

RAFAEL BARRANTES SEGURA  
ID: UM19138SME26986

Master in Mechanical Engineering

UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA RESIDUAL GEOTÉRMICA DEL PROYECTO  
GEOTÉRMICO MIRAVALLES PARA EL SECADO DE CEBOLLA

A Thesis proposal Presented to The Academic Department  
Of the School of Engineering in Partial Fulfilment of the Requirements  
For the Degree of **Master Scientitae in Mechanical Engineering**

ATLANTIC INTERNATIONAL UNIVERSITY  
HONOLULU, HAWAII  
SUMMER, 2012

## **DEDICATORIA**

Al Señor Dios Todopoderoso, dador de la vida, y quien nos da el tiempo sobre esta Tierra para vivirla plenamente.

## **EPÍGRAFE**

“El principio de la sabiduría  
es el temor de Jehová; los  
insensatos desprecian la  
sabiduría y la enseñanza”

Proverbios 1:7

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
EPÍGRAFE.....	iii
ÍNDICE.....	iv
TRIBUNAL EXAMINADOR.....	8
CARTA DEL FILÓLOGO.....	9
DATOS PERSONALES.....	12
CAPÍTULO I.....	13
JUSTIFICACIÓN.....	14
IMPORTANCIA DEL TEMA.....	15
OBJETIVOS.....	16
HIPÓTESIS.....	17
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	18
CAPÍTULO II.....	19
PROYECTO GEOTÉRMICO MIRAVALLS.....	20
1.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	22
ENERGÍA TÉRMICA-ENERGÍA MECÁNICA-ENERGÍA ELÉCTRICA.....	26
BALANCE DE MATERIA QUE SE EXTRAE DE LOS POZOS PRODUCTORES.....	26
1.2 EQUIPO DE PERFORACIÓN.....	30
1.2.1 INTRODUCCIÓN.....	30
1.2.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN Y SUS COMPONENTES....	32
1.2.2.1 LA TORRE O MÁSTIL.....	32
1.2.2.2 SISTEMA DE ENERGÍA.....	33

1.2.2.3 SISTEMA DE ELEVACIÓN .....	33
1.2.2.4 EL EQUIPO ROTATORIO .....	35
1.2.2.5 EL SISTEMA DE CIRCULACIÓN DEL LODO .....	36
1.2.2.6 EL EQUIPO PARA CONTROL DEL POZO .....	38
1.2.2.7 LA CUADRILLA .....	40
2. SECADO Y SECADORAS DE GRANOS.....	43
2.1 HISTORIA.....	43
2.2 HUMEDAD DE LOS GRANOS Y DEL AIRE.....	46
2.2.1 HUMEDAD EN BASE HÚMEDA Y EN BASE SECA .....	46
2.2.2 MEDICIÓN DE HUMEDAD DE LOS GRANOS.....	48
3. TIPOS DE SECADORAS DE GRANOS .....	50
3.1 SECADORAS DE FLUJO CONTINUO .....	52
3.2 SECADORAS DE FLUJO CONTRACORRIENTE.....	57
3.3 SECADORAS DE FLUJO CONCURRENTE.....	59
3.4 SECADORAS CASCADAS .....	61
3.5 SECADORAS HORIZONTALES .....	64
3.6 SECADORAS EN TANDAS Y SILOS SECADORES .....	70
3.6.1 SECADORAS EN TANDAS CON RECIRCULACIÓN .....	72
4. TIPOS DE SECADO .....	75
4.1 SECADO EN DOS PASADAS .....	75
4.2 SECADO POR RETORNO.....	77
4.3 SECADO COMBINADO .....	79
4.4 SECADO Y ENFRIADO EN SILO .....	82
4.5 SECADO SOLAR.....	84

4.5 SECADO POR MICROONDAS .....	85
4.6 SECADO NATURAL .....	86
4.7 SECADO EN TROJES .....	87
4.8 SECADO A BAJA TEMPERATURA .....	89
4.9 SECADORES DE GALPÓN .....	101
4.10 SILOS SECADORES.....	101
CAPÍTULO III .....	102
MARCO SITUACIONAL .....	103
MARCO METODOLÓGICO .....	104
CAPÍTULO IV .....	111
ANÁLISIS TÉCNICO .....	112
1. CARACTERÍSTICAS DE LA CEBOLLA.....	112
1.1 CULTIVO.....	112
1.2 VARIEDADES .....	112
1.3 COSECHA.....	113
1.4 ENFERMEDADES QUE AFECTAN A LA CEBOLLA.....	114
1.5 CURADO POR SECADO DE CEBOLLAS.....	115
1.6 FORMAS DE SECADO .....	116
1.6 CONDICIONES DEL CURADO POR SECADO DE CEBOLLAS .....	117
1.7 FACTORES IMPORTANTES QUE DEBEN CONSIDERARSE DURANTE EL CURADO-SECADO DE CEBOLLA.....	118
1.8 ALMACENAJE DE LA CEBOLLA .....	119
1.8.1 ASPECTO GENERAL.....	119
1.8.2 CONDICIONES DE ALMACENAJE .....	119

1.8.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CEBOLLA DESTINADA AL ALMACENAJE .....	120
1.9 GENERACIÓN DE CALOR PARA EL SECADO DE CEBOLLA .....	121
1.11 CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE CEBOLLA EN LA ZONA .....	124
1.12 DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA .....	126
1.13 CÁLCULOS DE INGENIERÍA ASOCIADOS AL INTERCAMBIO DE CALOR Y FLUJO DE AIRE.....	131
ANÁLISIS ECONÓMICO.....	152
CAPÍTULO V.....	153
CONCLUSIONES .....	154
RECOMENDACIONES .....	155
BIBLIOGRAFÍA .....	156
CAPÍTULO VI .....	159
ANEXO 1 .....	160
ANEXO 2 .....	161
ANEXO 3 .....	162
ANEXO 4 .....	163
ANEXO 5 .....	164

**TRIBUNAL EXAMINADOR**

---

**Dra. Miriam Garibaldi**

**Asesora Académica**

---

**Rubén Darío Cárdenas**

**Profesor tutor**

---

**Rafael Barrantes Segura**

**Estudiante**

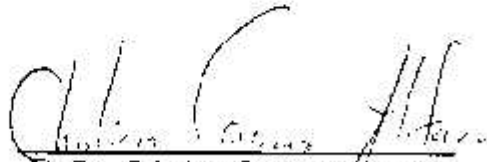


## CARTA DEL FILÓLOGO

Estimados señores:

El estudiante, Rafael Barrantes Segura, me ha presentado para revisión de estilo la tesis denominada *Utilización de la energía residual geotérmica del Proyecto Geotérmico Miravalles para el secado de la cebolla*. He revisado y corregido los aspectos referentes a la estructura gramatical, acentuación, ortografía, puntuación, vicios de dicción, que se trasladan al escrito.

Atentamente,



W. Sc. Cristian Carranza Alfaro

Filólogo

Carné del Colegio de Licenciados y  
Profesores núm. 205180807

## **DECLARACIÓN**

Yo, Rafael Barrantes Segura, cédula de identidad número 1-847-632, alumno de la Atlantic International University, declaro de manera consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy autor intelectual del proyecto de graduación con el tema “Utilización de la energía residual geotérmica del Proyecto Geotérmico Miravalles para el secado de cebolla”, para optar por el grado de Maestría en Ingeniería Mecánica.

