) sobre (2), obtenemos:

$$\mu = \operatorname{Tan} \phi$$

Donde:

$F_f$  : Fuerza de fricción entre el cuerpo y la superficie.

$m$  : Masa del cuerpo.

$g$  : Aceleración de la gravedad.

$\phi$  : Angulo de deslizamiento entre el cuerpo y la superficie.

$\mu$  : Coeficiente de fricción estático entre el cuerpo y la superficie.

$N$  : Fuerza normal o fuerza que ejerce la superficie al cuerpo.

En CENICAFE se hicieron ensayos para determinar el coeficiente de fricción estático,  $\mu$ , entre el café en diferentes estados: cereza, baba, lavado, pergamino seco y en almendra; con diferentes superficies planas: madera cepillada, madera tosca, PVC, mayólica, alfagres, concreto y metal. Los resultados se encuentran consignados en la tabla 8.1 con los correspondientes ángulos de reposo.

**Tabla 8.1. VALORES MEDIOS DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y DE ÁNGULOS DE DESLIZAMIENTO PARA GRANOS DE CAFÉ EN DIFERENTES ESTADOS CON DISTINTOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

SUPERFICIE	ESTADO DE LOS GRANOS DE CAFÉ										
	CEREZA		DESPULPA		LAVADO		C.P.S.		ALMENDRA		
	$\mu^*$	$\phi^{**}$	$\mu$	$\phi$	$\mu$	$\phi$	$\mu$	$\phi$	$\mu$	$\phi$	
MADERA CEPILLADA											
FIBRA PERPEND AL											
FLUJO	0.65	33.0	0.58	30.1	1.21	50.4	0.39	21.3	0.45	24.2	
Tubo PVC 6"	0.49	26.1	0.27	15.1	0.60	31.0	0.36	19.8	0.30	15.8	



ESTADO DE LOS GRANOS DE CAFE										
SUPERFICIE	CEREZA		DESPULPA		LAVADO		C.P.S.		ALMENDRA	
	$\mu^*$	$\phi^{**}$	$\mu$	$\phi$	$\mu$	$\phi$	$\mu$	$\phi$	$\mu$	$\phi$
METAL	0.62	31.8	0.30	16.7	0.67	33.8	0.56	29.2	0.47	25.2
ALFAGRES	0.76	37.2	0.31	17.2	0.92	42.6	1.02	45.6	0.62	31.8
CONCRETO	0.55	28.8	0.72	35.8	1.16	49.2	1.55	57.2	1.00	45.0
MAYOLICA	0.62	31.8	0.36	19.8	0.88	41.3	0.97	44.1	0.57	29.7
MADERA CEPILLADA FIBRA PARALELA AL FLUJO	0.63	32.2	0.67	33.8	1.08	47.2	0.45	24.2	0.50	26.6
MADERA TOSCA FIBRA PERPENDICULAR AL FLUJO	0.74	36.5	0.78	38.0	1.25	51.3	1.20	50.2	0.57	29.7
MADERA TOSCA FIBRA PARALELA AL FLUJO	0.76	37.2	0.78	38.0	1.20	50.2	1.30	52.4	0.47	25.2

\* Coeficiente de fricción estático, adimensional.

\*\* Angulo de reposo en grados.

## 8.2 TRANSPORTE NEUMATICO

Cuando se tiene flujo de aire a través de un ducto, la presión debida a la velocidad con que se mueve ese aire está dada por la ecuación siguiente, deducida de la ecuación de energía:

$$P_v = \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

$P_v$  : Presión debida a la velocidad del aire.

$\rho$  : Densidad del aire a las condiciones de presión y temperatura.

$V$  : Velocidad del aire.

Cuando se introduce un elemento cualquiera dentro del ducto, la presión de velocidad actúa sobre el área proyectada dando como resultado una fuerza sobre el elemento:

$$F_v = \frac{\rho V^2}{2} A_p$$

$$F_v = \frac{\rho V^2 A_p}{2}$$

Donde:

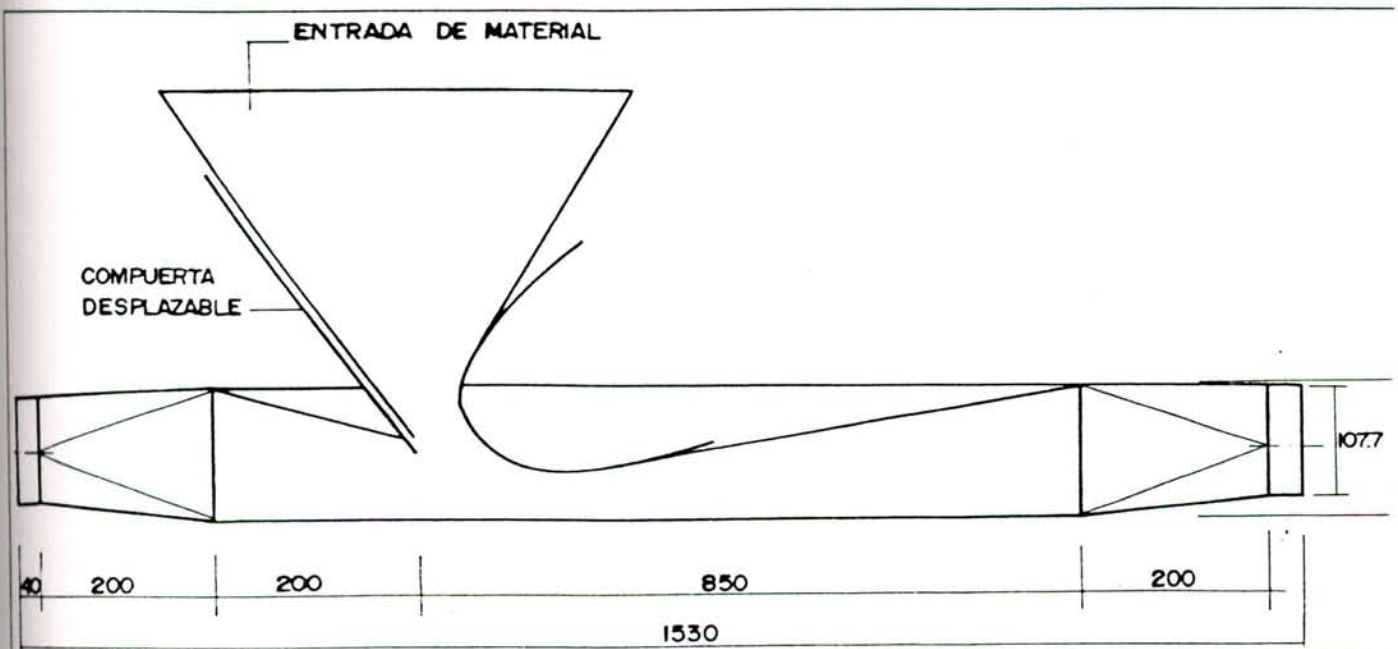
$F_v$  : Fuerza debida a la velocidad del aire.

$A_p$  : Area proyectada del elemento.

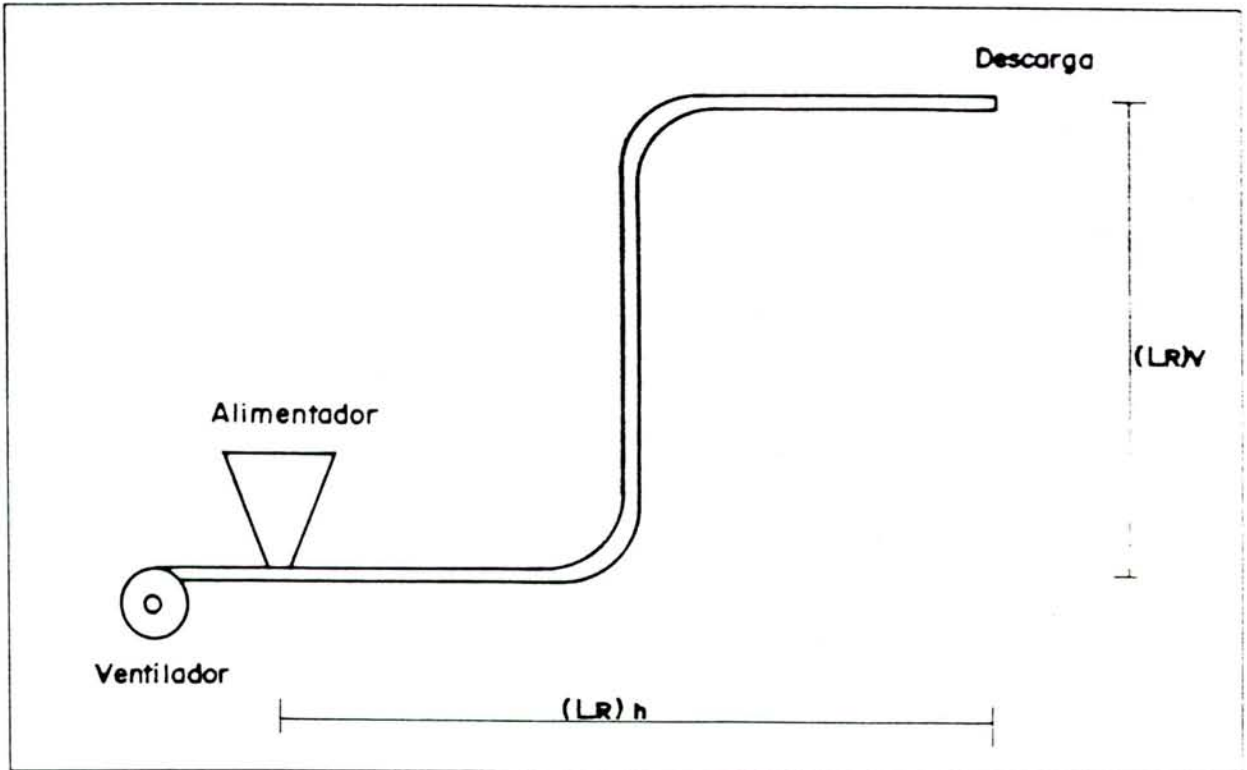
Cuando la fuerza  $F_v$  que ejerce la velocidad del aire sobre el elemento supera las fuerzas que a ella se oponen, se rompe el equilibrio y el elemento empieza a acelerarse, siendo este el principio físico del transporte neumático.

Existen dos clases de transporte neumático: De presión negativa o succión y de presión positiva, considerándose este último de mayor eficiencia. En la figura 8.2 a y b, aparece un sistema de transporte neumático de presión positiva y el detalle de un alimentador de tipo eyector Venturi.

En CENICAFE se realizaron estudios de transporte neumático de café con sistemas de presión positiva, en tuberías de PVC de 10.77 cm (4") y 16.00 cm (6") de diámetro. Durante la experimentación y de los datos obtenidos, especialmente en ductos de 10.77 cm de diámetro, se encontró que el sistema neumático es apropiado para el transporte del café pergamino recién lavado y de la pulpa fresca. El daño mecánico causado es tolerable cuando se transporta café pergamino en cualquier estado (Lavado, seco de agua o seco) en longitudes menores de 50 m y con un máximo de 6 codos; en la mayoría de estos ensayos se obtuvieron porcentajes de grano trillado menores del 1%.



8.2 a) Alimentador tipo eyector Venturi



8.2 b) Sistema de presión positiva.

**FIGURA 8.2. SISTEMA DE TRANSPORTE NEUMÁTICO DE PRESIÓN POSITIVA.**

El principal elemento de un transportador neumático es el ventilador, ya que es el dispositivo que se encarga de entregar la energía necesaria para llevar el material de un lado a otro. Para la selección del ventilador se requiere determinar dos parámetros principales que son: **El caudal y la presión estática.**

Sabiendo el tipo de material a transportar y el diámetro de tubería que se va a utilizar, se puede obtener en la tabla 8.2 la velocidad mínima del aire para que exista transporte; como puede verse en esta tabla son necesarias mayores velocidades para el transporte vertical de material, por esta razón cuando en algún diseño existan disposiciones horizontal y vertical, se escoge la velocidad mínima vertical como la más crítica y cualquier velocidad superior a ésta puede ser seleccionada como velocidad de trabajo. Conocida la velocidad de trabajo se puede determinar fácilmente el caudal utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = V A$$

Donde:

Q : Caudal de aire.

V : Velocidad del aire.

A : Area transversal de la tubería.

El valor de la presión estática está determinado por la resistencia que ofrece la tubería, la resistencia que ofrece el material al aire y las pérdidas de presión que ocurren en los cambios de dirección (Codos). En las gráficas 8.1 a 8.12 se encuentran los datos de pérdidas de presión estática debidas al transporte del café pergamino en diferentes estados (recién lavado, seco de agua y seco) y pulpa fresca de café, por cada 10 m de tubería recta, en cada uno de los diámetros (10.77 cm y 16.00 cm), para cada dirección de transporte (horizontal y vertical) y a diferentes tasas de transporte.

**Tabla 8.2. VELOCIDADES MINIMAS DEL AIRE DE TRANSPORTE.**

Material  Transportado	Velocidad Mínima del Aire [m/s]			
	Diámetro de la Tubería			
	10.77cm		16.00 cm:	
	Horizontal	Vertical	Horizontal	Vertical
Café pergamino Recien lavado	17.95	19.74	11.89	13.17
Café pergamino seco de agua	17.06	19.25	11.56	12.83
Café pergamino seco	15.35	17.01	11.09	10.91
Pulpa fresca de café	15.62	14.43	14.04	11.21

En la tabla 8.3 se encuentran los datos de longitud equivalente de los codos para la tubería de 10.77 cm (4") y 16.00 cm (6") de diámetro; el primero es un codo radio largo tipo unión "Z" y el segundo un codo normal para tubería PVC sanitaria.

**Tabla 8.3. LONGITUD EQUIVALENTE DE LOS CODOS EN TUBERIA VERTICAL Y HORIZONTAL PARA LOS DIAMETROS DE 10.77 cm (4") Y 16.00 cm (6").**

TIPO DE MATERIAL	LONGITUD EQUIVALENTE PROMEDIO [m]			
	DISPOSICION VERTICAL		DISPOSICION HORIZONTAL	
	10.77cm	16.00cm	10.77cm	16.00cm
CAFE PERGAMINO RECIEN LAVADO	3.5	10.0	1.5	0.5
PULPA FRESCA DE CAFE	3.7	0.0	0.0	0.0

Para determinar la presión estática que debe tener el ventilador se debe seguir un procedimiento más complicado que cuando se trata del caudal. Se debe tener el trazado del sistema para obtener las longitudes horizontales y verticales, la cantidad de codos en el plano vertical y horizontal y además la cantidad de material a transportar, con el fin de utilizar las figuras de 8.1 a 8.12 y la tabla 8.3 simultáneamente.

Figuras

El procedimiento consiste en obtener la longitud total horizontal a partir de la suma de la longitud real de los tramos horizontales más la longitud equivalente de los codos en algún plano horizontal y la longitud total vertical a partir de la suma de la longitud real vertical más la longitud equivalente de los codos en algún plano vertical; como lo describen las siguientes fórmulas:

$$(L_T)_h = (L_R)_h + (L_{eq})_h$$

$$(L_T)_v = (L_R)_v + (L_{eq})_v$$

Donde:

$(L_T)_h$  : Longitud total horizontal.

$(L_R)_h$  : Longitud real de la tubería que está dispuesta horizontalmente.

$(L_{eq})_h$  : Longitud equivalente de los codos que están dispuestos en algún plano horizontal.

$(L_T)_v$  : Longitud total vertical.

$(L_R)_v$  : Longitud real de la tubería que está dispuesta verticalmente.

$(L_{eq})_v$  : Longitud equivalente de los codos que están dispuestos en algún plano vertical.

Con estos datos, con la velocidad seleccionada, con la cantidad de material a transportar y valiéndose de las gráficas, se puede determinar la pérdida de presión total que es la presión estática total que debe tener el ventilador.

El dispositivo mostrado en la figura 8.2.b, alimentador tipo eyector Venturi con las características que allí aparecen, presentó muy buen desempeño alimentando café pergamino en cualquier estado transportándose por tubería de 10.77 cm (4") de diámetro.

Figura 8.1

### TRANSPORTE NEUMATICO HORIZONTAL CAFE PERGAMINO RECIEN LAVADO

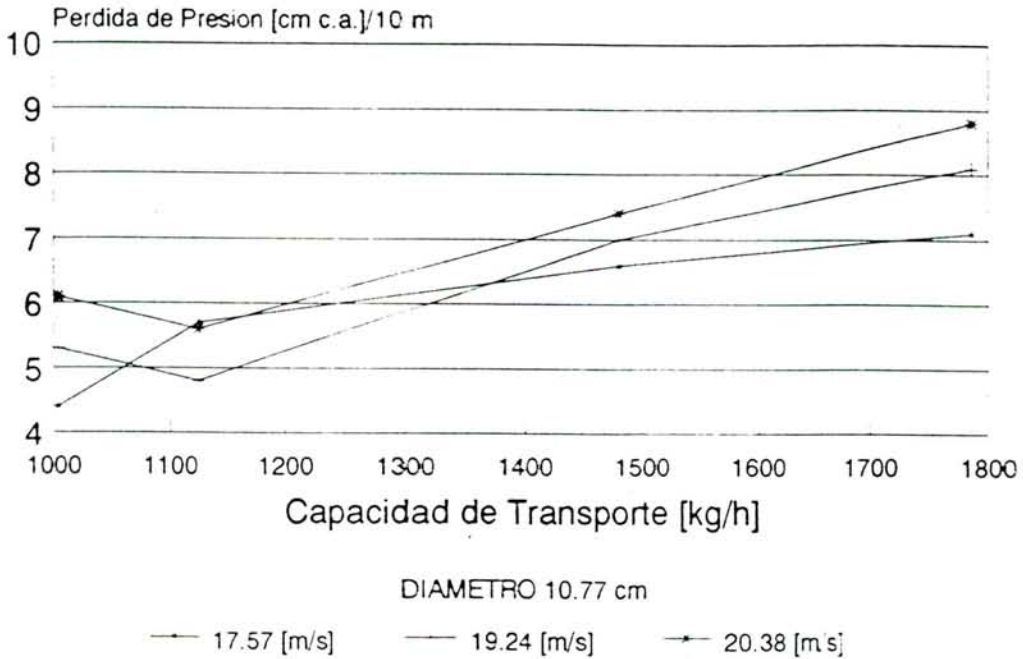


Figura 8.2

### TRANSPORTE NEUMATICO HORIZONTAL CAFE PERGAMINO SECO DE AGUA

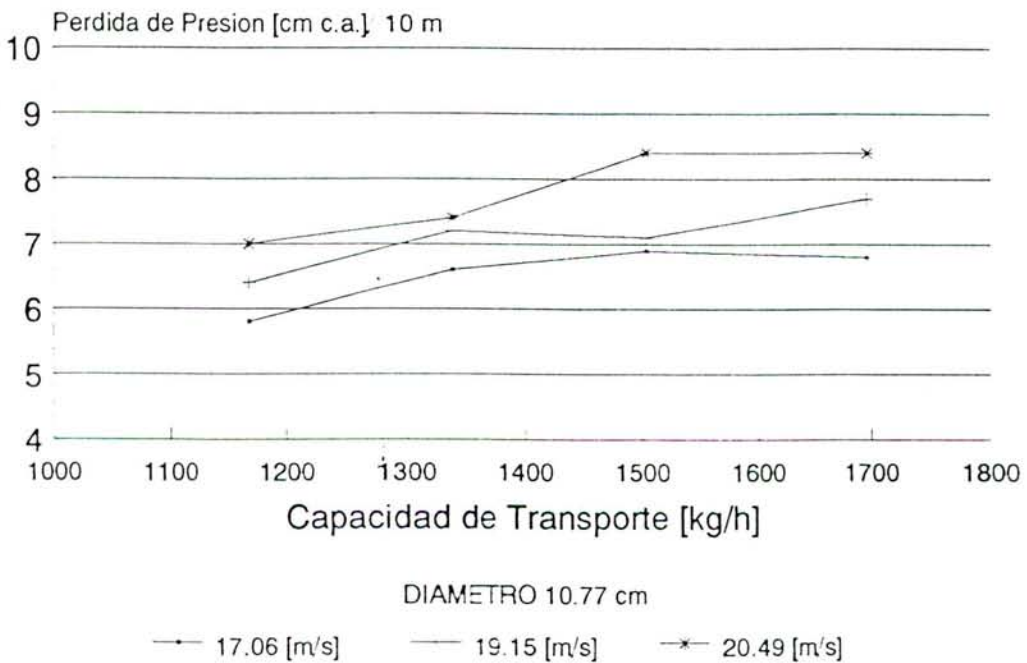


Figura 8.3

### TRANSPORTE NEUMATICO HORIZONTAL CAFE PERGAMINO SECO

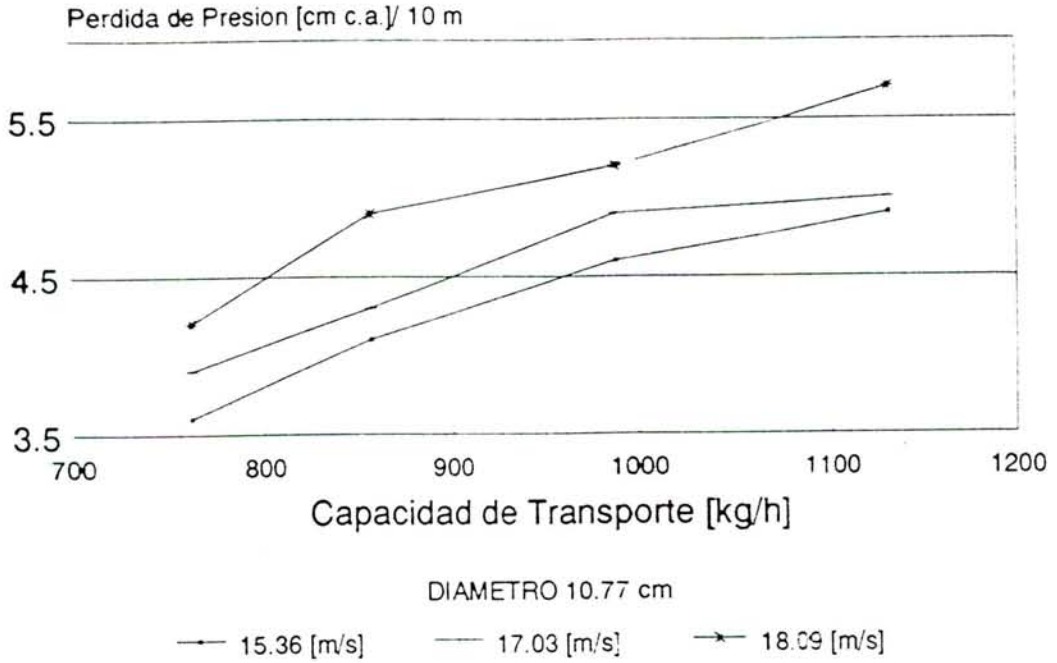


Figura 8.4

### TRANSPORTE NEUMATICO HORIZONTAL PULPA FRESCA DE CAFE

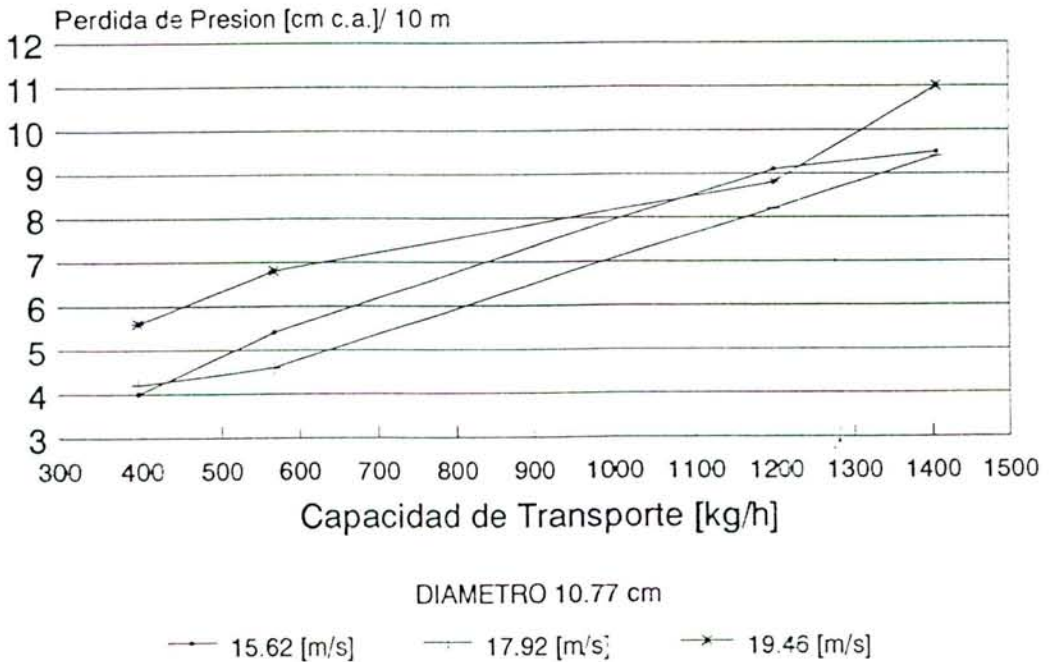


Figura 8.5

### TRANSPORTE NEUMATICO VERTICAL CAFE PERGAMINO RECIEN LAVADO

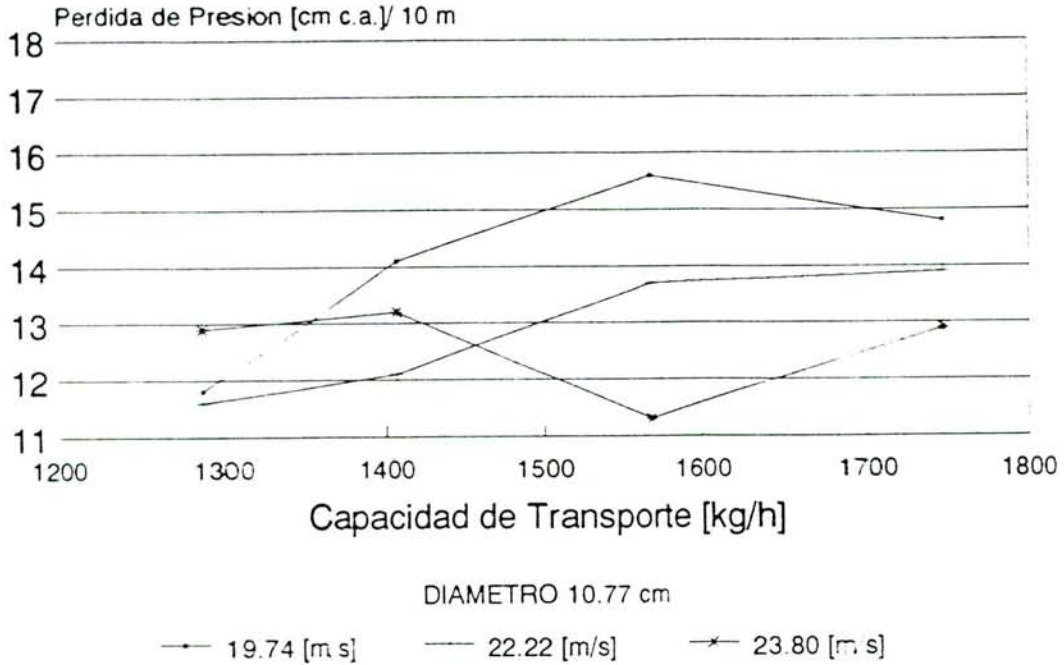


Figura 8.6

### TRANSPORTE NEUMATICO VERTICAL CAFE PERGAMINO SECO DE AGUA

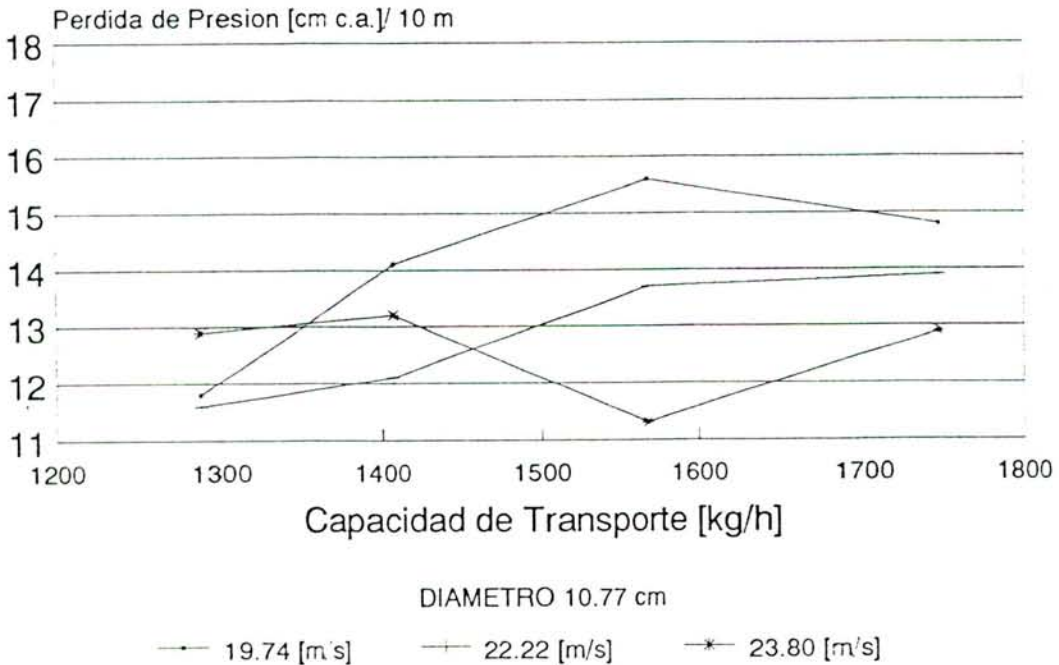




Figura 8.7

### TRANSPORTE NEUMATICO VERTICAL CAFE PERGAMINO SECO

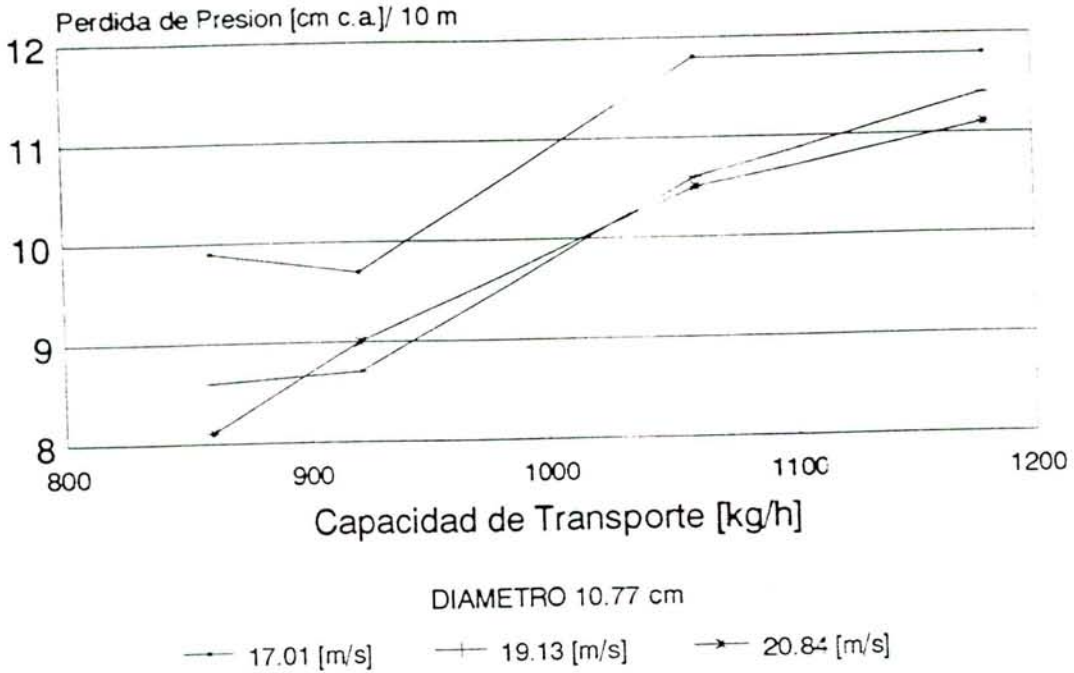


Figura 8.8

### TRANSPORTE NEUMATICO VERTICAL PULPA FRESCA DE CAFE

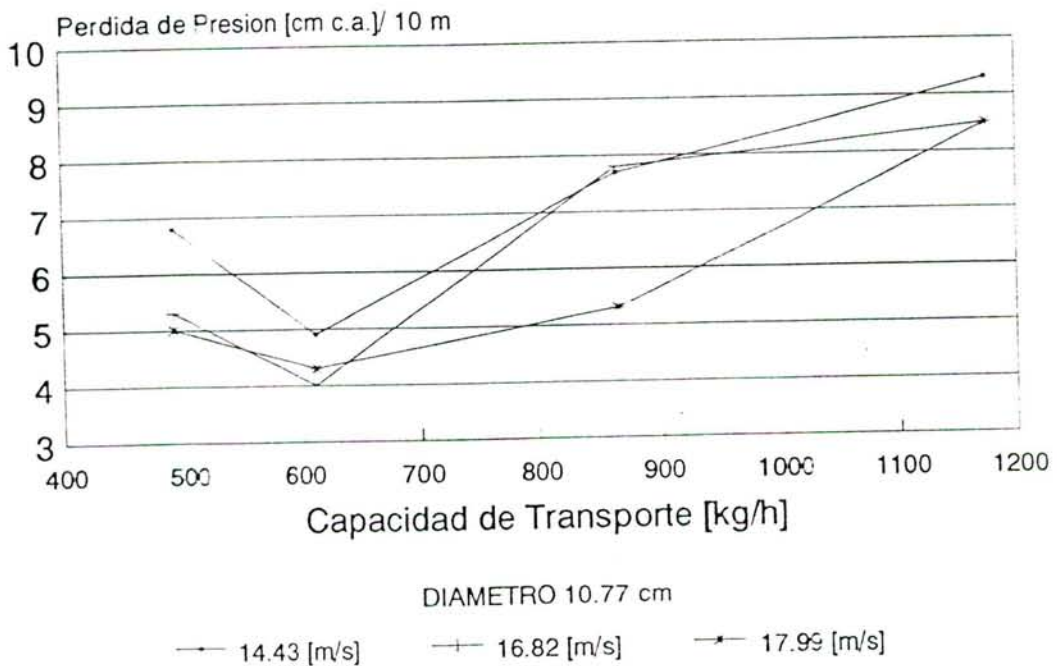


Figura 8.9

### TRANSPORTE NEUMATICO HORIZONTAL CAFE PERGAMINO RECIEN LAVADO

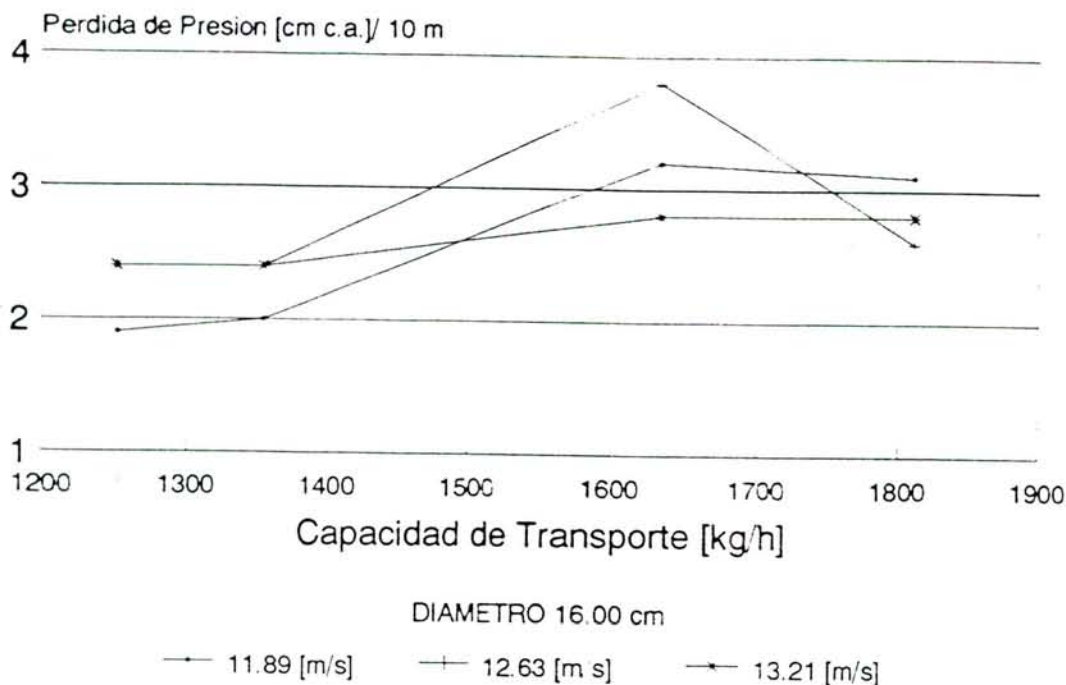


Figura 8.10

### TRANSPORTE NEUMATICO HORIZONTAL CAFE PERGAMINO SECO DE AGUA

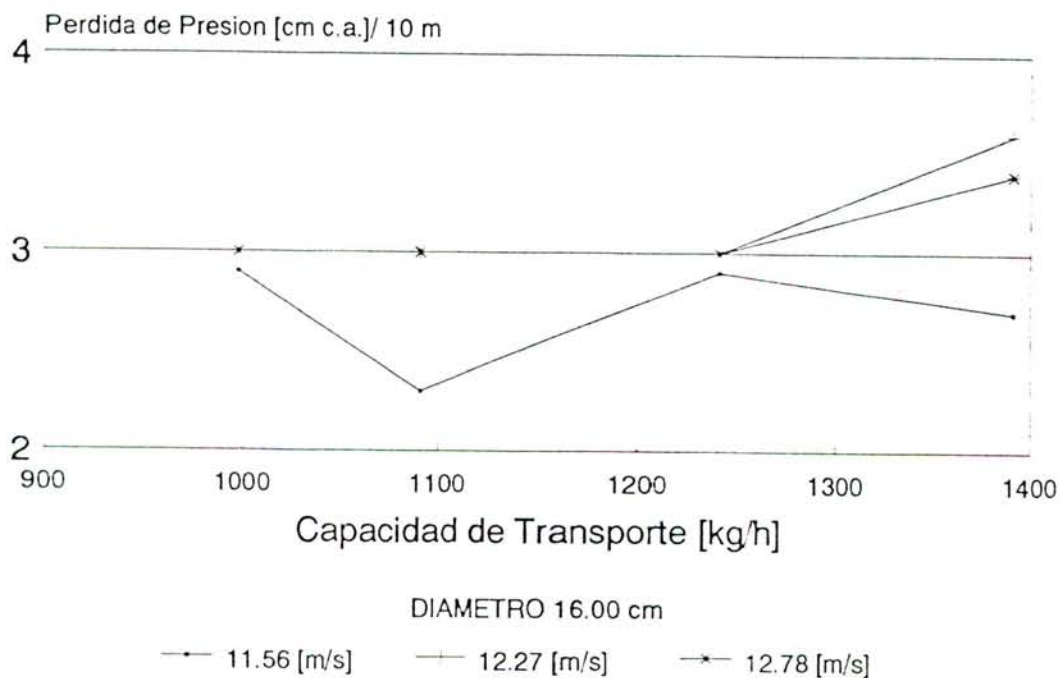


Figura 8.11

### TRANSPORTE NEUMATICO HORIZONTAL CAFE PERGAMINO SECO

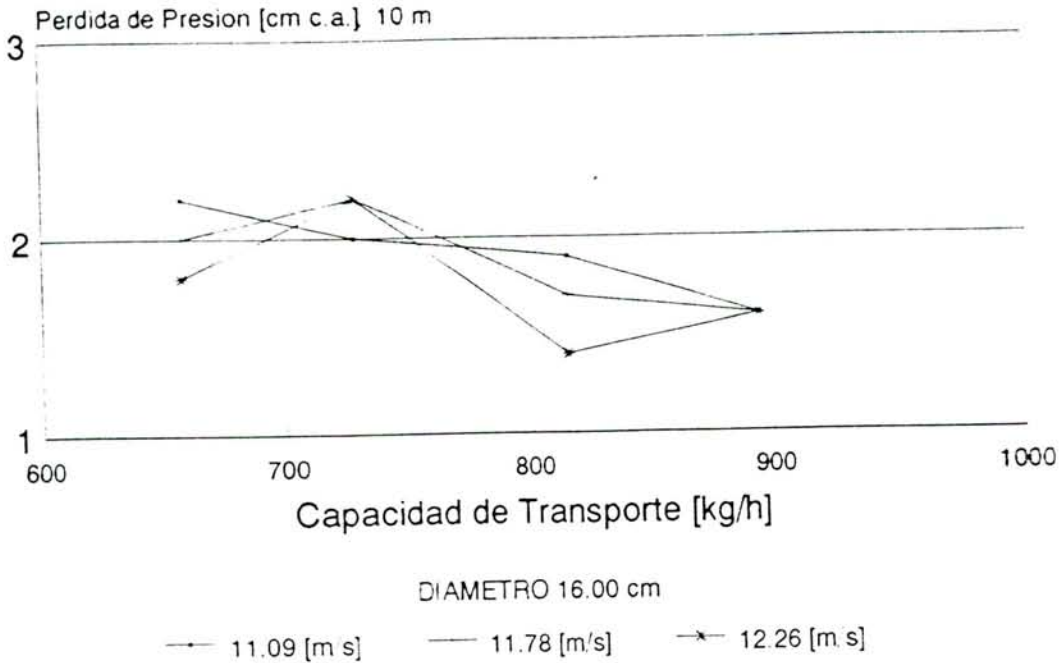
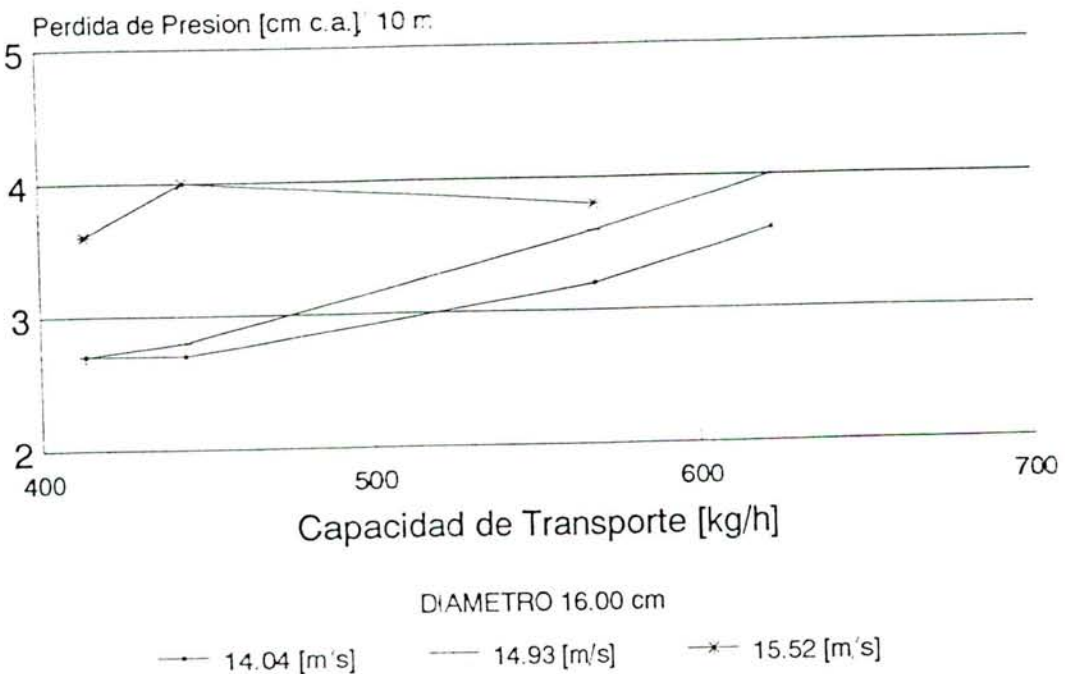


Figura 8.12

### TRANSPORTE NEUMATICO HORIZONTAL PULPA FRESCA DE CAFE



### 8.3. BOMBA SUMERGIBLE

Las bombas sumergibles pertenecen a la familia de las bombas centrífugas que consisten de un conjunto de álabes rotatorios dentro de un alojamiento o carcasa que se utilizan para impartir energía mecánica a un fluido por medio de la fuerza centrífuga. Al entregar energía de esta forma se puede transportar fluido de un lugar a otro.

Las bombas sumergibles (figura 8.3) tienen un rotor con un diseño especial (rotor abierto con dos álabes curvados hacia atrás de 4.5 cm de ancho cada uno) de tal forma que es capaz de transportar fluidos con partículas en suspensión hasta de 3 cm de diámetro. Por esta razón, estas bombas presentan buen desempeño en el transporte de una mezcla de café con agua. Adicionalmente, como la mezcla de café con agua tiene que pasar por los álabes del rotor, este dispositivo es de mucha utilidad para realizar el lavado del café de una forma económica en energía y en agua.

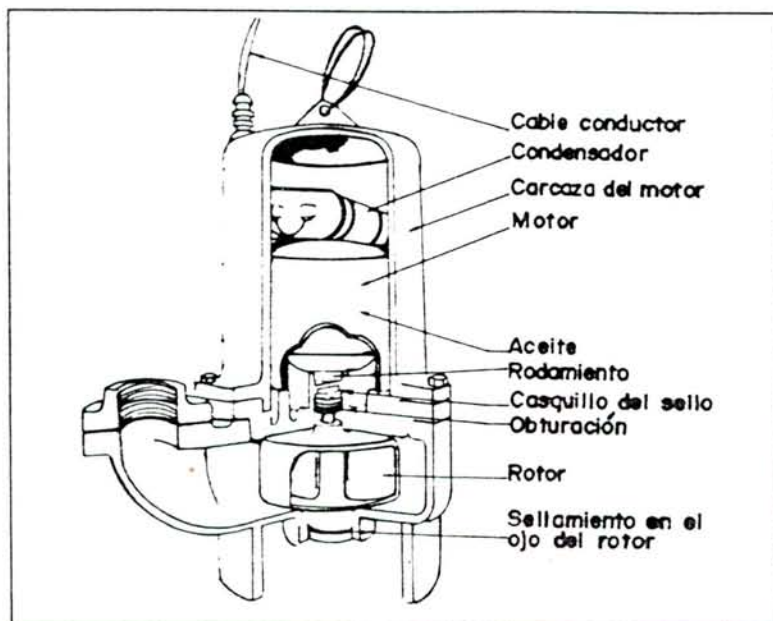


FIGURA 8.3. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UNA BOMBA SUMERGIBLE.

Cuando se tiene una bomba centrífuga para transportar agua solamente, se requieren dos datos principales para la selección de la bomba: **el caudal y la presión total**. El caudal depende de las necesidades de agua que se tengan. La presión total está determinada por la suma de la altura que hay entre el nivel del tanque inferior y el nivel donde se desea descargar (altura geodésica), más las pérdidas de

presión que se crean por fricción entre la tubería y el fluido, más las pérdidas de presión en los accesorios de la tubería (codos, tees, válvulas, restricciones, etc.). El primer dato se obtiene cuando se hace el trazado del sistema; los otros dos datos son dados por los fabricantes de tubería en los catálogos.

Al transportar café pergamino con bomba, las pérdidas por fricción se incrementan considerablemente en comparación con el manejo de agua solamente. Esta pérdidas por fricción fueron estudiadas en CENICAFE y se encuentran consignadas en las tablas 8.4 y 8.5.

**TABLA 8.4. PERDIDAS DE PRESION EN METROS POR CADA 100 m DE TUBERIA RECTA DE 7.62 cm (3") DE DIAMETRO DISPUESTA VERTICALMENTE. ( $h_{perd}$ )<sub>v</sub>**

PORCENTAJE EN VOLUMEN	CAUDAL DE LA MEZCLA [l/min]								
	300	320	340	360	380	400	420	440	460
20	3.21	3.25	3.29	3.33	3.36	3.40	3.43	3.46	3.49
30	4.22	4.28	4.33	4.38	4.43	4.47	4.51	4.56	4.60
40	5.13	5.20	5.26	5.32	5.38	5.43	5.48	5.53	5.58
50	6.00	6.04	6.12	6.19	6.25	6.32	6.38	6.44	6.49
60	6.75	6.84	6.92	7.00	7.07	7.14	7.21	7.28	7.34
70	7.48	7.59	7.68	7.77	7.85	7.93	8.01	8.08	8.15

**TABLA 8.5. PERDIDAS DE PRESION EN METROS POR CADA 100 m DE TUBERIA RECTA DE 7.62 cm (3") DE DIAMETRO DISPUESTA HORIZONTALMENTE.  $h_{(f_{fric})_h}$**

PORCENTAJE EN VOLUMEN	CAUDAL DE LA MEZCLA [l/min]			
	440	460	480	500
20	2.68	2.88	3.09	3.30
30	2.82	3.04	3.25	3.46
40	2.98	3.20	3.41	3.62
50	3.14	3.36	3.57	3.78
60	3.30	3.52	3.73	3.95
70	3.47	3.68	3.89	4.11

Fuera de la información consignada en las anteriores tablas, las conclusiones del trabajo fueron:

- Cuando se transporta con bomba sumergible una mezcla de agua café por una tubería de 7.62 cm (3") y 3 m de longitud, la cantidad de grano trillado se incrementa en valores que pueden ir desde 0.25% hasta 1.11% cuando se incrementa la proporción de café presente en la mezcla desde 25% hasta 50% respectivamente.
- Para asegurar un bajo daño mecánico en el café que se transporta, la proporción de éste presente en la mezcla debe estar cercano al 25%.
- Cuando se transporta una mezcla de agua café, las pérdidas de presión ocurridas en accesorios como codos y tees de tubería PVC presión de 7.62 cm (3") de diámetro, expresadas en longitud equivalente de tubería recta, pueden ser consideradas iguales a la longitud equivalente de estos accesorios cuando se transporta agua solamente. En la tabla 8.6 se pueden encontrar las longitudes equivalentes de algunos accesorios.

TABLA 8.6. LONGITUD EQUIVALENTE EN METROS DE ACCESORIOS DE TUBERIA PVC PRESION DE 7.62 cm (3") DE DIAMETRO.

ACCESORIO	LONGITUD
CODO 90° RADIO LARGO	1.6 m
CODO 90° RADIO MEDIO	2.1 m
CODO 90° RADIO CORTO	2.5 m
CODO 45°	1.2 m
VALVULA DE COMPUERTA ABIERTA	0.5 m
TEE	2.3 m

Para la selección de una bomba sumergible se requieren también dos parámetros principales que son **la capacidad de transporte y la presión total** expresada en unidades de longitud. En la figura 8.4 se presentan las curvas características, capacidad de transporte vs presión total expresada en unidades de longitud, de la serie SC de una casa fabricante de bombas sumergibles, con el fin de utilizarla para seleccionar adecuadamente la bomba para las necesidades dadas.

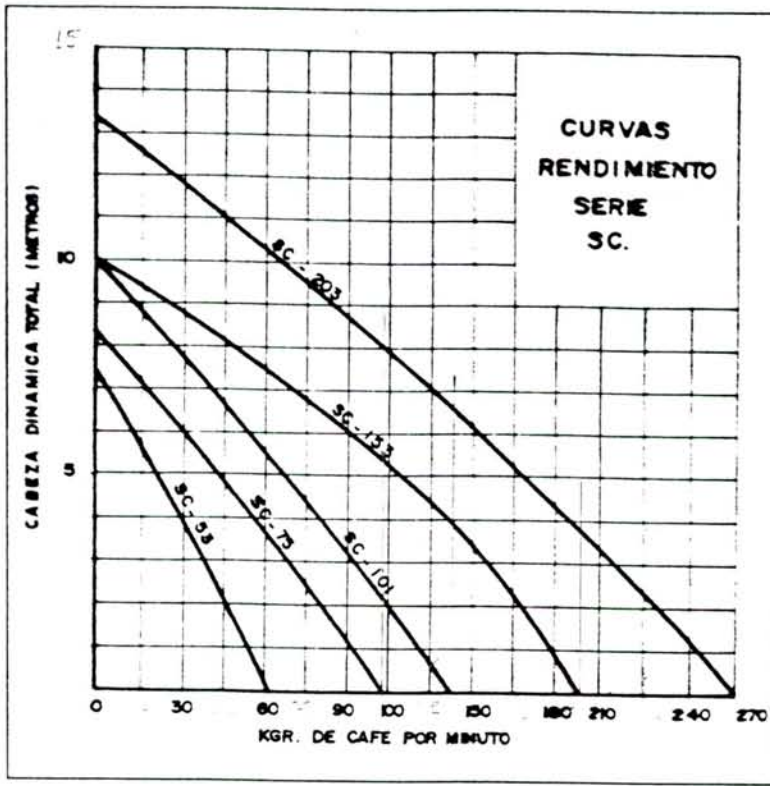


Figura 8.4. CURVA CARACTERISTICA DE BOMBAS SUMERGIBLES.

La presión total,  $H_t$ , se determina sumando la diferencia de alturas que hay entre el nivel de líquido y el punto de descarga más las pérdidas en la tubería y los accesorios; la primera es fácil obtenerla utilizando el trazado del sistema, como el de la figura 8.5.

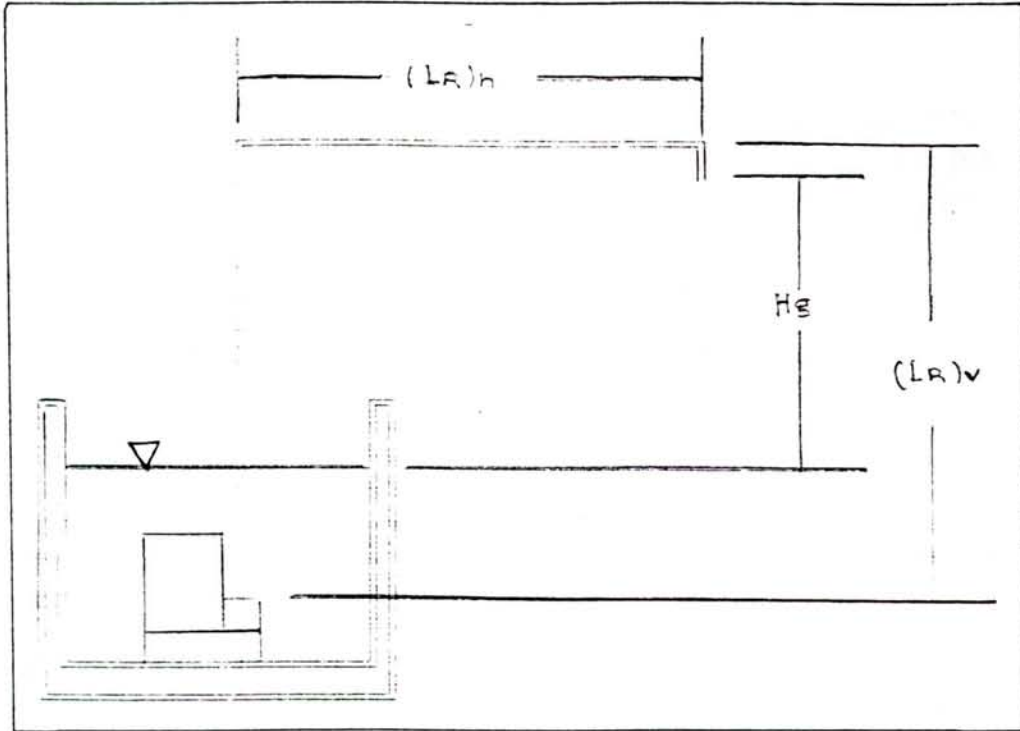
$$H_t = H_g + H_{\text{perd.}}$$

Donde:

$H_t$  : Presión total que requiere el sistema en unidades de longitud.

$H_g$  : Altura geodésica entre el nivel de agua y la descarga.

$H_{\text{perd.}}$  : Pérdidas de presión en tubería y accesorios expresadas en unidades de longitud.



- $(L_R)_h$  : Longitud real horizontal.
- $(L_R)_v$  : Longitud real vertical.
- $H_g$  : Altura geodésica.

**FIGURA 8.5. SISTEMA DE TRANSPORTE CON BOMBA SUMERGIBLE.**

Las pérdidas de presión,  $H_{perd.}$ , se puede determinar separadamente para los tramos dispuestos vertical y horizontalmente, incluyendo las pérdidas de presión en accesorios, así:

$$(L_T)_h = (L_R)_h + (L_{eq})_h$$

$$(L_T)_v = (L_R)_v + (L_{eq})_v$$

Donde:

- $(L_T)_h$  : Longitud total horizontal.
- $(L_R)_h$  : Longitud real de la tubería que está dispuesta horizontalmente.
- $(L_{eq})_h$  : Longitud equivalente de los codos que están dispuestos en algún plano horizontal, tabla 8.6.
- $(L_T)_v$  : Longitud total vertical.
- $(L_R)_v$  : Longitud real de la tubería que está dispuesta verticalmente.



$(L_{eq})$  : Longitud equivalente de los codos que están dispuestos en algún plano vertical, tabla 8.6.

Después de obtenidos estos datos de longitudes totales, se utilizan las tablas 8.4 y 8.5 para determinar las pérdidas totales de presión.  $H_{perd.}$ , expresadas en unidades de longitud. Con  $H_{perd.}$  y  $H_g$  podemos calcular la presión total  $H_t$  y así utilizar la curva característica de la figura 8.4.

$$* H_{perd.} = \frac{(L_T)_v \cdot (h_{perd})_v}{100 \text{ m}} + \frac{(L_T)_h \cdot (h_{perd})_h}{100 \text{ m}}$$

#### 8.4. TRANSPORTE DE CAFE CEREZA POR CABLE AEREO DE GRAVEDAD [PARRA, 1989]

Con el fin de determinar los parámetros que gobiernan el transporte de café cereza por cable aéreo de gravedad, se construyó en CENICAFE un banco de pruebas de 38.5 m de longitud y alturas variables para simular diferentes condiciones topográficas.

El transporte de cable aéreo por gravedad, consta de un cable de acero suspendido por dos apoyos y anclado a diferentes niveles del terreno (figura 8.6). El cable por su propio peso y la tensión suministrada forma una catenaria, por donde un dispositivo polea-gancho recorre el cable transportando carga.

Las poleas para soportar las cargas, deben tener las características que se muestran en la figura 8.7.

Para familiarizarse con el transporte por cable aéreo de gravedad, se deben conocer las siguientes definiciones:

Cuerda (C): Es la longitud de la recta que une los puntos de carga y descarga.

Pendiente (M): Es la relación que existe entre la distancia vertical y la distancia horizontal entre los puntos de carga y descarga, expresada en porcentaje.  $M = (h / S) * 100\%$ .

Flecha ( $Y_1$ ): Es la relación que existe entre la distancia vertical entre un punto 1 cualquiera del cable y la cuerda,  $f$ , y la distancia horizontal  $S$ , expresada en porcentaje;  $Y_1 = (f/S)*100\%$ .

Para la planificación de un transportador por cable aéreo se recomienda lo siguiente:

- Plano topográfico detallado.
- Selección del cable: El cable debe tener capacidad para resistir el desgaste; capacidad para oponerse a la distorsión, al aplastamiento y debe tener resistencia a la corrosión; y debe soportar flexiones repetidas sin que se rompan los alambres (resistencia a la fatiga).

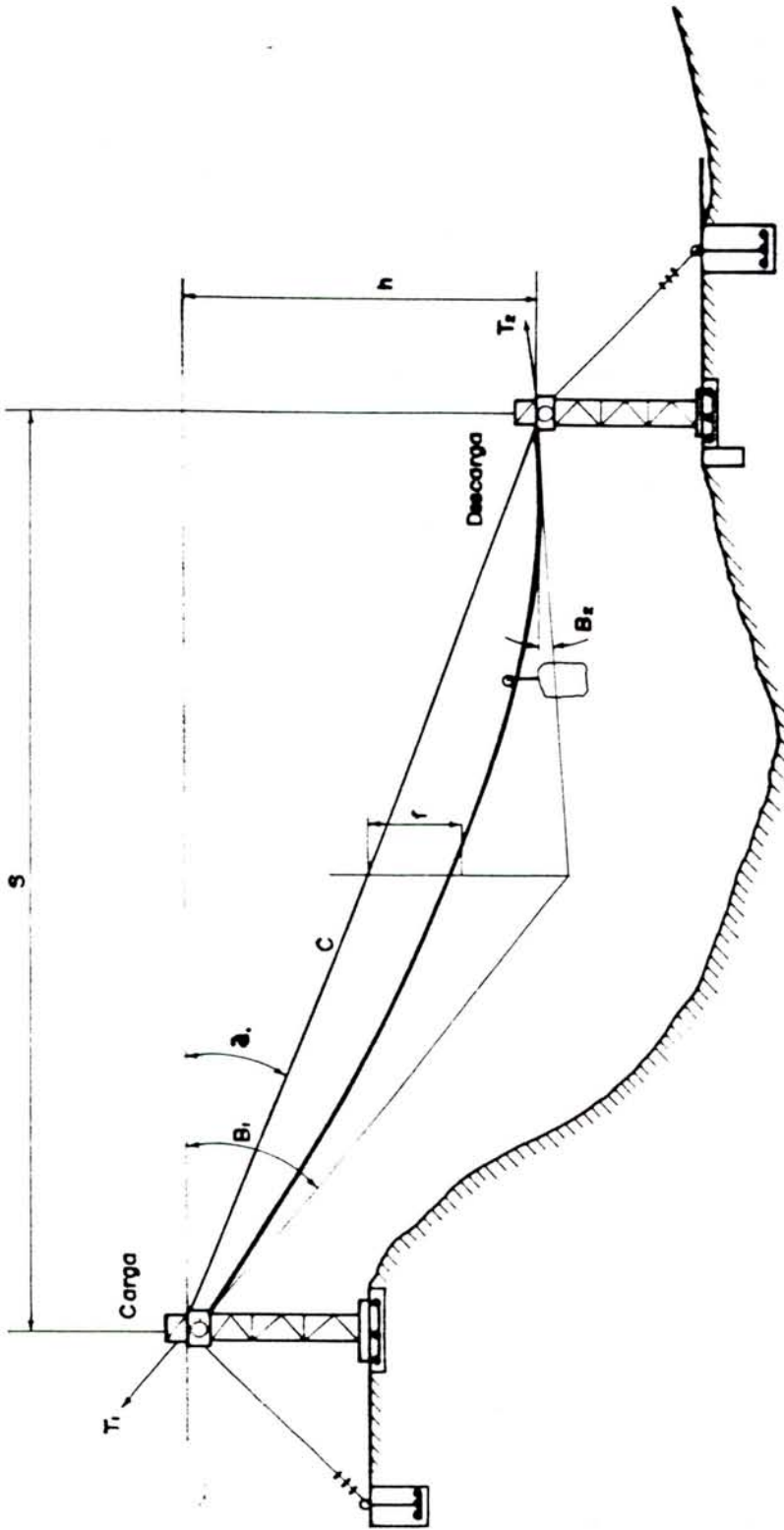


FIGURA 8.6. ESQUEMA DE UNA TRANSPORTADOR DE CABLE AEREO DE GRAVEDAD.

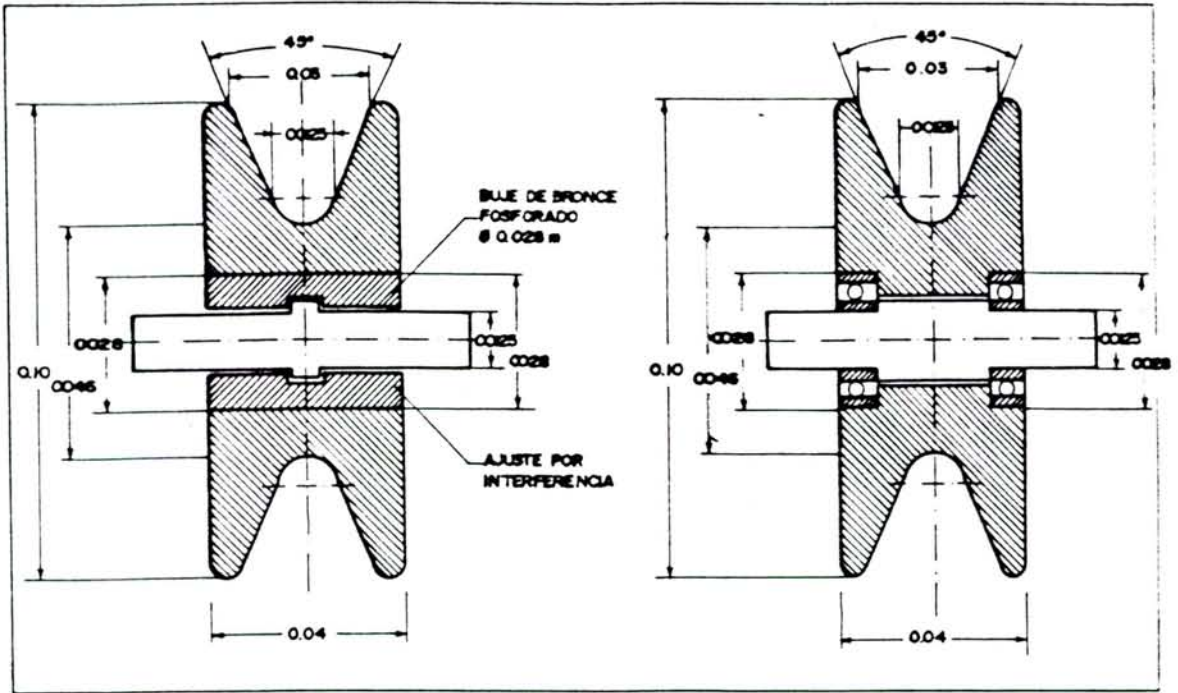


FIGURA 8.7. DETALLE CONSTRUCTIVO DE LAS POLEAS.

- Diseño de las estructuras de soporte del cable.

Para realizar esta planificación, las siguientes son las conclusiones de la investigación:

- En una misma longitud de transporte a medida que la flecha disminuye la tensión del cable aumenta.
- Las combinaciones de flecha-pendiente recomendadas para transportadores de cable aéreo de gravedad, enviando cargas de 60 kg son de 10% y 12.5% con flechas de 4 y 5%. Para pendientes mayores que el 15% se deben diseñar sistemas de absorción de energía en el punto de llegada.
- El diámetro mínimo del cable de acero para transportadores de gravedad, y de acuerdo a las combinaciones recomendadas de flecha-pendiente, es de 12.7 mm (1/2"), para longitudes hasta 300 m y por cada 120 m adicionales se debe aumentar a este diámetro 3.175 mm (1/8").
- Las flechas de 6 y 8%, no son recomendables para el diseño de sistemas de transporte de cable aéreo de gravedad, debido al incremento de una onda indeseable, sogueo del cable, que distorsiona el descenso de la carga.
- La capacidad de transporte en el banco de pruebas (38.5 m de

longitud), enviando cargas de 60 kg. fue superior a lo 5000 kg de café cereza por hora, independiente de la flecha utilizada.

- El transporte por cable aéreo de gravedad no permite puntos intermedios de carga, ni dos cargas transportándose simultáneamente.

- Para la carga de 120 kg no se encontró combinación flecha-pendiente que permitieran el normal desempeño del transportador. Las flechas para este caso deben ser menores que el 4%.

- Los valores de disipación de energía por fricción para la polea de con cojinetes en bronce fosforado fueron mayores al 84%. Para las pendientes entre 10 y 12.5% y flechas de 4 y 5%, la disipación de energía fue del 100%. Para la polea con cojinetes de rodamiento rígido de bolas, la disipación de energía fue siempre superior al 82%, sin llegar a presentarse disipación del 100% en ningún caso.

Para el diseño de las columnas, se presentará la forma de determinar las cargas, así:

$$w' = w + wc$$

$$wc = \frac{2 * Q}{w' * S^2}$$

$$T_h = \frac{w' * S^2}{8 * Y_{max}}$$

Donde:

$T_h$  : Tensión horizontal [kg].

$w'$  : Carga total que soporta el cable [kg].

$w$  : Peso del cable por metro [kg/m].

$wc$  : Peso de la carga con respecto a la cuerda [kg/m].

$Q$  : Peso de la carga [kg].

$c$  : Longitud de la línea que une el punto de carga y descarga [m].

$S$  : Longitud horizontal entre los puntos de carga y descarga [m].

$Y_{max}$ : Deflexión máxima del cable [m].

$$\tan a = h/S$$

$$\tan B_1 = \frac{w' * S^2}{2 * T_h} + \tan a$$

$$\tan B_2 = \frac{w' * S^2}{2 * T_h} - \tan a$$

Donde:

- $\alpha$  : Angulo de la cuerda con respecto a la horizontal.  
 $B_1$  : Angulo de la línea tangente al punto de carga, con respecto a la horizontal.  
 $B_2$  : Angulo de la línea tangente al punto de descarga, con respecto a la horizontal.

Entonces la tensión máxima,  $T_h$ , que se presenta en el cable está dada por:

$$T_{max} = T_h \cdot \text{Sen } B_1$$

$$T_{max} = T_1 = T_2 \quad (\text{De la figura 8.5})$$

## 8.5. SISTEMA DE TRANSPORTE CABLE-DISCO POR TUBERÍA

La implementación en las fincas del despulpado sin agua, tendrá éxito en la medida en que se ofrezcan también alternativas para el transporte de los productos resultantes, sin el uso de agua como medio de transporte.

Actualmente se está evaluando en CENICAFE un sistema de utilización principal en la industria avícola, para el transporte del café despulpado desde las despulpadoras hasta las zarandas o hasta los tanques de fermentación y, simultáneamente, transporte de la pulpa hasta los lugares de depósito.

El sistema consiste básicamente de los siguientes elementos:

- Cable de alambre de acero galvanizado de 4.7625 mm (3/16") de diámetro conformado por 133 hilos con una resistencia a la tracción de 1600 kg. A este cable se han inyectado en caliente a 40 toneladas de presión, unos discos de polipropileno de alta densidad a una distancia de 5 cm. El cable se mueve longitudinalmente en circuito cerrado dentro de una tubería para instalaciones eléctricas de PVC, con un diámetro interior de 37 mm.
- La unidad de arrastre del equipo está formada por un motor, un reductor y un sistema de tracción especial para este cable, que se encargan de darle la velocidad lineal adecuada.
- Los alimentadores de los dos materiales, pulpa y café despulpado. Estas tolvas alimentadoras, deben permitir el flujo del producto a transportar evitando la acumulación que es causa de bajas en la capacidad.

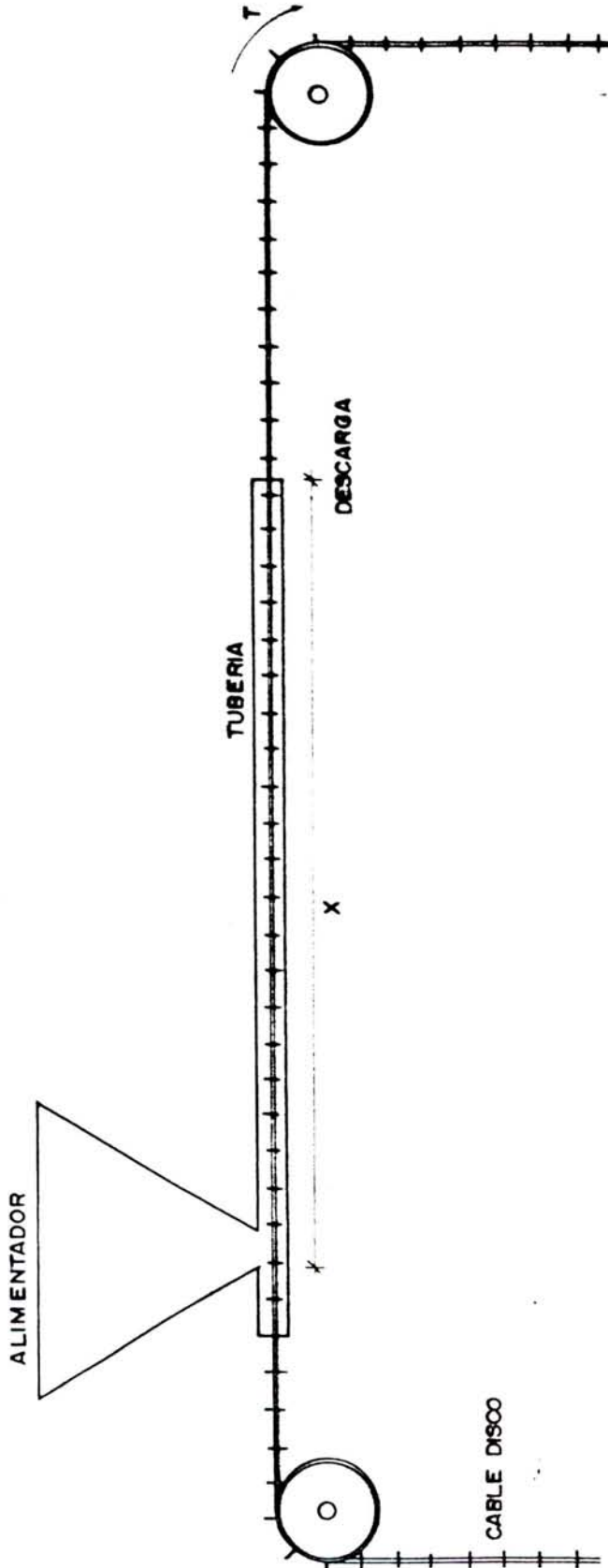


FIGURA 8.8. ESQUEMA DEL TRANSPORTADOR CABLE-DISCO.

d) Accesorios como esquineros, codos y poleas que permiten hacer cambios de dirección y así adaptarse a las construcciones ya hechas, donde radica una de sus principales ventajas.

Los resultados obtenidos hasta la fecha en términos de capacidad de transporte indican que el sistema trabajando a 39.2 m/min es capaz de transportar tanto la pulpa como el café despulpado producidos en un beneficiadero que procese aproximadamente 57500 kg (4600 @) de café pergamino seco al año con un día pico del 2%.

Entre las ventajas que ofrece el sistema se pueden mencionar las siguientes:

- No utilización de agua en el proceso de transporte de café despulpado y de pulpa, lo que se traduce en la no contaminación de ésta y además en la reducción de costos de producción.
- Este sistema se puede acomodar a infraestructuras ya construidas.
- se logra obtener una pulpa completa, ya que al transportarla con agua se pierden hasta un 50% de sus componentes.

## 8.6 BIBLIOGRAFIA

1. ASHRAE HANDBOOK. 1981 FUNDAMENTALS. Published by the American Society of heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1715 Tullie Circle Ne, Atlanta, 1981. p 13.12-13-20.
2. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CHINCHINA (COLOMBIA). Curso Básico de Beneficio de Café. Chinchiná (Colombia). Cenicafé. 1990. 80 p.
3. KARASSIK, I. J., KRUTZSCH, W. C., FRAZER, W. H. y MESSINA, J.P. Pump Handbook. Editorial Mc. Graw Hill Book Company. USA. 1976.
4. MOHSENIN, Nuri N. Physical Properties of Plant and Animal Materials. Structure Physical Characteristics and Mechanical Properties. Gordon and Breach Science Publishers. New York. 1980.

5. - OLIVEROS T., Carlos E. y ROA M., Gonzalo. Coeficientes de Fricción, Ángulos de Reposo y Densidades Aparentes de Café Coffea Arabica Variedad Caturra. Cenicafé. Chinchiná. 1985.
6. PARRA R., Henry. transporte de Café Cereza por Cable Aereo de Gravedad. Universidad Nacional de Colombia (Bogotá)- Cenicafé (Chinchiná). 1989. 141 p. (Tesis Ingeniería Agrícola).
7. RÍOS L. Jairo. Transporte de Pulpa y de Café en Baba por Cable-Disco y Tubería. Apuntes Preliminares. Cenicafé (Chinchiná). 1991.
8. SIERRA G., Federico. Evaluación de la Pérdida de la Calidad de la Semilla de Café (Variedad Caturra). Universidad Nacional de Colombia (Palmira)-Cenicafé (Chinchiná). 1988. 130 p.
9. VALENZUELA T., Rafael A.. Transporte Neumática del Café Pergamino y la Pulpa Fresca. Chinchiná (Colombia). Universidad Surcolombiana (Neiva)- Centro Nacional de Investigaciones de Café, 1989. 78p (Tesis Ingeniería Agrícola).



21351

## 9 LA CONSTRUCCION DE UN BENEFICIADERO DE CAFE \*

Las diferentes etapas del beneficio del café deben ser cumplidas con eficiencia mecánica, sin perjudicar la calidad del producto final, para lo cual se deben disponer de instalaciones adecuadamente diseñadas y construidas. Lo anterior implica conocer los puntos básicos a tener en cuenta para la planificación, diseño y construcción de un beneficiadero, que permita asegurar el éxito de la explotación agrícola así como de las inversiones.

Para un buen beneficiadero de café se deben analizar los siguientes puntos (1):

### 9.1 ESTUDIO DE LA PRODUCCION Y DISTIBUCION ANUAL DE LA COSECHA

Este punto es de gran importancia en el estudio y planeación de un beneficiadero. Se requiere conocer la producción y su proyección futura, con el fin de diseñar el beneficio adecuado a la cosecha y evitar deterioros por la falta de capacidad. Si el beneficiadero resulta muy pequeño se tendrán problemas de calidad en el beneficio, y si resulta muy grande necesariamente se tendrán costos de inversión y mantenimiento innecesarios.

Dos fincas pueden tener la misma producción anual de café y sin embargo sus beneficiaderos pueden ser de diferente capacidad, porque los días y semanas picos de producción son diferentes.

Se deben conocer los datos sobre distribución de la cosecha de café para la zona donde se desee construir el beneficiadero.

Esta distribución puede variar con la altura y el clima, principalmente, para determinar el flujo de la cosecha, se deben estudiar los registros de recibo de café en las fincas de la zona, donde se disponga de esta información. De ésta forma se podrá determinar la producción máxima diaria y máxima semanal, (día y semanas "picos"), factores indispensables para el correcto dimensionamiento de todas las etapas del beneficiadero.