---

Rafael Barrantes Segura  
Cédula número: 1-847-632

San José, 28 de julio, 2012

Rubén Darío Cárdenas  
**Tutor Académico**  
**Atlantic International University**  
**Presente**

Estimado Señor:

En calidad de estudiante por optar al grado de Maestría en Ingeniería Mecánica declaro por este medio que el estudio realizado cuyo título es “Utilización de la energía residual geotérmica del Proyecto Geotérmico Miravalles para el secado de cebolla” ha sido realizada por mi persona y no es producto de plagio ni copia de ninguna investigación que se haya realizado anteriormente.

Por lo tanto, declaro que la investigación ha sido producto de mi esfuerzo y dedicación.

Atentamente,

---

Rafael Barrantes Segura

## **DATOS PERSONALES**

Nombre: Rafael Barrantes Segura

Nacionalidad: Costarricense

Número de cédula: 1-847-632

ID: UM19138SME26986

Estado civil: Casado

Teléfonos: (506)8569-2987

Correo electrónico: [barring2000@yahoo.es](mailto:barring2000@yahoo.es)

Dirección: San Luis de Santo Domingo de Heredia, Costa Rica

Lugar de trabajo: Instituto Costarricense de Electricidad

Teléfono del lugar de trabajo: (506)2000-6141

Ocupación: Ingeniero

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

## JUSTIFICACIÓN

La energía geotérmica que se obtiene de la profundidad de la tierra en las faldas del Volcán Miravalles es utilizada actualmente por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) para la generación de energía eléctrica, mediante la extracción de vapor del subsuelo y su posterior conducción, para impulsar una turbina de vapor conectada a un generador eléctrico.

Como parte del proceso, se requiere devolver al subsuelo para la recuperación del yacimiento geotérmico el condensado sobrante, el cual, aunque en su fase líquida, acarrea energía calorífica que puede ser aprovechada en una actividad de conversión, para su empleo. Esta energía ni siquiera es devuelta en su totalidad al yacimiento, ya que parte se pierde por conducción-convección en el trayecto de retorno a la laguna de reinyección, mientras que el resto se pierde en la laguna previa al ingreso a la reinyección a través de un proceso similar al anterior.

La justificación del siguiente trabajo es el aprovechamiento al máximo de esta energía residual para realizar el secado de cebolla, específicamente, pudiéndose en otro proyecto similar abarcar una mayor cantidad de granos, lo cual es altamente deseable para la EARTH (Escuela Agronómica de la Región del Trópico Húmedo), sede Liberia.

## **IMPORTANCIA DEL TEMA**

Costa Rica, como un país de base meramente agrícola, y cuyo potencial en este campo se ha visto disminuido considerablemente, requiere de nuevas tecnologías que permitan aprovechar de manera eficiente y eficaz, los recursos disponibles para conseguir mejores cosechas de la manera más rápida posible. Por ello, la Escuela Agronómica de la Región del Trópico Húmedo (EARTH), en conjunto con el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en su afán de mejorar la calidad de vida del consumidor de productos agrícolas, así como, en su intención de proyectarse a la comunidad agrícola-dependiente, buscan, en común acuerdo, utilizar la energía residual del fluido proveniente de los pozos de perforación, la cual se expelle al medio ambiente, sin que genere trabajo útil. También buscan aprovechar su utilización en el secado de granos y tubérculos, iniciando su exploración con el secado de cebolla.

La importancia del proyecto radica en la mejora de calidad y eficiencia a la hora de cosechar este producto, con su repercusión favorable para las familias agrícola-dependientes en el plano económico y social del Estado costarricense.

## **OBJETIVOS**

### Objetivo general

Diseñar un sistema de aprovechamiento de la energía residual calorífica proveniente de los pozos de perforación del campo geotérmico Miravalles para el secado de cebolla

### Objetivos específicos

1. Analizar los parámetros físicos y químicos de la energía residual que acarrea el agua de reinyección para su aprovechamiento en un proceso de secado de cebolla.
2. Diseñar, de manera documental, el sistema electromecánico de aprovechamiento de energía calorífica residual proveniente de los pozos de perforación del campo geotérmico Miravalles para el secado de cebolla, mediante el uso de herramientas ingenieriles.
3. Estimar los costos del proyecto para su puesta en marcha desde el punto de vista técnico-ingenieril.



## **HIPÓTESIS**

Es posible utilizar la energía residual calorífica proveniente de los pozos de perforación del campo geotérmico Miravalles para el secado de cebolla

## **ALCANCES Y LIMITACIONES**

Debido a que el proyecto es en conjunto entre la EARTH y el ICE, y bajo la premisa de que este tipo de instituciones requieren de un proceso administrativo para la aprobación y asignación de presupuesto, posterior a su presentación, no será posible llegar a implementarlo, por lo que se limitará al diseño técnico-ingenieril y a la estimación de costos, de acuerdo con el diseño planteado.

**CAPÍTULO II**

**INVESTIGACIÓN**

**BIBLIOGRÁFICA**

## **PROYECTO GEOTÉRMICO MIRAVALLÉS**

Un proyecto geotérmico consiste en aprovechar la energía almacenada bajo la superficie de la tierra en forma de calor. Las plantas geotérmicas son una importante opción para generar electricidad sin necesidad de incurrir en los elevados costos que provocan aquellas plantas que funcionan con derivados del petróleo.

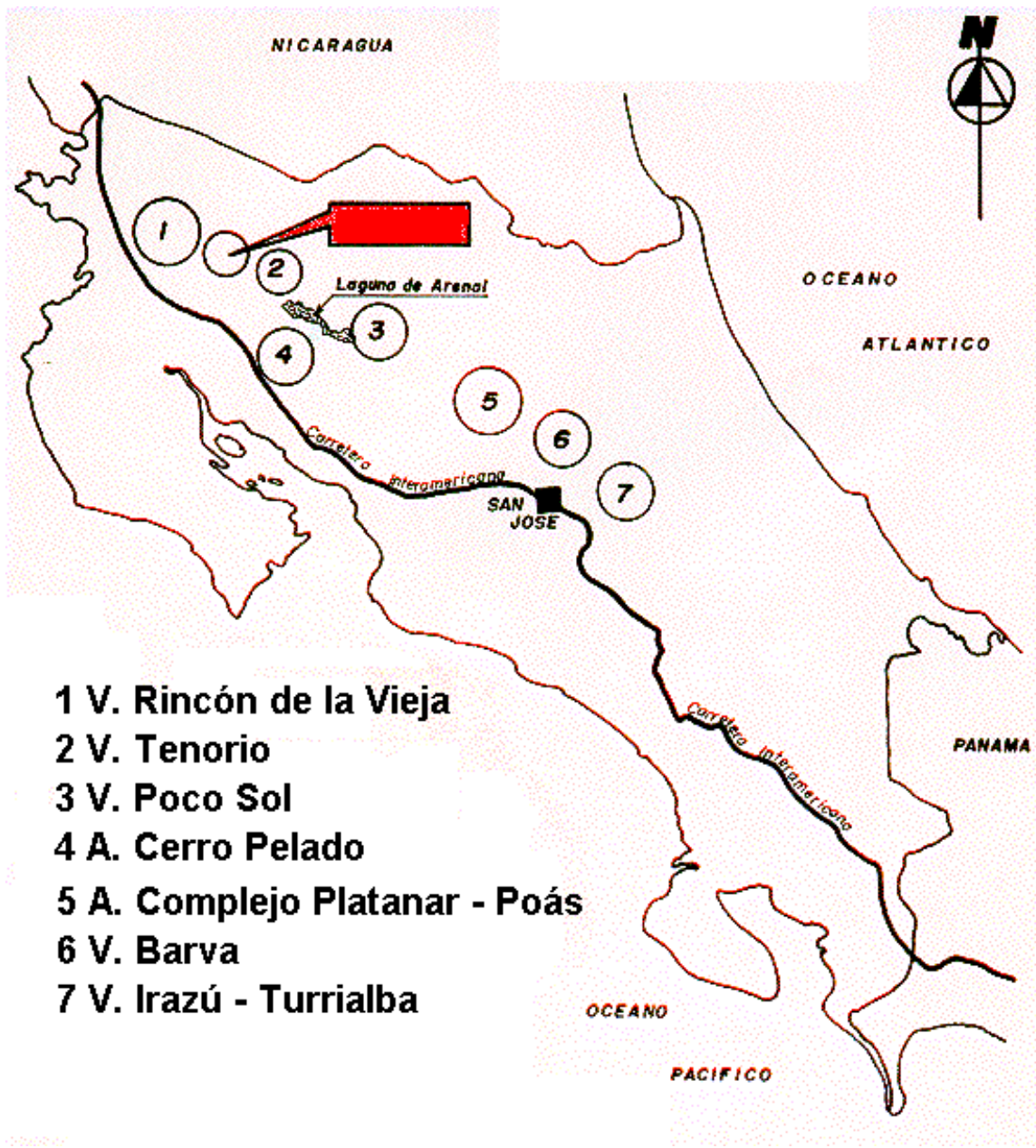
De las plantas geotérmicas se obtiene la energía de manera uniforme durante todo el año; o sea, que no es afectada por los ciclos de verano e invierno del año.

El proyecto se ubica en el triángulo de “Las Hornillas” - “La Unión” - “La Fortuna”, sobre la falda sureste del Volcán Miravalles y dentro de la jurisdicción administrativa del cantón de Bagaces, provincia de Guanacaste. (Ver figura N°1).

Este es el primer proyecto en el país donde se explota la energía térmica que se encuentra bajo la superficie de la tierra. El costo de la primera etapa “ Miravalles I ” se estima en \$180 000 000, ciento ochenta millones de dólares. La fecha de la puesta en marcha de la primera etapa es febrero de 1994.

La producción estimada de Miravalles I es de 55 megavatios y la producción instalada en la planta terminada “ Miravalles I y II “ es de 110 megavatios.

Para la producción de 55 megavatios se requiere un total de 18 pozos productores de vapor y 3 pozos reinyectores.



- 1 V. Rincón de la Vieja
- 2 V. Tenorio
- 3 V. Poco Sol
- 4 A. Cerro Pelado
- 5 A. Complejo Platanar - Poás
- 6 V. Barva
- 7 V. Irazú - Turrialba

**FIGURA N°1. Sitios probables para hallar energía geotérmica**

## 1.1 ENERGÍA GEOTÉRMICA

Por energía geotérmica se entiende el calor almacenado bajo la superficie de la tierra. Para que una zona esté en capacidad de producir energía térmica, se necesita que existan las siguientes condiciones:

1. Una fuente de calor suficientemente cercana a la superficie.
2. Una roca permeable llamada frecuentemente reservorio.
3. Una capa de roca impermeable que funcione como sello. (Ver figuras N°2 y N°3).

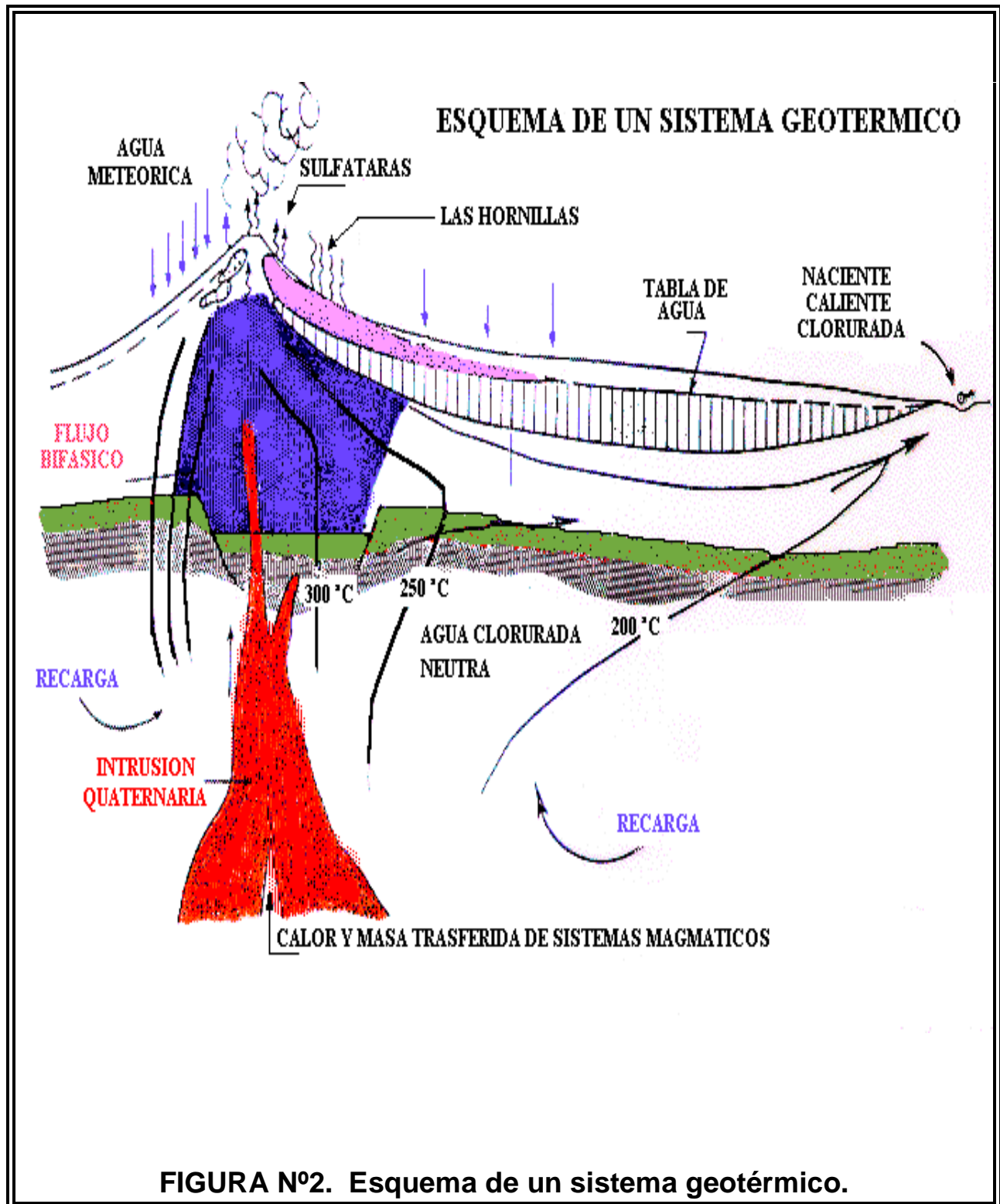
El calor necesario para la producción geotérmica es suministrado usualmente por alguna intrusión de magma (roca fundida) que se encuentra cerca de la superficie. El reservorio es un extracto de roca permeable, en el cual circulan fluidos que son capaces de transportar la energía en forma de calor. El fluido más importante, capaz de transportar la energía, es el agua la cual se encuentra en estado líquido o gaseoso, o en una mezcla de ambos.