## 9.2 ESTUDIO DE PROYECCION DE NUEVAS SIEMBRAS

No solo se debe considerar la cosecha actual para el cálculo del beneficiadero sino que es importante estimar las proyecciones de nuevas producciones para así calcular la capacidad total incluyendo las futuras ampliaciones que deben hacerse y tener así un beneficiadero adecuado para la producción de la finca. De no hacerse así, deberán efectuarse ampliaciones que normalmente resultan mucho más costosas.

## 9.3 ESTUDIO DE LOS RECURSOS DISPONIBLES EN LA ZONA

Es un punto muy importante, especialmente por el estudio de la disponibilidad de energía eléctrica tanto en capacidad (kilovatios) como en tipo de energía (monofásica o trifásica) y más importante todavía las facilidades de agua, captación, conducción, cantidad, etc.; las vías de acceso (carreteras o caminos para la entrada de café cereza y salida del café pergamino seco), las obras de drenaje y evacuación de las aguas residuales del beneficio, etc.

## 9.4 DISEÑO DE LAS DIFERENTES ETAPAS DE BENEFICIO Y DE LA CONSTRUCCION EN GENERAL

Una vez se conoce la capacidad de recibo de café en cereza máxima que va a tener la finca, se deben considerar los siguientes aspectos en el diseño del beneficiadero:

### 9.4.1. Utilización de la Pendiente.

El diseño debe darle una secuencia lógica a las etapas del beneficio, aprovechando la pendiente para el flujo del grano, evitándose costos por mano de obra y disminuyendo el consumo de agua y energía.

### 9.4.2 Cálculo de las Areas y Espacios Requeridos para Cada Etapa.

Se debe tener en cuenta las capacidades requeridas por las diferentes etapas del beneficio con base al recibo máximo de café en un día o semana de cosecha, teniendo presente el flujo de ésta, y basado en las constantes físicas del grano y sus factores de conversión (Ver Tabla A-1).(4)

Se debe tener en cuenta una adecuada distribución de los espacios físicos para las diversas etapas del beneficio. Una vez calculadas las capacidades de las tolvas o tanques sifones, del despulpado (cantidad, tipo y número de la máquina), de los tanques de fermentación, sistemas de lavado y/o clasificado, y los escurridores, así como el o los sistemas de secado y las fosas para la pulpa, se debe hacer una distribución adecuada para que se aproveche eficientemente los espacios y la pendiente, se asignen pasillos de circulación para el personal de obreros y para el adecuado mantenimiento y reparación de los equipos.

Disponibilidad de la energía eléctrica y del agua. Este punto es muy importante sobre todo el aspecto del agua, ya que en el diseño debe considerarse la localización y distribución del agua limpia para el beneficio por medio de tanques de almacenamiento, tuberías, llaves, accesorios, etc., así como las tuberías de desagües y alcantarillado de las aguas residuales de beneficio, o sea las de los residuos de la fermentación, las aguas resultantes del lavado y transporte del café, así como la evacuación de la pulpa y la localización de las fosas.

En caso de que se diseñe el beneficiadero con algunas etapas de recirculación, se deben considerar éstos circuitos en el momento de elaborar los planos y estudiar el tipo de bomba necesaria, así como la tubería y los accesorios.

Sobre la energía eléctrica, se debe considerar la "acometida" y la distribución dentro del beneficiadero, además de la localización de los interruptores, la iluminación y especialmente los equipos de protección (arrancadores y protectores termomagnéticos, por ejemplo) para los motores y los equipos, como se explica más detalladamente en el capítulo 11. ASPECTOS ELECTRICOS.

#### 9.4.3 Elaboración de los Planos de Ingeniería.

El cálculo y localización de las áreas de beneficio así como la distribución de la energía eléctrica y del agua, debe consignarse en planos bien elaborados para que el constructor tenga una guía precisa en su trabajo y no sea perjudicada la obra por falsas interpretaciones, evitándose así posteriores y muy costosas modificaciones debido a los errores cometidos. Para la elaboración de planos y especialmente el cálculo de algunos diseños especiales, tales como estructuras metálicas o en concreto, para beneficiaderos grandes, se debe contar con la asesoría de ingenieros o personas con experiencia y comprobado conocimiento de la materia.

#### 9.4.4 Selección de los Equipos y Materiales para la Construcción del Beneficiadero.

Deben seleccionarse equipos de buena calidad, para asegurar no solo el éxito de la inversión con productos de larga duración, sino también para garantizar buenos rendimientos y mínimos costos de operación y mantenimiento.

En la selección de estos equipos se debe contar con la asesoría de personal adecuado con conocimientos y experiencia comprobada, consultando además los resultados que hayan obtenido otros productores que hayan utilizado los mismos equipos. Deben seleccionarse equipos de fabricantes que puedan garantizar repuestos y adecuado y oportuno mantenimiento.

En cuanto a materiales, lo mismo que a equipos y accesorios, debe buscarse siempre que queden bien instalados. De esta forma no se desperdicia tiempo y dinero en reparaciones o modificaciones posteriores.

#### 9.4.5 Selección del Sitio.

Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

##### 9.4.5.1 Topografía del Terreno.

Siempre que sea de fácil selección se debe escoger un sitio en el cual se pueda aprovechar la pendiente para darle un fácil movimiento al flujo del café, buscando siempre la ayuda de la gravedad para reducir costos con el transporte de granos entre las diferentes etapas.

##### 9.4.5.2 Seguridad.

No solo debe considerarse la seguridad del producto sino también de que las instalaciones queden localizadas sobre un terreno firme que asegure su estabilidad.

### 9.5 DIRECCION DE LA CONSTRUCCION

En este punto se debe considerar no solo la dirección que debe hacer el diseñador sino también la del maestro de obra o constructor. Debe buscarse en lo posible, personal con experiencia en la construcción de beneficiaderos para obtener éxito en la construcción.

La dirección del beneficiadero debe incluir todos los aspectos relacionados con la localización del terreno, el trazado de la construcción, las excavaciones, los movimientos de tierra, definiendo las alturas más convenientes y el terminado y acabado de los detalles.

Con relación a las instalaciones eléctricas, debe utilizarse técnicos capacitados, especialmente si se trata de circuitos de alta tensión, de transformadores y de redes de distribución de energía. El técnico electricista competente debe también aconsejar la adecuada instalación de los sistemas de protección de los motores.

## **9.6 INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCION**

A menudo se presenta al personal que por una u otra razón tiene que entenderse con proyectos de construcciones tales como beneficiaderos, secadores, fosas, etc., dudas en la toma de decisiones que competen a aspectos de fácil solución y sobre los cuales muchas veces no se tienen los conocimientos y criterios suficientes.

Se presentan algunas guías prácticas y sencillas que se deben tener presentes, sobre algunos aspectos básicos en las obras de construcción.

### **9.6.1 Aspectos Generales**

Hay una serie de situaciones que son similares en casi todo tipo de construcción independiente de su objeto final, que se deben tener siempre presentes:

#### **9.6.1.1 Materiales.**

Se entiende por materiales de construcción, a todas aquellas sustancias sólidas o líquidas, que combinadas o solas, se utilizan en una edificación. Los materiales principales son: agua, piedras, madera, metales, tierra, arena, cemento, ladrillos, concreto, bahareque, tubería de cemento, de plástico, galvanizada, de asbesto cemento, pinturas, etc.. En la Tabla A-16 se muestran los pesos y volúmenes de algunos materiales en obra.

##### **9.6.1.1.1 Agua**

El agua utilizada en la mezcla del concreto y mortero debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos u otras sustancias que puedan ser dañinas para el concreto o el refuerzo.

La proveniente de alcantarillados o caños, no debe ser utilizada en construcción. Es buena práctica utilizar las aguas lluvias.

#### 9.6.1.1.2 Agregados para Morteros y Concreto. (Arena y Gravilla)(3)

El agregado de buena calidad debe cumplir:

- La arena no debe tener materia orgánica.
- El cascajo o gravilla no debe tener partículas livianas, porosas o pulverizadas.
- La arena no debe tener exceso de materiales finos o arcillas.
- Las arenas deben ser bien gradadas, pues de que tenga diversos tamaños dependen la compactación de los morteros y concretos preparados con ellas.
- El cascajo o gravilla no debe ser quebradizo ni tener tamaños muy grandes (máximo 7 cm). Debe lavarse superficialmente si presenta lodo.
- Las arenas pueden ser de tres tipos: gruesas, medias y finas.(Ver Tabla A-22)

#### 9.6.1.1.3. Cemento

El cemento exige precauciones particulares relativas a las condiciones de suministro y almacenamiento al efecto de que no se alteren sus características mecánicas (Cambios en la velocidad de endurecimiento), (2).

Para la preparación de morteros y concretos se debe utilizar cemento PORTLAND (mezcla de clinker 95% y de yeso 5%) que cumpla los siguientes requisitos y recomendaciones:

Tiene la propiedad de fraguar o endurecerse aún dentro del agua. El total de su resistencia para efectos prácticos, lo desarrolla a los 28 días; por este motivo no deben retirarse las formaletas antes de este tiempo. El fraguado comienza más o menos a las 2 horas después de la mezcla con aguas. Cuando se almacena cemento se debe procurar hacerlo en un lugar techado y encima de un piso de concreto o madera para evitar la humedad, y evitar colocarlo contra paredes de mampostería. El cemento debe ser fresco. Se reconoce por su apariencia de polvo fino, como talco. No se debe emplear si presenta grumos o terrones. El cemento se empaca en sacos de 50 kg y ocupa un volumen de 0.33 m<sup>3</sup>.

#### 9.6.1.1.4 Unidades de Mampostería (Adobes o Ladrillos y Bloques de cemento)

Son los elementos más importantes en la conformación del muro. De las propiedades de las unidades de mampostería, depende en gran medida, la resistencia del muro. En la Tabla A-17 se presentan algunos tipos de muros y rendimientos por m<sup>2</sup>.

##### 9.6.1.1.4.1 Adobes o Ladrillos

Existen diferencias entre el adobe y el ladrillo, sin embargo, el procedimiento de fabricación y sus componentes son los mismos, consisten de bloques de arcilla o greda cocida.

El ladrillo debe tener buena absorción (del 12 al 20%) para lograr una buena adherencia con el mortero. Se recomienda saturarlo antes de colocar la mezcla. Las formas de colocación varían de acuerdo a su colocación, recibiendo cada una de dichas formas los nombres de: pandereta o de canto; sogá o en tabique y tizón y sogá o tabicón. Figura 9.1.

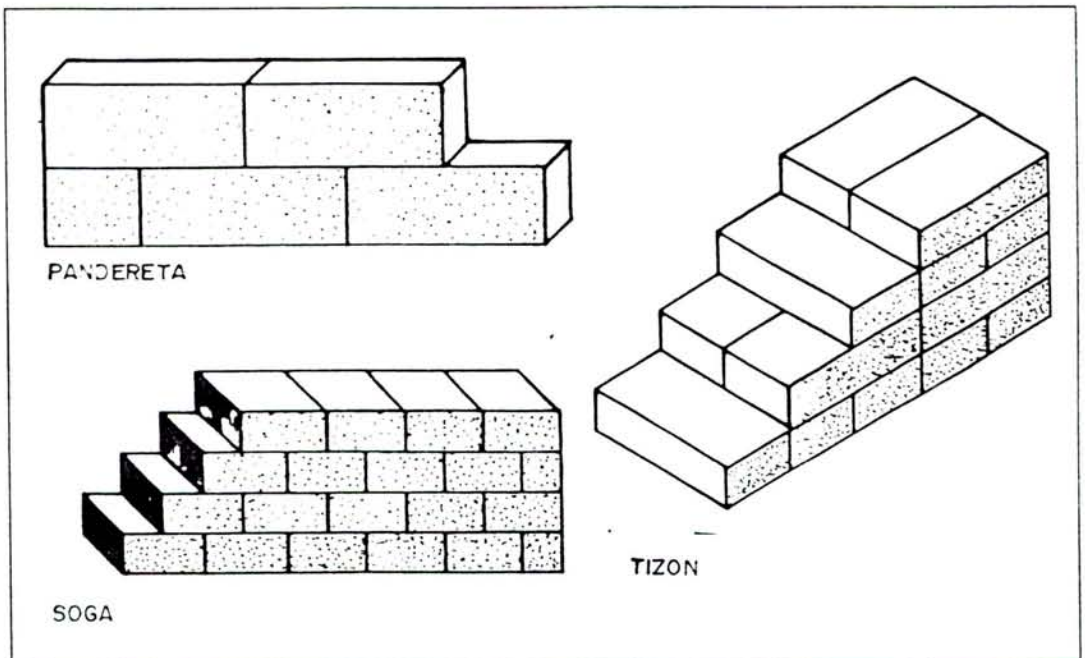


Figura 9.1 Distintos sistemas de colocar ladrillos

En pandereta, los ladrillos van unidos por su largo y alto. En sogá por su ancho y largo. En tizón varía de acuerdo al ancho del muro. Cuando se utilizan ladrillos en muros que soportan carga, se debe hacer en

soga, nunca en pandereta. La forma en tizón se emplea para muros que soportan grandes cargas como terraplenes, tanques, etc..

#### 9.6.1.1.4.2 Bloques de Cemento

Los bloques de cemento pueden reemplazar el ladrillo. Se fabrican generalmente en el mismo lugar de la construcción con moldes especiales. Se fabrican con cemento, arena y gravilla en una proporción de mezcla de 1:2:4. Se utilizan principalmente en el sobre-cimiento, para evitar que la humedad se difunda a través de los ladrillos, hacia las paredes.

El bloque de cemento debe tener una baja absorción (8 al 12%) y debe colocarse completamente seco, con el propósito de controlar la fisuración del muro.

#### 9.6.1.1.5 Morteros de Pega y de Inyección

El mortero es una mezcla en proporciones variables de conglomerados y arena; esta última puede también ser de granulometría variable. Los morteros sirven para ligar los elementos de grandes dimensiones y elementos ordinarios (ladrillos, bloques, conglomerados, revestimientos) o bien para realizar enlucidos en muros o pavimentos.

No se puede fijar la cantidad de agua de amasado, varía según las dosificaciones. La resistencia puede reducirse a un 1/4 si se duplica la cantidad óptima del agua. Para saber cual es la cantidad de agua necesaria se puede realizar sobre el terreno un ensayo de la plasticidad del mortero. Debe formarse una bola húmeda y blanda sin que se escurra entre los dedos entreabiertos. Las resistencias de los morteros varían considerablemente según: agua de amasado, higrometría (del aire y de los arídos), dosisificación, granulometría, edad desde su preparación, etc.

El mortero de pega se utiliza para unir los ladrillos o bloques de cemento entre sí para conformar los muros y su dosificación por volumen, en ningún caso debe ser inferior de 1:5 (Cemento:Arena).

El mortero de inyección se utiliza para rellenar las celdas de los ladrillos o bloques de perforación vertical, empleados para conformar las columnas de confinamiento de los muros. Debe ser un mortero de buena resistencia y manejabilidad. Se recomienda usar una mezcla rica en cemento con las siguientes proporciones por volumen: 1 de cemento, 1/10 de cal (máximo) y 3 de arena.(1:3) (Ver Tabla A-14)



#### 9.6.1.1.6 Concreto Simple

El concreto es una mezcla de arena, gravilla (piedra triturada), cemento y agua en proporciones que varían de acuerdo al uso que se le vaya a dar. Generalmente el concreto se indica como una parte de cemento por las diferentes de arena y gravilla. Así por ejemplo, una mezcla 1:2:4 indica que la mezcla contiene una parte de cemento, dos de arena y cuatro de gravilla. Siempre en el mismo orden. El concreto que se utilice en los elementos de amarre debe tener una resistencia a la compresión al menos de 150 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Los diferentes tipos de concretos se pueden ver en la Tabla A-15)

-Cuando la mezcla se encuentra en movimiento no hay fraguado; por lo tanto no debe utilizarse después de 2 o más horas de estar quieta, pues se atenta contra su resistencia.

-Una vez preparada la mezcla debe utilizarse toda.

-Nunca se debe agregar arena y cemento a medida que se vaya utilizando la mezcla.

-No emplear más agua de la estrictamente necesaria para que la mezcla sea trabajable. El exceso de agua disminuye considerablemente la resistencia.

-El concreto se debe mantener húmedo durante los primeros días. Se recomienda cubrirlo con un material que se pueda mantener húmedo o estarlo regando con agua periódicamente.

#### 9.6.1.1.7 Concreto Reforzado

También llamado hormigón armado es el material resultante de la asociación del concreto simple con barras de acero de refuerzo, dispuestas de manera que entre ambos materiales puedan resistir los esfuerzos a que se encuentra sometido un elemento estructural cualquiera. Con carácter prioritario, se encomienda a los aceros de refuerzo la resistencia a los esfuerzos de tracción, frente a los que el concreto, por sí mismo, apenas ofrece capacidad resistente. El concreto reforzado se obtiene vertiendo el concreto simple fresco en el interior de un molde, llamado formaleta (encofrado), en el que, con anterioridad, se han dispuesto las barras de acero.

#### 9.6.1.1.8 Concreto Ciclópeo

El concreto ciclópeo es una mezcla de concreto simple con un porcentaje de piedra, de aproximadamente el 50% con unos tamaños hasta 15 cm. Se utiliza principalmente como material de relleno y reemplazo cuando el terreno de fundación no es lo suficientemente

resistente. Los cimientos de concreto ciclópeo deben tener una altura mínima de 30 cm y un ancho que corresponda a las cargas del muro que soporta y a la capacidad portante del suelo, pero en ningún caso menor de 25 cm.

También se pueden construir muros de gravedad o contención que soportan los diferentes niveles del terreno de una construcción.

#### 9.6.1.1.9 Cal

Es similar a un cemento pero no fragua (no hidráulica). La cal no reemplaza el cemento, pues no da resistencia a la mezcla. El objeto de la cal es mejorar la retención de agua en el mortero, así como su manejabilidad.

#### 9.6.1.1.10 Maderas

Es uno de los materiales de mayor uso en la construcción.

Se dividen en blandas o livianas y duras o pesadas. Entre las maderas duras las más comúnmente empleadas son: pino, laurel, ciprés, cedro, nogal, comino, eucaliptos y otras que varían de acuerdo a la región.

La madera aserrada es la mejor, pues su grueso no varía con su longitud, por lo tanto su resistencia es uniforme en todas sus partes. La resistencia disminuye por los defectos que tenga, tales como nudos, granos gruesos, grietas, etc..

La madera a ser usada en construcción debe estar bien seca pues su resistencia varía con el contenido de humedad. Igualmente se debe procurar que esté bien aireada para reducir el riesgo de ataque de plagas. Una buena práctica de conservación es pintarla con huleína o asfalto (brea) líquida.

En gran parte de la zona cafetera del país, la guadua es empleada en múltiples usos, tales como en la construcción. Para este uso, se debe cortar cuando haya completado su desarrollo, esto es, con más de dos años.

#### 9.6.1.1.11 Tejas.

Las tejas de barro han sido las más utilizadas. Sin embargo, últimamente viene siendo substituida por las de asbesto-cemento. Este tipo de teja se especifican por medio de su número, el cual a su vez indica su longitud expresadas en pies. A manera de guía se puede suponer que

por cada 10 m<sup>2</sup> de techo, se requieren de 10 a 12 tejas.

Otra cubierta muy común es la teja metálica, de zinc generalmente, y sus dimensiones más comunes son de 0.60 m de ancho y 2.40 m de largo, con un peso de 3 a 4 kg. según el calibre de la lámina.

#### 9.6.1.1.12 Tubería.

Para los desagües se utilizan tuberías de cemento, de gres, en PVC.. en asbesto cemento.

Para el suministro de agua en las construcciones el uso más frecuente corresponde al PVC por su facilidad de instalación y manipuleo. fundamentalmente.

#### 9.6.1.1.13 Acero de Refuerzo

Es uno de los materiales más usados en armaduras del concreto, en estructuras de techos, etc.. El acero de refuerzo debe tener una resistencia a la fluencia mínima de 2400 kgf/cm<sup>2</sup>.

El acero en conjunto con el concreto se coloca para absorber los esfuerzos de tensión, de compresión, de corte o de torsión, pueden ser de varillas de forma recta, dobladas, con o sin gancho, o en forma de aros o estribos (flejes); mallas electrosoldadas y alambres o cables de alta resistencia destinados principalmente al concreto preesforzado.

En la Tabla A-18 se presentan las medidas y pesos del acero.

#### 9.6.1.1.14 Cimentaciones

Los cimientos de una construcción son las partes de éste que están en contacto con el suelo, al cual transmiten las cargas.

La profundidad de los cimientos varía con la carga que estos deben soportar, el tipo de terreno y de los materiales a emplear en la construcción. Lo primero que se debe hacer para iniciar una obra, es identificar la clase de terreno donde se va a levantar. En este aspecto juega un papel importante la experiencia del constructor. Esta identificación es de suma importancia en vista de que unos cimientos mal contruidos perjudicarán notablemente la obra, perjuicios que se manifestaran posteriormente como grietas en las paredes, hundimiento de pisos, entre otros.

#### 9.6.1.1.15 Muros de Carga

Son muros de mampostería que soportan su propio peso y además soportan las cargas verticales del entrepiso y la cubierta. Resisten las fuerzas sísmicas horizontales, paralelas a su plano, el espesor mínimo de los muros es 12 cm y la distancia máxima libre entre apoyos, tanto vertical como horizontal es igual a 25 veces el espesor del muro.

#### 9.6.1.1.16 Muros Transversales

Son muros de mampostería que soportan su propio peso y cuando se traban con los muros cargueros, les suministran apoyo transversal y sirven de cerramiento o división. Resisten las fuerzas sísmicas horizontales paralelas a su plano, el espesor mínimo es de 10 cm y la distancia máxima libre entre apoyos es igual a 30 veces el espesor del muro.

#### 9.6.1.1.17 Muros Divisorios

Son muros de mampostería que no llevan más carga que su propio peso, no cumplen ninguna función estructural para cargas verticales u horizontales y por lo tanto pueden ser removidos sin comprometer la seguridad estructural del conjunto. Deben estar debidamente amarrados en su parte superior.

#### 9.6.1.1.18 Muros Confinados

Son muros de mampostería enmarcados por vigas y columnas de amarre y deben ser muros de carga o muros transversales.

#### 9.6.1.1.19 Columnas de Amarre

Son elementos verticales reforzados que confinan los muros de una edificación. Pueden ser construidas en concreto reforzado contra el muro ya levantado o con bloques de perforación vertical con las celdas inyectadas con mortero, máximo dos varillas de refuerzo por celda, y estribos (flejes) cada 20 cm .

El área mínima es de 200 cm<sup>2</sup>, la dimensión mínima puede ser el ancho del muro, y los refuerzos mínimos son: 4 varillas 3/8" longitudinales y los estribos (flejes): 1/4" cada 20 cm.

Deben existir donde se requieran para confinar los muros, en las intersección de muros trabados y en los puntos intermedios de los

muros para no exceder la distancia máxima entre apoyos.

#### 9.6.1.1.20 Vigas de Amarre

Son anillos cerrados que conforman diafragmas rígidos en su plano y sirven para amarrar entre sí los diferentes muros y obligarlos a trabajar como un conjunto. Deben construirse en las cimentaciones, a nivel de entrepiso (en este caso deben dejarse embebidas en la losa), y a nivel de la cubierta.

El ancho mínimo es igual al ancho del muro, pero si este es de 15 cm. o más puede descontarse una tercera parte para el reboque. La separación vertical entre vigas debe ser máximo 25 espesores de muros cargueros o 30 espesores de muros no cargueros. El refuerzo mínimo son 4 varillas  $3/8''$  longitudinales y estribos (flejes)  $1/4''$  cada 20 cm.

#### 9.6.2 Cálculo de Construcciones

Se presentan algunos sistemas prácticos para efectuar algunos cálculos de frecuente ocurrencia en las construcciones y de gran ayuda para la elaboración de los presupuestos como para la dirección de la obra. Para el cálculo de las cimentaciones se presenta la Tabla A-19 y A-21 con los datos aproximados de las cargas que los diferentes tipos de suelos pueden soportar

En el caso de tener duda sobre la resistencia del terreno, se debe hacer una prueba a éste, que puede ser, aplicándole una carga conocida sobre un área definida hasta que el terreno ceda y el hundimiento sea uniforme, por ejemplo: sobre una mesa de cuatro patas, cada una de  $10 \times 10$  cm., se coloca una carga de 4.000 kg, la resistencia del terreno sería de  $4.000:100 \times 4 = 10 \text{ kg/cm}^2$ . De este valor se toma un 10%, para el caso. 1.0.

Luego se calcula el peso soportado por el piso, conformado por el peso del tejado, de los muros, del piso y del cimiento.

Se muestran valores aproximados del peso en kilogramos del tejado de acuerdo a su naturaleza y pendiente:

Cubierta	Pendiente (%)						
	25	30	3	40	45	50	60
Teja de barro	197	206	216	227	238	248	269
Teja de zinc	137	146	156	167	178	188	209
Teja de eternit	142	151	161	172	183	193	214

Para conocer el peso total del tejado, se multiplica el valor correspondiente de la tabla por el área a techar. Cuando se quiere disponer de cieloraso se toma un valor de 80 kg/m<sup>2</sup>. En el caso de emplear dicho cieloraso para almacenar algún producto, se debe aumentar la carga de acuerdo al producto.

Para calcular el peso del muro, se multiplican su altura, su espesor y por su longitud, por el valor correspondiente encontrado en la en el cuadro siguiente o en la TABLA A-20 de acuerdo al tipo de material:

Peso de Muros (kg/m <sup>3</sup> ) según tipo de material.	
Material	Peso
Ladrillo macizo	1.600 - 1.800
Ladrillo hueco	1.300
Concreto	2.000
Bloque cemento	2.000
Bahareque	800

Para los pisos se puede tomar una carga de 300 kg/m<sup>2</sup>. Los cimientos deben tener una base tal que la carga sea uniformemente repartida, lo cual se puede determinar por medio de la fórmula siguiente:

$$b = P/100 * r$$

donde:

P : Carga en kilos por metro lineal;

b : ancho del cimiento; y

r : carga que puede soportar el terreno según su naturaleza.

Como ejemplo, para un terreno que puede soportar una carga de 2 kg/

cm<sup>2</sup>, (arcilla) y la carga P de 6.000 kg. Figura 9.2. Aplicando la fórmula se obtiene que:

$$b = 6.000 / 100 * 2 = 30 \text{ cm.}$$

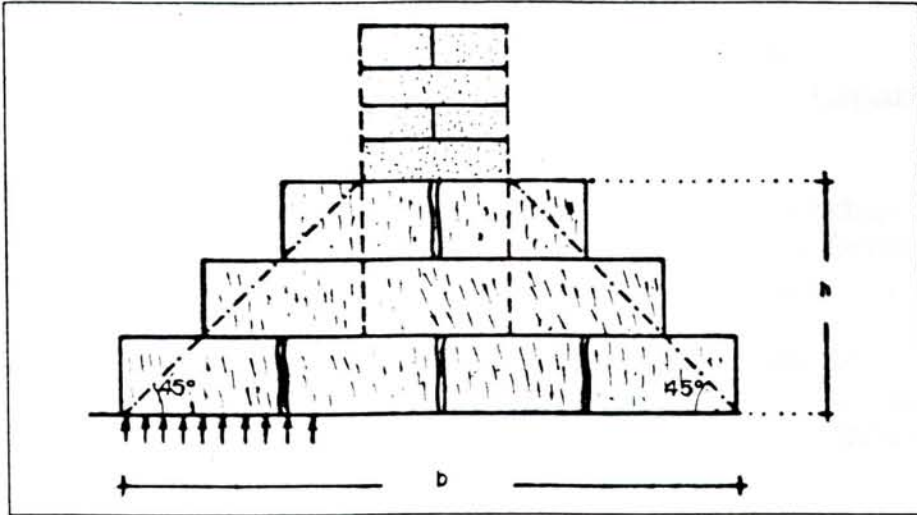


FIGURA 9.2 Ejemplo Cimentación.

Los cimientos para columnas generalmente son de base cuadrada y se calculan con la siguiente fórmula:

$$b^2 = P/r$$

Extrayendo la raíz cuadrada de esta cantidad se encuentra el valor para el lado de la base del cimiento.

Para calcular la profundidad mínima de un cimiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$b = a + 2h, \text{ de donde,}$$

$$h = b - a/2$$

Donde:

b : ancho del cimiento

a : ancho del muro

h : profundidad mínima del cimiento.

Una profundidad muy usual en construcciones rurales esta en el rango de 50-70 cm.

### 9.6.3 Costos de Construcción del Beneficiadero

Es necesario presupuestar el monto de la inversión en forma precisa para no carecer de los dineros indispensables o evitar la consecución de estos en cantidades adicionales, posiblemente con altos intereses. En este sentido es importante una asesoría eficiente.

## 9.7 BIBLIOGRAFIA

- 1- ALVAREZ H..J. y LOPEZ A., R. Planificación del Beneficio del Café. Avance Técnico N° 76 Centro Nacional de Investigaciones de Café. CENICAFE, Chinchiná (Caldas), Marzo, 1978.
- 2- ENCICLOPEDIA DE LA CONSTRUCCION. Técnicas de Construcción. Editores Asociados, S.A. Barcelona, España. 1984.
- 3- MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y TRANSPORTE. Código Colombiano de Construcciones Sismo-Resistentes, Decreto N° 1400 de Junio 7 de 1984, Santa Fé de Bogotá.
- 4- URIBE HENAO, Alfonso. Constantes Físicos y Factores de Conversión en Café. Avance Técnico N° 65. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, Chinchiná (Caldas). Abril. 1977.



21352

## 10. ASPECTOS ELECTRICOS.\*

El incremento en la distribución de energía eléctrica en la zona cafetera del país. ha generalizado el uso de equipo eléctrico en las plantas para el beneficio del café.

Lo anterior hace necesario e importante contar de una buena disposición de las instalaciones eléctricas en el beneficiadero, que garantice el óptimo desempeño de la maquinaria eléctrica.

Con este material se pretende suministrar en forma resumida y práctica. elementos que ayuden a los extensionistas en la orientación general que de ellos espera el caficultor.

### 10.1 Definiciones Básicas

#### 10.1.1 Intensidad de Corriente (I)

Así como la cantidad de agua que pasa en un segundo por un conducto de sección dada se denomina caudal, la cantidad de electrones que pasan en un segundo por un conductor de sección dada se llama intensidad de la corriente eléctrica y se mide en amperios (A).

$$1 \text{ Amperio (A)} = \frac{6.25 \times 10^{18} \text{ electrones}}{1 \text{ Segundo}} = \frac{1 \text{ Columbio}}{1 \text{ Segundo}}$$

#### 10.1.2 Voltaje, extensión o diferencia de potencial. (V)

La circulación del agua a través de un ducto, se debe a la diferencia de presión entre dos puntos. Así mismo la circulación de los electrones en un conductor también se debe a la diferencia de potencial (déficit y superávit de electrones) entre los extremos del conductor.

Esa diferencia de potencial se mide en voltios (V) y se define como: la presión que fuerza a los electrones a fluir a través de los conductores entre dos puntos de un campo eléctrico, tales que el campo realiza el trabajo de 1 Julio al transportar la unidad de masa eléctrica (Columbio) desde un punto al otro.

$$1 \text{ Voltio} = \frac{1 \text{ Julio}}{1 \text{ Columbio}}$$

### 10.1.3. Resistencia (R).

Los conductores oponen resistencia al paso de la corriente eléctrica. La mayor o menor resistencia depende principalmente del tipo de material del conductor, de su longitud, de su sección transversal y de la temperatura.

Un ohmio es la resistencia de un conductor tal que al aplicarle en sus extremos una diferencia de potencial de 1 voltio, circula una corriente de 1 amperio.

$$1 \text{ ohmio} = \frac{1 \text{ Voltio}}{1 \text{ Amperio}} \quad \text{Ley de Ohm}$$

Un conductor cuando es más grueso, los electrones fluyen más fácilmente y la resistencia al paso de la corriente es menor.

Un conductor entre más largo, mayor es la resistencia.

Entre mayor sea la temperatura del conductor mayor es la resistencia.

El cobre es mejor conductor que el aluminio, siendo estos dos materiales los más empleados para conducir la electricidad.

### 10.1.4 Potencia (P)

Se dice que hay una potencia de 1 vatio cuando la unidad de masa eléctrica (Columbio) se mueve en un segundo entre dos puntos, cuya diferencia de potencial es 1 voltio.

La potencia también puede definirse como el trabajo efectuado por unidad de tiempo. La potencia se mide en vatios (W).

$$1 \text{ Vatio} = \frac{1 \text{ Julio}}{1 \text{ Segundo}} = \frac{1 \text{ Columbio} \times 1 \text{ Voltio}}{1 \text{ Segundo}}$$

$$1 \text{ Vatio} = 1 \text{ Amperio} \times 1 \text{ voltio}$$

### 10.1.5 Energía o trabajo efectuado

La energía o trabajo (W) es igual a la potencia multiplicada por el tiempo de aplicación de la misma.

$$W = P \times t$$

Los contadores miden la energía consumida en kilovatios-hora.

## 10.2 Leyes de Ohm y de Joule

Hay dos leyes que tienen mucha aplicación y que son de utilidad para hacer algunos cálculos sencillos (determinar el tipo de un conductor, su calibre, su aislamiento, etc.)

Estas leyes son:

### 10.2.1 Ley de Ohm:

La resistencia en ohmios es directamente proporcional al voltaje aplicado e inversamente proporcional a la corriente que circula.

$$R \text{ (Ohmios)} = \frac{V \text{ (voltios)}}{I \text{ (amperios)}}$$

### 10.2.2 Ley de Joule:

Establece que la potencia (vatios) es directamente proporcional a la corriente que circula (amperios) y a la diferencia de potencial aplicado (voltios).

$$P \text{ (vatios)} = V \text{ (voltios)} * I \text{ (amperios)}$$

## 10.3 Relaciones a partir de las leyes de Joule y Ohm

En el disco de la figura 10.1 se establecen algunas relaciones que se derivan de las leyes de Joule y Ohm.

La incógnita (en letra gruesa) se encuentra a partir de los otros dos valores conocidos. Por ejemplo, para encontrar el voltaje conociendo la potencia y el valor de la resistencia.

$$V = \sqrt{P \times R}$$

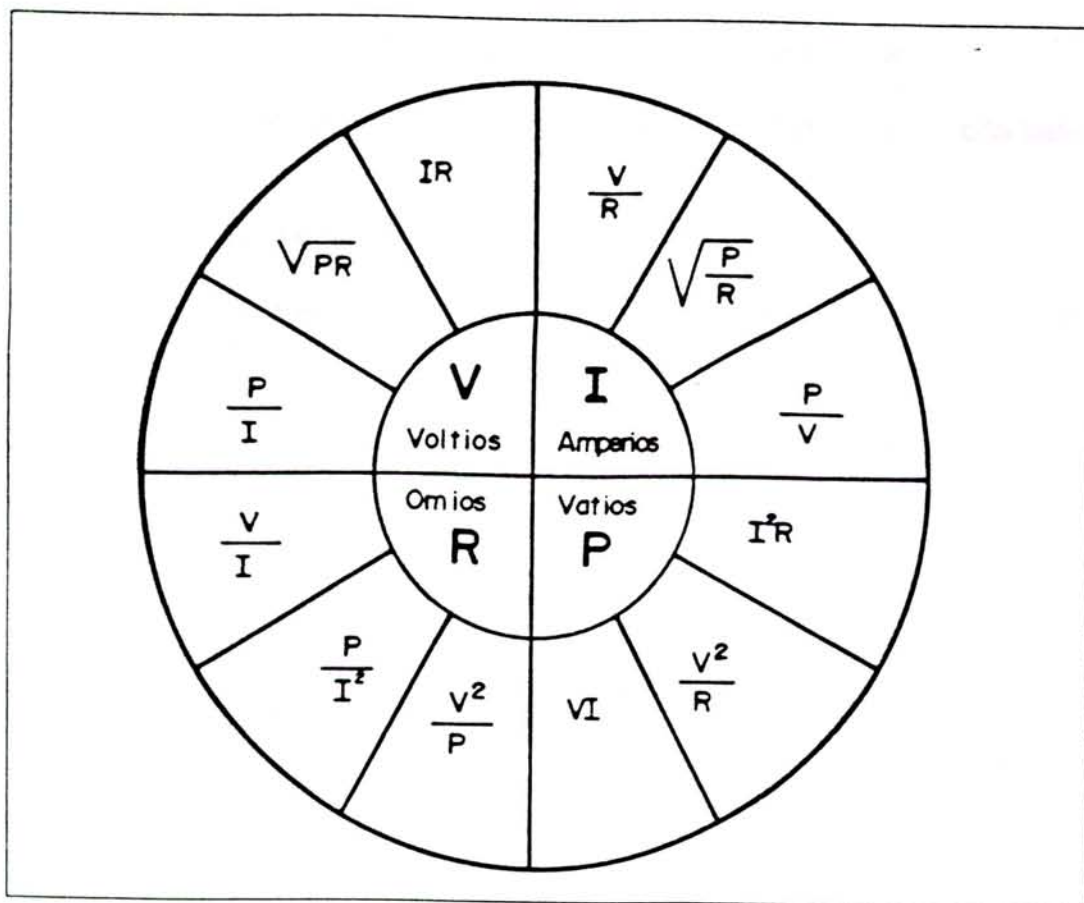


Figura 10.1. Relaciones básicas de electricidad

#### 10.4 Corriente continua (cc)

Se dice que la corriente es continua, cuando circula una corriente

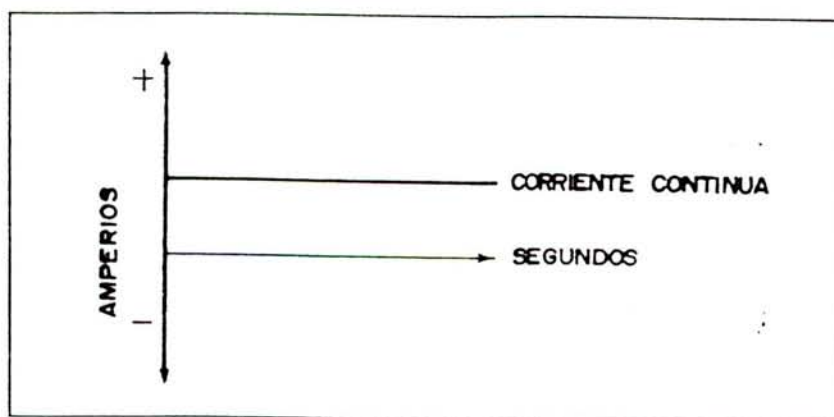


Figura 10.2 Corriente Continua

eléctrica en cantidad constante por unidad de tiempo.

Un ejemplo de corriente continua es la generada por la pila o la batería.

### 10.5 Corriente alterna (ca)

La corriente alterna es aquella cuya dirección e intensidad varían a través del tiempo en forma sinusoidal.

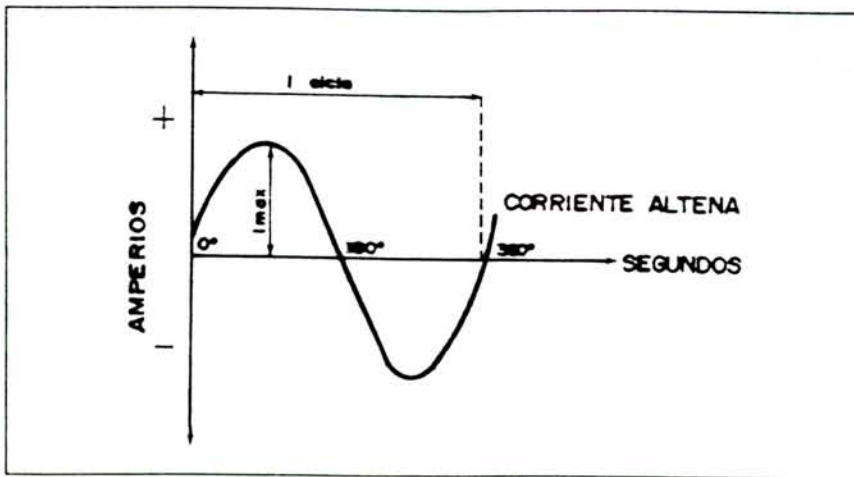


Figura 10.3 Corriente Alterna

La frecuencia de la corriente alterna es generalmente de 60 ciclos/segundo.

Cuando decimos que hay una corriente alterna de 15 amperios nos referimos a la  $I$  eficaz, que es igual a:

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 15 \text{ A}$$

Cuando se habla de 110 v. este corresponde al valor eficaz del voltaje que es igual a:

$$V = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} = 110 \text{ v}$$

Los equipos para medir voltios de ca (voltímetro de ca) y amperios de ca (amperímetros de ca) miden los valores eficaces.

El valor eficaz de la intensidad o de la tensión de ca es correspondiente al valor de la intensidad o tensión de cc que es capaz de producir la misma energía térmica en los conductores.

## 10.6 Circuitos eléctricos

En sentido general un circuito eléctrico es toda combinación de conductores y accesorios empleados para que la electricidad se transforme en trabajo: alumbrado, calefacción, fuerza motriz, etc.

Hay dos tipos de circuitos fundamentales: circuitos en serie, y circuitos en paralelo.

### 10.6.1 Circuito en serie

Los circuitos en serie se distinguen porque las cargas o equipos eléctricos están conectados uno a continuación de otro.

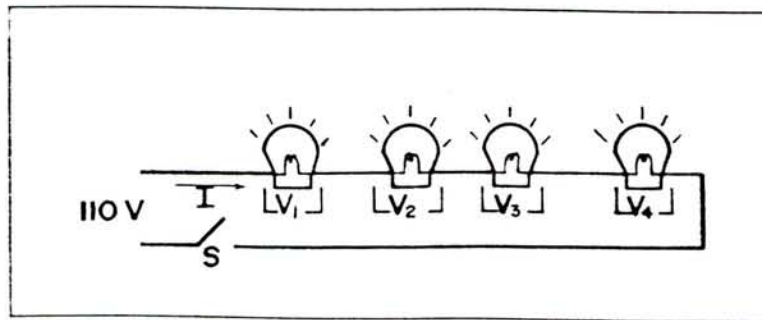


Figura 10.4 Circuito Serie

$I = \text{Constante}$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

La corriente que circula por cada carga es la misma.

El voltaje de las líneas principales se reparte entre las cargas.

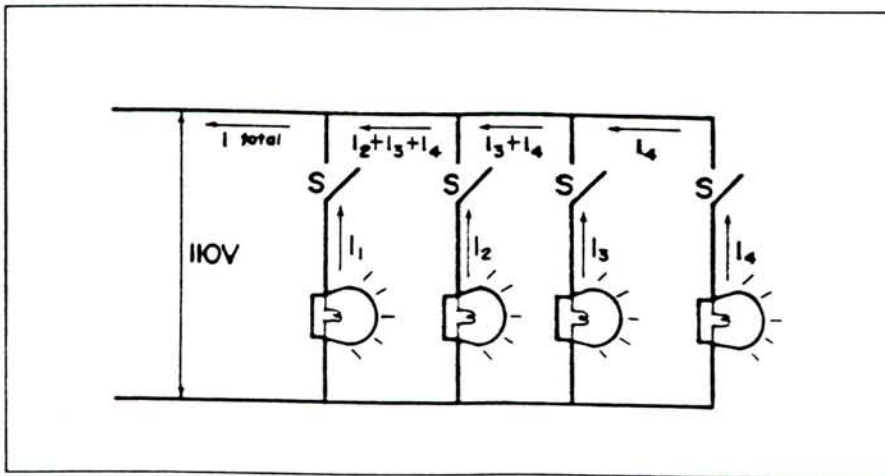
El ejemplo típico de esta clase de circuito es la instalación navideña

domiciliaria. cuando uno de los bombillos se daña, el circuito se interrumpe y se apagan todos los bombillos.

### 10.6.2 Circuito en paralelo

En esta clase de circuito, el voltaje en cada una de las cargas es el mismo que tienen las líneas principales.

La corriente total es la suma de las corrientes que circulan por cada uno de los equipos. La potencia total es la suma de las potencias parciales.



$$V = \text{constante} \quad I_{TOTAL} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

Figura 10.5 Circuito Paralelo

Cada carga se puede encender o apagar en forma independiente por medio de su propio interruptor.

La disposición de las cargas en paralelo es la que se encuentra en las instalaciones eléctricas domiciliarias, edificios, beneficiaderos, etc.

### 10.7 Acometidas

Se entiende por acometida general, la parte de la instalación eléctrica que debe construirse desde las líneas de distribución de alta o baja tensión de la Empresa, hasta los bornes de entrada del contador.

Las acometidas pueden ser aéreas o subterráneas.

### 10.8 Conductores (tipos, aislamiento, capacidad de corriente)

Cuando se hace una instalación eléctrica es muy importante seleccionar el conductor adecuado. Existen diferentes tipos de aislamiento para los conductores dependiendo del uso o aplicación que se les quiera dar. En las instalaciones efectuadas en edificaciones, residencias, beneficiaderos, etc, es usual la utilización de conductores de cobre con aislamiento TW o THW. Estos aislamientos consisten en una cubierta termoplástica resistente a la humedad.

La capacidad para circular la corriente en los conductores también depende de si ellos se instalan al descubierto, donde tienen libre ventilación o se instalan dentro de ductos donde la ventilación es mas restringida.

A manera de ejemplo podemos observar en la tabla 10.1 que cuando se tienen iguales calibres y aislamientos, el conductor de cobre permite mayor corriente que el aluminio ( el cobre es mejor conductor). Para el mismo material, el calibre 8 tiene mayor capacidad de corriente que el calibre 10 (el calibre 8 es más grueso que el 10), además, dentro del mismo calibre 8 permite transportar mayor corriente el de aislamiento THW (el aislamiento THW permite temperaturas de trabajo mayores en los conductores que el aislamiento TW).

No deben utilizarse calibres menores al 14 en instalaciones eléctricas, los calibres menores se utilizan cuando hay tensiones de 50 voltios o menos (timbres, teléfonos, señales, etc.)



TABLA 10.1 CONDUCTORES, TIPO, CAPACIDAD PERMITIDA EN LOS CONDUCTORES (AMPERIOS) Y AISLAMIENTO

Calibre AWG	COBRE				ALUMINIO			
	1 Cond. al descubierto		No más de 3 conductores en el ducto		1 Cond. al descubierto		No más de 3 conductores en el ducto	
	TW(*)	THW(*)	TW	THW	TW	THW	TW	THW
14	20	20	15	15				
12	25	25	20	20	20	20	15	15
10	40	40	30	30	30	30	25	25
8	55	65	40	45	45	55	30	40
6	80	95	55	65	60	75	40	50
4	105	125	70	85	80	100	55	65
2	140	170	80	100	110	135	75	90
0	195	230	95	115	150	180	100	120
00	225	265	110	130	175	210	115	

(\*) TW y THW: Clases de aislamientos

TABLA 10.2 NUMERO DE CONDUCTORES POR DUCTO

Calibre AWG	Número máximo de conductores en un tubo								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	1/2	1/2	1/2	1/2	3/4	3/4	1	1	1
12	1/2	1/2	1/2	3/4	3/4	1	1	1	1 1/4
10	1/2	3/4	3/4	3/4	1	1	1	1 1/4	1 1/4
8	1/2	3/4	3/4	1	1 1/4	1 1/2	1 1/4	1 1/2	1 3/4
6	1/2	1	1	1 1/4	1 1/2	1 1/2	2	2	2
4	1/2	1 1/4	1 1/4	1 1/2	1 1/2	2	2	2	2 1/2
2	3/4	1 1/4	1 1/4	2	2	2	2 1/2	2 1/2	2 1/2

### 10.9 Número máximo de conductores en un ducto

De acuerdo con las normas existentes para instalaciones eléctricas existe un límite máximo permitido de conductores que se pueden introducir en un ducto, dependiendo del calibre de los conductores y de la sección de los tubos.

En la tabla 10.1 se vio que la capacidad de corriente es menor si los conductores están en un ducto. Cuando hay más de tres conductores en un ducto se deben corregir los valores de esta tabla.

Si el número de conductores en el ducto es de 4 a 6, se multiplican los valores de la tabla 10.1 por 0,8 para obtener la capacidad de corriente.

Si el número es de 7 a 9, se multiplican los valores de la tabla 10.1 por 0.7.

### 10.10 Potencias típicas de algunos equipos eléctricos

Se dan a continuación las potencias aproximadas de algunos equipos eléctricos y que son de nuestro uso diario y otros que son de utilización corriente en los beneficiaderos.

EQUIPO	POTENCIA (vatios)
Calentador de Agua	2000
Aspiradora	600
Cafetera	600
Secador de pelo	800 a 1500
Nevera	200
Plancha	1000
grabadora	15
Televisor	80
Lavadora de ropa	300
Estufa de 1 puesto	1150
Estufa de tres puestos	5000
Bombillo incandescende	100
Tubo fluorescente de 1.2 m largo	40
Motor secadora 30 @ cps/día	1500
Motor secadora 40 @ cps/día	1500
Motor secadora 50 @ cps/día	2250
Motor secadora 60 @ cps/día	2250
Motor secadora 70 @ cps/día	3750
Motor secadora 80 @ cps/día	3750

EQUIPO	POTENCIA (vatios)
Motor secadora 90 @ cps/día	3750
Motor secadora 100 @ cps/día	5250
Despulpadora horizontal N° 2	375
Despulpadora horizontal N° 3	560
Despulpadora horizontal N° 4	560
Despulpadora vertical 183 LT	750
Despulpadora vertical 246 LT	1128
Motobomba sumergible 1 HP	750
Motobomba sumergible 1.5 HP	1125
Motobomba sumergible 2 HP	1500

Para conocer con exactitud la potencia en vatios de un equipo se toma de la placa donde aparecen sus características eléctricas.

### 10.11 Ejemplo de selección de un conductor

Se tiene un equipo de 6600 vatios y se desea conectar a 110 voltios. Cual es el conductor adecuado?.

- a) Se averigua la corriente que circula por los conductores: de la figura 10.1 tenemos:

$$I = \frac{P}{V} \quad I = \frac{6600 \text{ vatios}}{110 \text{ voltios}} = 60 \text{ Amperios}$$

b) Como se dijo anteriormente, normalmente se usa cobre, entonces de la tabla 10.1. sabiendo que la corriente que circula son 60 A, si la instalación es al descubierto escogemos un conductor #8 y aislamiento THW.

Si lo instalamos dentro de un ducto, escogemos el # 6. THW.

- c) Si se instala un ducto, cual es el diámetro?

La instalación del equipo requiere de dos conductores (dos líneas) entonces en la tabla 10.2 vemos que para dos conductores #6 se requiere un ducto de 1 pulgada de diámetro.

Haciendo otras consideraciones en este ejemplo, se tiene:

En **b** también pudimos haber escogido el #6 TW si la instalación fuese al descubierto o también #4 TW si la instalación fuese un ducto. Pero estas alternativas resultan más costosas que lo considerado en **b**. Además el diámetro del ducto también se aumenta.

Hagamos lo mismo que para el ejemplo anterior, con la carga de 6600 vatios pero conectada a 220 voltios.

Qué pasa con la corriente?

Cuál es el conductor seleccionado, si la instalación es al descubierto?

Cuál es el conductor seleccionado si la instalación es un ducto?

Cuál es ahora el diámetro del ducto?

Resulta más económica la instalación a 110 voltios o a 220 voltios?

## 10.12 Protecciones

Se deben proteger las instalaciones contra los cortocircuitos y contra las sobrecargas.

El cortocircuito es un aumento de corriente instantáneo. este aumento de corriente es tan intenso que ocasiona la destrucción de las instalaciones. Para ello se requiere una protección que responda en forma instantánea.

Cuando se sobrecarga un conductor quiere decir, que por él están circulando corrientes mayores que las permitidas, que van deteriorando progresivamente el aislamiento hasta ocasionar con el tiempo, el daño total de éste.

Para proteger contra cortocircuito y sobrecarga se colocan los denominados "automáticos" o "Breakers" o "Tacos" que interrumpen instantáneamente el circuito cuando se presenta un cortocircuito o después de un tiempo de superar la corriente nominal (sobrecarga). Este tiempo es menor entre mayor la sobrecarga.

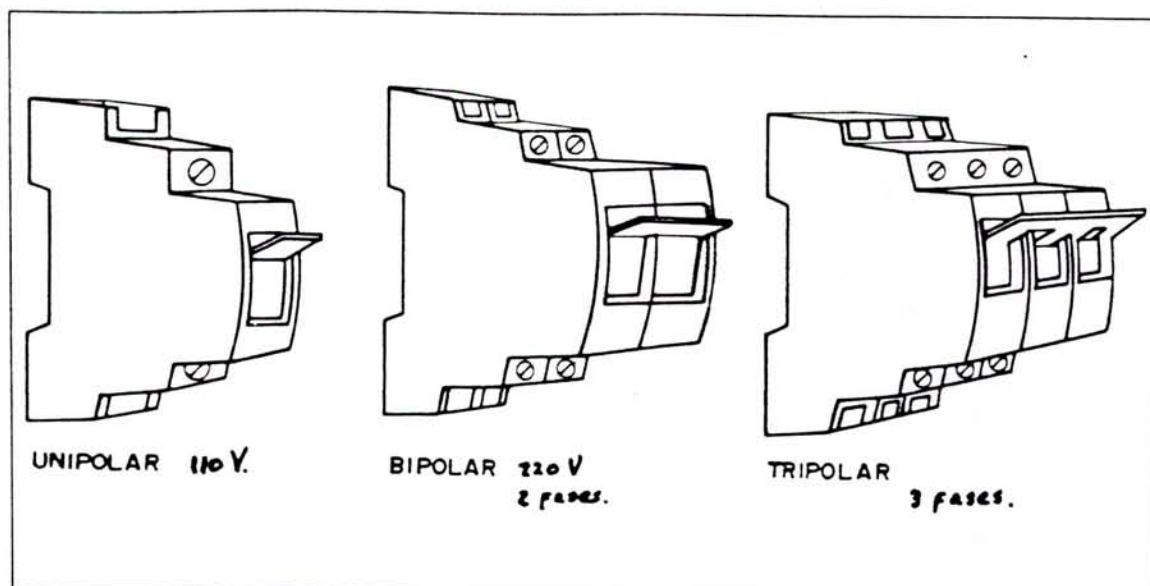
Los "breakers" se consiguen monopolares, bipolares y tripolares.

Los monopolares se utilizan para proteger circuitos monofásicos que tienen un conductor neutro y la fase.

Los bipolares, para proteger circuitos monofásicos cuyos conductores son dos fases.

Los tripolares, para proteger circuitos trifásicos.

Los bipolares y los tripolares deben tener enclavamiento mecánico que permite la apertura simultánea de las dos o las tres fases en caso de presentarse una falla.



**Figura 10.6** Tipos de "Breakers"

Las capacidades normales de los "breakers" son:  
15, 20, 30, 40, 50, 60, 70 y 100 amperios.

Los breakers se montan en cajas denominadas "tableros" (figura 10.7) y nunca deben instalarse en el conductor neutro, ya que este no debe presentar ninguna interrupción.

Toda instalación eléctrica debe disponer al menos de un tablero de distribución dotado de equipo de protección (breakers) en serie con cada uno de los circuitos en que se subdivide la instalación. Las protecciones deben instalarse sobre las líneas vivas (fases) y además el valor de la protección en amperios no debe ser mayor que la capacidad conductora de la línea.

Volviendo al ejemplo 10.11 seleccionamos entonces un "breaker" de 60 A para proteger la instalación.

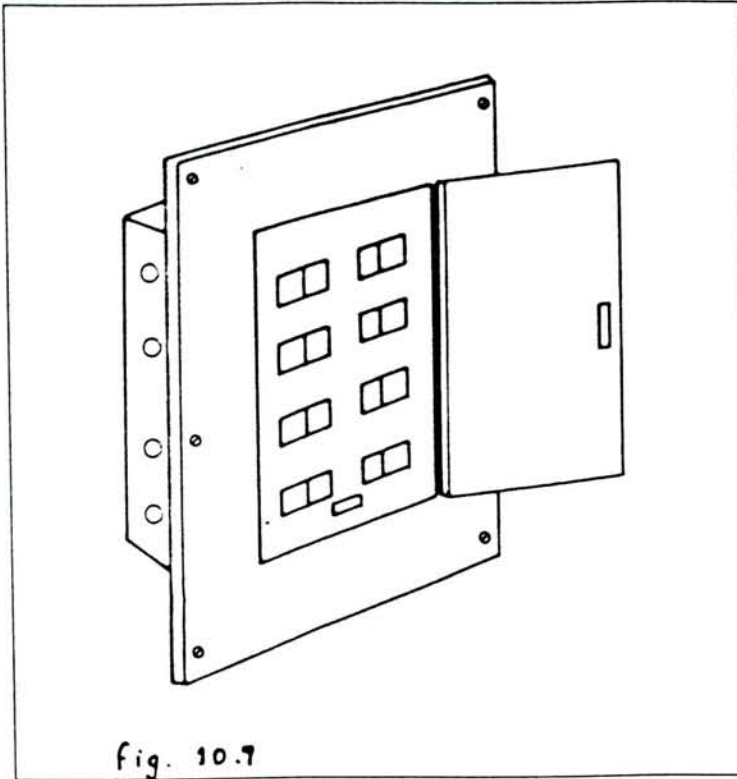


fig. 10.7

Qué pasa si selecciona un "breaker" de 70 amperios o más?

Qué ocurre si se selecciona un "breaker" de 50 amperios o menos?.

### 10.13 Voltajes Monofásicos y Trifásicos

Para tener voltajes trifásicos se requiere que el transformador tenga salida trifásica. Esto se distingue porque el transformador tiene

cuatro bornes secundarios (figura 10.8), tres para las fases y uno para el neutro. De un transformador trifásico también se pueden obtener voltajes monofásicos.

De un transformador monofásico solo se pueden obtener voltajes monofásicos. El transformador monofásico tiene 3 bornes secundarios (figura 10.8), dos para las fases y uno para el neutro.

### 10.14 Capacidades de los transformadores

Como se dijo antes, existen transformadores de distribución trifásicos y monofásicos, que se pueden diferenciar observando los bornes secundarios disponibles.

Las capacidades típicas fabricadas son:

- Monofásicos: 10, 15, 25, 37.5, 50, 75; ..., KVA (KVA= kilovoltamperios).

- Trifásicos: 15, 30, 45, 75, 112.5, 150, ..., KVA.

Las capacidades más utilizadas en las fincas están entre 10 y 50 KVA.

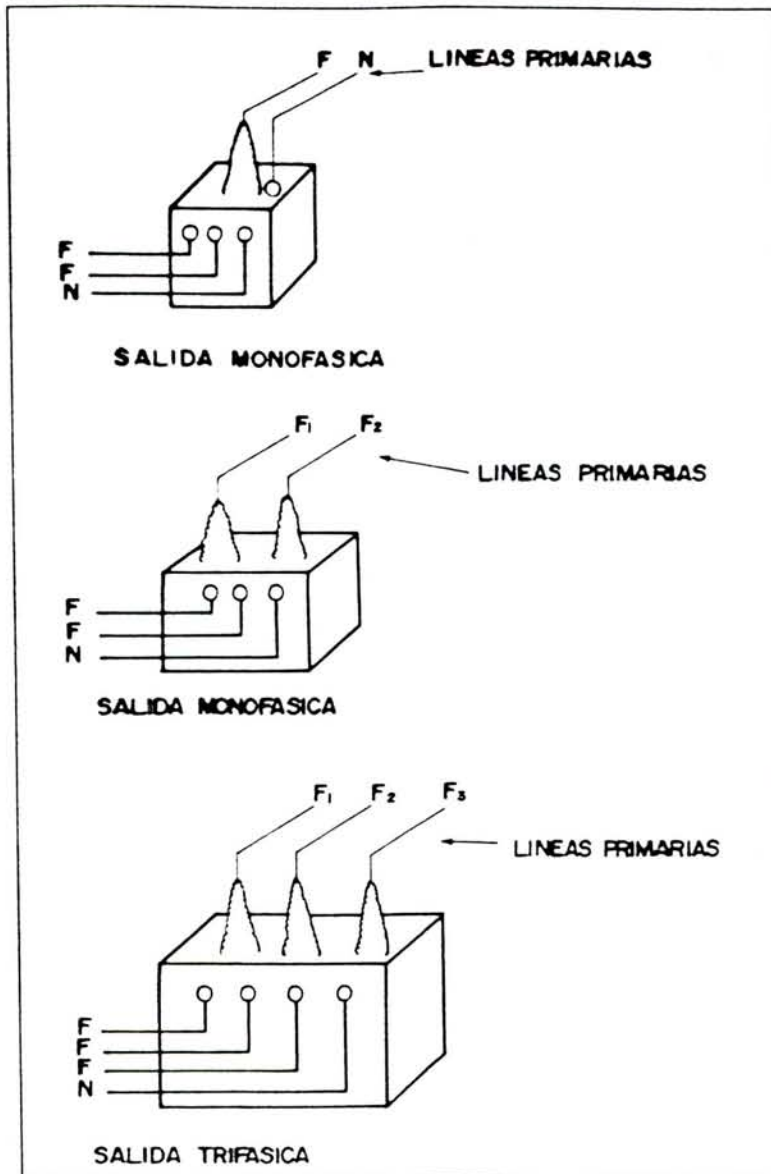


Figura 10.8 Tipos de Transformadores

### 10.15 Fusibles para transformadores

Para la protección de los transformadores también se utilizan los fusibles, estos se instalan en la "cañuela" o "vela" del portafusible o caja primaria (figura 10.9).

En las tablas 10.3 y 10.4 se muestran los fusibles recomendados para transformadores monofásicos y para transformadores trifásicos respectivamente.

TABLA 10.3 Fusibles recomendados para transformadores monofásicos

KVA DEL TRANSFORMADOR	VOLTAJE FASE NEUTRO	VOLTAJE FASE FASE
	7.6 KV	13.2 KV
10	2A	
15	2A	2A
25	4A	2A
37.5	5A	3A
50	7A	4A
75	10A	6A

TABLA 10.4 Fusibles recomendados para transformadores trifásicos

KVA DEL TRANSFORMADOR	VOLTAJE FASE - FASE 13.2 KV
15	1A
30	2A
45	2A
50	3A
75	4A
112.5	5A

### 10.16 Sistemas típicos de distribución en baja tensión (hasta 600 v)

En la figuras 10.10, 10.11 y 10.12 se presentan los sistemas de distribución de corriente alterna más usuales:



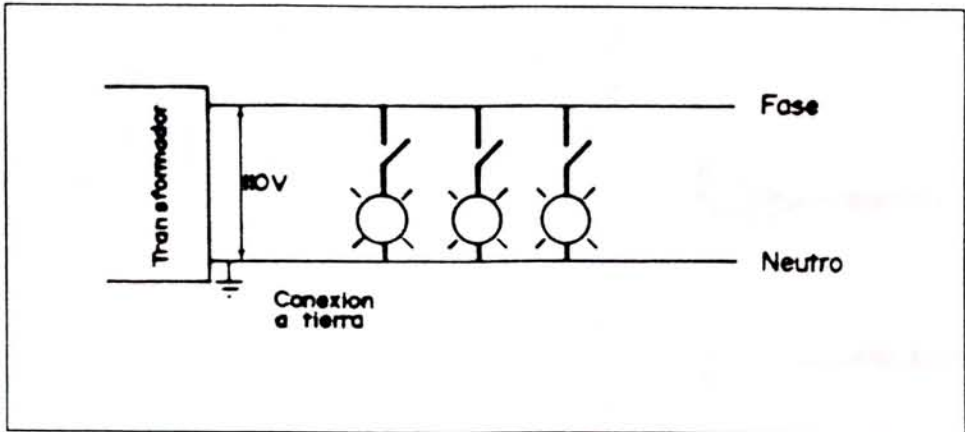


Figura 10.10 Sistema bifilar monofásico (110 v)

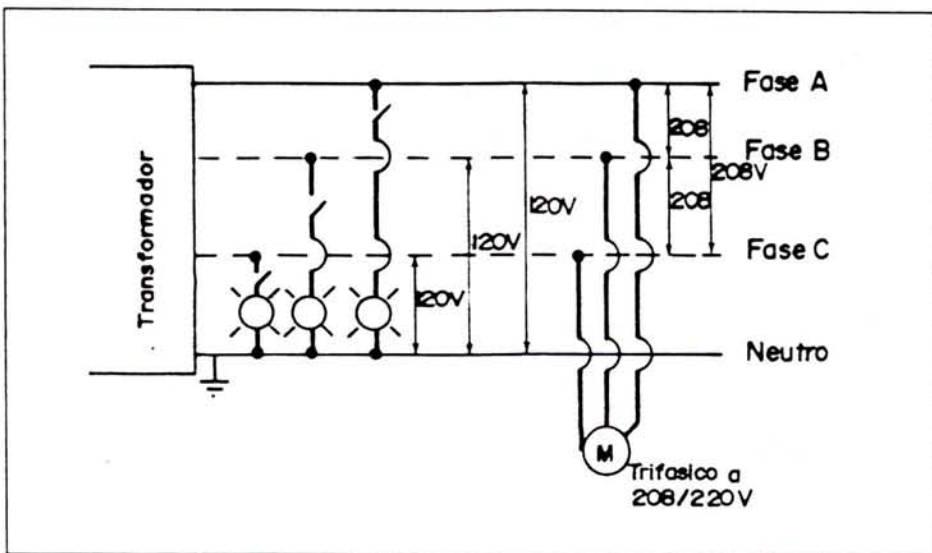


Figura 10.12 Sistema trifásico con 4 hilos

### 10.17 Motores eléctricos

Los motores eléctricos poseen numerosas ventajas sobre los motores de gasolina y diesel. Entre las más importantes están:

- Su puesta en marcha es inmediata.
- Se acoplan fácilmente a cualquier máquina.
- Son livianos, de fácil transporte y ocupan poco espacio.

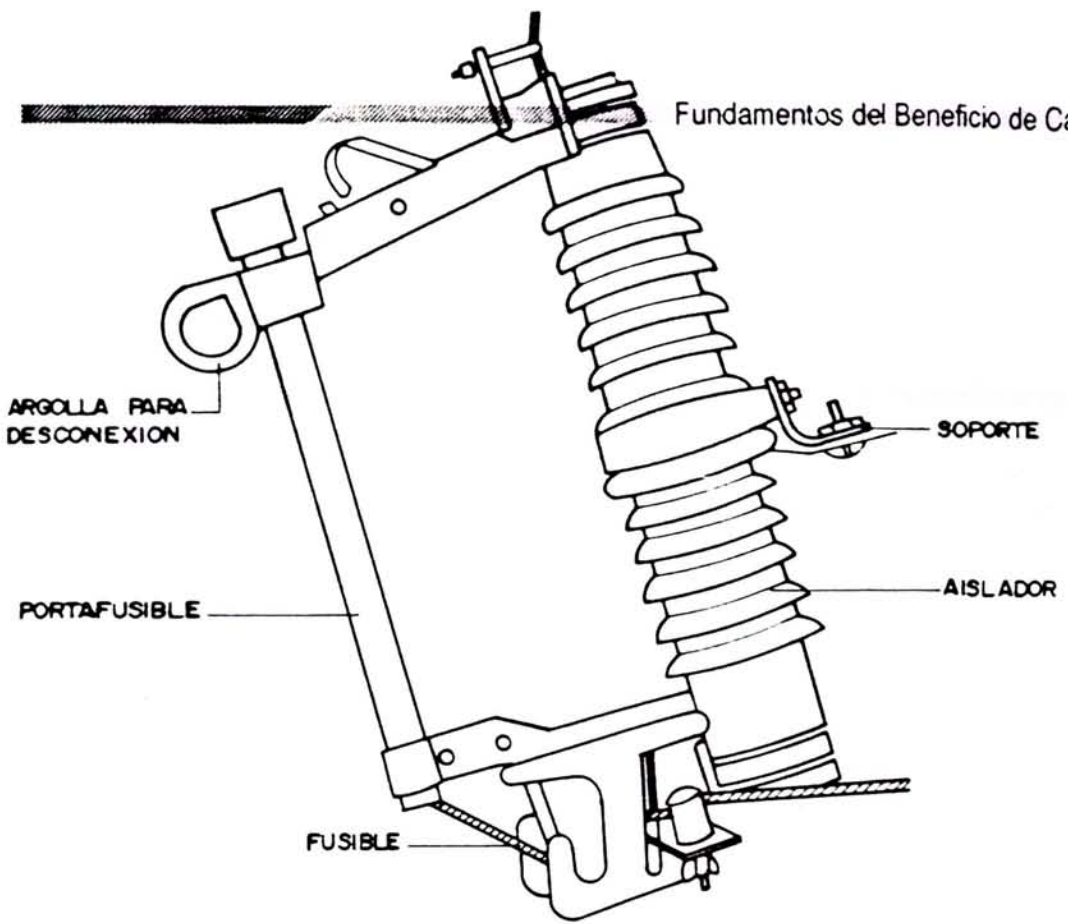


FIGURA 10.9 CAJA PRIMARIA

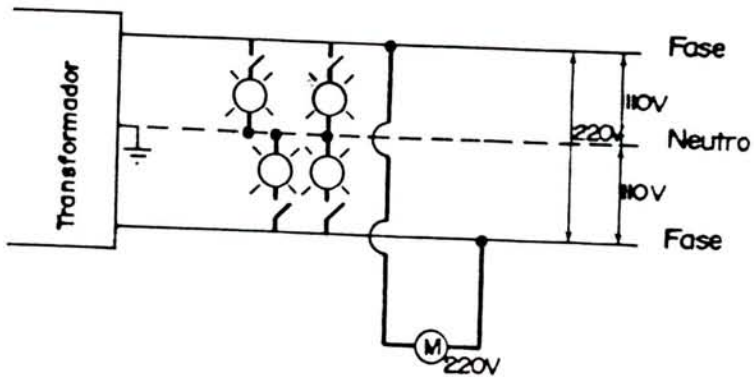


FIGURA 10.11 SISTEMA TRIFILAR MONOFASICO

- Son más silenciosos.
- Son de vida más larga.
- Requieren poco mantenimiento.

Los motores normalmente usados en los beneficiaderos son monofásicos y trifásicos.

Es recomendable usar motores de tipo cerrado para evitar la entrada de agua.

### **10.17.1 Características de un motor**

Los motores traen placas que nos dan información acerca de sus características, tales como la potencia en HP, la velocidad en rpm, el voltaje de conexión, si es monofásico o trifásico y la corriente nominal en amperios.

### **10.17.2 Protección de motores**

Los motores se protegen usualmente contra sobrecarga y contra cortocircuito.

#### **Contra sobrecarga:**

Hay sobrecarga cuando se supera la carga nominal que maneja el motor, cuando esto ocurre la corriente aumenta, aumentando la temperatura del motor. Una sobrecarga momentánea se puede tolerar, pero si ésta se produce por períodos largos, el motor se puede quemar o disminuir su vida útil.

Para controlar las sobrecargas se utilizan los guardamotores y los arrancadores. Estos se debe escoger en un rango donde esté comprendido el valor de la corriente nominal que aparece en la placa del motor.

La respuesta no es inmediata y después de un tiempo, si persiste la sobrecarga, la protección suspende la alimentación de la corriente alterna al motor.

#### **Contra cortocircuito**

Contra los cortocircuitos se utilizan fusibles. Cuando se presenta un cortocircuito los fusibles se rompen en forma inmediata.

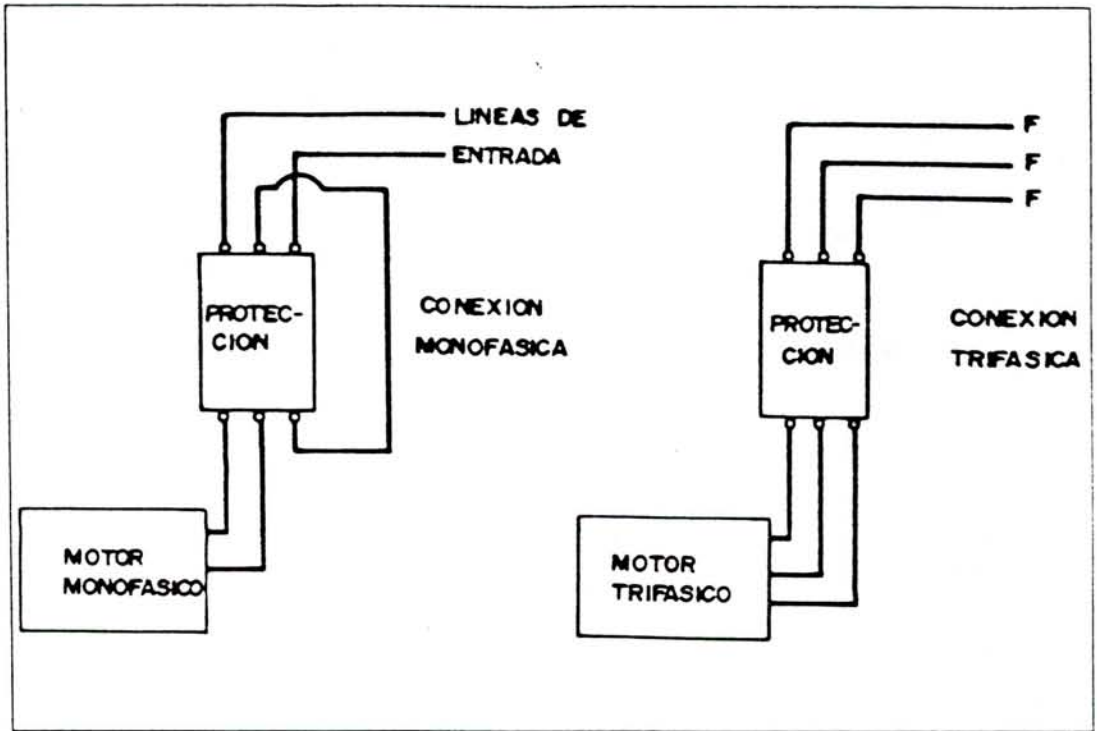


Figura 10.13 Forma de instalación de protecciones para motores

Existen guardamotores de tipo termomagnético que protegen contra sobrecarga y contra cortocircuito.

### 10.17.3 Eficiencia de los motores

Para calcular la potencia eléctrica consumida por un motor eléctrico es necesario tener en cuenta su eficiencia, esto es, el porcentaje de la potencia eléctrica suministrada, que el motor es capaz de entregar como potencia mecánica en el eje.

Los valores de eficiencia típicos están entre 0,65 y 0,78, siendo los motores trifásicos los de mayor eficiencia.

### 10.18 Corrientes típicas en los motores

Las tablas 10.5 y 10.6 son una guía para escoger el calibre de los conductores para la conexión de un motor.

**Tabla 10.5 Selección de conductores para motores monofásicos**

HP	Calibre del alambre para conexión	Amperios	
		Calibre del alambre para conexión	Amperios
		110 V	220 V
1/4	14	4.8	2.4
1/2	14	7.8	3.9
1	12	13.2	6.6
1 1/2	10	19.2	9.5
2	10	25.4	12.7
3	8	37.2	18.6
5	4	59.2	29.6

**TABLA 10.6 Selección de conductores para motores trifásicos a 220 V**

HP	Calibre del alambre para conexión	Amperios
1/2	14	2.0
3/4	14	2.8
1	14	3.5
1 1/2	14	4.7
2	14	6.1
3	14	9.0
5	12	14.5

**10.19 Inversión de giro en motores trifásicos**

Para cambiar el sentido de giro de un motor trifásico se intercambian de puesto dos fases como lo indica la figura 10.14

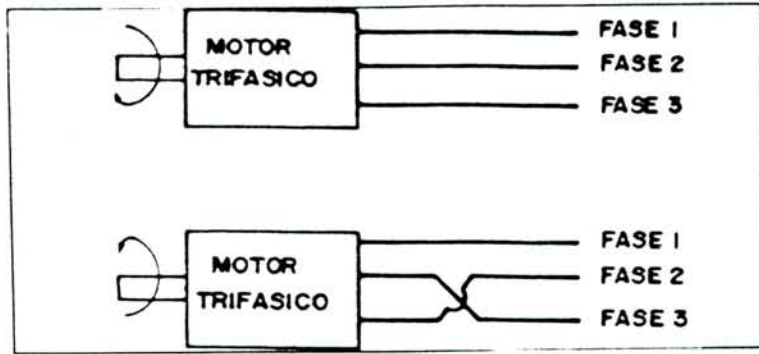


Figura 10.14 Inversión de giro en motores trifásicos

### 10.20 Factor de potencia (FP)

Los motores son una combinación de una carga resistiva (debida a la resistencia propia de los conductores que conforman las bobinas) y de una carga inductiva (debida al hecho de que los conductores están arrollados en forma de bobinas sobre unos núcleos de hierro).

Si se aplica una corriente alterna a un circuito cuya carga es resistiva e inductiva, se presenta un desfase entre el voltaje y la corriente, de tal manera que la corriente se retrasa respecto al voltaje.

Este desfaseamiento se puede medir como un ángulo  $\phi$ , cuyo coseno es el llamado coseno  $\phi$  o factor de potencia.

En un circuito de corriente continua o en uno de corriente alterna cuya carga es solamente resistiva (estufas, bombillos, etc.) se pueden aplicar las relaciones mostradas en el disco de la figura 10.1.

Cuando el circuito es resistivo e inductivo la potencia es:

$$P = VI \cos \phi$$

donde V está en voltios, I en amperios P en vatios y el coseno  $\phi$  es un valor que varía en 0 y 1.

Los valores normales para el coseno  $\phi$  están entre 0,80 y 0,95.

Los motores eléctricos traen el valor del coseno  $\phi$  en la placa de características, cuando están trabajando al 100% de carga.

El ejemplo siguiente muestra el efecto, del factor de potencia sobre la corriente I:

Se tiene un motor de 2000 vatios, monofásico, a 110 voltios.

---

Vatios	=	VoltiosxAmperios	x	FP
2000 vatios	=	110 voltios x 20.2	x	0.9
2000 vatios	=	110 voltios x 26.0	x	0.7
2000 vatios	=	110 voltios x 36.4	x	0.5

---

Se observa, que a un factor de potencia bajo la corriente se aumenta exageradamente, lo que se traduce en conductores más gruesos implicando desventajas económicas.

Cuando se tiene gran cantidad de aparatos que producen un FP en retraso menor de 0.80, las empresas de energía penalizan al consumidor cobrando tarifas más altas.