Una capa de roca impermeable funciona como sello y evita que los fluidos calientes suban hasta la superficie.

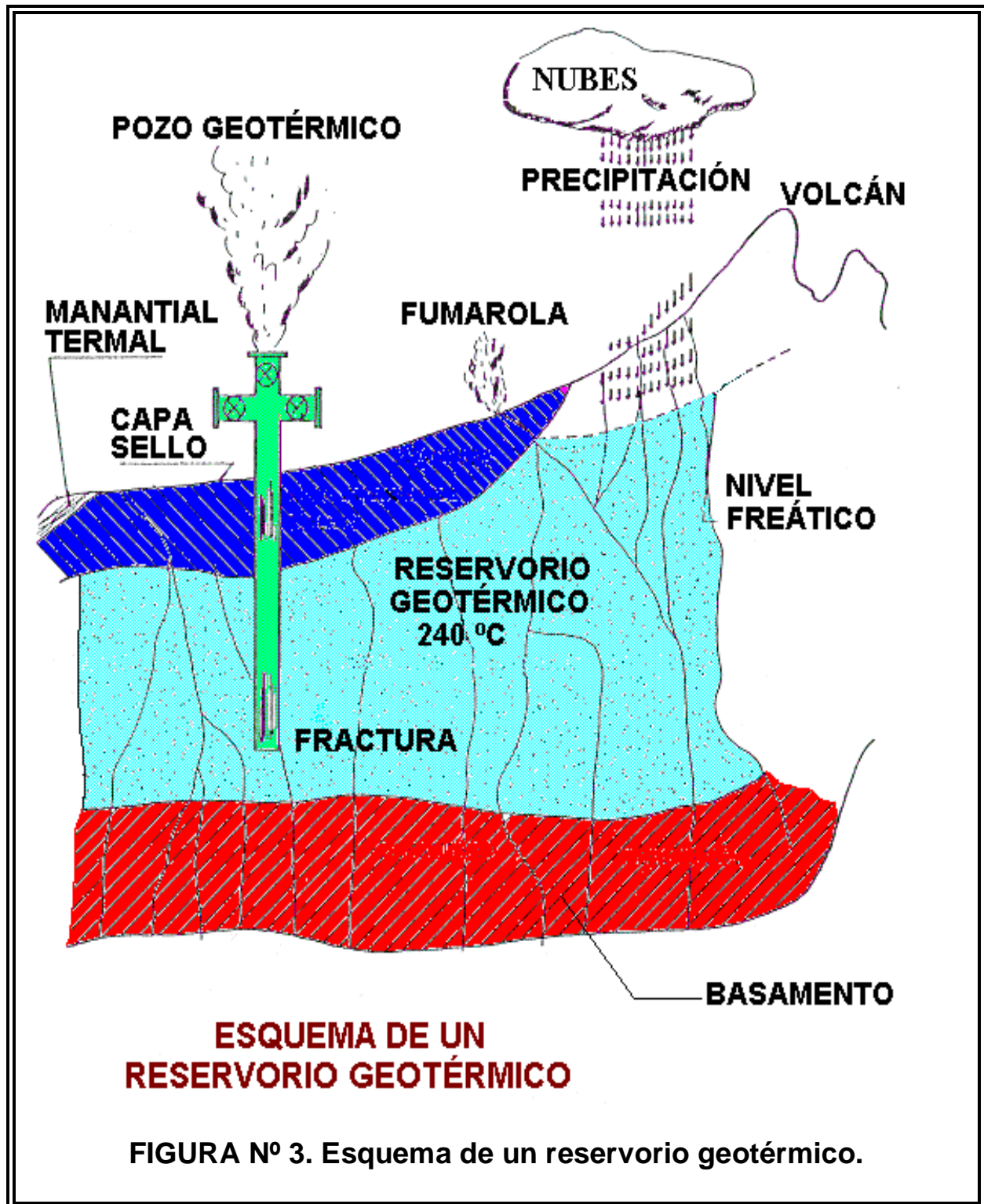
Un pozo geotérmico o pozo productor es el encargado de recolectar el agua líquida o gasificada por medio de su tubería ranurada; la mezcla de fluido caliente proveniente del reservorio luego sale del pozo hacia un separador ciclónico, el cual tiene la función de separar la fase gaseosa ( vapor de agua ) de la líquida (agua caliente).

El agua producto de la separación en el ciclónico es enviada directamente al pozo inyector, el cual devuelve al reservorio el agua en una zona adecuada para tal efecto. El resto de la mezcla (vapor de agua y gases no condensables) es conducido hacia la turbina,

lo cual provoca que ésta entre en funcionamiento. Al ponerse en rotación la turbina, transmite el movimiento al generador o alternador eléctrico, que convierte la energía mecánica de la turbina en energía eléctrica; ésta es enviada a su destino por medio de líneas de transmisión al Sistema Interconectado Nacional.







## **ENERGÍA TÉRMICA-ENERGÍA MECÁNICA-ENERGÍA ELÉCTRICA**

El tipo de este sistema de generación geotérmica instalado en el proyecto Miravalles es del tipo de agua caliente, lo cual significa que un gran volumen es agua caliente a alta presión, por lo que antes de entrar a la turbina se le baja la presión y por leyes termodinámicas se convierte un gran porcentaje de agua caliente en vapor.

Luego de que el vapor y el condensado entregan la mayor parte de su energía térmica a la turbina, la mezcla es llevada hasta la torre de enfriamiento donde se le extrae el resto del calor hasta que se tenga como resultado solamente líquido. Éste se toma una porción para reutilizarlo en la aspersion de la torre de enfriamiento, con el fin de que ayude a enfriar la mezcla que sale de la turbina. El resto del agua que no se toma para ser llevada a la torre de enfriamiento se devuelve por la tubería de retorno y se reinyecta en los pozos destinados para tal fin. (Ver figura N°4).