Mediante la instalación de ciertos dispositivos, es posible aumentar el valor del factor de potencia.

### 10.21 Resumen de formulas para cálculos en corriente alterna

En la tabla 10.7 se hace un resumen de las fórmulas para efectuar cálculos en circuitos de corriente alterna. En circuitos que no involucren cargas inductivas (motores) el porcentaje de eficiencia y el factor de potencia pueden aproximarse al valor de 1.

### 10.22 Planos eléctricos

Para la representación de las instalaciones eléctricas se emplean una serie de símbolos o convenciones que están estandarizadas en las normas de construcción. Estas convenciones o cualquiera otra que utilice el diseñador deberán estar indicadas claramente en el plano.

Algunos de los símbolos comúnmente usados son:

	Lampara de techo
	Lampara de muro
	Toma corriente doble pared
	Toma corriente para piso
	Toma corriente fogon
	Toma corriente especial
	Tablero distribucion
	Motor
	Contador
	Tuberia techo o muro
	Tuberia de piso
	Linea de acometida






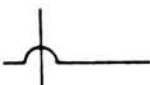

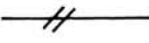
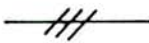
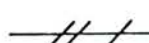
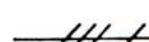
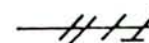
	Interrupor sencillo
	Interrupor doble
	Linea de encendido
	Ducto sube
	Ducto baja
	Cruce de conductores
	Union de conductores
	Dos conductores en ducto
	Tres conductores en ducto
	Dos fases y neutro en ducto
	Tres fases y neutro en ducto
	Dos fases, neutro y alambre conexion a tierra



TABLA 10.7 Cálculos de AMPERAJES, HP, KW, KVA en circuitos de corriente alterna, monofásicos y trifásicos.

PARA ENCONTRAR	MONOFASICOS (2 HILOS)	TRIFASICOS
Amperios cuando los HP son conocidos	$\frac{HP \times 746}{V \times \% E.F. \times FP}$	$\frac{HP \times 746}{V \times \% E.F. \times F.P. \times \sqrt{3}}$
Amperios cuando los KW son conocidos	$\frac{KV \times 1000}{V \times FP}$	$\frac{KV \times 1000}{V \times FP \times \sqrt{3}}$
Amperios cuando los KVA son conocidos	$\frac{KVA \times 1000}{V}$	$\frac{KVA \times 1000}{V \times \sqrt{3}}$
Kilovatios	$\frac{I \times V \times FP}{1000}$	$\frac{I \times V \times FP \times \sqrt{3}}{1000}$
KVA	$\frac{I \times V}{1000}$	$\frac{I \times V \times \sqrt{3}}{1000}$
HP	$\frac{I \times V \times \%EF \times FP}{746}$	$\frac{I \times V \times \%EF \times FP \times \sqrt{3}}{746}$
<b>NOMENCLATURA</b>		
<b>I</b>	=	Corriente en amperios
<b>V</b>	=	Voltios
<b>%EF</b>	=	Porcentaje de eficiencia del motor expresada en forma decimal.
<b>FP</b>	=	Factor de potencia o $\cos \phi$
<b>HP</b>	=	Caballos
<b>KW</b>	=	Kilovatios
<b>KVA</b>	=	Kilovoltamperios

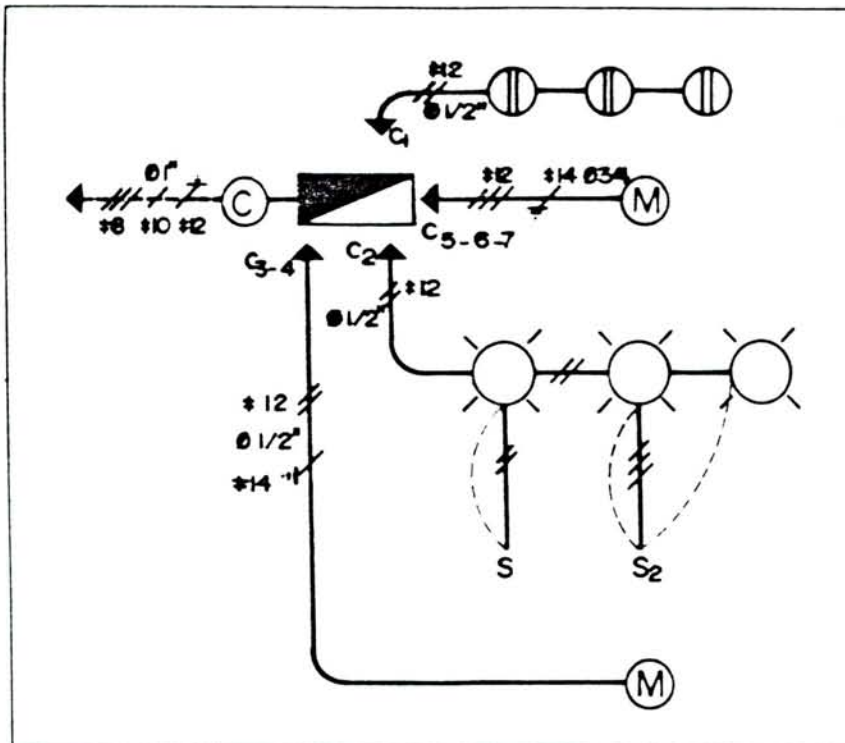


Figura 10.14 Uso de Convenciones

### 10.23 Utilización de los símbolos

La figura 10.14 es un ejemplo de la forma de utilizar las convenciones :

La acometida es subterránea en ducto de 1" de diámetro. Por el ducto van 3 fases en conductor calibre 8, un neutro en calibre 10 y un alambre calibre 12 para conexión a tierra.

A continuación está el contador y luego un tablero trifásico para distribución de los circuitos.

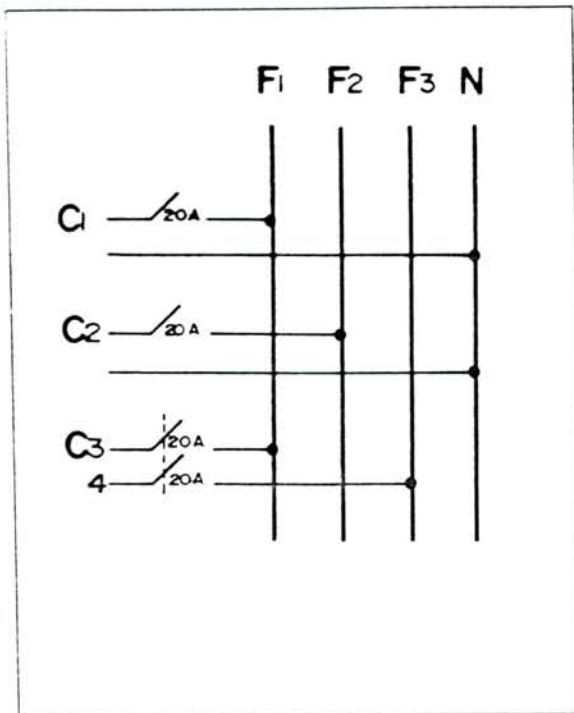
El circuito C-1 es un circuito monofásico, el ducto de 1/2" está a la vista; contiene una fase y un neutro, ambos en calibre 12. El circuito le da servicio a varios tomacorrientes.

El circuito C-2, es similar al C-1, pero le da servicio a varias lámparas. Las lámparas tienen el interruptor que las controla y se aprecia la línea de accionamiento.

El C-3-4, es un circuito monofásico, el ducto de 1/2" está instalado a la vista: el ducto contiene dos fases en calibre 12 y un alambre para conexión a tierra en calibre 14. El circuito le da servicio a un motor monofásico.

El C-5-6-7, es un circuito trifásico, el ducto de 3/4" está instalado a la vista: el ducto contiene tres fases en calibre 12 y un alambre para conexión a tierra en calibre 14. El circuito le da servicio a un motor trifásico.

En la figura 10.15 se muestra la forma convencional de representar en un plano eléctrico, un tablero con sus breakers, el circuito que protege cada uno de ellos y su respectivo valor en amperios.



La línea vertical punteada señala el enclavamiento mecánico de los breakers.

Algunas empresas de energía exigen que los tomacorrientes de servicio general queden en un circuito independiente al del alumbrado. En todo caso no se permiten mas de 10 salidas por circuito.

En circuitos trifásicos con neutro, éste podrá tener el calibre inmediatamente inferior al calibre que tienen las tres fases.

El calibre de los conductores de acometida nunca debe ser

Figura 10.15 Representación de un tablero de distribución

inferior al N° 8 en cobre o su equivalente.

Los interruptores deben colocarse de tal manera que cuando estén abiertos no tiendan a cerrarse por su propio peso y deben conectarse de modo que al estar abiertos no haya corriente en el respectivo portalámpara.

Se conectarán permanentemente a tierra, el neutro de la línea de entrada en el tablero general, todas las partes metálicas de los motores, transformadores, cocina, resistencia o aparatos de arranque para motores, armaduras de los tableros, los tubos y corazas metálicas, etc.

## 10.24 BIBLIOGRAFIA

- 1- Código Colombiano de instalaciones eléctricas domiciliarias. Norma ICONTEC - 950.
- 2- MELGUIZO, S. Instalaciones eléctricas. Universidad Nacional de Colombia. Seccional Medellín.
- 3- Reglamento para instalaciones eléctricas. Central Hidroeléctrica de Caldas - CHEC - . Aprobado por la Junta Directiva en noviembre 12 de 1969 y según acta No. 27.

11 CALCULO Y DISEÑO DE UN BENEFICIADERO PARA UNA PRODUCCION ANUAL APROXIMADA DE 3000 @ DE C.P.S. (37500 kg) AL AÑO Y UN DIA PICO DEL 2.5%

Relación de conversión de café cereza a café pergamino seco 5 : 1 en peso.

Café cereza día pico = 4687 kg

Café baba día pico = 2813 kg

Café lavado día pico = 1921 kg

Café pergamino seco día pico = 937 kg

Pulpa seca día pico = 1875 kg

11.1 CALCULO DE LA TOLVA DE RECIBO

La tolva de recibo será seca para disminuir la contaminación de las aguas e implementar desde el recibo, el proceso con bajos consumos de agua.

Se realizaran dos recibos y dos operaciones de despulpado en el día, para disminuir las dimensiones de la tolva de recibo y el número de despulpadoras.

La capacidad mínima de la tolva de recibo debe ser igual a la capacidad de despulpado en una hora y la capacidad máxima igual al 50% o 70% del volumen del café cereza recolectado en el día pico, según sea el número de veces que se reciba el café.

-Producción de café cereza (cc) en el día pico: 4687 kg/cc.

-Capacidad de despulpado:

Se asumieron dos recibos en el día, luego se tendrán:

$$4687/2 = 2343 \text{ kg/cc por tanda.}$$

-Volumen máximo de la tolva de recibo:

$$2343/600 = 3.90 \text{ m}^3$$

-La tolva de recibo suministrará café en cereza a dos despulpadoras (previamente se determina el requerimiento de despulpado).

-Se calculará el volumen de los dos troncos de pirámide invertida ( $V_1$ ), mas el volumen de la parte superior de esta ( $V_2$ ).

$$V_T = V_1 + V_2$$

$V_1$  = Volumen del paralelepípedo

$V_2$  = Volumen del tronco de pirámide

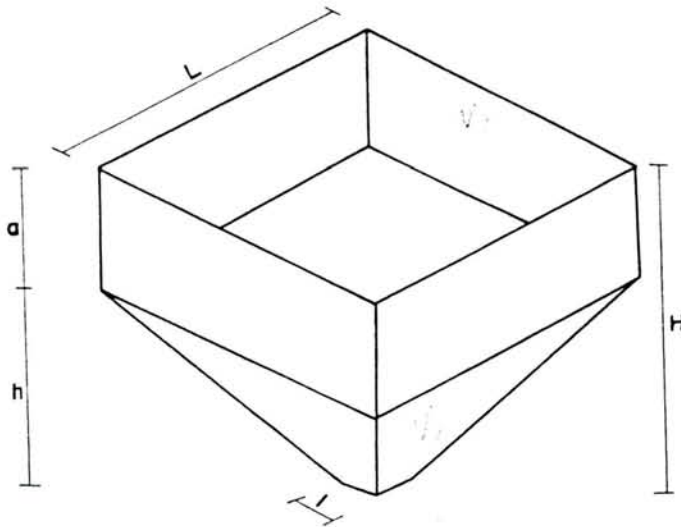
Se debe tener en cuenta los siguientes criterios:

-El volumen del paralelepípedo debe ser 2/3 del volumen total.

-El volumen del tronco de pirámide es 1/2 del volumen del paralelepípedo o 1/3 del volumen total.

-La pendiente de las paredes del tronco de pirámide deben ser del 100 (45°).

-Y la base menor del tronco de pirámide debe ser 0.2 m de lado.



Si se cumplen las condiciones anteriores, las dimensiones de la tolva se pueden calcular, mediante el uso de las siguientes formulas:

$$L = (3 V_1 + 0.008)^{1/3}$$

$$a = \frac{V_1}{L^2}$$

$$h = \frac{L}{2} - 0.1$$

Entonces el volumen  $V_T = 3.90 \text{ m}^3$ ; como son dos troncos de pirámide y un paralelepípedo, podemos calcular media tolva como medio paralelepípedo y un tronco de pirámide de  $1.95 \text{ m}^3$ .

$$V_T = 1.95 \text{ m}^3$$

$$V_1 = 2/3 * 1.95 \text{ m}^3 = 1.30 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 1/3 * 1.95 \text{ m}^3 = 0.65 \text{ m}^3$$

Las dimensiones son:

$$L = (3 * 1.30 + 0.008)^{1/3}$$

$$L = 1.575$$

$$a = 1.30/2.48$$

$$a = 0.42$$

$$h = \frac{1.575}{2} - 0.1$$

$$h = 0.68$$

$$H = 0.68 + 0.52$$

$$H = 1.20$$

Las dimensiones serán:

$$a = 0.42 \text{ m} \quad L = 1.575 \text{ m} \quad h = 0.68 \text{ m} \quad H = 1.20 \text{ m}$$

para el volumen de una tolva, luego se construirán dos tolvas unidas de iguales dimensiones, para el volumen total requerido.

## 11.2 DESPULPADO.

Para el caso propuesto se selecciona el número de despulpadoras y sus especificaciones:

$$\text{Producción día pico} = 4687 \text{ kg cc}$$

$$\begin{aligned} \text{Número de recibos al día} &= 2 \\ &= 4687/2 \\ &= 2343 \text{ kg cc/por recibo} \end{aligned}$$

$$\text{Horas despulpado al día} = 4 \text{ (es decir 2 horas por recibo)}$$

= 2343/2 horas

= 1171 Kg hora

De acuerdo con la Tabla A-3 seleccionamos dos despulpadoras # 3 de cilindro horizontal y alta capacidad de despulpado.

### 11.2.1 Cálculo de las Poleas Transmisoras de Potencia.

Para calcular las dimensiones de las poleas (Figura 3.8) se aplica la siguiente fórmula:

$$D * RPM = d * rpm$$

en donde:

D = diámetro de la polea motriz o del motor;

RPM= revoluciones por minuto de la polea motriz o del motor;

d = diámetro de la polea movida o de la despulpadora;

rpm= revoluciones por minuto de la polea movida o de la despulpadora.

#### a.- Cálculo del diámetro de la polea movida en el contraeje.

Conociendo la velocidad de rotación del motor (RPM), las rpm del contraeje (eje motriz) y el diámetro de la polea del motor (D), se calcula el diámetro de la polea movida en el contraeje (d).

$$\begin{aligned}d &= (RPM * D) / rpm \\d &= (1750 * 3) / 525 \\d &= 10''\end{aligned}$$

#### b.- Cálculo del diámetro de la polea motriz del segundo contraeje.

Conociendo las rpm de la despulpadora, del contraeje (RPM), y el diámetro de la polea de la despulpadora (d), se calcula el diámetro de la polea motriz.

$$\begin{aligned}D &= (RPM * d) / rpm \\D &= (160 * 16) / 525 \\D &= 5''\end{aligned}$$

#### c.- Cálculo del diámetro de la polea movida en el segundo contraeje.

Conociendo las RPM del contraeje (eje motriz), se asume el diámetro para la segunda polea motriz de 3"(D), y las rpm del segundo contraeje para la zaranda circular se calcula el diámetro de la polea movida en el segundo contraeje.

$$d = (RPM * D) / rpm$$



$$d = (525 \cdot 3") / 157$$

$$d = 10"$$

d.- Cálculo del diámetro de la polea movida por el eje de la zaranda.

Conociendo las rpm del segundo contraeje, se asume el diámetro de la polea del segundo eje motriz 3"(d), y las RPM del eje de la zaranda, se calcula la polea del eje de la zaranda.

$$D = (\text{rpm} \cdot d) / \text{RPM}$$

$$D = (157 \cdot 3") / 25$$

$$D = 19"$$

### 11.3 CLASIFICACION DEL CAFE EN BABA

Se selecciona una zaranda circular de 0.60 m de diámetro y 1.00 m de largo. Se recomienda que sea de varillas. (Ver Tabla A-4).

### 11.4 TANQUES DE FERMENTACION

Para determinar el volumen de los tanques de fermentación y sus dimensiones, para la producción propuesta se tiene que:

En la práctica se observa que se facilita el manejo del secador, cuando la capacidad de sus cámaras es igual a la cantidad de café contenido en el tanque de fermentación o en un múltiplo de ellos. (Fig 4.1).

Aplicando este criterio, netamente práctico, se requiere primeramente calcular la capacidad del secador, y consecuentemente la capacidad de cada cuarto, para dimensionar el volumen de los tanques de fermentación.

Para efectos del cálculo del secador, se considera que en una semana se contará con cuatro (4) días con producción igual a la del día pico. Así mismo, que el número de tandas de secado por semana es igual a tres (3).

Con estas consideraciones la cantidad de café Q, seco por semana es:

$$Q = (4687 \text{ kg cc/día}) / (4.5 \text{ kg cc/kg cps} / (12.5 \text{ kg/@}))$$

$$= 75 \text{ @ c.p.s. día pico.}$$

Capacidad de secado por semana:

$$= 75 \text{ @ c.p.s.} \cdot 4 \text{ días pico}$$

$$= 300 \text{ @ c.p.s./tanda}$$

Capacidad de secado por tanda:

$$= 300 \text{ @ c.p.s./3 tandas por semana}$$

$$= 100 \text{ @ c.p.s./tanda.}$$

Por lo tanto, la capacidad del secador, por tanda, debe ser por lo menos igual a 100 @ de c.p.s. y tendría dos camaras de secado cada una 50 @ cps.

Con base en las consideraciones anteriores y en los cálculos de capacidad de secado se tiene que un tanque de fermentación deberá tener una capacidad tal que al fermentar, lavar y secar una masa de café se obtengan 50 @ de cps.. Considerando una relación café cereza/café seco igual a cinco a uno (5), la cantidad de café cereza requerida es igual a 3125 Kg de cc. La cantidad de café en baba correspondiente es:

$$= 3125 \text{ kg cc} * 0.6$$

$$= 1875 \text{ kg café baba.}$$

El volúmen mínimo requerido para depositar una masa de 1875 kg de café en baba, es decir el volumen mínimo de un tanque de fermentación, es:

$$V = 1875 \text{ kg café baba}/800 \text{ (Ver Tabla A.1)}$$

$$V = 2.34 \text{ m}^3$$

Recordando que en el día pico se dispondran de 2813 kg de café en baba, se requerirá de

$$2813 \text{ kg c.b}/800 \text{ kg c.b/m}^3/3.51 \text{ m}^3/\text{tanque} = 1.50 \text{ tanques}$$

Pero recordando que en un bebeficiadero se debe tener un factor de seguridad de por lo menos el doble de la capacidad en fermentación del día pico, se requeriría de 3 tanques.

$$V = 7.0 \text{ m}^3$$

Para hallar la longitud de cada uno de los tanques, se asume un ancho de 0.8 m, y utilizando la formula siguiente:

$$V = (1.664 \text{ a}^2) L$$

$$L = \frac{V}{1.664 \text{ a}^2}$$

$$L = \frac{2.34}{1.664(0.80)^2}$$

$$L = 2.22 \approx 2.20 \text{ m}$$

Por lo tanto las dimensiones del tanque serían las siguientes:

$$\text{ancho} = 0.80 \text{ m}$$

$$\text{largo} = 2.20 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{altura menor } H_1 &= 1.5a - 0.03L \\ &= 1.5 * 0.80 - 0.03 * 2.20 \\ &= 1.2 - 0.066 \\ H_1 &= 1.134 \approx 1.13 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{altura mayor } H_2 &= 1.5a + 0.03 L \\ &= 1.15 * 0.80 + 0.03 * 2.20 \\ &= 1.2 + 0.066 \\ H_2 &= 1.266 \approx 1.27 \text{ m} \end{aligned}$$

## 11.5 LAVADO

Se pueden tener dos alternativas:

- a- En canal de correteo.
- b- Por medio de bomba sumergible.

### 11.5.1 Canal de Correteo

-Café a lavar en el día pico:

$$\begin{aligned} &= 937 \text{ kg c.p.s.} * 5 \text{ (conversión a café cereza)} \\ &= 4687 * 0.6 \\ &= 2812 \text{ kg café en baba} \end{aligned}$$

-Número de tandas por día (<5) = 3

-Café a lavar en cada tanda:

$$\begin{aligned} &= 2812 * 1/4 \\ &= 703 \text{ kg café en baba.} \end{aligned}$$

-Volumen requerido:

$$= 703 \text{ kg c. baba} / 800 \text{ kg c.baba/m}^3$$

$$V = 0.87 \text{ m}^3$$

Para el cálculo de la longitud del canalón, se determina por tanteo con secciones de  $0.40 * 0.40$  y de  $0.30 * 0.30$  m, así:

-Longitud requerida lavado:

$$= 0.87 \text{ m}^3 / (0.30 * 0.20) \text{ Se toma el valor de } 0.20 \text{ y no de } 0.30 \text{ para evitar el derrame del material.}$$

$$= 14.5 \approx 15.00 \text{ m.}$$

-La longitud total requerida para el canalón:

$$= 15.00 * 2$$

$$L = 30 \text{ m}$$

Como el valor se enmarca en los recomendados, se selecciona éste. En el caso de no enmarcarse, se efectúa el tanteo con sección de  $0.40 * 0.40$ . (con estas dimensiones sería de 15 m).

### 11.5.2 Con Bomba

Se requiere una bomba del tipo sumergible de 1 HP.

En este caso se recomienda otro tanque adicional, de las mismas dimensiones de los de fermentación, el cual se utilizaría como de trabajo, esto es para transportar el café por medio de la motobomba de un tanque a otro.

## 11.6 SECADO.

Para el diseño de los tanques de fermentación se dimensionó el tipo de secador mecánico, el cual tiene una capacidad de procesamiento de 100 @ de c.p.s. año.

### 11.6.1 Dimensiones de las Cámaras de Secado

Considerando un secador de dos (2) cámaras,  
El área requerida por cámara de café (50 @) :

$$A = \frac{W}{h}$$

en donde

A	=	área de la cámara
W	=	cantidad de café pergamino seco, kg
	=	densidad del material, kg/m <sup>3</sup>
h	=	altura de la capa de granos

$$A = \frac{625 \text{ kg/cps}}{380 \text{ kgcps/m}^3 \cdot 0.4 \text{ m}}$$

$$A = 4.11 \text{ m}^2$$

La dimensión de la cámara es de 2.02 m de lado.

### 11.6.2 Cálculo del Ventilador

Considerando un flujo de aire de 20 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> de piso de secador se calcula el caudal de aire específico: Q = 20 m<sup>3</sup>/min.m<sup>2</sup> de secador, se obtiene el siguiente caudal de aire

$$Q = 20 \text{ m}^3/\text{min} \cdot \text{m}^2 \cdot 4.11 \text{ m}^2$$

$$Q = 82.2 \text{ m}^3/\text{min}.$$

Para calcular la presión estática que se requiere para forzar el aire a través de ambas capas, de ductos, compuertas y del piso perforado, se procede en la forma siguiente:

$$P/L = 0.0527 (Q/A)^{1.4845}$$

$$P/L = 0.0527 (82.2/4.11)^{1.4845}$$

$$P = 3.6 \text{ cm c. a.}$$

La altura total de las capas de café es igual a 0.80 m por lo tanto P es igual a 3.6 cm de c. a.. La caída de presión a través del secador se asume igual a  $1.3 \cdot P$  o sea igual a  $4.7$  cm de c. a. (1.5 pulgadas de agua).

La potencia total para mover el ventilador, considerando la eficiencia del ventilador y las pérdidas en la transmisión de potencia, se calcula de la forma siguiente:

$$HP = (Q(\text{m}^3/\text{min}) \cdot Pf(\text{cm H}_2\text{O})) / (458 \cdot \text{eficiencia})$$

$$HP = (82.2 \cdot 4.7) / (458 \cdot 0.5)$$

$$HP = 1.68$$

### 11.6.3 Cálculo del Consumo de Combustible

$$\text{Caudal de aire} : 82.2 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$\text{Temperatura de secado} : 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Temperatura ambiente} : 18 \text{ }^\circ\text{C}$$

Eficiencias para el intercambio de calor,

$$\text{Para ACPM} \quad 60\%$$

$$\text{Para Hulla} \quad 60\%$$

Utilizando la siguiente ecuación para los combustibles antes mencionados se tiene para ACPM:

$$\text{Consumo} = (82.2 \cdot (50 - 18) \text{ }^\circ\text{C} \cdot 60) / (146000 \cdot 0.6)$$

$$\text{Consumo} = 1.80 \text{ gal/h}$$

Reemplazando los valores de poder calorífico y de eficiencia para el caso de utilizar hulla se obtiene un consumo de 7.86 kg/h.

## 11.7 FOSAS

De acuerdo al criterio de efectuar volteos cada mes (20 días de recolección) o cada 15 (10 días de recolección), se determina el volumen teórico.

Para el dimensionamiento de los compartimientos se tiene presente que el volumen de la masa se reduce aproximadamente en 1/4 en cada uno de los cuatro volteos recomendados.

El procedimiento es el siguiente:

Producción	: 3.000 @ cps./año
Día pico	: 75 @ cps. = 937.5 kg cps. = 4687.5 kg cc.
Pulpa	: 4687.5*0.4 = 1875 kg pulpa.
Pulpa/15 días	: 18750 kg
Volumen Primer Compartimento:	18750/420
$V_1$	= 44.50 m <sup>3</sup>
Volumen Segundo Compartimento:	$V_1 * 0.75$
$V_2$	= 34.00 m <sup>3</sup>
Volumen Tercer Compartimento :	$V_2 * 0.75$
$V_3$	= 25.50 m <sup>3</sup>
Volumen Cuarto Compartimento :	$V_3 * 0.75$
$V_4$	= 19.00 m <sup>3</sup>
Volumen Quinto Compartimento :	$V_4 * 0.75$
$V_5$	= 14.00 m <sup>3</sup>

## 11.8 ALMACENAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS Y SELECCION DE LA BOMBA

### 11.8.1 Utilización de las Aguas Lluvias en el Beneficio del Café

La lluvia es una fuente de agua óptima calidad, libre de contaminantes de origen químico y de microorganismos nocivos para el hombre y los animales; el adecuado empleo de este recurso natural para uso doméstico o humano, y en el uso de las labores de beneficio del café, se puede lograr captando el agua mediante construcciones ya existentes o por el diseño de obras de infraestructura para tal fin.(2)

Para el diseño de la captación de las aguas lluvias que caen en los techos de las diferentes construcciones que se tienen en la finca y en los patios se efectúa mediante la siguiente ecuación (4,5):

$$A = \frac{C}{P.E}$$

donde:

- A : Area de Captación, m<sup>2</sup>;
- C : Consumo Mensual, l;
- P : Precipitación Mensual Probable para la Región.(l.m<sup>2</sup>);
- E : Coeficiente de Escorrentía.

La eficiencia de la captación depende del material que constituye la superficie interceptora y se conoce como el coeficiente de escorrentía y algunos valores son:

- Superficie totalmente impermeable : 1.00
- Polietileno : 0.90
- Concreto Esmaltado : 0.85
- Asfalto : 0.80
- Tejas de Barro o asbesto -cemento : 0.80
- Suelo textura fina y compacto : 0.60
- Suelo textura gruesa : 0.30.

En la metodología de captación de aguas lluvias el factor más importante es la precipitación mensual probable, ya que de la lluvia depende el éxito del sistema; por lo tanto se hace necesario conocer los datos de precipitación mensual promedios para la región del trabajo.

Otro factor importante es la determinación del consumo de agua, valor que permite definir el requerimiento de almacenamiento de agua, el cual se puede hacer en dispositivos tales como: tanque casquete esférico, tanque de hormigón, hoyos en tierra revestido con plástico, etc.. Cualquiera que sea el recipiente, se debe prevenir la contaminación del agua, cubriéndola de tal forma que permita la aireación e impida la entrada de luz, polvo, insectos, etc..

### 11.8.2 Captación de Aguas Lluvias

Se colocan canales alrededor de los techos de todas las construcciones de la finca localizadas alrededor del beneficiadero y que permitan la llegada del agua por dichas canales hasta un tanque de depósito y desde éste hasta el beneficiadero. destino principal de las aguas captadas. Se plantea la construcción para el almacenamiento del



agua, de un tanque del tipo casquete esférico (Figuras A.23 y A.24), con capacidad para almacenar  $50 \text{ m}^3$ , dado que su costo es inferior a los correspondientes

### 11.8.3 Ejemplo de Transporte Hidráulica de Café al Secador

Se requiere seleccionar una bomba sumergible para transportar por tubería de 3" de diámetro, el café pergamino hasta una tolva escurridora ubicada a 12 m de longitud horizontal y 7.5 m de longitud vertical, como muestra la figura 11.1. Es necesario que cada compartimento del secador se llene máximo en 18 minutos.

$$\text{Capacidad} = \frac{1250 \text{ kg}}{18 \text{ min}} = 69.4 \text{ kg/min}$$

Como para el transporte se recomienda una relación de transporte de 3 partes de agua por 1 parte de café en volumen, por cada 4 litros de la mezcla se transportan 0.65 kg.

Entonces el caudal de la mezcla,  $Q$ , está dado por la siguiente regla de tres:

$$\begin{array}{l} 4 \text{ l/min} \text{ ----- } 0.65 \text{ kg/min} \\ Q \text{ ----- } 69.4 \text{ kg/min} \end{array}$$

$$Q = 440 \text{ l/min}$$

$$(L_T)_c = (L_R)_h + (L_{eq})_h$$

$$(L_T)_c = 12 \text{ m}$$

$$(L_{eq})_h = 0 \text{ m (No hay codos en algún plano horizontal)}$$

$$(L_T)_c = 12 \text{ m}$$

$$(L_T)_v = (L_R)_v + (L_{eq})_v$$

$$(L_T)_v = 7.5 \text{ m}$$

$$(L_{eq})_v = n * l_{eq} = 2 * 2.5 \text{ m} = 5 \text{ m (n: número de codos y } l_{eq} \text{ : dato de la tabla 8.6)}$$

$$(L_T)_v = 7.5 \text{ m} + 5 \text{ m} = 12.5 \text{ m}$$

De la tabla 8.4 y 8.5 se extraen los siguientes datos:

$$(h_{\text{per}})_v = 3.94 \text{ [m c.a./}(100 \text{ m de tubería vertical)]}$$

$$(h_{\text{per}})_h = 2.75 \text{ [m c.a./}(100 \text{ m de tubería horizontal)]}$$

Las pérdidas de presión totales se obtienen de las siguientes reglas de tres, así:

Tubería Vertical:

Para 100 m ----- 3.94 m c.a.

para 12.5 m -----  $(H_{\text{per}})_v$

$$(H_{\text{per}})_v = 0.49 \text{ m c.a.}$$

Tubería Horizontal:

Para 100 m ----- 2.75 m c.a.

para 12 m -----  $(H_{\text{per}})_h$

$$(H_{\text{per}})_h = 0.33 \text{ m c.a.}$$

Como  $H_g$  es la altura entre el nivel de agua y la descarga, entonces:

$$H_g = 3.5 \text{ m (ver figura 11.1)}$$

Como:  $H_t = H_g + H_{\text{per}}$

$$\text{Entonces: } H_t = 3.5 \text{ m} + 0.49 \text{ m} + 0.33 \text{ m}$$

$$H_t = 4.32 \text{ m c.a.}$$

Con los datos de Capacidad = 69.4 kg/min y  $H_t = 4.32 \text{ m c.a.}$  vamos a la figura 8.4 y determinamos que una bomba referencia SC-101 marca BARNES puede suplir nuestras necesidades.

Se anexan planos del diseño del beneficiadero en el Apéndice (A-25, A-26, A-27, A-28).

### 11.9 DISEÑO ELECTRICO PARA EL BENEFICIADERO DE 3.000 @ CPS.

Para el diseño eléctrico del beneficiadero de 3.000 @ cps (Apéndice A-29, A-30, A-31) se hicieron las siguientes consideraciones:

Para los circuitos C-1 y C-2 que tienen 880 vatios y 750 vatios respectivamente (ver cuadro de cargas), se utilizarán conductores calibre N° 12, aunque podría también utilizarse N° 14 que es el calibre mínimo permitido en las normas de construcción de la mayoría de las Empresas de Energía.

De acuerdo con la tabla 10.1, para los circuitos de los motores del silo secador, despulpadoras y motobombas el calibre de los conductores es adecuado.

Las protecciones seleccionadas son de 20 A, que están de acuerdo con la capacidad de conducción de los conductores (tabla 10.1).

Las protecciones trifásicas tienen una línea punteada que indica que hay enclavamiento mecánico, para que en caso de falla, se efectúe la apertura de las tres fases en forma simultánea.

Aunque la corriente de la acometida es de solo 18 A, seleccionamos calibre N° 8 para las tres fases, porque además de ser el mínimo permitido para acometidas, permite adicionar algún circuito que requiera posteriormente el beneficiadero. La protección de 40 A está de acuerdo con la capacidad de corriente de los conductores (tabla 10.1).

Para la selección de los ductos se empleó la tabla 10.2.

Se emplea un interruptor doble, una sección para accionar los bombillos de las fosas y otra para el alumbrado exterior.

## 11.10 BIBLIOGRAFIA

- 1- FUNDACION MANUEL MEJIA. Beneficio del café. Chinchiná. 1986. p.279
- 2- JARAMILLO, R., A. Ecuaciones para diseñar obras de captación de lluvia en zona cafetera. CENICAFE. Chinchiná. 34(3): 107-111. 1983
- 3- URIBE, H., A. y VALENCIA, M.. A. Normas para el Diseño de Beneficiaderos de Café. Avanca Técnico N° 58. CENICAFE. Chinchiná. 1976.

## 12 ALMACENAMIENTO DEL CAFE PERGAMINO A NIVEL DE FINCAS

Uno de los objetivos básicos en el manejo de granos, entre ellos el café, es conocer las técnicas de cómo protegerlo antes de que sean dañados, es decir, tener la información respecto a la recolección, secado y almacenamiento, como también de los insectos y hongos que los puedan atacar, igualmente se deben conocer los tipos de estructuras para solucionar los problemas con éxito. Un almacenamiento inadecuado trae como consecuencia la pérdida de peso, de calidad y por consiguiente de dinero.

El almacenamiento adecuado de los granos tiene las siguientes ventajas:

-permite al agricultor decidir el momento oportuno para la comercialización de su producto, consiguiendo mejores precios en el mercado.

-facilita tener una mayor cantidad de producto, permitiendo economías en el transporte.

Para garantizar un buen almacenamiento es necesario limpiar el grano. La limpieza es una operación que se destina al retiro de las impurezas y de materias extrañas con el fin de no obstaculizar las labores posteriores. La existencia de impurezas, polvo y otros elementos diferentes al café, aceleran su deterioro, siendo estos elementos focos de infestación por bacterias, hongos, mohos e insectos.

El deterioro que el café pueda tener en el período de almacenamiento, depende de muchos factores, entre ellos: la temperatura, la humedad relativa del aire, el contenido de humedad del producto, la concentración de oxígeno (esto lo da el tipo de empaque, ya sea permeable o impermeable) y el estado de limpieza.

El café se puede almacenar con éxito en el rango de temperaturas de 10 a 28 grados centígrados, cuando la humedad relativa del aire promedio esté entre el 60 y el 72%.

El contenido de humedad del café para un almacenamiento adecuado debe estar entre el 10 y el 12% b.h. Si el café tiene un contenido de humedad superior al 12%, el deterioro se presenta en tiempos menores. El grano de café es un ser vivo que respira, produciendo gas carbónico.

agua y calor durante este proceso. La intensidad de la respiración, depende del contenido de humedad y de la temperatura.

El grano de café es un producto higroscópico, esto es, puede ceder ó absorber agua según sean las condiciones del aire ambiente. En la Figura 62, se presentan las curvas de humedad de equilibrio del café pergamino (obtenidas en CENICAFE) dibujadas sobre la carta psicrométrica. Por medio de esta figura, se puede saber si el café dejado a determinadas condiciones de temperatura y de humedad relativa, se secará ó se humedecerá. En el caso de que el café se humedezca, está más propenso al ataque de hongos y bacterias, como también de insectos como el gorgojo picudo del café (*ARAECERUS FASCICULATUS*), presenta mayor pérdida de materia seca, mayor pérdida de peso durante la tostión y se pierde precio en el momento de la venta por estar el café fuera de normas.

Cuando el café se seca demasiado se está perdiendo peso y además el café queda fuera de normas ( contenido de humedad inferior al 10% b.h.), tomando una coloración verde clara ó verde amarillenta (decolorado sobresecado) y se puede partir en el momento de la trilla. El café sobresecado puede volver a tomar su humedad si se almacena en condiciones atmosféricas que propicien su humedecimiento (sólo para el café que ha sido secado a temperaturas inferiores a 50 grados centígrados, en caso contrario el café se blanqueará ó se veteará).

En cuanto al empaque, en Colombia se utilizan para el almacenamiento, costales de fique de 40 kilos de capacidad en pergamino, el destare a nivel de compras es generalmente de 600 gramos. Entre más seco se deje el café en el momento del secado, éste ocupa mayor volumen (debido a que tiene una densidad aparente menor) por tanto hay más dificultad de arrumar los sacos y hay una menor capacidad en el transporte, debido a que caben menos sacos en el camión. En las diferentes evaluaciones realizadas por ALMACAFE y el LIQC, sobre el empaque de fique, se ha demostrado que éste ayuda a conservar las propiedades organolépticas del café y permite hacer los arrumes con mayor facilidad.

**PARA UN BUEN ALMACENAMIENTO SE DEBEN TENER EN CUENTA LAS SIGUIENTES PRECAUSIONES**

- colocar el café sobre estibas. Esto evita que absorba humedad procedente de los pisos.

- alejar el café de las paredes. Esto evita el intercambio de humedad con este material.
- almacenar café seco y limpio. Las pasillas se deben almacenar en sitios diferentes, ya que éstas son más apetecidas por los insectos y los hongos.
- almacenar café lejos de otros productos tales como el cacao y lejos de abonos, insecticidas y fertilizantes. No empacar el café en paquetes con vestigios de estos productos.
- proteger el café de las lluvias
- En el caso de obtener un café sobresecado es posible que tome humedad, almacenándolo en condiciones del aire para un humedecimiento. No se debe tratar se humedecer con agua el café ya que aparecería la mancha de agua ó el grano veteado.
- secar a temperaturas inferiores a 50°C en el caso de café comercial, e inferiores a 40°C en el caso de semillas.
- almacenar el café entre el 10 y el 12% de humedad.
- en el caso de almacenar café húmedo (con humedad superior al 12%) para que se siga secando con las condiciones ambientales, se deben hacer arrumes pequeños y permitir una buena ventilación.
- en el caso de presentarse infestación por gorgojos ó por broca, se debe consultar al técnico de la Federación para darle un manejo adecuado.

## **FORMAS DE MANIFESTARSE EL DETERIORO EN EL ALMACENAMIENTO**

Cuando el café se está envejeciendo, el pergamino comienza a tomar una coloración amarillo oscura, la cutícula (película plateada) comienza a presentar un color marrón y la almendra se va decolorando hasta llegar a presentarse el color carmelita (café reposado). además se va perdiendo el olor característico tanto en pergamino como en almendra. En la prueba de taza se va perdiendo la acidez con el tiempo y hay un aumento del cuerpo (presencia de sólidos solubles en la infusión), y el aroma se va haciendo menos pronunciado.

El grano pelado (trillado) se deteriora más rápidamente que el café

pergamino, debido a que carece de dos elementos protectores como son el pergamino y la cutícula, debido a esto, se ha establecido un porcentaje máximo del 2% de grano pelado en el café tipo Federación. El uso de temperaturas altas de secado en capa estática propician el resquebrajamiento del pergamino (café arrebatado), por tanto se deben evitar.

En el caso de las semillas, se va presentando una reducción en la viabilidad con el tiempo de almacenamiento, la cual es más acentuada entre más alta sea la temperatura de almacenamiento.

No se debe almacenar semillas con contenidos de humedad inferiores al 10% b.h.

Cuando se almacena café cristalizado en condiciones húmedas se presenta el grano blanqueado. Al almacenar café en condiciones húmedas, se pueden presentar olores a moho, fermento, a vinagre, etc.

## 12.1 BIBLIOGRAFIA

- 1- CARVALHO, V. D. & C. HALFOUN, S. M. Quality of coffee: Influence of pre-harvest factors. Translation from portuguese by M. K. Visvesvara. The planter's chronicle. June 1987. p: 189 a 193.
- 2- CLEVES, S. R. Informe sobre almacenamiento de café. Compañía Salvadoreña del café S.A. Reproducido por la Oficina del Café de Costa Rica, Febrero 24 de 1964. Subtítulo: Condiciones que originan el blanqueo del café. Requisitos básicos de almacenamiento para prevenirlo. 7 páginas.
- 3- FERNANDEZ, A. & ALVAREZ J. Estudio del almacenamiento de la semilla de café (variedad Colombia). CENICAFE, Chinchiná (Caldas). Investigación de año sabático. Junio de 1988. 70 páginas.
- 4- GUTIERREZ, L. R.; OLIVEROS, M. DEL R. G. & CASTAÑEDA, J. V. Criterios para la conservación del café almacenado. Almacenes Generales de depósito de café - ALMACAFE - Bogotá, D. E. VOLUMEN II. 1986.
- 5- LOPEZ, A. M. Presentación de una propuesta para la climatización y enfriamiento de bodegas de zona caliente (ALMACAFE -



- BUGA). Propuesta presentada a la Gerencia General de Almacafé - Manizales. 24 p. 1988.
- 6- LOPEZ, C. I.; MORENO, E. G. & BAUTISTA, E. Influencia de los microorganismos sobre la calidad del café almacenado. Laboratorio de Investigaciones de la Química del café - LIQC Tercera reunión del grupo de control de calidades de Federacafé. Bogotá, 1985. 25 páginas.
  - 7- STIRLING, H. The effects of temperature and moisture content on the quality of parchment arabica coffee during a 12 sealed storage trial. Kenya coffee, March - 1974. p: 73-79.
  - 8- TREJOS, R. R. Determinación de la humedad relativa de equilibrio y del calor latente de vaporización del café pergamino y trillado. Tesis para optar al título de Ing. Agrícola. CENICAFE, CHINCHINA (CALDAS). 171 páginas. 1986.

### **13. MANEJO DEL AGUA EN EL PROCESO DE BENEFICIO HUMEDO DE CAFE PARA CONTROL DE LA CONTAMINACION EN ZONAS CAFETERAS**

En Colombia el proceso de beneficio del café se ha hecho tradicionalmente por vía húmeda y este es uno de los factores a los cuales se debe la excelente calidad del café colombiano; la cual es reconocida a nivel mundial.

No obstante, en este proceso tal y como se hace actualmente, se consumen grandes volúmenes de agua limpia y se contaminan cantidades equivalentes. De acuerdo al Manual del Cafetero Colombiano, se consumen 20 litros de agua limpia por Kg de c.p.s. en las labores de lavado, clasificación y un volumen igual en el despulpado y transporte hidráulico de la pulpa y el café en baba. La meta de producción para la Federación Nacional de Cafeteros en los próximos años es de 16 millones de sacos de 60 Kg. de café verde.

La situación actual en la zona cafetera, caracterizada por una deficiencia de agua para las labores de beneficio, la necesidad de procesar cada vez volúmenes mas grandes de café cereza y una conciencia y presión crecientes sobre los problemas de contaminación, hacen que tengamos que replantear desde ya el manejo del agua y los subproductos en el proceso de beneficio húmedo del café.

En relación con esta necesidad CENICAFE ha venido adelantando investigaciones, algunas de cuyos resultados se presentan a continuación. Un balance de materia y la determinación de la capacidad contaminante de los subproductos generados en el proceso de beneficio húmedo del café (PBHC), así como su distribución al entrar en contacto con el agua en el proceso, figuras 13.1 y 13.2, permiten calcular que la pulpa proveniente del despulpado en seco de un Kilogramo de café en cereza tiene una capacidad contaminante equivalente a la de 1.2 habitantes-día.

Las excretas y orinas generadas por una persona en un día equivalen a 67 gramos de Demanda Química de Oxígeno "DQO", y la "DQO" que es una medida del grado de contaminación, se define como la cantidad de oxígeno necesario para oxidar completamente la materia orgánica presente

DISTRIBUCION CONTAMINANTE DE LOS  
SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIO DEL .CAFE

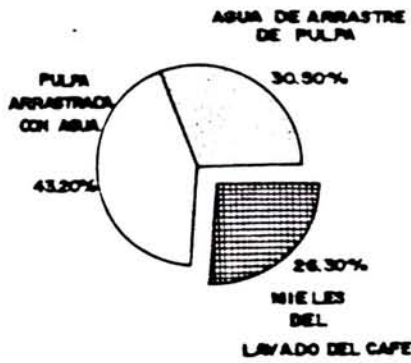


FIGURA 13-1

DISTRIBUCION EN PESO DE LOS SUBPRODUCTOS  
DEL BENEFICIO DEL CAFE

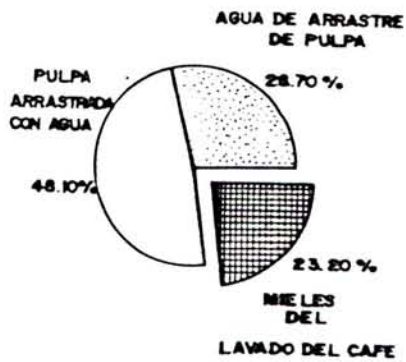


FIGURA 13-2

en una muestra. Cuando la pulpa es transportada con agua utilizando 1 litro de agua por cada kilogramo de café en cereza despulpado, la cantidad de materia orgánica que pasa al agua tiene una capacidad contaminante equivalente, aproximadamente, a 0.5 habitantes día.

Un kilogramo de café en cereza Variedad Caturra, genera en pulpa y mieles del lavado, una contaminación equivalente a la de 1.7 personas durante un día en excretas y orina, si se hechan estos residuos directamente en las quebradas.

La tabla 13.1 reúne la contaminación equivalente en habitantes por día, de los subproductos del beneficio del café cuando descargan directamente en las corrientes de agua.

Tabla 13.1. Contaminación equivalente en habitantes/día de los subproductos del beneficio húmedo de 1 kilogramo de café en cereza, cuando se descargan directamente en las corrientes de agua.

RESIDUO DEL BENEFICIO HUMEDO DESCARGADO A LAS CORRIENTES DE AGUA	EQUIVALENTE CONTAMINACION * (Habitantes/día)	CONTAMINACION %
M + AP + P	1.7	100.0
M + AP	1.0	55.6
M	0.5	26.3
P :	Pulpa arrastrada con agua.	
AP :	Agua contaminada por arrastre de pulpa.	
M :	Mieles del lavado del café.	

\* Multiplíquese estos valores por 60 para referirlos a @ cps.

Con base en los resultados obtenidos en las investigaciones y teniendo en cuenta las características del proceso de beneficio húmedo de café se pueden sacar las siguientes conclusiones y recomendaciones sobre el problema:

### 13.1. Conclusiones

- 1.- En el proceso de beneficio húmedo del café (PBHC) se generan dos subproductos: la pulpa y el mucílago; los cuales tienen una alta capacidad contaminante para las aguas utilizadas en el proceso.
- 2.- La pulpa fresca no mojada (sin ser puesta en contacto con agua), cuando no es utilizada convenientemente, pueden representar el 74% del problema de contaminación generado en el PBHC; el mucílago proveniente de la fermentación, es responsable por el 26% restante.
- 3.- Cuando el café es despulpado de manera tradicional utilizando agua y transportando la pulpa hidráulicamente, la pulpa puede perder hasta el 37.3% de su materia seca; lo cual constituye el 41% de la capacidad contaminante total de la pulpa fresca y el 30.5% de la capacidad contaminante total del proceso.
- 4.- Con base en las conclusiones 2 y 3 es lógico que el planteamiento para la solución del problema de contaminación generado en el PBHC debe involucrar un despulpado en seco, o con muy poca agua y un transporte no hidráulico de la pulpa (por gravedad, manual, mecánico, neumático, etc). En el peor de los casos, implementar sistemas de recirculación del agua para el transporte de la pulpa a las fosas o sitios de embarque.
- 5.- La concentración de la materia orgánica en las aguas residuales del lavado del café, cuando se utiliza menos de 1 litro de agua para lavar el café fermentado proveniente de un kilogramo de café en cereza, su composición química y su alto porcentaje de sólidos solubles las hacen especialmente apropiadas para ser utilizadas como sustrato en la producción de biogás por biodigestión anaeróbica con reactores de alta tasa.

### 13.2. Recomendaciones

- 1.- Con el fin de encontrar una solución técnico económica factible al problema de contaminación generado en el PBHC se hace necesario el desarrollo e implementación de sistemas de transporte de materia diferentes al hidráulico (gravedad, manual, mecánico, neumático,

etc.). La utilización de la gravedad, mediante el diseño racional de las instalaciones de beneficio, puede ser una de las alternativas más interesantes para los nuevos beneficiaderos o para las modificaciones a la infraestructura ya construida.

El transporte no hidráulico de la pulpa tiene múltiples ventajas: se ahorra más del 50% del agua necesaria para el proceso, no se producen enormes volúmenes de aguas contaminadas que es necesario almacenar y tratar, la mayoría de las veces, a muy altos costos. La pulpa contiene menos agua y conserva todos sus componentes naturales lo cual facilita su manejo y la hace un producto más apropiado para ser utilizada como materia prima en cualquier otro proceso tendiente a su valorización (producción de hongos comestibles, cultivo de lombriz roja californiana y producción de humus, fermentación aeróbica y producción de humus, producción de biogás, etc.).

2.- Para un tratamiento técnico-económico factible de las aguas residuales del lavado del café se hace necesario racionalizar el consumo de agua en esta operación; utilizando menos de 1 litro de agua para lavar café fermentado proveniente de un kilogramo de café en cereza. Lo anterior se puede lograr lavando en el tanque de fermentación y separando las cabezas de lavado para ser tratadas.

Lo anterior permite obtener volúmenes manejables de aguas residuales en el proceso, con concentraciones de materia orgánica apropiadas para ser tratadas por biodigestión anaeróbica en reactores de alta eficiencia; como los utilizados con éxito en el tratamiento de las aguas residuales de la industria alimenticia.

3.- Adaptar o desarrollar tecnología para el tratamiento de las aguas residuales del lavado del café por biodigestión anaeróbica, para la producción de biogás combustible, utilizable a nivel de finca cafetera y lodos estabilizados con propiedades fertilizantes.

## **BIBLIOGRAFIA**

### 13.3 EL MUCILAGO Y EL LAVADO DEL CAFE PERGAMINO

Diego A. Zambrano - Franco  
 Juan Diego Isaza - Hinestroza  
 Mario A. Franco - Jiménez

De estudios realizados en CENICAFE (1) se encontró que durante el proceso de beneficio húmedo del café (PBHC) variedad caturra (v.c.), si el despulpado y el transporte de la pulpa a las fosas se realiza sin agua, la contaminación potencial de los subproductos para las fuentes naturales de agua, se reduce en un 74%.

El mucílago fermentado del café maduro v.c. puede considerarse como una constante dentro del fruto ya que por cada kilogramo de café en cereza (kg cc) que llega a la tolva de recibo, se desprenden 122 ml de él que requieren de 30 g de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y constituyen el 26% de la contaminación potencial restante de los subproductos del PBHC (1).

Durante la operación del lavado del café fermentado ocurre una dilución del mucílago en un volumen de agua, que depende del consumo unitario en cada beneficiadero. En términos de DQO, la concentración final del agua residual o "miel del lavado", puede calcularse mediante la expresión:

$$DQO = 30000 / (V + 0.12)$$

donde, DQO: Demanda Química de Oxígeno (mg/l ó p.p.m)  
 V; Consumo unitario de agua en la operación del lavado (litros/Kg cc).

Dándole valores a V desde 0.5 y hasta 5.0 litros por kg cc, se obtiene la curva contenida en la figura 1, la cual permite determinar gráficamente la DQO final de las "mieles del lavado" del café, en función de los consumos unitarios de agua en la operación.

\* Investigador Científico I, Auxiliar IV de Investigación e Investigador Científico II, respectivamente. Disciplina Química Industrial. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia.

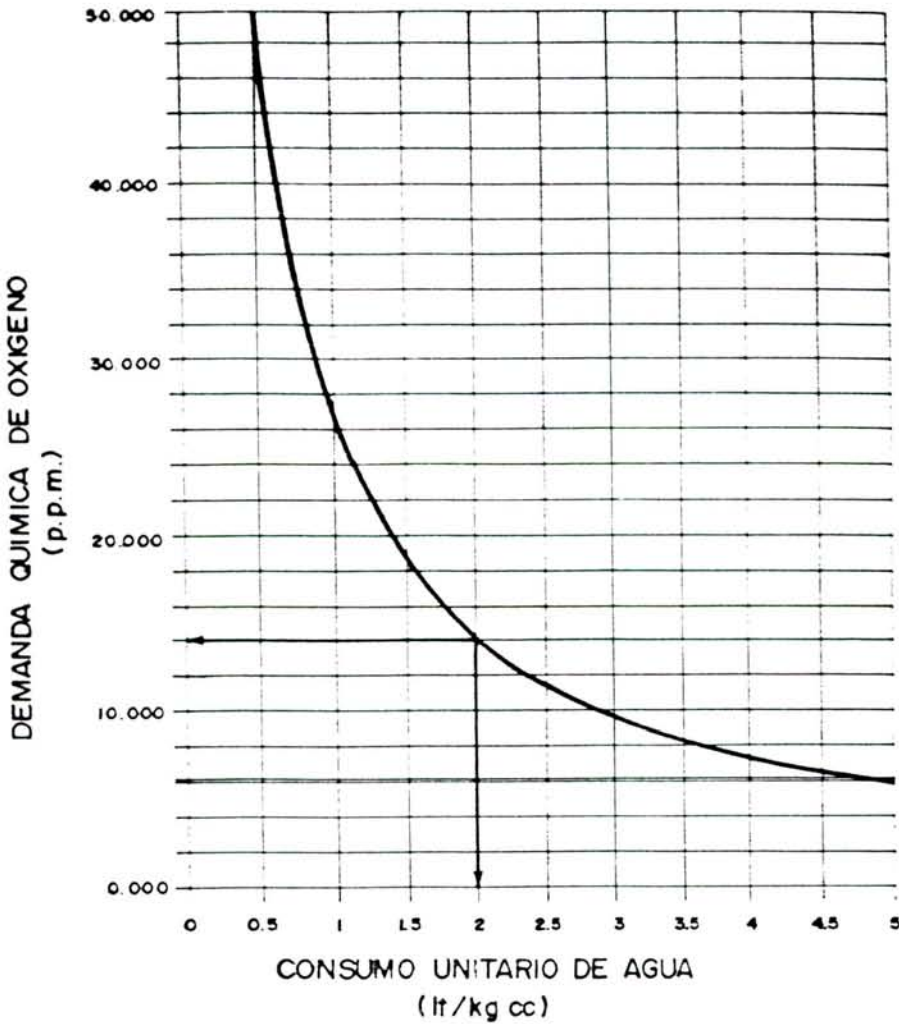


FIGURA 1. Demanda Química de Oxígeno contenida en las "mieles" efluentes del lavado del café fermentado (variedad caturra) en función del consumo unitario de agua en la operación.

Se observa por ejemplo, si por cada kilogramo de café en cereza que llega a la tolva de recibo se utilizaran 2 litros de agua para llevar el café después de la fermentación, las "mieles" que se produzcan tendrán una QDO aproximada a 14000 p.p.m.. El volumen final de este residuo sería la suma de los volúmenes de agua y de mucílago: 2.12 l/Kg cc. Cuando se reduce el consumo unitario de agua durante el lavado, la contaminación que se genera en esta operación quedará contenida en un volumen de agua más reducido, lo cual se traduce en economía de agua y de infraestructura para el almacenamiento previo al tratamiento.

Una forma económica y con buenas posibilidades de obtener altos rendimientos energéticos e el tratamiento anaeróbico de aguas residuales biodegradables, como



es el caso de las "mieles" producidas en el lavado del café fermentado, es favorecer la concentración de los residuos contaminantes haciendo un uso más racional del agua en el proceso. Un gramo de residuo contaminante puede estar contenido en un litro o en un metro cúbico de agua, no obstante es más económico para el tratamiento anaeróbico de este contaminante calentar un litro de agua que calentar un metro cúbico a la temperatura óptima del proceso (2).

La figura 2 muestra la distribución porcentual promedio del mucílago que se retiró durante el lavado de tres muestras de café fermentadas en recipientes de vidrio. Previo al despulpado realizado a mano, se seleccionaron solo granos maduros de café en cereza v.c. y la temperatura de cada masa en fermentación se controló a 36°C. El tiempo de fermentación para cada muestra fue de 18 horas, después de lo cual se lavaron cubriéndolas sucesivamente (4 veces) con agua y agitándolas, drenando los líquidos después de cada cubrimiento, hasta un consumo total de 0.72 litros de agua por kilogramo de cereza.

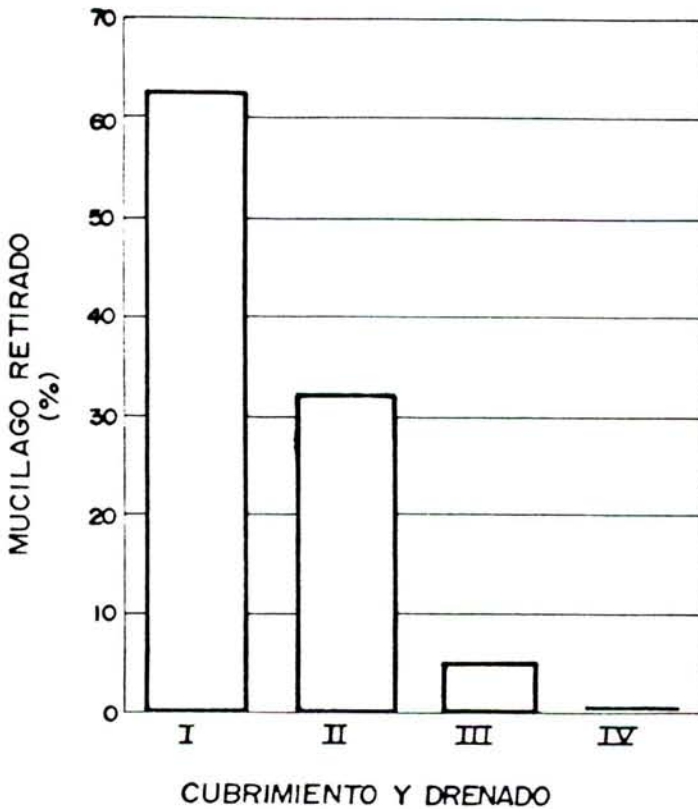


FIGURA 2. Distribución porcentual promedio del mucílago retirado en el lavado realizado sobre tres muestras de café fermentado (variedad caturra) por cubrimientos sucesivos y drenado.

Como se observa, el líquido recogido del primer cubrimiento - drenado ("cabeza de lavado") de la masa de café fermentado contiene un poco más del 60% del mucílago que es necesario retirar durante la operación de lavado y ya para el segundo cubrimiento - drenado más del 90% había sido retirado (\*).

Lo anterior lleva a pensar que cuando una masa de café presenta una fermentación completa (hasta el punto de lavado), como ocurrió en el caso de las tres muestras procesadas, la operación de lavado es más sencilla y económica de lo que se piensa. También es de esperar que los altos consumos unitarios de agua se presenten durante la clasificación del café, a menos que se recircule el agua durante la misma.

Desde el punto de vista de atacar el problema de contaminación que pueden llegar a generar los subproductos del PBHC, al disponer la "cabeza de lavado" asperjándola sobre la pulpa que ha sido llevada a las fosas sin utilizar agua, seguramente se estará solucionando más del 80% del potencial contaminante de los subproductos del PBCH, además de enriquecer en materia orgánica la pulpa que se está descomponiendo en las fosas para producir abono orgánico.

En centrales de beneficio al iniciar la operación de lavado, el uso de bombas semisumergibles para recircular en el tanque de fermentación la masa de café cubierta con agua, pueden ayudar a la obtención de las "cabezas de lavado", para facilitar la agitación de la masa en el tanque.

(\*) Es bueno mencionar que evaluaciones posteriores, utilizando fermentadores de 11 litros de capacidad y muestras de café en cereza variedad caturra con grados de madurez variados, mostraron remociones del 65.1%, 26.2%, 6.3% y 2.4% para el I, II, III y IV cubrimiento respectivamente.

#### 13.4 BIBLIOGRAFIA

1. ZULUAGA V., J.; ZAMBRANO F., D.; FRANCO J., M. El problema de las aguas residuales del proceso de beneficio humedo del café (PBHC). I.- Caracterización del problema. En prensa. Cenicafé. disciplina de Química Industrial.
2. ZAMBRANO F., D. Potencial Calórico de un sistema anaeróbico en el tratamiento de aguas residuales. En prensa. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE. Chinchiná, Colombia. 1991.

## 14. COSTOS DE BENEFICIO (1)

Los costos promedios nacionales para los beneficiaderos más caracterizados y para una condición general de los cultivos se analizan en las Tablas 14.1 a 14.7. En la Tabla 14.1 se muestra la inversión fija representada en los beneficiaderos y las unidades variables cuando ellos operan. Se tienen en cuenta las partes más importantes sin entrar en detalles particulares.

En la Tabla 14.2 se presenta la inversión fija en construcciones y equipos con la producción en arrobas de c.p.s., que se beneficia al año. Se señala igualmente la vida útil para asignar una depreciación lineal en los activos que es lo más aconsejable para una economía inflacionaria. La vida útil está dada para obras nuevas, pero como es natural en el estudio se tiene en cuenta el estado del beneficiadero según el tiempo que lleva de construido y el cuidado en la conservación.

En la Tabla 14.3 se muestra la discriminación del costo unitario de la mano de obra directa, ocupada cuando el beneficiadero está funcionando. Igualmente, a pesar de existir normas legales que regulan el mercado laboral, el sistema de contratación de la mano de obra varía de una región a otra lo mismo que la asignación salarial, por tanto los costos que se presentan deben tomarse como aproximados.

Haciendo esta misma salvedad, en la Tabla 14.4 se presenta el costo estimado del beneficio del café, siguiendo la metodología de la contabilidad de costos.

El costo fijo está representado por la cuota de depreciación asignada para los diferentes equipos, mas el costo de la financiación tomada en valor presente.

Aunque el estudio no entra en detalles de valores puntuales del beneficio en las diferentes etapas, por no ser ese su objetivo, se quiso explorar la importancia del costo por etapas del beneficio, para hacer ante todo una clasificación ordinal de los diferentes rubros. Con la información disponible se elaboró la Figura 14.1, en la cual se discriminan los porcentajes promedios a nivel nacional de los costos del beneficio por arroba de café secado en equipos mecánicos. El secado al sol se presume que es más económico pero debe ser motivado de un estudio particular.

La gráfica muestra que el gran costo del beneficio está representado por el secado en equipos mecánicos utilizando ACPM. Se tomó este combustible porque es el más representativo, fácil de manejar, sin embargo Colombia debe impulsar el uso del carbón el cual tiene grandes reservas naturales y no le representa una fuga de divisas. El secado tradicional con carbón todavía tiene algunas deficiencias que las debe resolver la investigación. También hay equipos modernos muy técnicos que utilizan carbón pero su costo inicial es muy elevado.

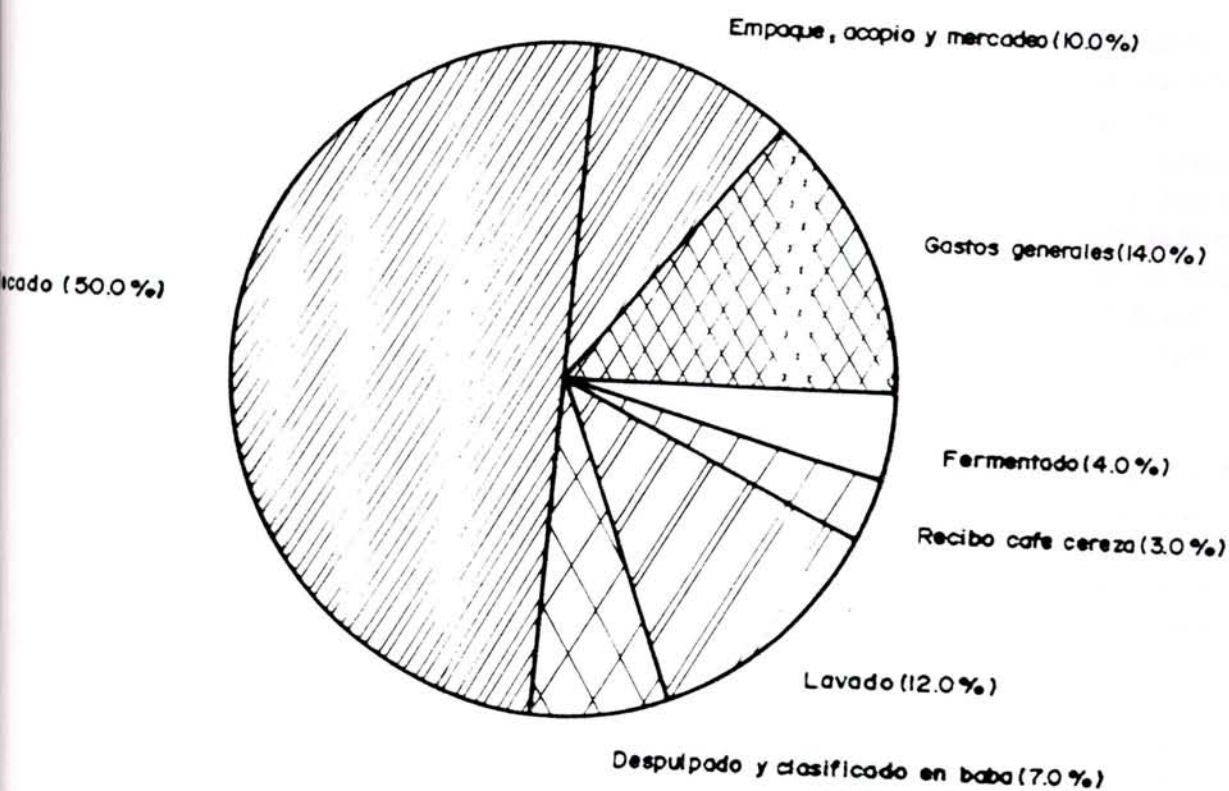


FIGURA 14-1

100% = \$ 660 de abril de 1991

Al carbón se le señalan como inconvenientes la dificultad de dosificarlo para la quema en el silo secador y la contaminación del café si no se utiliza intercambiador de calor. En este último riesgo cabe anotar que ninguna

de las muestras de café analizadas, secadas con carbón, presentó contaminación del carbón mineral y sí las hubo con ACPM, cuando se utilizó este combustible.

Otro rubro importante en el costo por ahora es el lavado. Se supuso que hasta el despulpado se realizó en seco y que toda el agua se utilizó en el lavado. Se estima que la investigación está próxima a mejorar la tecnología en esta etapa, con la posible disminución de los costos, con el desmucilaginado mecánico.

Siguiendo la metodología para la toma de decisiones económicas por medio de investigación de operaciones para el control de inversiones se elaboró la Tabla 14.5 en la cual se hace un cálculo de la financiación de los activos de un beneficiadero según su vida útil. Se tomó como ejemplo un beneficiadero para procesar 500 arrobas de c.p.s./año. Para las otras capacidades de beneficio no se presentan los cálculos, pero la metodología utilizada es la misma. El costo de la construcción de los beneficiaderos se asimiló a la reglamentación que tiene Finagro para la financiación de este tipo de construcciones en cuanto al monto, pago de intereses y plazo de la amortización.

El interés corriente o en el valor nominal se utiliza para hacer las apropiaciones para la cancelación de la deuda. Los intereses en valor presente, tomando un porcentaje de inflación promedio del 26% para el período, se utiliza para calcular el financiamiento de la inversión en valor presente. La suma de estos valores en los diferentes períodos de vida útil se asigna al costo del beneficio.

En los costos de beneficio fijo y variable (puntuales) por arroba encontrados en la Tabla 14.4 se producen las regresiones para encontrar el costo estimado del beneficio del café a nivel nacional con secado en equipos mecánicos, que se presenta en la Tabla 14.6. Las regresiones del pie de esta tabla permiten calcular el costo bien sea fijo, variable o total para cualquier capacidad de beneficio que tenga una explotación cafetera.

En la Tabla 14.7 se estiman los costos por hectárea de la industria cafetera, teniendo en cuenta la producción total de la finca y la productividad (arrobas/ha) de las explotaciones, con base en la información suministrada por la Tabla 4. La máxima productividad promedio encontrada para las fincas fue de 248 arrobas/ha. El costo fijo por arroba varía entre \$1.590 en la caficultura predominantemente tradicional y \$2.162 en la caficultura altamente tecnificada. Los costos variables por arroba están entre \$5.213 para la caficultura tradicional y

\$4.577 para la caficultura tecnificada. O sea que los costos totales por arroba van desde \$6.803 para la caficultura tradicional y \$6.739 para la caficultura tecnificada.

En el costo de la caficultura tradicional, los desembolsos reales son menores que los estipulados por cuanto algunas remuneraciones quedan en los miembros de la familia del caficultor. Como puede verse en la Tabla 14.7, en este tipo de agricultura no se paga administración sino que el propietario es un trabajador más en la finca. En la caficultura tecnificada todos los costos son desembolsos reales.

El hecho de que en la caficultura tradicional los costos fijos sean menores, le sirve de amortiguador para las épocas de crisis, generalmente esta caficultura es la que más resiste. No así la caficultura industrial que si no renta lo deseado por los propietarios, éstos más fácilmente cambian de negocio. Este fenómeno puede verse más claramente en la caficultura brasileña cuyos propietarios tienen más oportunidad de emprender otras explotaciones suplementarias como la soya, el sorgo, etc.

Como en general, los costos totales de producción por arroba de café son mas o menos similares, esto permite que los dos sistemas de explotación puedan convivir. Si se midiera la rentabilidad, por ejemplo la relación: Beneficio/Costo, no habría demasiada deferencia, lo que nuevamente nos lleva a suponer un equilibrio entre los dos sistemas de explotación. En cuanto al monto de la utilidad/ha si hay una gran variación. Mientras en la caficultura tradicional es de \$153.000 en la caficultura tecnificada sube hasta \$669.000.

La caficultura tradicional no se puede asimilar al minifundio. La presencia de la caficultura tradicional fue más notoria en las grandes explotaciones. A partir de 100 hectáreas de cafetal, la caficultura tradicional se podría afirmar que es directamente proporcional a la extensión de las haciendas. Parece que los propietarios están conformes con la utilidad que les genera ya que de todas maneras tienen asegurada la valorización de sus tierras al menos al ritmo de la inflación.

Como política nacional, los dos extremos de caficulturas: Tradicional (decrépita) y altamente tecnificada (intensiva) no son muy convenientes de que tiendan a generalizarse. La primera no responde a los volúmenes de producción requeridos para atender la demanda de los mercados, fuera de las implicaciones de tipo social como es la poca generación de empleo y la menor redistribución de la propiedad.

La caficultura altamente tecnificada, constituye la caficultura estratégica que responde rápidamente a los requerimientos de mayores volúmenes de producción por el aumento de la demanda. Pero este tipo de caficultura puede volverse vulnerable a la escasez de fertilizantes, a las condiciones climáticas extremas (veranos), a los fenómenos sociales como la falta de mano de obra. Este tipo de caficultura debe tener un apoyo permanente por parte de la tecnología y estar atenta a las expectativas mundiales.

El costo de producir el café pergamino seco necesario para obtener una libra americana (454 gramos) de café excelso fluctúa a nivel nacional alrededor de los US \$0.60. Este costo a nivel mundial sin ser el más alto sí se sitúa entre los países que producen el café más caro, por lo cual se debe seguir trabajando en la disminución de los costos de producción del café Colombiano.

En la Tabla 14.8 se hizo un ejercicio para obtener el costo del beneficio del café, ponderado a nivel nacional integrando los diferentes rangos de producción que tienen las fincas. El costo de \$660 por arroba de café beneficiado es teniendo en cuenta los beneficiaderos actuales con el diferente tiempo que llevan de uso. Si este costo se calcula para una obra nueva, seguramente va a ser mayor.

## 14.1

### BIBLIOGRAFIA

- (1) Chamorro, T. Gerardo E. Evaluación técnica y económica del beneficio para detectar fallas como causales de la posible presencia de defectos en el café colombiano. Tesis de Economía. Fundación Universitaria de Economía. Facultad de Economía. 1991. 160 pág.

**TABLA 14.1 Unidades físicas componentes de la inversión fija y de los costos variables en la construcción de beneficiaderos.**

Detalle	Unidad	<u>Producción arrobas c.p.s./año</u>			
		500	1.000	2.000	5.000
<b>Inversión fija:</b>					
Obra civil (beneficiadero)	m <sup>2</sup>	11	57	78	120
Despulpadoras	unidad	1#3	1#4	1#4 1/2	2#4 1/2
Zarandas	unidad	0	1 plana	1 circular	1 circular
Motor eléctrico	HP	1/2 Simens	1 Simens	1 Simens	1 Century
Contraeje	unidad	0	0	0	1
Motobomba sumergible	HP	0	1/2 HIM	1/2 Barnes	3/4 Hidromatic
Secadero de carros (sol)	m <sup>2</sup>	108	0	0	0
Silo secador de ACPM	arrobas	0	40	60	160
Tanque de agua	m <sup>3</sup>	10	15	30	75
Procesador de pulpa	m <sup>3</sup>	12	24	48	120
<b>Unidades variables:</b>					
Mano de obra directa (hora-hombre/día)	Nº	150	333	666	1.666
Horas de secado mecánico	Nº	0	500	833	938
Energía beneficio	Kw	180	750	1.500	3.750
Combustible ACPM	galones	0	500	1.000	2.500
Agua	m <sup>3</sup>	250	500	1.000	2.500



**TABLA 14.2 Inversión fija en construcciones y equipos.**  
**Miles de pesos de abril de 1991.**

Construcciones y equipos	Vida útil (años)	Producción arrobas c.p.s. / año			
		500	1.000	2.000	5.000
Obra civil (beneficiaderos)	20	432.2	2.280	3.120	4.800
Despulpadoras	20	102	120	140	280
Tanque de aguas	20	100	150	300	750
Zarandas	10	0	80	100	120
Motor eléctrico	10	35	66	66	82
Contraeje	10	0	0	0	80
Motobomba sumergible	10	0	250	260	290
Secadero de carros (sol)	10	972.8	0	0	0
Silo secador *	10	0	1.263	1.724	2.025
Procesador pulpa	5	75	150	240	720
<b>Inversión fija</b>		<b>1.716</b>	<b>4.359</b>	<b>5.950</b>	<b>9.147</b>

\* Incluye ventilador, intercambiador de calor, motor eléctrico, quemador para ACPM, eléctricos, mallas y compuertas.

accesorios

**TABLA 14.3 Costo unitario de la mano de obra directa (Pesos de abril de 1991)**

Mano de obra directa		%	%
Salario mínimo 51.720			
<b>Prestaciones sociales:</b>			
Cesantías		8.33	4.308
Prima de servicios		8.33	4.308
Seguro social		10.96	5.669
Caja de Compensación Familiar	4		
ICBF	3		
SENA	2	9.00	4.655
Vacaciones		4.17	2.157
Interés mensual de cesantía		1.00	517
Salario mensual/hombre		41.97	73.334
Horas-Hombre/mes (20 días):	180		
Costo hora/hombre			408
Costo horas extras:			
Diurnas		140	571
Nocturnas		175	714

**TABLA 14.4 Costo estimado del beneficio del café a nivel nacional. Miles de pesos de abril de 1991.**

Costos	Producción arrobas c.p.s./año			
	500	1000	2000	5000
<b>Costos fijos (CF)</b>				
Obra civil	19.44	102.60	140.40	216.00
Despulpadoras	4.59	5.40	6.30	12.60
Tanque de agua	4.50	6.75	13.50	33.75
Equipos	97.38	149.31	193.50	233.73
Procesador de pulpa	15.00	30.00	48.00	144.00
Financiación (i= 35%)*	103.11	226.23	309.33	492.24
Costo fijo	244.02	520.29	711.03	1'132.32
<b>Costos variables (CV)</b>				
Mano de obra	61.2	135.86	271.73	679.73
Gastos de funcionamiento:				
Energía beneficiadero	3.00	18.00	36.00	135.00
Combustible ACPM	0.00**	185.00	370.00	925.00
Agua	7.50	15.00	30.00	75.00
Reparación-mantenimiento	85.80	217.95	301.50	465.35
Total costo variable:	157.50	571.810	1009.23	2280.08
Costo total (CF + CV)	401.52	1'092.100	1720.26	3412.40
Costo fijo/arroba (\$)	488	520	356	226 ***
Costo variable/arroba \$	315**	572	505	456 ***
Costo beneficio/arroba \$	803**	1092	861	682

\* Suma financiamiento inversión (véase Tabla 14.5)

\*\* Secado al sol, no se tiene en cuenta para la regresión

\*\*\* Las regresiones se presentan en la Tabla 14.6

**TABLA 14.5**

**Cálculo de la financiación de los activos de un beneficiadero según su vida útil, 500 arrobas/año. (miles \$ abril 1991)**

DETALLE	VIDA UTIL 20 AÑOS			VIDA UTIL 10 AÑOS			VIDA UTIL 5 AÑOS			
	Años	Interés 35%		Interés 35%		Interés 35%				
		Saldo deuda	nominal	VP 26%	Saldo deuda	nominal	VP 26%	Saldo deuda	nominal	VP
<b>26%</b>										
Préstamo inicial	0	634.2	0	0	1006.8	0	0	75.0	0	0
	1	634.2	221.97	176.24	1006.8	352.38	279.79	75.0	26.25	20.84
	2	528.5	184.98	116.54	839.0	293.65	185.00	62.5	21.88	13.78
	3	422.8	147.98	73.99	671.2	234.92	117.46	50.0	17.50	8.75
	4	317.1	110.99	44.06	503.4	176.19	69.95	37.5	13.13	5.21
	5	211.4	73.99	23.31	335.6	117.46	37.00	25.0	8.75	3.06
	6	105.7	37.00	9.25	167.8	58.73	14.00	12.5	4.38	1.10
Suma interés valor presente				443.39			703.88			52.74
Dividido entre vida útil				•20			•10			•5
Financiamiento inversión				22.17			70.39			10.55
Cuota amortización capital 105.7				167.8			12.5			

VP = Valor presente al 26%

**TABLA 14.6 Costo estimado del beneficio del café a nivel nacional secado en equipos mecánicos.**

Producción por finca (arrobas)	Costo fijo (1)	Costo variable (2)	Costo Total (1 + 2)
3.000	294	486	780
7.000	217	432	649
11.000	184	405	589
15.000	165	388	553
19.000	151	376	527
23.000	141	366	507
27.000	133	358	491

(1) El costo fijo está dado por la regresión  
 $Y = 5.268 X^{-0.36}$   $r = - 0.93$

(2) El costo variable por:  $Y = 1.482 X^{-0.1393}$   $r = - 0.99$

(1 + 2) El costo total por:  $Y = 4.196,565 X^{-0.21}$   $r = - 0.99$

Esta regresión se utiliza para calcular el costo del beneficio en la Tabla 14.7.