### **BALANCE DE MATERIA QUE SE EXTRAE DE LOS POZOS PRODUCTORES**

Para la primera etapa del Proyecto Geotérmico Miravalles se contará con una capacidad instalada de 55 MW, donde a partir de 116.5 kg/s de fluido geotérmico:

Fluido geotérmico:	13%	Vapor
	87%	Agua
Composición del vapor:	99.4%	Vapor
	0.6%	Gases no condensables
Composición de gases:	98.48%	CO <sub>2</sub> (dióxido de carbono)

0.71% SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico)

0.04% H<sub>2</sub> (hidrógeno)

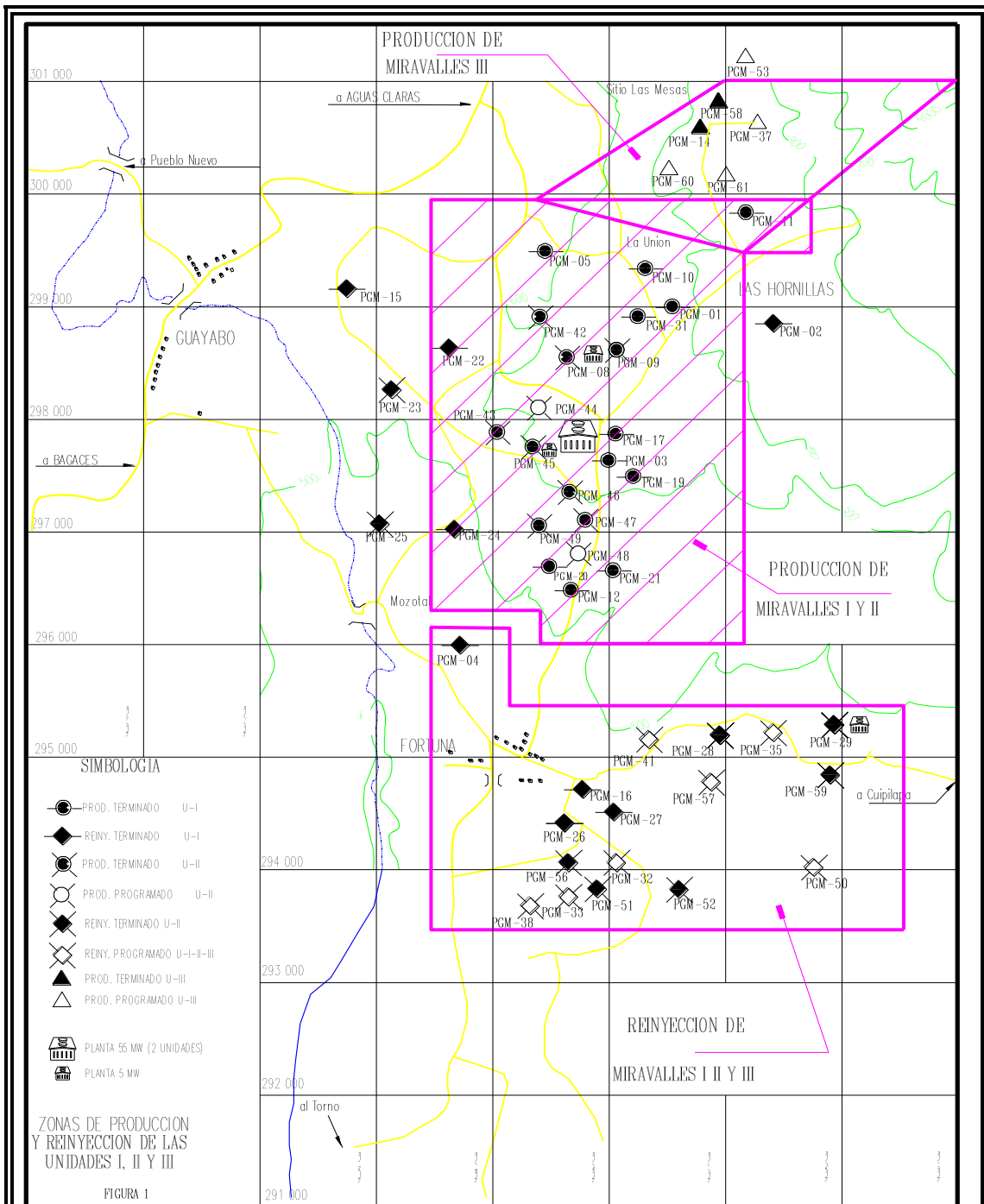
0.01% CH<sub>4</sub> (amoníaco)

0.76% N<sub>2</sub> (nitrógeno)

De esta forma, se obtiene de los pozos productores 896.2 kg/s de fluido geotérmico; luego de pasar por un separador ciclónico se producen 116.5 kg/s de vapor y 779.6 kg/s de agua a una presión de 7 Bar abs.

El vapor produce una presión sobre la turbina, la cual origina un movimiento circular mecánico en el generador.





**FIGURA N°5. Ubicación de los pozos productores y de reinyección en el campo geotérmico.**

## **1.2 EQUIPO DE PERFORACIÓN**

### **1.2.1 INTRODUCCIÓN**

Para lograr obtener el vapor con el fin de convertirlo en energía eléctrica, es necesario efectuar un proceso para su obtención. Dicho proceso es la perforación del pozo geotérmico; ese pozo es perforado con el equipo de perforación.

Se puede considerar una instalación de perforación como una fábrica o una planta manufacturera. Está diseñada para fabricar solamente un producto- el pozo geotérmico-.

Difiere de otras instalaciones manufactureras en que el equipo es móvil; o sea, debe ser trasladado continuamente. Sin embargo, este requisito de portabilidad no impone demasiadas limitaciones sobre la capacidad de una instalación para perforar. De hecho, muchas de las instalaciones grandes utilizadas hoy día han sido desarrolladas para perforar hoyos hasta profundidades de 10000 m. Estas mismas instalaciones pueden ser trasladadas varios kilómetros a una área nueva de perforación, ser ensamblados nuevamente y seguir perforando un hoyo nuevo. Lo único que se debe tener en cuenta cuando se está diseñando una instalación es que ninguno de los componentes debe ser tan grande o pesado que no pueda ser transportado por un camión.

El equipo consiste básicamente de componentes de circulación, elevación y rotación, una torre o mástil para servir de soporte y una fuente de potencia para hacer funcionar todo. (Ver figura N°6).



## **1.2.2 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO DE PERFORACIÓN Y SUS COMPONENTES**

### **1.2.2.1 LA TORRE O MÁSTIL**

Una consideración importante que hay que tomar en cuenta cuando se está comenzando una faena es la torre o mástil que se va a utilizar. Una torre o mástil es una estructura de acero que soporta muchos metros de tubería de perforación, que a menudo pesa más de 100 toneladas.

Una torre estándar es una estructura con cuatro patas de apoyo que descansan sobre una base cuadrada y se ensambla pieza a pieza cada vez que se perfora un pozo. En contraste, el mástil es ensamblado una sola vez, cuando es fabricado. Luego de su fabricación, el mástil se mantiene como una sola unidad y se eleva y se baja como una sola unidad cada vez que se perfora un pozo.

El mástil o torre se erige sobre una infraestructura que sirve de propósitos principales.

(1) Soporta el piso de la instalación, proporcionando así espacio para equipo y empleados y  
(2) provee espacio debajo del piso para enormes válvulas especiales llamadas preventores de reventones. La infraestructura no solo soporta el peso de la mesa rotatoria, sino el peso completo de la barra maestra cuando la barra está suspendida en el hoyo por las cuñas. También soporta una sarta de tubería de revestimiento, cuando la tubería se está instalando en el hoyo utilizando cuñas que van asentadas dentro de la mesa rotatoria, o cuando se está almacenando a la tubería temporalmente en la infraestructura.



Las torres y mástiles se clasifican de acuerdo con su capacidad para soportar cargas verticales y la velocidad del viento que pueda soportar de lado.

Las capacidades de carga de las instalaciones modernas pueden variar desde 113 400 hasta 680 400 kg (250 000 hasta 1 500 000 libras).

### **1.2.2.2 SISTEMA DE ENERGÍA**

#### La fuente prima

En los inicios de la perforación rotaria se utilizó el vapor como fuente primaria para dotar de movimiento al equipo de perforación. Hoy, sin embargo, casi todas las instalaciones utilizan motores de combustión interna como fuentes primas de energía. La mayoría de estos motores son diesel, con potencias que oscilan entre 373 a 3730 kW.

#### La transmisión de la energía.

Hay dos formas de transmitir la potencia desde la fuente prima hasta los componentes de la instalación; ellas son la mecánica y la eléctrica. Para esta aplicación, la transmisión es mecánica; la energía es transmitida desde los motores hasta el malacate, las bombas y otra maquinaria a través de un ensamble conocido como la central de distribución. La central de distribución está compuesta por embargues, uniones, ruedas de transmisión, correas, poleas y ejes, todos los cuales funcionan para lograr la transmisión de energía.

### **1.2.2.3 SISTEMA DE ELEVACIÓN**

#### *El malacate*

El malacate es una pieza de equipo grande y pesada y consiste de un tambor que gira sobre un eje alrededor del cual un cable de acero, llamado cable de perforación, va enrollado.

También tiene un eje que atraviesa al malacate y que tiene un carretel y un tambor que giran en cada extremo de este eje. Varios ejes, embragues y transmisiones de cadena y cambio facilitan los cambios de dirección y velocidad.

El malacate es el mismo tipo general de mecanismo que se conoce comúnmente en otras industrias como cabrestante, cabria o güinche.

Los propósitos principales del malacate son dos: sacar y meter la tubería al hoyo. Un cable de acero es enrollado en el carretel del malacate y cuando éste se pone a funcionar, el carretel gira. Dependiendo en qué dirección gira el carretel, el bloque de aparejo o bloque viajero sube o baja a medida que el carretel enrosca o desenrosca el cable; como la sarta de perforación está conectada al bloque de aparejo, ésta sube o baja cuando el bloque sube o baja.

Una de las características sobresalientes del malacate es el sistema de frenos que hace posible que un perforador controle fácilmente cargas de miles de libras o kilos de tubería de perforación o de revestimiento. La mayoría de las instalaciones tienen por lo menos dos sistemas de frenos. Un freno mecánico puede parar la carga inmediatamente. El otro freno, generalmente hidráulico o eléctrico, controla la velocidad de descenso de una carga en el bloque de aparejo, pero no para el descenso completamente.

El freno auxiliar más usado, en adición al freno mecánico del malacate, es el hidráulico o hidromático.

### ***Los bloques y el cable de perforación***

El bloque viajero, el bloque corona y el cable de perforación constituyen un conjunto cuya función es soportar la carga que está en la torre o mástil mientras se mete o se saca del hoyo. Durante las operaciones de perforación, esta carga consiste del gancho, unión giratoria, el cuadrante, la tubería de perforación, el portabarrenas y una barrena conectada al extremo interior del portabarrenas. Durante las operaciones de cementación, una sarta de tubería especial, llamada tubería de revestimiento (muchas veces una carga más pesada que toda la barra maestra) tiene que ser metida dentro del hoyo y cementada.

El cable de perforación generalmente está construido de cable de acero de 28.57 a 38.10 mm de diámetro. El cable de acero es parecido a una soga de fibra común, pero como su nombre implica, está hecho de alambres de acero y es bastante complejo; es necesario que su diseño sea así para que sea capaz de soportar todo el peso que se le aplique.

#### 1.2.2.4 EL EQUIPO ROTATORIO

El equipo rotatorio, de arriba hacia abajo, consiste de la unión giratoria, el cuadrante, la mesa rotatoria, la barra maestra, o barra de carga; es el ensamble de equipo entre la unión giratoria y la barrena, incluyendo el cuadrante, la tubería de perforación y el portabarrenas. El término **sarta de perforación** se refiere sencillamente a la tubería de perforación y el portabarrenas; sin embargo, en el campo geotérmico, sarta de perforación a menudo se utiliza para referirse a todo el ensamble.

##### *Unión giratoria*

Una unión giratoria o cabeza de inyección es un aparato mecánico realmente extraordinario; va conectada al bloque viajero por una enorme asa. La unión tiene tres funciones básicas:

- (1) Soportar el peso de la barra maestra.
- (2) Permitir que la barra maestra gire.
- (3) Proveer un sello hermético y un pasadizo para que el lodo de perforación pueda ser bombeado por la parte interior de la barra maestra.

El fluido entra por el tubo de lavado, un tubo curvado que conecta la unión giratoria u otra manguera que transporta el fluido de perforación desde la bomba de lodos.

##### *El cuadrante y la mesa rotaria*

El cuadrante es una pieza de tubo cuadrada o hexagonal que mide aproximadamente 12 m y que forma el extremo superior de la barra maestra. El cuadrante también sirve como un pasadizo para el fluido de perforación que baja hacia el hoyo y además transmite la rotación a la sarta de perforación y a la barrena.

El extremo superior del cuadrante va conectado a la unión giratoria y su extremo inferior va conectado a la tubería de perforación. Ésta va enroscada a un aparato llamado la unión sustituida del cuadrante o la unión sustituida. El buje de transmisión o buje del

cuadrante va sentado dentro de una parte de la mesa rotaria llamada el buje maestro o buje de rotación.

La mesa rotaria es lo que le da el nombre a la perforación rotaria. Recibe energía de la central de distribución o de su propio motor. La mesa rotaria también acomoda a las cuñas, un aparato que disminuye gradualmente en diámetro y que está forrado de elementos de agarre parecidos a dientes. Estos aguantan a la tubería suspendida dentro del hoyo cuando se desconecta el cuadrante.

### ***La sarta de perforación***

La sarta de perforación está compuesta de tuberías de perforación y una tubería especial de paredes gruesas llamada el portabarreras. Cada junta de tubería de perforación mide aproximadamente 9 m. Cada extremo de la junta contiene roscas interiores, conocidas como **caja**, y el extremo con las roscas exteriores se conoce como pin, ya que es la encargada de transmitir el torque para perforar y además transportar el fluido de perforación.

### ***Las Barrenas***

Dos tipos principales de barrenas han sido desarrollados a través de los años para lograr una perforación más efectiva. Las barrenas de rodillos tienen dispositivos coniformes de acero llamados conos, que rueden libremente a medida que la barrena gira.(Ver figura N°7)

El otro tipo de barrena es la barrena de diamantes, que fue desarrollada para mejorar la perforación, en formaciones duras; sin embargo, también pueden ser utilizados efectivamente en formaciones blandas.

### **1.2.2.5 EL SISTEMA DE CIRCULACIÓN DEL LODO**

Una de las características esenciales de un sistema de perforación rotatorio es el sistema de circulación, también conocido como el sistema de lodo. Para que el sistema

perforación rotario pueda funcionar, es indispensable circular fluido a través de la sarta de perforación y la pared del hoyo o la tubería de revestimiento.

Los propósitos principales del fluido de perforación son:

- 1) Limpiar el fondo del hoyo
- 2) Enfriar la barrena
- 3) Sacar los ripios del hoyo
- 4) Soportar las paredes del hoyo para que no se derrumben
- 5) Evitar que fluidos de las formaciones entren en el hoyo.

### ***El fluido de circulación***

El fluido de circulación usualmente es un líquido, pero también puede ser aire o gas. Si el fluido de perforación es un líquido, casi siempre está compuesto en su mayor parte por agua, aunque en ocasiones se utiliza aceite como el componente mayor. Ambos tipos de fluidos se conocen como lodo de perforación o lodo, pues se semejan mucho al lodo común.