**TABLA 14.7 Costos con base en la producción y productividad que tienen las fincas.**

Producción (miles de arrobas/finca) : 3 7 11 15 19 23 27  
 Productividad (arrobas/hectáreas) : 58.5 132.9 146.4 186.1 210.4 248.4 211.9

<u>Ingreso</u>	<u>Miles de pesos/ha</u>						
Venta de café (\$9.435/arroba)*	551	1253	1381	1755	1985	2343	1999
<b>Costo fijo (CF)</b>							
Depreclación cultivo	31	71	78	100	113	133	113
Depreclación construcciones **	28	64	71	90	102	120	102
Administración finca	0	73	81	103	116	137	117
Gastos financieros	28	64	71	90	102	120	102
Servicios públicos	6	15	16	20	23	27	23
Total costo fijo	93	287	317	403	456	537	457
<b>Costo variable (CV)</b>							
Recolección (\$1.875/arroba)	110	247	275	349	395	466	397
Beneficio (Tabla 14.6)	45	86	87	103	111	126	104
Mano de obra de cultivo (\$2.387/jornal)	78	128	141	179	202	239	204
Fertilizante 17-6-18-2 (\$100/kg)	47	107	118	150	169	200	171
Herramientas, empaques y otros	25	57	63	79	89	106	90
Total costo variable	305	627	684	860	966	1137	966
Costo total (CF + CV)	398	914	1001	1263	1422	1674	1423
Utilidad neta/ha	153	339	380	492	563	669	576
Costo de producción/arroba c.p.s. (\$)	6803	6877	6837	6787	6759	6739	6715
Costo producción/lb americana (Dólar a \$598.97)	0.63	0.64	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63

\* Con precio de venta en el exterior a US\$0.99/libra y dólar a \$598.97 (abril 2/91) al caficultor colombiano se le está retribuyendo aproximadamente el 80% del valor del café (una arroba da 20 libras de café excelso + inferiores).

**TABLA 14.8 Obtención del costo de beneficio ponderado por arroba de café pergamino seco a nivel nacional.**

Rango de producción por finca (miles de @)	Producción de las fincas estudiadas (miles de @)	Costo beneficio por @	Costo beneficio total (miles S)
	1	2	(1 + 2)
0.4-1	230.16	1.193	274.581
1-3	312.46	984	307.461
3-5	530.91	781	414.641
5-7	568.10	702	398.810
7-9	463.40	654	303.064
9-11	387.90	620	240.498
11-13	278.10	595	165.470
13-15	403.20	574	231.437
15-17	180.00	557	100.260
17-19	108.50	543	58.916
21-23	187.50	519	97.313
23 ó +	1,013.50	509	515.872
<b>TOTAL</b>	<b>4,882.93</b>		<b>3'224.499</b>

\* El costo de beneficio/arroba se obtiene mediante la regresión  $Y = \frac{4.196.565}{X^{0.21}}$  de la tabla 14.6 donde X = producción, toma de valores: 400, 1.00, 3.000,....., 23.000.

Costo ponderado a nivel nacional =  $\$ \frac{3.224.499}{4.889.93@}$

= \$660/arroba de c.p.s.

# APENDICE

---



Tabla A-1 DENSIDADES Y EQUIVALENCIAS APROXIMADAS ENTRE LOS DIFERENTES ESTADOS DEL CAFE, LA PULPA Y EL CISCO

DENSIDAD PRODUCTO kg/m <sup>3</sup>		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		CAFE CEREZA	CAFE EN BABA	CAFE LAVADO	CAFE SECO	CAFE PERG. SECO	CAFE ALMEN- FRESA	PULPA FRESA	PULPA MOJADA	CISCO
600	1-C.Cereza	1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.4	0.5	0.04
800	2-C.en Baba	1.7	1	0.7	0.5	0.4	0.3	0.7	0.8	0.07
650	3-C.Lavado	2.4	1.5	1	0.8	0.5	0.4	1.0	1.2	0.10
520	4-C.Seco Agua	3.1	1.9	1.3	1	0.7	0.6	1.2	1.5	0.13
380	5-C.Perg.Seco	4.5	2.7	1.9	1.5	1	0.8	1.8	2.2	0.19
680	6-C.Almendra	5.6	3.3	2.3	1.8	0.2	1	2.2	2.7	0.23
270	7-Pulpa fresca	2.5	1.5	1.0	0.8	0.6	0.5	1	1.2	0.11
420	8-Pulpa mojada	2.1	1.3	0.9	0.7	0.5	0.4	0.8	1	0.09
	9-Cisco	23.8	14.3	9.8	7.7	5.3	4.3	9.5	11.4	1

**TABLA A-2 NUMERO PROMEDIO DE GRANOS DE CAFÉ PERGAMINO EN UN KILOGRAMO**

CONTENIDO DE HUMEDAD	NUMERO DE GRANOS
52 % (café mojado)	2.400
42 % (Café seco de agua)	2.700
28 %	3.000
23 %	3.400
16 %	4.200
11 % (café seco de trilla)	4.800
11 % (semilla seleccionada)	4.650
11 % (café almendra o café verde)	5.800

**TABLA A-3 SELECCION DE LA DESPULPADORA**

TIPO	N°	FUERZA MOTRIZ	H.P.	R.P.M.	CAPACIDAD
De cilindro horizontal y capacidad normal de despulpado	2	manual	--	140	150
	3	motor eléctrico	1/2	160	350
	4	motor eléctrico	3/4	160	500
De cilindro horizontal y alta capacidad de despulpado	2 1/2	motor eléctrico	1/2	180	500
	3	motor eléctrico	3/4	180	900
	4	motor eléctrico	3/4	180	1200
De cilindro vertical	18.3 LT	motor eléctrico o a gasolina	1.5	--	--
	25.6 LT	motor eléctrico o a gasolina	3.0	250	1000
		motor eléctrico o a gasolina	1.5	--	--
		motor eléctrico o a gasolina	3.0	350	2000

NOTA : Hasta 600 arrobas de producción por año se puede utilizar máquinas manuales.

TABLA A-4 SELECCION DE ZARANDAS PARA CAFE EN BABA

NUMERO	CANTIDAD MAQUINAS	DIAMETRO ZARANDA (cm)	LONG. ZARANDA (cm)
2-1/2	1	30	55
3	1	35	55
4	1	40	70
3 ó 4	2	40	80
3 ó 4	3	45	120
3 ó 4	4	45	150

NOTA: Se recomienda instalar la zaranda circular de varillas, según sea la cantidad y el número de máquinas que se tengan en el beneficiadero.

TABLA A-5 DIMENSIONES DE LOS TANQUE DE FERMENTACION  
(día pico del 2.5%)

Producción arrobas café pergamino seco	Número	Ancho tanques (m)	Altura media (m)	Largo (m)
500	2	0.60	0.90	0.81
1000	3	0.60	0.90	1.10
2000	3	0.80	1.20	1.35
3000	3	0.80	1.20	1.83
4000	3	0.90	1.35	1.92
5000	3	1.00	1.50	1.95

NOTA : Los tanques de fermentación deben tener un desnivel del 6 al 8%, hacia la salida del café. La pendiente de los lados hacia el centro debe ser del 60%.

**TABLA A-6 DIMENSIONES DEL CANAL DE CORRETEO.**  
(Día pico del 2.5%)

Producción Arrobas	Ancho	Alto	Largo	Observación
c.p.s./año	(m)	(m)	(m)	
500	0.40	0.40	12.00	
1000	0.40	0.40	15.00	
2000	0.40	0.40	18.00	
3000	0.40	0.40	23.00	
4000	0.40	0.40	28.00	Canal semisumergido
5000	0.40	0.40	28.00	Canal semisumergido

**TABLA A-7 SISTEMA DE SECADO SEGUN LA PRODUCCION**

PRODUCCION (@ cps/año)	SECADO SOLAR* CAPACIDAD (@ cps/año)	SECADO MECANICO **		
		CAUDAL (m <sup>3</sup> /min)	PRESION (cm H <sub>2</sub> O)	H.P.
hasta 200	pasera o secador rotatorio			
de 500 a 1000	carros secadores			
de 1000 a 2000	80	80	6.2	2.0
de 2000 a 3000	120	120	6.2	3.0
de 3000 a 5000	160	160	6.2	5.0

\* Cada metro cuadrado sirve, con buenas condiciones, para secar 5 arrobas c.p.s. año

\*\* Se debe utilizar combustión indirecta (con intercambiador de calor)

**TABLA A-8 PORCENTAJES DE PERDIDA CAUSADAS POR EL SECADO EXCESIVO DEL CAFE.**

Humedad Final (%, base húmeda)	Porcentaje de Perdida de Peso por sobresecado
11.5 (valor recomendado)	0
10.0	1.7
9.5	2.2
9.0	2.8
8.5	3.3
8.0	3.8
7.5	4.3
7.0	4.8

NOTA: Por cada punto de merma en la humedad final del grano, partiendo del 11.5%, se presenta una pérdida aproximada de 1% en el peso del grano. Además, ocurre una disminución de la calidad y por consiguiente el menor precio al cual hay que venderlo particularmente ya que debe ser rechazado por sobresecado.

**TABLA A-9 DIMENSIONES DE LAS FOSAS PARA LA FERMENTACION DE LA PULPA.**

PRODUCCION ANUAL	ALTO	ANCHO	LARGO	VOLUMEN
(@ cps/año)	(m)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> )
500	2	2	3	12
600	2	2	4	16
700	2	2	4.5	18
800	2	2	5	20
900	2	2	5.5	22
1000	2	3	4	24
1200	2	3	5	30
1400	2	3	6	36
1800	2	3	7.5	45
2000	2	3	8	48
2500	2	4	8	64
3000	2	4	9.5	76
4000	2	4	12	96
6000	2	5	15	150
7000	2	5	17.5	175
8000	2	5	20	200
9000	2	5	22.5	225
10000	2	5	25	250

**TABLA A-10 CANTIDADES DE AGUA REQUERIDA PARA BENEFICIAR 1 (UN) KG DE C.P.S. CON EL SISTEMA TRADICIONAL DE BENEFICIO.**

PROCESO	CANTIDAD
	(litros)
Despulpado	5
Lavado y Transporte	15
Arrastre de pulpa	20
TOTAL	40

**TABLA A-11 BALANCE DE MASA EN EL PROCESO DEL CAFE  
(base 1000 gramos de café cereza)**

PROCESO	DISMINUCION DE MASA (gramos)	MATERIAL RESULTANTE
Despulpado	394	pulpa
Fermentación	216	mucilago
Secado	171	agua
Trillado	35	cascarilla
Torrefacción	22	agua, cafeína, volátiles
Preparación bebida	104	borra
TOTAL	942	

**TABLA A-12 PERJUICIOS CAUSADOS POR LOS SUB-PRODUCTOS DEL BENEFICIO DEL CAFE NO APROVECHADOS.**

- Las aguas provenientes del fermentado y lavado pueden ocasionar la muerte de los animales acuáticos.
- Empobrecimiento del oxígeno disuelto en el agua, que es indispensable para la vida animal y vegetal acuática.
- Favorece la presencia numerosa de microorganismos que pueden ocasionar enfermedades.
- Se producen malos olores y sabores en el ambiente
- Las aguas contaminadas corroen el hierro, acero y atacan el cemento
- Es fuente de atracción de moscas y otros insectos perjudiciales
- Hay una pérdida económica considerable
- Se contamina el agua para el consumo doméstico
- Se degrada el valor de la pulpa.
- Perjudica o inhabilita el proceso de beneficio en otras fincas.

# APÉNDICE A-13

Norma Colombiana  
Maquinaria agrícola  
Despulpadoras de café  
CDU 631.361.722

ICONTEC  
2090  
C2.71/81

## 1. OBJETO.

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales se deben someter las despulpadoras de café de cilindro horizontal.

## 2. DEFINICIONES Y NOMENCLATURA.

### 2.1 DEFINICIONES.

Para efectos de la presente norma se deben tener en cuenta las siguientes:

2.1.1 Grano mordido. Aquel que por acción de los dientes de la camisa, presenta ruptura de la almendra.

2.1.2 Grano trillado. Aquel que por acción de los dientes de la camisa, presenta pérdida de más de la mitad de su pergamino.

2.1.3 Mucílago. Sustancia gelatinosa y azucarada que cubre el pergamino del grano de café.

2.1.4 Lote. Cantidad de despulpadoras de características similares fabricadas en condiciones presumiblemente uniformes, que se somete a inspección como un conjunto unitario.

2.1.5 Muestra. Grupo de despulpadoras extraídas de un lote, que sirve para obtener la información que permita apreciar una o más características para decidir sobre el mismo o el proceso que lo produjo.

### 2.2 NOMENCLATURA

Para efectos de la presente norma se aplica la indicada a continuación, de acuerdo con las figuras 1, 2 y 3.

NUMERO	COMPONENTE
1	Tolva
2	Volante o pole
3	Engranaje del abastecedor o alimentador
4	Engranaje impulsor del abastecedor
5	Abastecedor o alimentador
6	Cilindro
7	Pechero
8	Cureñas
9	Tornillo de sujección
10	Escurridor
11	Cuñas de graduación del pechero
12	Chumaceras o tapas



13	Rodamientos o bujes
14	Camisa
15	Cuchillas de abastecimiento o alimentación
16	Cuchillas de retención

### 3. CONDICIONES GENERALES

#### 3.1 MATERIALES

3.1.1 Las partes componentes de la despulpadora se pueden fabricar de los materiales indicados en la tabla 1 o de otros materiales con propiedades mecánicas y anticorrosivas similares o superiores a éstos.

3.1.2 Los componentes fundidos deben estar libres de defectos tales como: rebabas, poros, grietas, darts, inclusiones y penetraciones.

3.1.3 Los componentes de la despulpadora deben ser de un material resistente a la corrosión o estar recubiertos adecuadamente para proporcionarles buena resistencia contra ésta.

**TABLA 1. MATERIALES.**

Componente	Material	Designación
Cilindro	Fundición gris	FG 10
	Acero al carbono	ICONTEC 1010
Cureñas o bastidor	Fundición gris	FG 10
Dispositivo de graduación	Fundición gris	FG 10
	Acero al carbono	ICONTEC 1010
Volante o polea	Fundición gris	FG 10
Ruedas Dentadas	Fundición gris	FG 10
	Acero	ICONTEC 1020
Pechero	Fundición gris	FG 10
	Cobre electrolítico	Cu E
Camisa	acero inoxidable	Tipo 430
	Duraluminio	
Tolva	Acero al carbono	ICONTEC 1010
	plástico	Polietileno de baja densidad
Escurreidor	Acero al carbono	ICONTEC 1010
	plástico	polietileno de baja densidad
Abastecedor		
Alimentador o regulador	Acero al carbono	ICONTEC 1010

Eje del cilindro	Acero al carbono	ICONTEC 1020
Cuchillas reguladoras y retenedoras	Acero al carbono	ICONTEC 1010
Tornillos	Acero	Grado 2
Tornillo prisionero del volante	Acero	Grado 5
Tacos	Madera	Comino, canelo

### 3.2 PECHERO

3.2.1 Las cuchillas del pechero deben tener un acabado fino y los filos no deben presentar melladuras.

3.2.2 La despulpadora debe tener un mecanismo de graduación que permita ajustar el pechero a la posición deseada.

### 3.3 CILINDRO Y CAMISA

3.3.1 El cilindro debe ser concéntrico con su eje.

3.3.2 La camisa debe estar asentada uniformemente sobre el cilindro, (no presentar abombamiento) y estar firmemente asegurada a este. Cuando para tal efecto se empleen tacos éstos deben ser de madera como comino o canelo.

3.3.3 Los botones de la camisa de acuerdo con el material de ésta, deberán tener las siguientes alturas:

cobre: 2.5 mm a 3 mm

acero: 2.0 mm a 3 mm

3.3.4 Si la despulpadora tiene dos o más camisas, éstas deben ser iguales y estar dispuestas de forma que sus botones estén a la misma altura.

3.3.5 El espesor mínimo de la camisa debe ser de:

0.7 mm para láminas de cobre o duraluminio

0.3 mm para láminas de acero inoxidable

### 3.4 CONSTRUCCION

3.4.1 La curva de la cara de trabajo del pechero debe ser concéntrica con la del cilindro.

3.4.2 La despulpadora debe contar con un (o dos) orificio(s) que permita(n) verificar la separación del cilindro y el pechero.

3.4.3 El espacio entre los flancos del cilindro y las cureñas debe ser tal que no permita la salida de granos de café.

3.4.4 La despulpadora debe estar provista de un volante o polea y de un mecanismo que garantice el acople segura entre el volante o polea y su eje, de manera que se evite el desplazamiento axial relativo entre estos elementos.

3.4.5 Para permitir su operación manual la despulpadora debe tener en el volante o en la polea un manubrio de mínimo 12 cm de longitud, que gire sobre su propio eje y cuya superficie de agarre sea lisa.

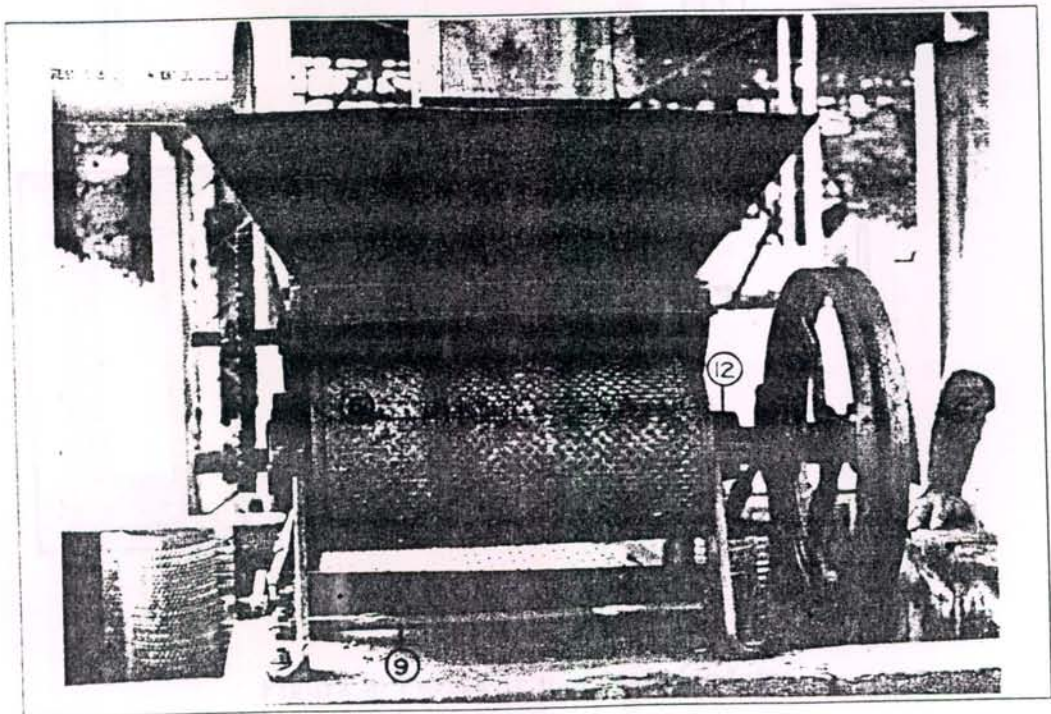
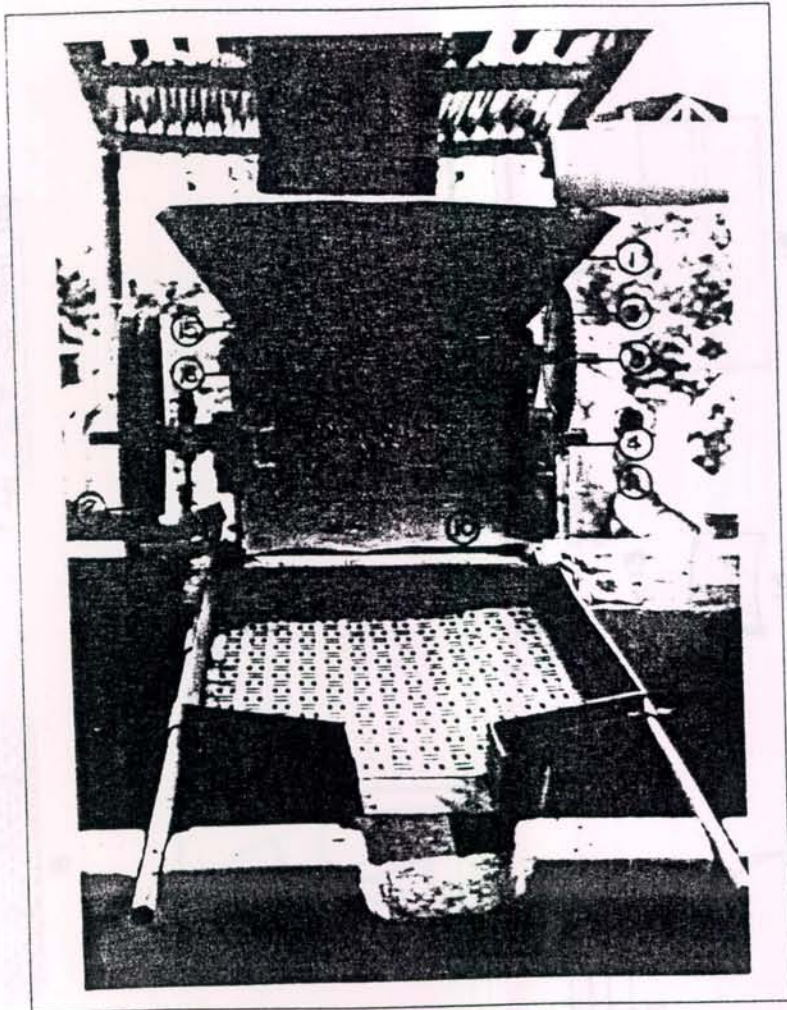


Figura 1. Componentes de una despulpadora de cilindro horizontal

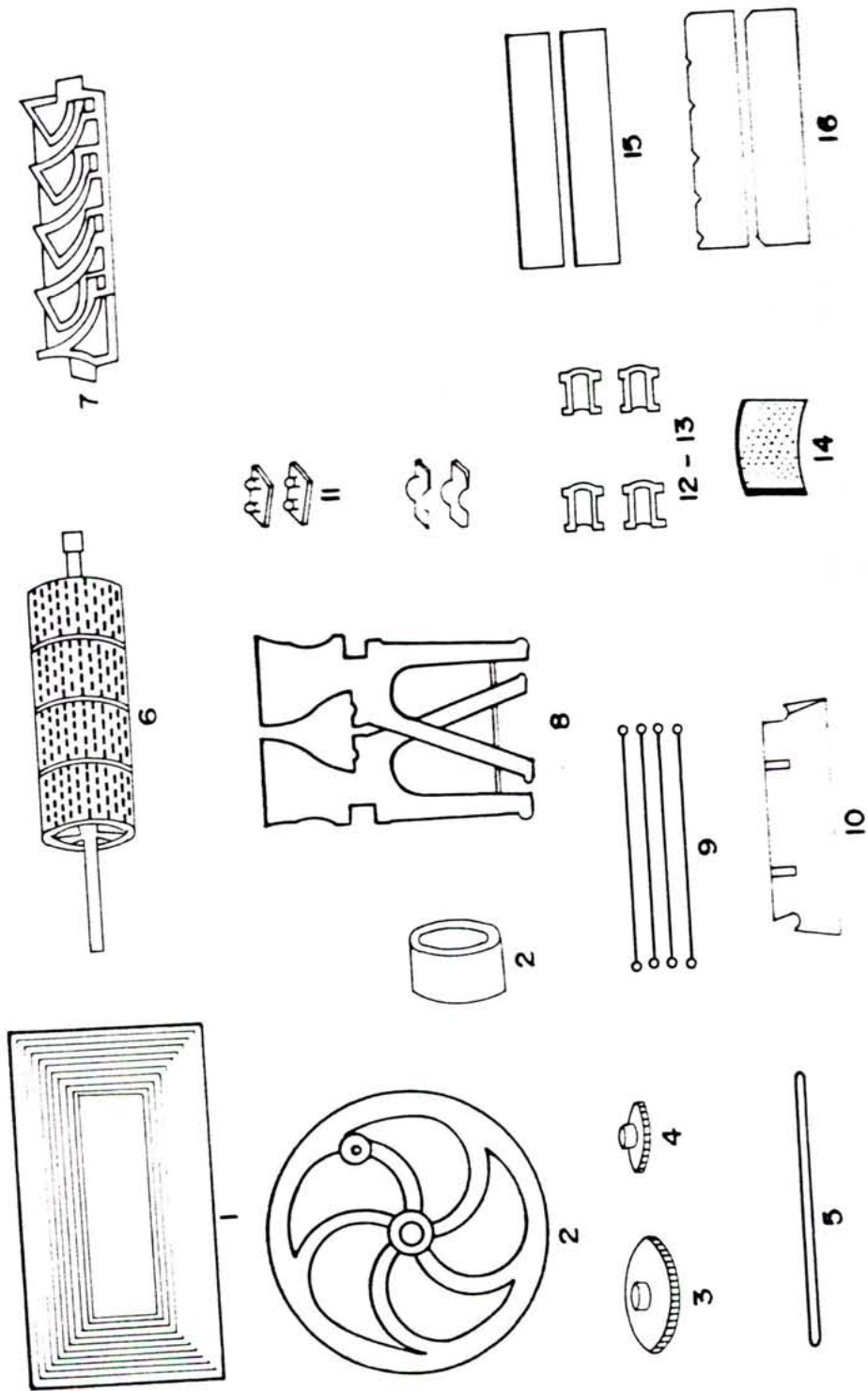


Figura 2. Partes de una despulpadora

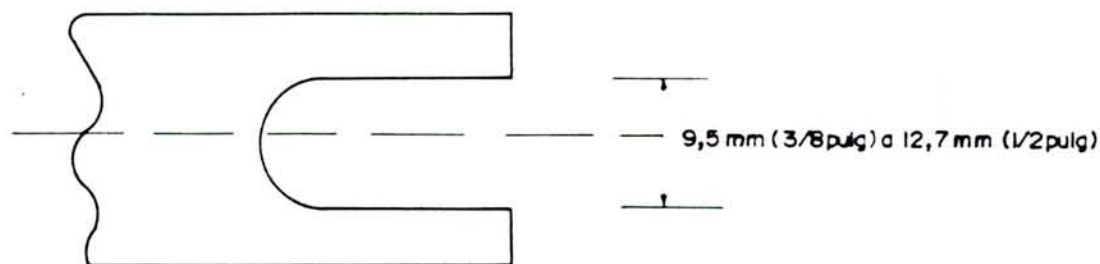
3.4.6 El sistema de fijación de la camisa al cilindro debe ser tal que permita el cambio de esta.

3.4.7 El eje del cilindro debe estar sobre rodamientos o bujes. Cuando se utilicen rodamientos, éstos deben ser sellados. Cuando se utilicen bujes, éstos deben ser de fácil lubricación.

3.4.8 El ajuste del eje del cilindro y sus rodamientos debe ser h7 k6 (ver norma ISO R 286).

3.4.9 Los orificios de anclaje deberán tener la dimensión indicada en la figura 4.

3.4.10 La tolva y el escurridor cuando sean metálicos deben estar contruidos con láminas que tengan un espesor mínimo de 1 mm (calibre 20 aproximadamente).



**Figura 4. Dimensión del Orificio de Anclaje**

#### 4 REQUISITOS

##### 4.1 CAPACIDAD DE DESPULPADO

La masa de café cereza despulpado por la máquina por unidad de tiempo, expresada en kg/h, será como mínimo la especificada por el fabricante, cuando se determine de acuerdo con lo establecido en el numeral 6.1.

##### 4.2 CONSUMO DE AGUA

La cantidad de agua (en litros) por kg de café despulpado, no será mayor de la especificada por el fabricante, cuando se determine de acuerdo con lo establecido en el numeral 6.1.

##### 4.3 CONSUMO DE POTENCIA

La potencia consumida por la despulpadora cuando ésta se someta al ensayo descrito en el numeral 6.1, no será mayor que la especificada por el fabricante.

##### 4.4 CALIDAD DEL DESPULPADO

Cuando se realice el ensayo indicado en el numeral 6.1, el café despulpado obtenido deberá cumplir con los porcentajes (en masa), indicados a continuación:

- Pulpa en el café despulpado < 2%
- Granos sin despulpar < 1%
- Granos mordidos < 0.5%
- Granos trillados < 0.5%

#### 4.5 GRANOS EN LA PULPA

El porcentaje de granos de café presentes en la pulpa no será mayor del 2%, cuando se realice el ensayo indicado en el numeral 6.1.

#### 4.6 DISPOSITIVOS PROTECTORES

Cuando la despulpadora este equipada con dispositivos que la protejan contra objetos extraños que al mezclarse con el café oponen resistencia al normal funcionamiento de la máquina, se verificará que estos dispositivos cumplan con su función de protección mediante el ensayo indicado en el numeral 6.2.

### 5 TOMA DE MUESTRAS Y RECEPCION DEL PRODUCTO

#### 5.1 MUESTREO Y CRITERIO DE ACEPTACION

5.1.1 Para la verificación del cumplimiento de las condiciones generales (capítulo 3) se debe tomar, de acuerdo con el tamaño del lote, el número de despulpadoras indicado en la columna 2 de la tabla 2. Si el número de defectuosas es menor o igual que el permitido dado en la columna 3 de dicha tabla, se considera que el lote cumple con las condiciones del capítulo 3, de lo contrario se rechazará.

5.1.2 Si el lote cumple con lo indicado en el numeral 5.1.1 se verificará el cumplimiento con los requisitos del capítulo 4, para lo cual se debe tomar, de acuerdo con el tamaño del lote, el número de despulpadoras indicado en la columna 2 de la tabla 3. Si el número de defectuosos es menor o igual al permitido dado en la columna 3 de dicha tabla, se aceptará el lote, de lo contrario se rechazará.

**TABLA 2. Plan general de muestreo para condiciones generales**

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra	Número permitido de defectuosos
1	2	3
2 - 15	3	0
16 - 50	8	1
51 - 90	13	2
91 - 150	20	3
151 - 280	32	5
281 - 500	50	7
501 - 1200	50	10
mas-1200	125	14

### 6 ENSAYOS

#### 6.1 OPERACIÓN Y CALIDAD DE DESPULPADO

##### 6.1.1 Condiciones de ensayo.

- Para la realización del ensayo se debe utilizar café cereza maduro, con mucilago, recolectado el mismo día de la prueba, que tenga un diámetro entre 10 y 12 mm.
- La despulpadora deberá ser acondicionada para el ensayo según lo especificado por el fabricante. El acondicionamiento debe incluir lo siguiente:

TABLA 3. Plan de muestreo para requisitos.

Tamaño del lote	Tamaño de la muestra	Número permitido de defectuosos
1	2	3
2 - 50	5	0
51 - 150	20	1
151 - 280	32	2
281 - 500	50	3
501 - 1200	80	5
mas de 1200	125	7

- Ajuste del pechero
- Obtención de las R.P.M. a las cuales debe funcionar la despulpadora.
- Regulación y disposición del suministro de agua.

c) Numero de ensayos. Para la evaluación de los requisitos de los numerales 4.1 a 4.5 el presente ensayo se deberá efectuar por lo menos en 20 oportunidades y el valor de cada una de las características será el promedio de los valores individuales obtenidos durante las 20 pruebas.

#### 6.1.2 Procedimiento.

a) Una vez acondicionada la máquina de acuerdo con lo indicado en el numeral 6.1.1 literal a), se deben despulpar 300 kg de café (ver numeral 6.1.1 literal b)). Durante el ensayo se debe determinar lo siguiente:

- Tiempo requerido para el despulpado, para determinar la capacidad de la máquina en kg/h.
- La cantidad de agua (en litros) consumida durante el ensayo.
- El consumo de potencia.

b) Para la evaluación de la calidad de despulpado durante el ensayo se deben tomar 5 muestras, cada una de 60 g del material que sale de la descarga de café despulpado de la máquina. Las muestras se deben recolectar periódicamente al comienzo, durante y al final del ensayo, aproximadamente cada 60 kg de café despulpado. Las muestras se deben dejar escurrir durante una hora, para proceder a determinar los porcentajes en peso de: pulpa, granos sin despulpar, granos mordidos y granos trillados presentes en los 300 g.

c) Para la determinación del porcentaje de granos en la pulpa, durante el ensayo se deben tomar 5 muestras cada una de 200 g del material que sale por la descarga de pulpa de la máquina. Las muestras se deben recolectar periódicamente, al comienzo, durante y al final del ensayo, aproximadamente cada 60 kg de café despulpado. Las muestras se deben mezclar y dejar escurrir durante una hora, luego se deben extraer los granos de café presentes para determinar la masa total de éstos y calcular el porcentaje en peso de granos existentes en los 1.000g

## 6.2 DISPOSITIVOS PROTECTORES

6.2.1 Procedimiento. Con la maquina despulpando se debe mezclar con el café a despulpar una tuerca hexagonal de 6 mm entre caras, comprobándose la efectividad del dispositivo, si el cilindro se detiene inmediatamente, la tuerca entre en contacto con el pechero y la camisa.

## 7. ROTULADO

La despulpadora deberá llevar adherida una placa en la que se indique en forma permanente y legible la siguiente información:

- 7.1 Nombre o marca registrada del fabricante.
- 7.2 Potencia requerida
- 7.3 La leyenda "Industria Colombiana" u otra que indique el país de origen.
- 7.4 Capacidad mínima de despulpado en kg/h de café cereza, indicadas las revoluciones a las cuales se alcanza dicha capacidad
- 7.5 Año de fabricación.
- 7.6 Numero de identificación comercial del fabricante

## 8 APÉNDICE

### 9.1 INDICACIONES COMPLEMENTARIAS

- Mientras no exista norma ICONTEC sobre Ajustes y tolerancias se recomienda consultar la norma ISO R 286 "ISO System of limits and fits".
- Mientras no exista norma ICONTEC sobre láminas o flejes de acero inoxidable, se recomienda consultar la norma ASTM A-176.

### 9.2 NORMAS QUE SE DEBEN CONSULTAR

- ICONTEC 243 Clasificación por composición química de aceros al carbono comunes y de corte libre.
- ICONTEC 430 Cobre. Definición de términos y clasificación de tipos
- ICONTEC 858 Tornillos, tuercas y partes similares roscadas. Requisitos generales.
- ICONTEC 370 Fundación de hierro gris. Clasificación.

### 9.3 ANTECEDENTES

- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS. Mecánica para el beneficio del café. Editorial Bedout. 1973 pp 40-51 ilus. (boletín de extensión No 47).
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS. Manual del cafetero colombiano. Editorial Andes. 1.979. pp 153-156 ilus.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS. Manual de beneficio del café. Comité deptal de cafeteros de Caldas. 1978. pp 7-25 ilus.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS. Archivo interno, sección Ingeniería Agrícola. CENICAFE. 1971- 1985.