### ***Tanques y bombas de lodo***

El lodo se mezcla en los tanques de lodo con la ayuda de una tolva dentro de la cual se echan los ingredientes secos del lodo. Los tanques contienen agitadores (proyecciones en forma de paletas) que mezclan el lodo.

La bomba de lodo es el componente primario de cualquier sistema de circulación de fluido. Las bombas funcionan como motores eléctricos conectados directamente a las bombas o con energía transmitida por la central de distribución. Las bombas para las instalaciones de perforación rotatoria tienen mucha fuerza y son capaces de mover grandes volúmenes de fluido o presiones altísimas.

### ***El ciclo de lodo***

El lodo se bombea desde el tanque de succión del lodo, a través de una línea de descarga hasta el tubo vertical. El tubo vertical es una sección de tubo de acero montado verticalmente en una pata de mástil o la torre. El lodo se bombea por el tubo vertical hasta la manguera del cuadrante, entra a la unión giratoria por el tubo de lavado y baja por la tubería de perforación hasta llegar a las toberas de la barrena. Una vez en el fondo del hoyo, empieza la acción limpiadora que impulsa los ripios hacia la superficie; al llegar a la superficie pasan a las mesas vibratorias que separan los ripios del lodo en su primera etapa. Parte de los ripios y el lodo se almacenan en el tanque de sedimentación. Desde allí es succionado por una bomba y es pasada por los desarenadores y desarcilladores, para tratar de purificar el lodo en su mayor parte. Por último, pasa al tanque de succión, que es donde es succionado por la bomba de lodos y empieza el ciclo nuevamente.(Ver figura N°8)

### **1.2.2.6 EL EQUIPO PARA CONTROL DEL POZO**

Cuando surge el tema de control de pozos, lo primero que viene a la mente es un reventón. Éste es una ocurrencia indeseable en cualquier instalación, porque pone en peligro las vidas de la cuadrilla; puede destruir una instalación cuyo valor puede ser de millones de dólares, desperdiciar el producto que se quiere obtener del pozo y hacerle daño al ambiente.

Casi siempre el lodo de perforación evita que el fluido de la formación entre al hoyo y reviente, pero bajo ciertas condiciones el fluido puede entrar al hoyo y causar dificultades. Surge un cabeceo, o sea, el fluido de la formación entra al hoyo y parte del lodo de circulación es forzado fuera del hoyo. Si la cuadrilla no toma acción rápidamente a los primeros indicios de un cabeceo, todo el lodo sale del hoyo y el fluido de la formación fluye sin control hasta la superficie, lo cual eventualmente termina en un chorro incontrolable. El resultado es un reventón.

### ***Preventores de reventones***

Los preventores de reventones, conjuntamente con otro equipo y técnicas, se utilizan para cerrar un pozo y permitir que la cuadrilla controle un cabeceo antes de que ocurra un reventón. Dos tipos básicos de preventores encontrados en las instalaciones son los preventores anulares y los preventores de ariete. El preventor anular tiene un elemento de goma que sella al cuadrante, la sarta de perforación, las portabarrenas o al hoyo mismo si no existe una sarta de perforación dentro del hoyo; los preventores de acero (arietes) tienen elementos que sirven de sello.

Usualmente varios preventores de reventones se instalan uno encima del otro en la boca del pozo con el preventor anular en la parte superior y los preventores ariete, de tubería y ciegos en la parte interior. Los preventores son instalados de esta manera para que un reventón o cabeceo pueda ser controlado aun cuando uno de los preventores falle.

### ***El acumulador***

Preventores de reventones se abren y se cierran con fluido hidráulico que va almacenando bajo presión en un aparato llamado acumulador. Varios recipientes en forma de botella o esféricos están localizados en la unidad de operaciones y es aquí que se guarda el fluido hidráulico. Fuertes líneas construidas para soportar presiones altas llevan fluido hidráulico del acumulador a los preventores de reventones y cuando las válvulas de control se activan, el fluido causa que los preventores actúen. Ya que los preventores se deben poder sellar rápidamente cuando es necesario, el fluido hidráulico se tiene que poner bajo 103.4 a 206.8 Bar (1,500 a 3,000 psi) de presión, utilizando el gas de nitrógeno contenido en los recipientes.

### ***El separador de lodo y gas***

El separador de lodo y gas es una pieza esencial de equipo en una instalación para poder controlar un cabeceo de gas. Salva el lodo utilizable que sale del pozo mientras que un cabeceo se está circulando hacia afuera y separa el gas flamable para que pueda ser quemado a una distancia segura de la instalación.

### ***El equipo auxiliar***

En adición a los ensambles de equipo que componen una instalación de perforación, hay un gran número de piezas de equipo menores que son necesarias para llevar a cabo la perforación de un pozo. Algunos de éstos son los generadores, los compresores de aire, las facilidades para almacenar el lodo y varios instrumentos.

### ***Los instrumentos de perforación***

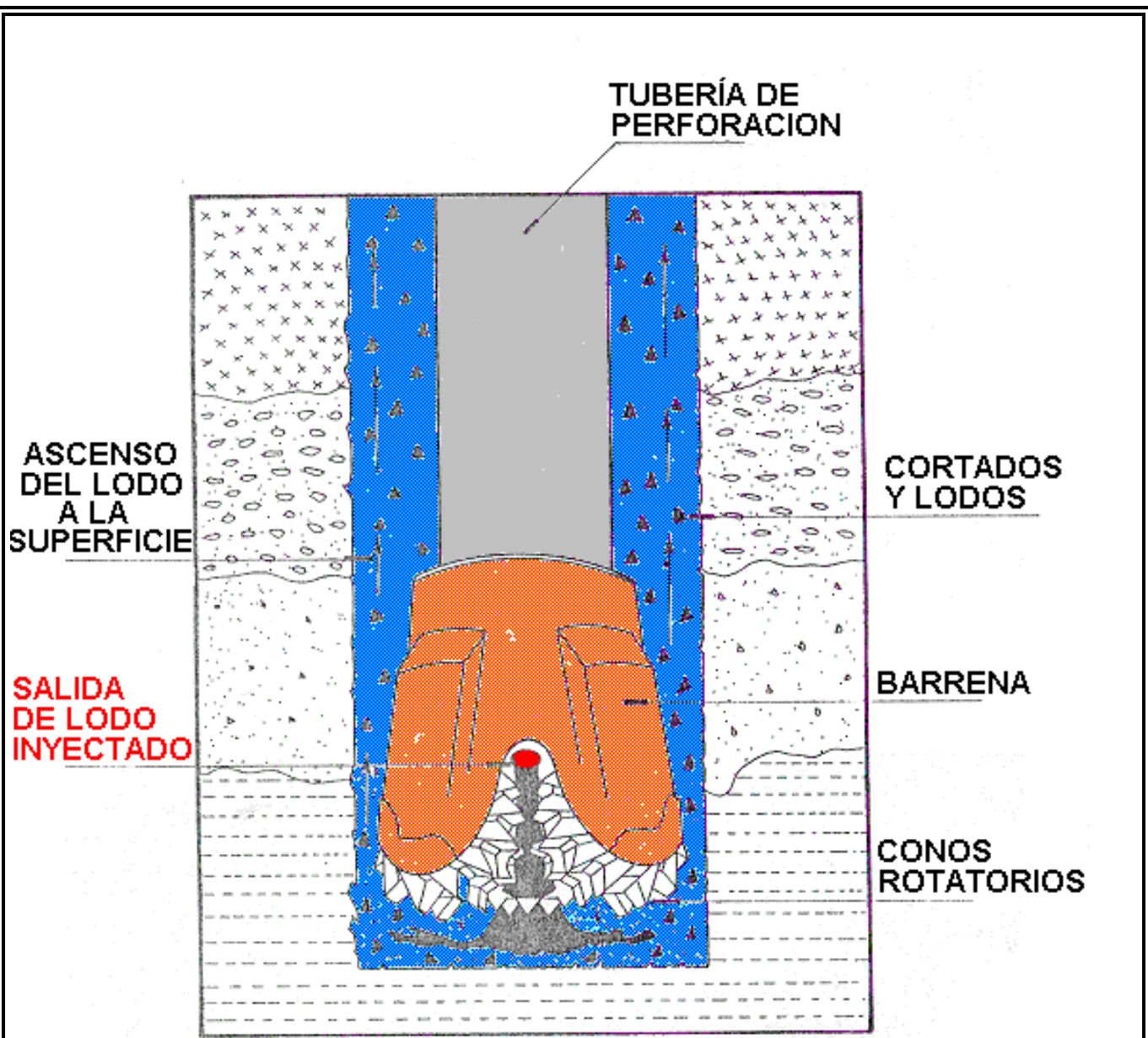
El sistema de instrumentaciones es quizás la parte más importante de las instalaciones modernas. Puede que solamente se encuentre un indicador de peso, o puede incluirse una gran variedad de instrumentos tales como un registrador de nivel de lodo, un registrador de la densidad del lodo, indicadores de torsión y aparatos que mantienen un registro gráfico cronológico del trabajo que está llevando a cabo en la instalación, particularmente de la profundidad en la cual se está perforando.