**TABLA A. 14 CANTIDAD DE ARENA Y CEMENTO POR m<sup>3</sup>  
DE MORTERO Y RESISTENCIAS QUE SE OBTIENEN**

MEZCLA	Cemento		Arena m <sup>3</sup>	Agua Litros		Resist. a Comp	
	kilos	Sacos		Ar. seca	Ar. hum k	cm <sup>2</sup>	lb/in <sup>2</sup>
1:2	510	12.5	0.97	250	220	310	4.40
1:3	454	9.0	1.09	220	165	280	3.980
1:4	364	7.25	1.16	185	170	240	3.400
1:5	302	6.0	1.18	170	150	200	2.850
1:6	260	5.25	1.20	150	140	160	2.280
1:7	220	4.5	1.25	140	130	120	1.850

**TABLA A. 15 CANTIDAD DE ARENA CEMENTO Y BALASTO POR m<sup>3</sup> Y RESISTENCIAS QUE SE OBTIENEN**

MEZCLA	Cemento		Arena balaste		Agua Litros		Resistencia Comp	
	kilos	Sacos	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	Ar.seca	Ar.hum	k/cm <sup>2</sup>	lb/in <sup>2</sup>
1:2:2	420	8.5	0.670	0.670	180	200	230	3555
1:2:2*	380	7.5	0.800	0.760	170	190	240	3400
1:2:3	350	7.0	0.555	0.835	160	180	220	3130
1:2:3*	320	6.5	0.515	0.900	160	180	210	3000
1:2:4	300	6.0	0.475	0.950	145	170	200	2950
1:2:4*	200	5.75	0.555	0.890	145	170	190	2700
1:3:3	300	6.0	0.715	0.715	145	170	170	2400
1:3:4	260	5.25	0.825	0.835	140	165	160	2250
1:3:5	230	4.5	0.569	0.920	135	100	140	2000
1:3:6	210	4.25	0.500	1.000	130	155	120	1700
1:4:7	175	3.5	0.555	0.975	120	145	110	1350
1:4:8	160	3.25	0.555	1.025	110	140	100	1420

**TABLA A. 16 PESOS Y VOLUMENES DE MATERIALES EN OBRA**

1 Balde	3	Paladas
1 Bulto de Cemento (50 kg)	4	Baldes
1 Carretada	12	Paladas
1 Carretada	1	Bulto de Cemento
1 m <sup>3</sup> = 25 Carretadas	300	Paladas
1 m <sup>2</sup>	100	Baldados
4 m <sup>3</sup> = 100 Carretadas	1200	Paladas

1 Volquetada de 4 m<sup>3</sup> la llenan 4 paleros buenos en 30 minutos

TABLA A. 17 ALGUNOS CONSUMOS DE MATERIALES PARA CONSTRUCCION

MAMPOSTERIA		CANTIDAD DE LADRILLO, MORTERO Y MANO DE OBRERA POR m <sup>2</sup>					
CLASE DE LADRILLO	DIMENSION	ANCHO DE MURO	LADRILLO m <sup>2</sup> MURO	MORTERO m <sup>2</sup> MURO		LADRILLO = MORTERO	HORA HOMB. m <sup>2</sup>
				LITRO	m <sup>3</sup>		
TOLETE 7X12X25		0.07	30	7.00	0.007	4285	1.5
TOLETE 7X12X25		0.12	48	26.00	0.026	1846	2.4
TOLETE 7X12X25		0.25	96	58.00	0.05	1655	4.0
HUECO N.2 5X33X23		0.05	13	6.62	0.006	19.06	1.7
HUECO N.49X33X23		0.09	13	7.00	0.007	18.57	1.77
HUECO N.512X33X23		0.12	13	8.00	0.008	16.25	2.2
HUECO N.615X33X23		0.15	13	9.00	0.009	14.44	2.15
HUECO N.823X33X23		0.23	13	14.00	0.014	929	6.4
BLOQUE N.120X20X40		0.20	12	28.00	0.050	400	2.0
BLOQUE N.215X20X40		0.15	12	21.00	0.022	550	1.2
BLOQUE N.310X20X40		0.10	12	14.00	0.007	660	1.0
BLOQUE N.45X20X40		0.05	12	7.0	0.014	1090	0.9

TABLA A. 18 PESOS Y MEDIDAS DEL ACERO

Varillas Redondas			Alambres	
N°	o	kg m	N°	kg ml
2	1 4	0.25	4	0.225
3	3 8	0.56	6	0.163
4	1 2	1.00	8	0.117
5	5 8	1.55	10	0.071
6	3 4	2.24	12	0.047
7	7 8	3.04	14	0.027
8	1	3.97	16	0.017
9	1 1 8	5.05	18	0.009
10	1 1 4	6.39	Púa	0.125
11	1 3 8	7.89		

TABLA A. 19 CARGAS PORTANTES DE DIFERENTES TIPOS DE SUELOS

Materiales	Carga (kg/cm <sup>2</sup> )
Tierra vegetal mediana (apisonada)	0.5
Tierra con arena o cascajo	0.5
Gravilla terrosa	2.0
Arena fina y seca	2.0
Arcilla seca	1.5 -2.0
Gravilla. guijarros	2.0 -3.0
Arena húmeda	1.0

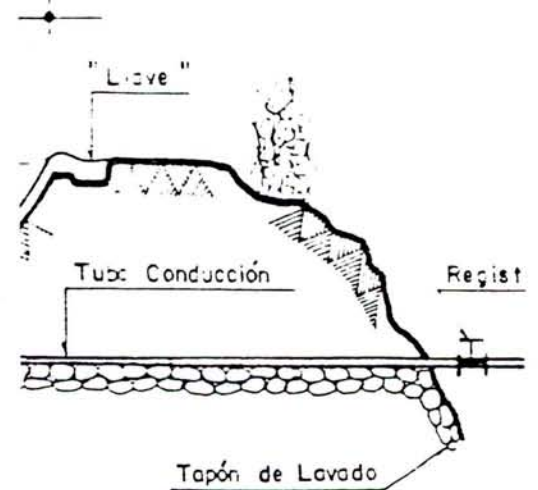
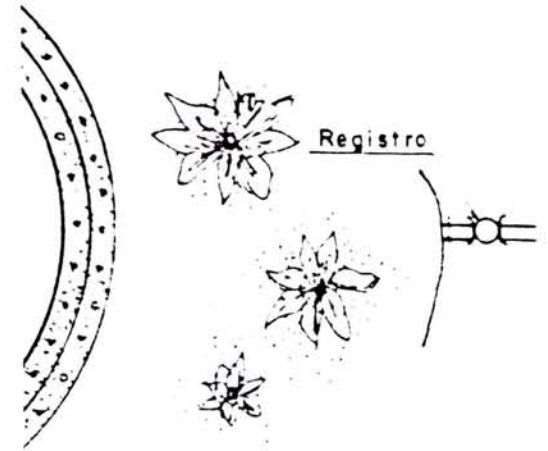
TABLA A. 20 PESO POR METRO CUBICO DE DISTINTOS MATERIALES

A) Materiales Compactos	kg/m <sup>3</sup>	C) Fábricas	kg/m <sup>3</sup>
Acero	7850	Silleria granito	2800
Aluminio	2650	" basalto	3000
Asfalto fundido	1500	" Caliza comp.	2500
Hierro fundido	7250	" Caliza porosa	2000
Hierro forjado	7800	" Mármol	2700
Hierro laminado	7900	" Arenisca	2400
Latón	8400	Mampost. pesada granito	2700
Madera Acacia	720	" arenisca-caliza	2500
" Alamo	480	ordinaria ligera	1800
" Fresno	700	Ladrillo cerámico	
" Olmo	720	" hueco	1300
" Roble	850	" poroso	1100
" Encina	900	Piedra artificial	2100
		Hormigón ordinario	2300
B) Materiales Suelos		" escorias	1200
		" pómez	1100
Arena	1600	" celular	800
Cal apagada	1400	" armado	2500
Cal viva	850	Mortero de cemento	2100
Cal en polvo	1060	Mortero de cal	1900
Carbón hulla	870	Hormigón asfáltico	
Carbón coke	450	Bloque de cemento	2000
Gravilla seca	1700	Bahareque	800
Gravilla húmeda	2000		
Tierras secas	1600		
Tierras húmedas	2100		
Yeso en terrón	1850		

RESISTENCIAS ADMISIBLES EN EL TERRENO DE CIMENTACION

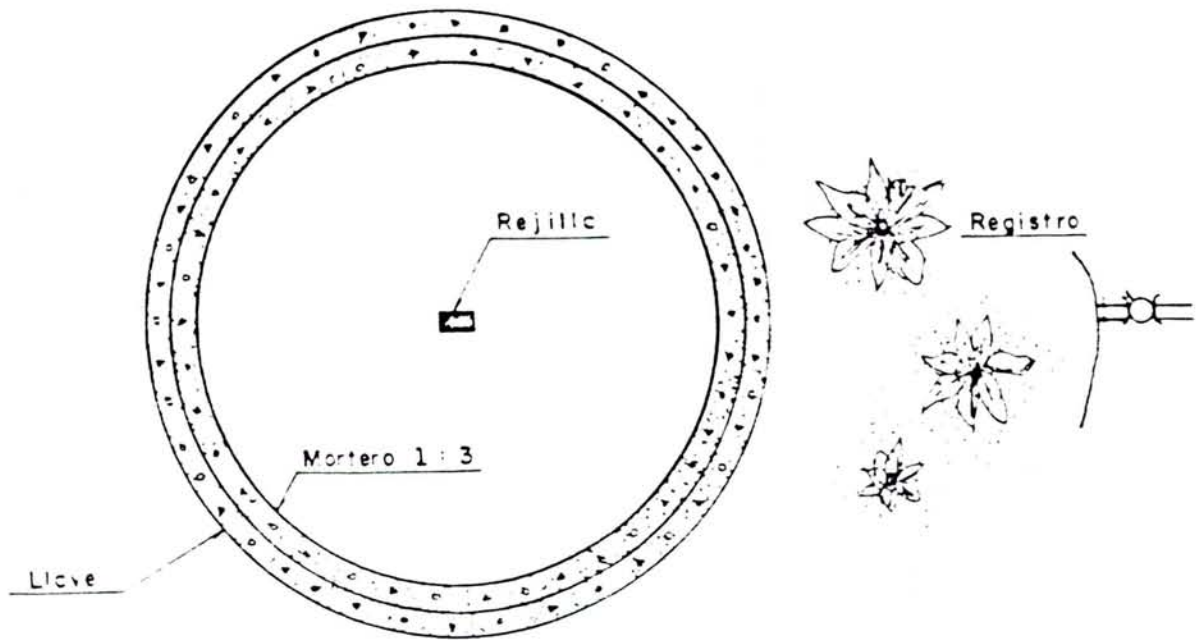
RESISTENCIAS ADMISIBLES EN EL TERRENO DE CIMENTACION					
DEL TERRENO PRESIONES ADMISIBLES EN KG./CM <sup>2</sup>					
Profundidad (m)	0.5	1	2	3	4
0	30	40	50	60	60
10	10	12	16	20	20
Presión					
-	4	5	6.3	8	
-	2.5	3.2	4	5	
-	1.6	2	2.5	3.2	
Panetes					
-	-	4	4	4	
Arillos					
-	-	2	2	2	
Alambres					
-	-	1	1	1	
Alambres					
-	-	0.5	0.5	0.5	

En general resistencia nula, se determine experimentalmente el valor de resistencia admisible.

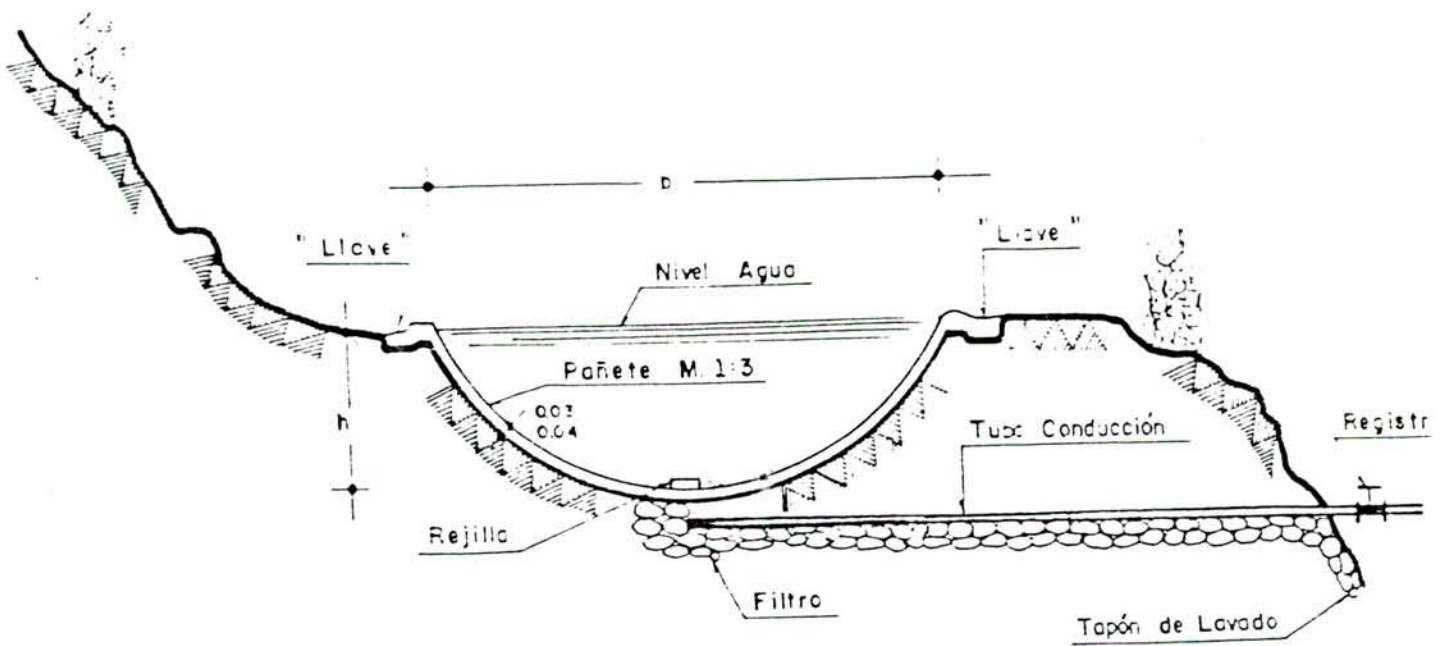


CLASIFICACION Y USOS DE LAS ARENAS

DIAMETRO	USOS
1 a 5 mm	Concreto y Mortero (cimientos)
1/2 a 1 mm	Mortero en obras de ladrillo
1/4 a 1/2 mm	Panetes y Morteros



Planta

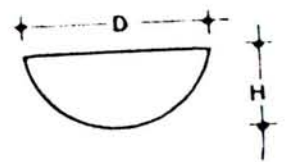


A-23. Perfil

A-24

Pag. N° 002

VOLUMEN	DIMENSIONES DEL TANQUE				MATERIALES		
	Litros	Diametro (D)	Profundidad	Radioesfera	Espesor Malla	Arena	Cemento
			( h )	( RE )	Pañete A.1.60	M <sup>3</sup>	Bultos
		M t s.	M t s.	c m s.	ML		
		0.50	0.80	3	8	.10	1
500	1.50	0.70	0.95	3	9	.15	1
1.000	1.80	0.80	1.30	3	14	.25	2
2.000	2.40	1.00	1.30	3	15	.30	2
3.000	2.50	1.10	1.70	3	18	.45	3
5.000	3.20	1.30	1.80	4	24	.75	6
8.000	3.50	1.40	2.15	4	28	.90	7
10.000	4.00	1.50	2.85	4	36	1.30	10
16.000	5.00	1.75	2.65	5	60	1.71	14
20.000	5.00	2.00	3.25	5	60	2.50	18
32.000	6.00	2.20	3.90	5	65	3.25	24
48.000	7.00	2.50	5.30	5	70	5.00	31
88.000	9.00	2.50	6.25	5	100	6.00	44
106.000	10.00						



VOLUMEN =  $\frac{H \times \pi}{6} (3r^2 + H^2)$

$RE = \frac{h^2 + r^2}{2h}$

AREA =  $\pi (H^2 + R^2) = 2h\pi RE$

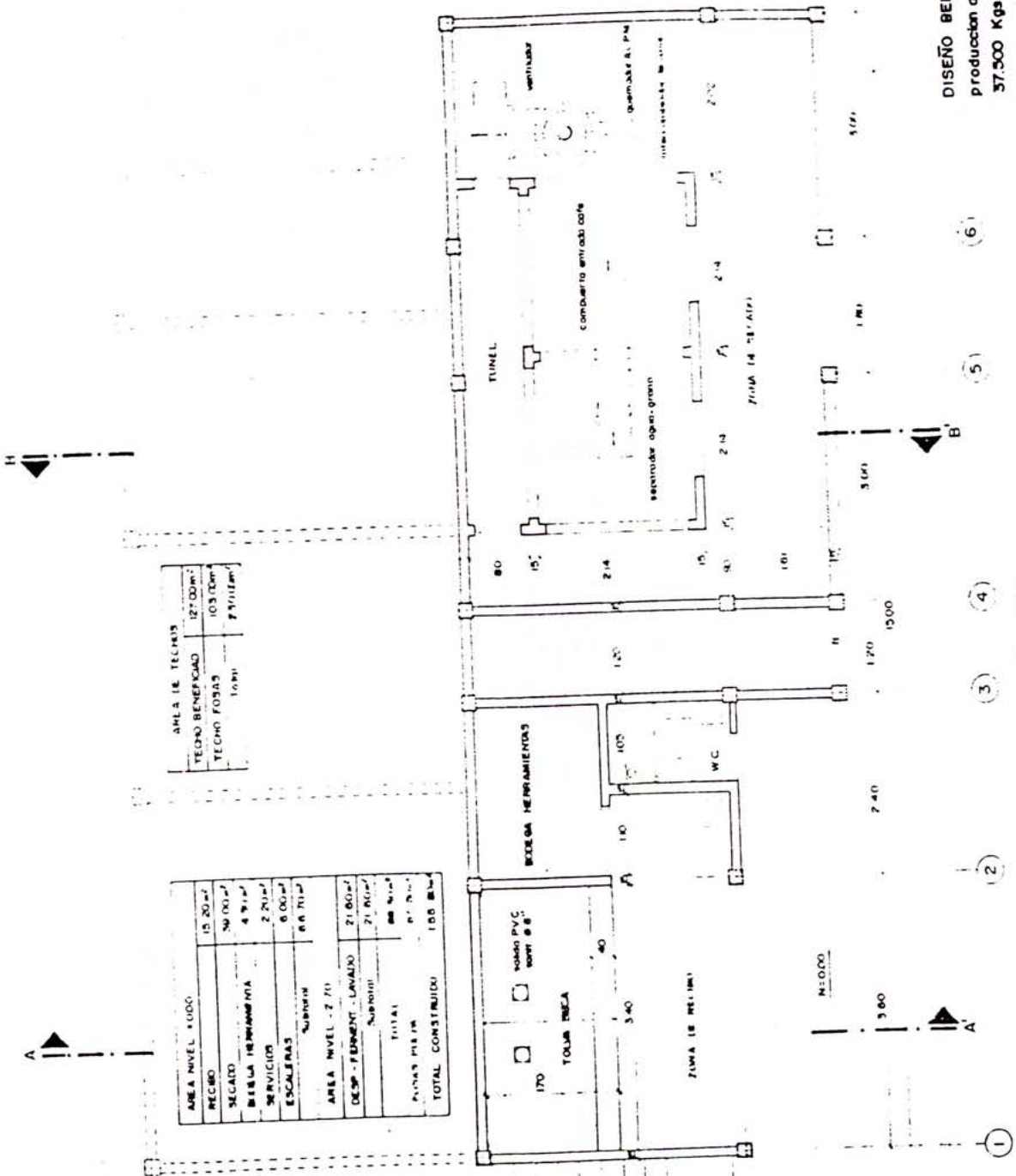
El mortero será de mezcla 1:3, impermeabilizado (1.5 Kg/bulto de cemento para SIKA-1)



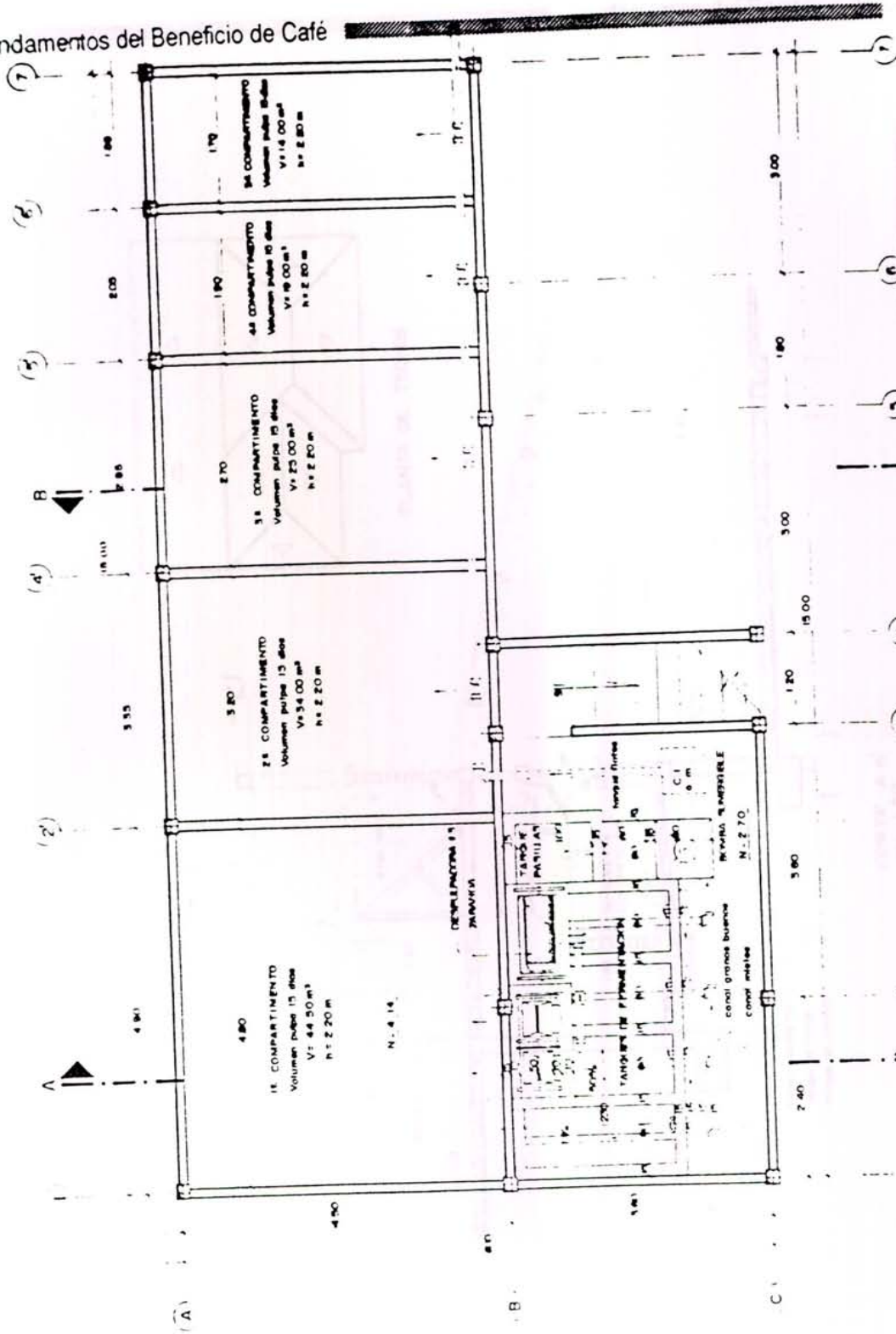
# Fundamentos del Beneficio de Café

DISEÑO BENEFICIADERO  
 producción anual de 3.000 t c.p.s.  
 37.500 Kgs día pico 2.5%

A-25

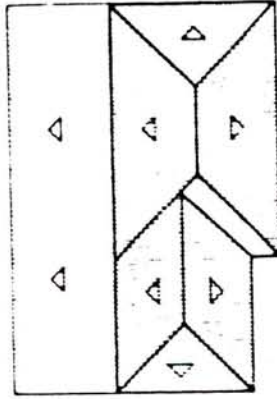


# Fundamentos del Beneficio de Café

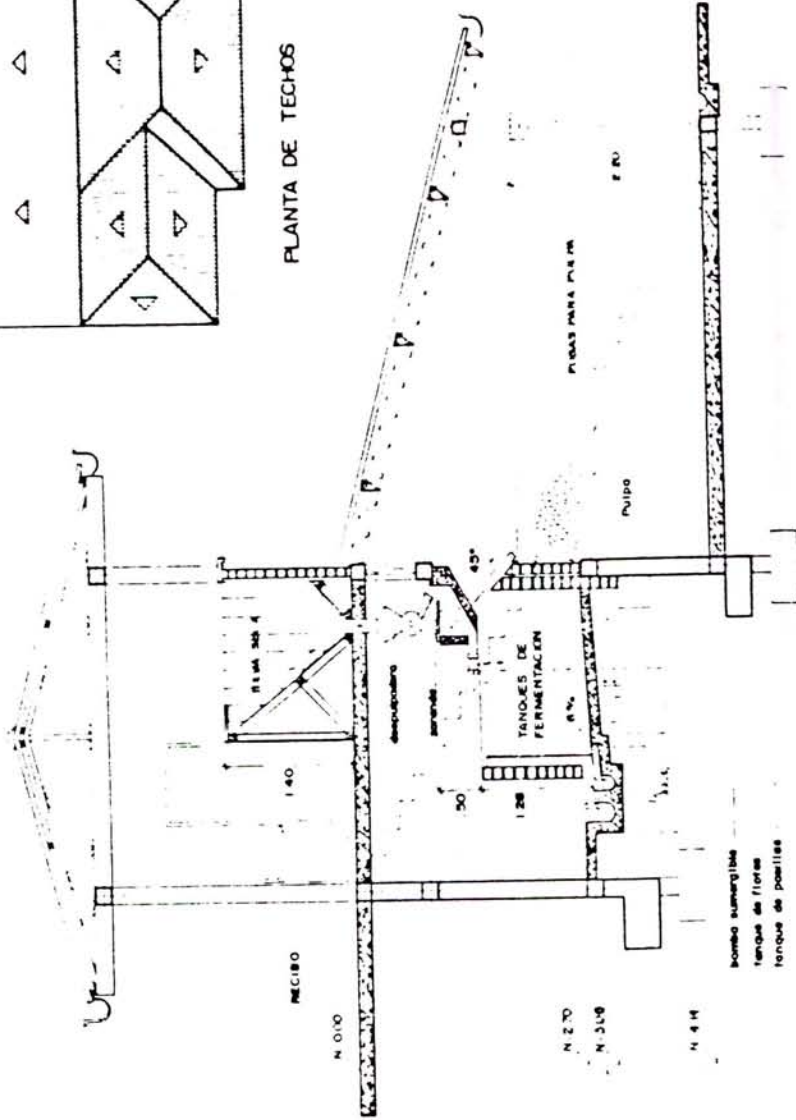


DISEÑO BENEFICIADEIRO  
 production anual de 3000 a c.p.s.  
 375.00 Kgs día pica 2 5/8  
 A-26

PLANTA NIVEL -2.70 y -4.14  
 esc 1:50  
 A. J. G.

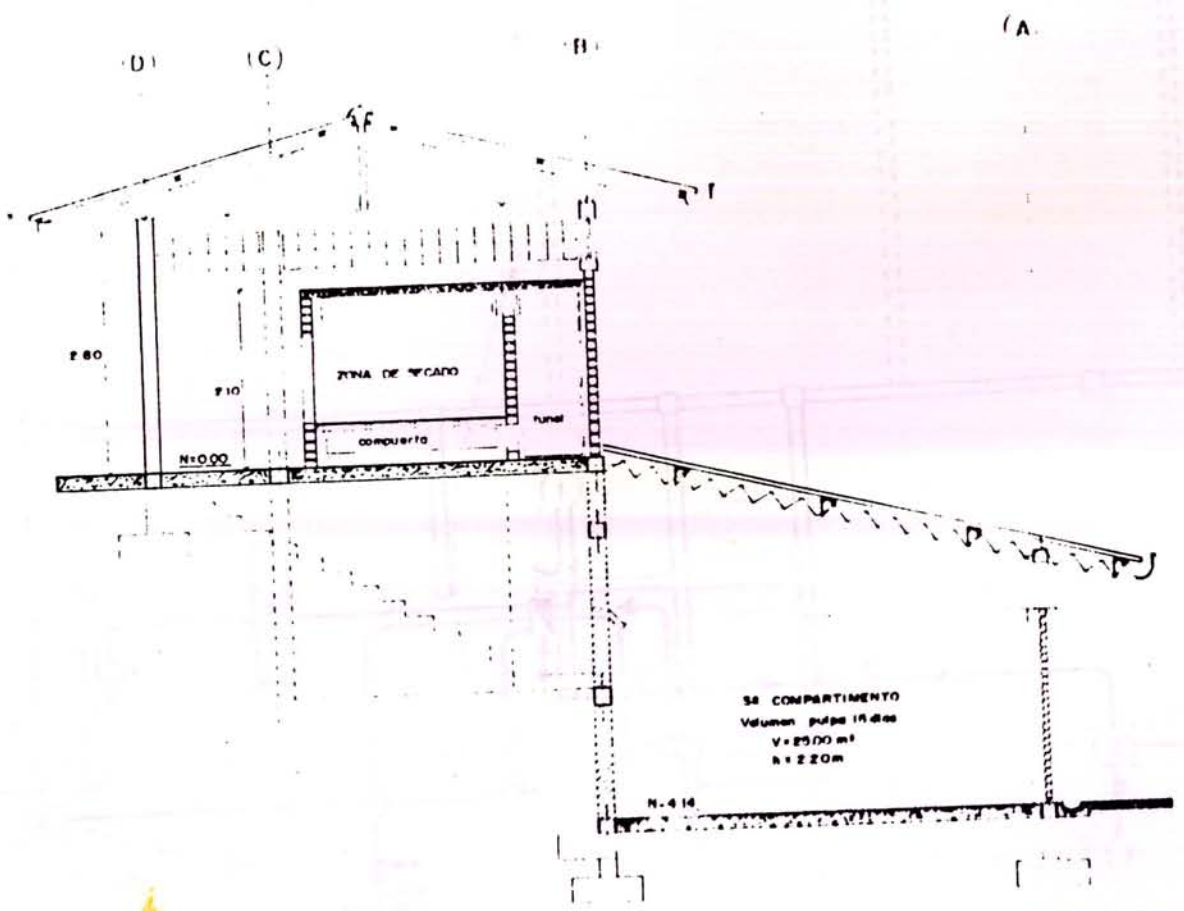


PLANTA DE TECHOS



CORTE A A'  
esc. 1:50

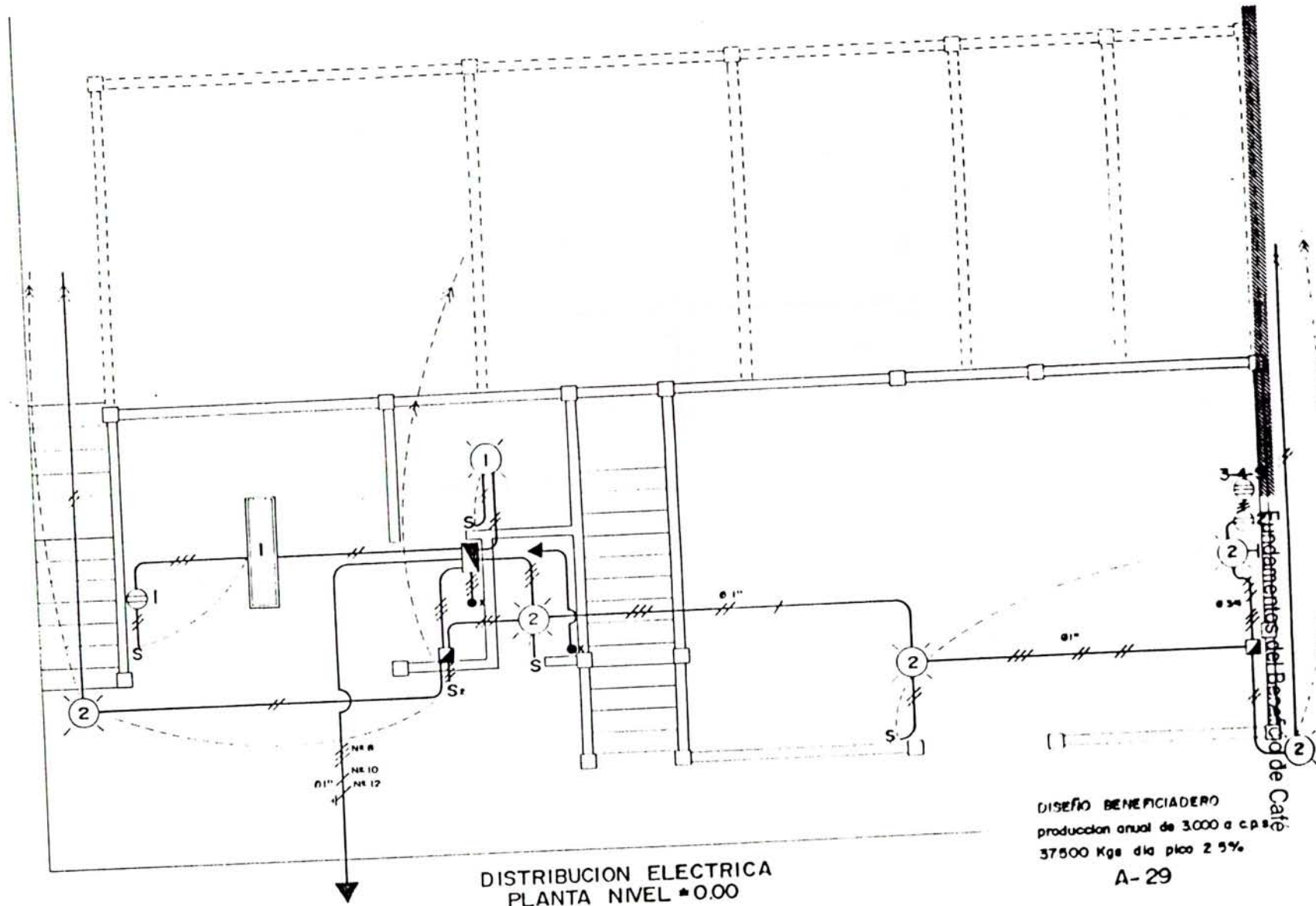
DISEÑO BENEFICIADERO  
 producción anual de 3000 t c.p.a.  
 37500 Kgs día pico 2.5%  
 A-27

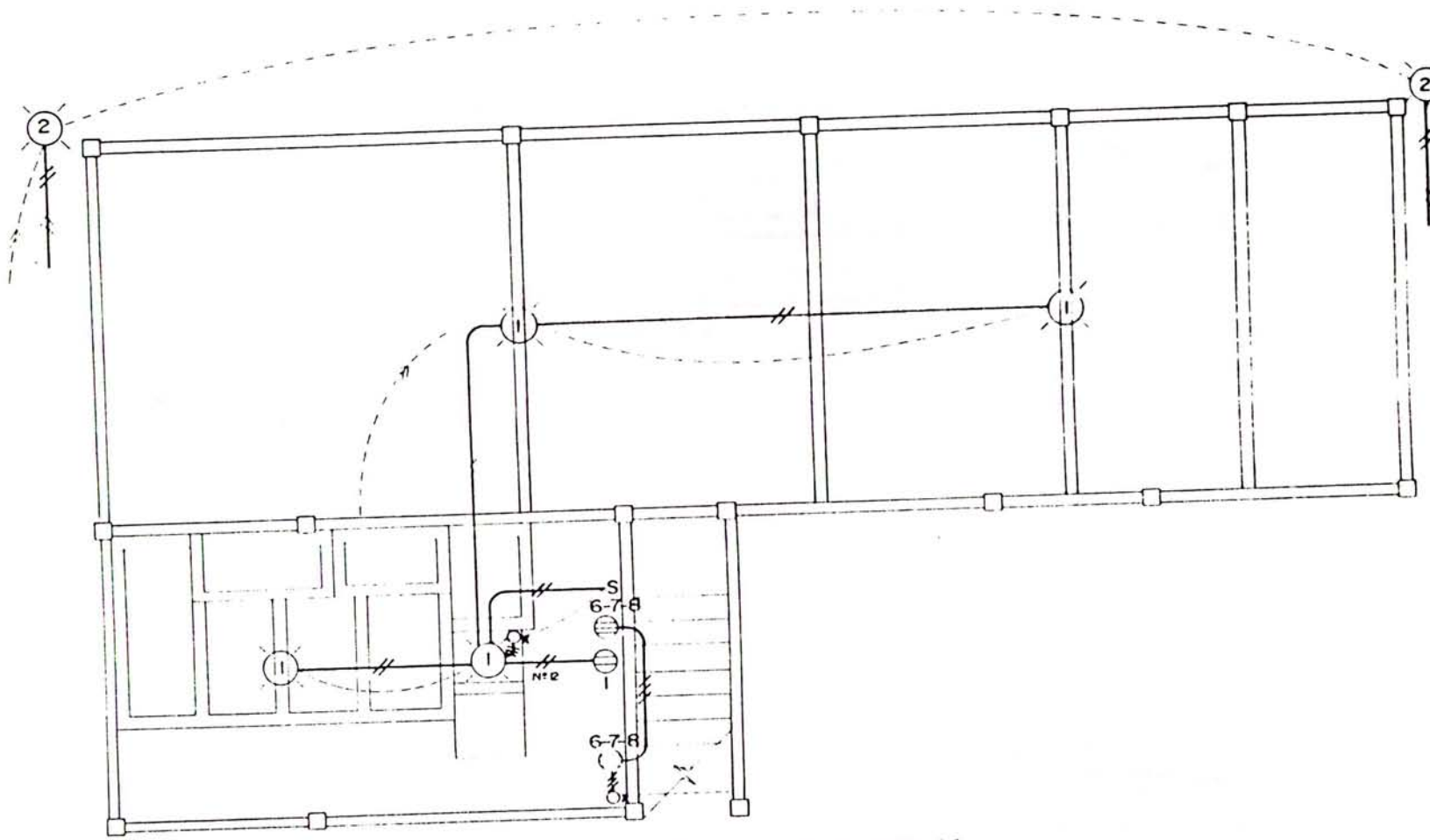


CORTE BB'  
esc. 1:50

DISEÑO BENEFICIADERO  
produccion anual de 3000 a c.p.s.  
37500 Kgs día pico 2.5%

A-28





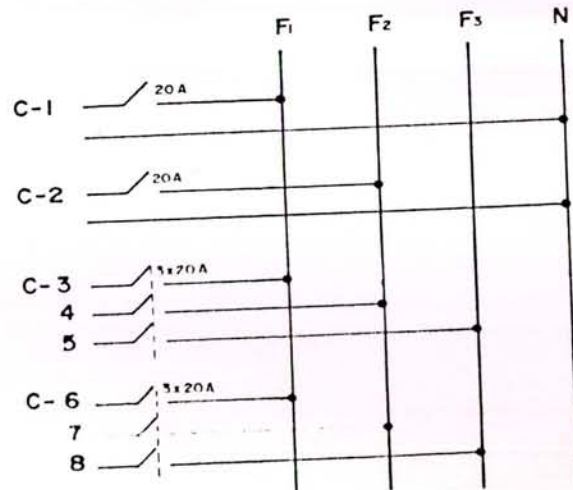
DISTRIBUCION ELECTRICA  
PLANTA NIVEL -270 y -4.14

DISEÑO BENEFICIADERO  
produccion anual de 3000 t.c.p.e  
37500 Kgs dia pico 25%




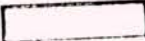



A - 30

CUADRO DE CARGAS						
C. N°	LAMPARAS		TOMAS		TOTAL VATIOS	DESCRIPCION
	100 w	OTRAS	150 w	OTRAS		
1	5	1x(2x40w)	2		880	Alumbrado y tomas generales
2	6		1		750	Alumbrado y tomas para quemador
3-4-5				1x5725w	3725	Motor de 5H para el secador
6-7-8				1x745w	745	Motor de 1HP para despulpadora zaranda
				1x745w	745	Motobomba 1 HP
Total vatios	1100	80	450	5215	6845	

### PROTECCIONES Y CONEXIONES



### CONVENCIONES

-  TABLERO GENERAL
-  LAMPARA INCANDESCENTE DE TECHO
-  LAMPARA INCANDESCENTE DE PARED
-  LAMPARA FLUORESCENTE (2x40w, etc.)
- S INTERRUPTOR SENCILLO
- S<sub>2</sub> INTERRUPTOR DOBLE
-  CAJA EMPALME
-  TOMA DOBLE
-  SALIDA TRIFASICA PARA MOTOR
- LINEA DE ACCION DE LOS INTERRUPTORES
- Ox DUCTO QUE SUBE
- x DUCTO QUE BAJA
- LINEA DE TUBERIA

### ACOMETIDA

DEMANDA: 6845 w

CORRIENTE:  $\frac{6845}{220V} = 18A$

CONDUCTOR: 3 N° 8 AWG + 1 N° 10 AWG + 1 N° 12  $\perp$

DUCTO: 1"

PROTECCION: 40 A

### NOTA

El calibre del conductor no especificado sera N° 12 AWG  
El diametro del ducto no especificado sera 1/2"

Funcionamiento del Beneficio de Café