### **1.2.2.7 LA CUADRILLA**

Aunque no es un componente de la instalación en sí, la cuadrilla es una parte muy importante de la instalación. Sin los individuos que componen la cuadrilla, el equipo de perforación rotaria no tendría valor. Una cuadrilla de perforación puede consistir de cuatro, cinco, seis o más individuos, dependiendo del tamaño de la instalación y de su capacidad para soportar peso y viento. Dentro de la cuadrilla tenemos: un supervisor o jefe de pozo, el perforador, el encuellador, el motorista, un mecánico, el electricista, los ayudantes del perforador, que pueden dos o tres personas.

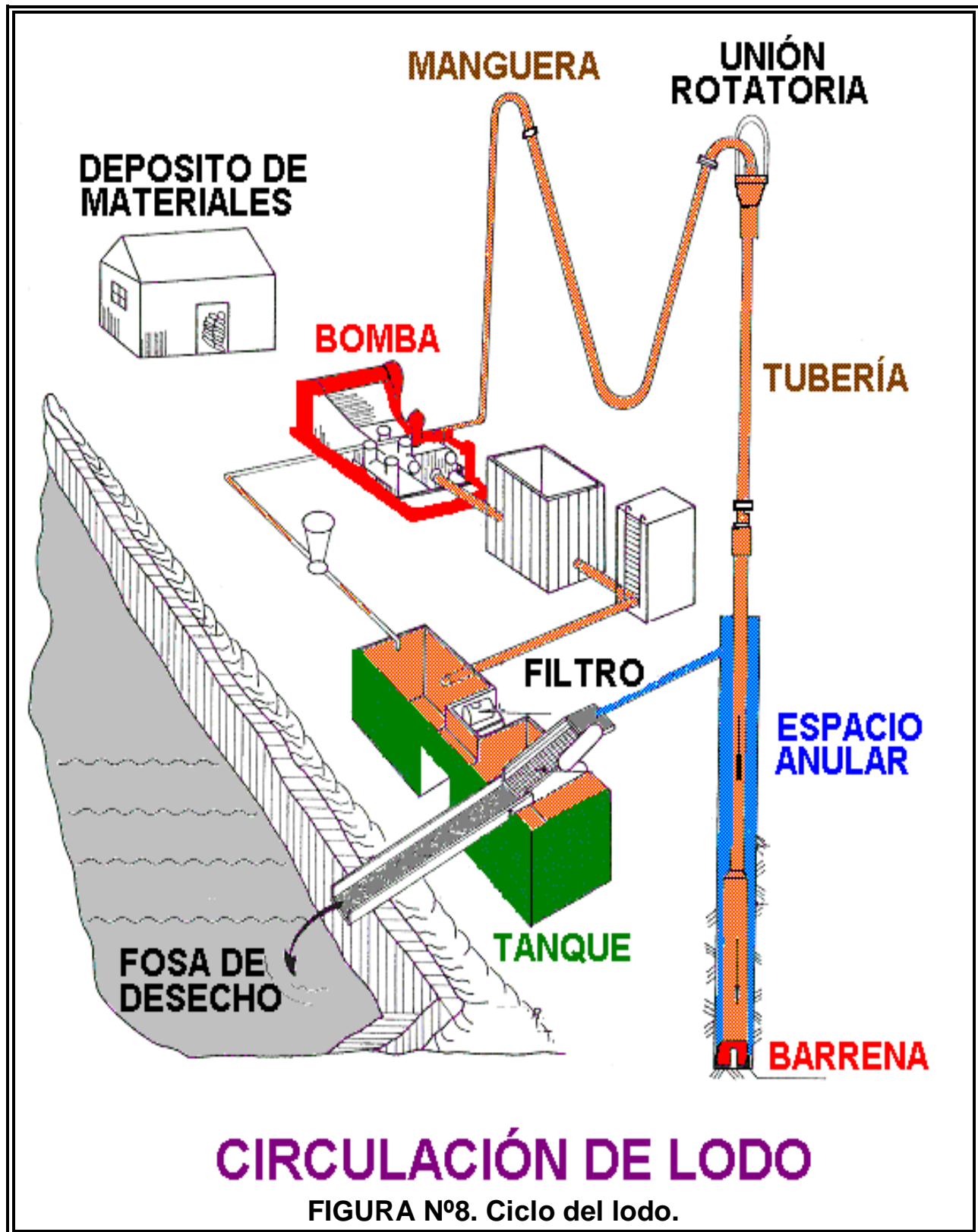
Para que una instalación de perforación funcione correctamente, debe cumplir con los elementos mencionados anteriormente.





## PERFORACIÓN DE POZO

FIGURA N°7. Sistema de perforación por medio de barrena.



## **2. SECADO Y SECADORAS DE GRANOS**

### **2.1 HISTORIA**

Hasta avanzada la década del 50, todos los granos en Argentina se cosechaban casi secos. En el caso del maíz, como la recolección era en su mayoría en mazorcas deshilachadas, es decir, sin sus cubiertas externas (cosecha manual o por juntadoras), éstas se acumulaban en trojes cilíndricas, de alambre, o de otros materiales, y allí se terminaban de secar por acción del aire ambiente. Los vientos predominantes se llevaban la humedad excesiva, en uno o dos meses. Posteriormente se realizaba la "desgranada".

La desgranadora entregaba el grano en bolsas (sacos), las cuales se amontonaban en estibas, construidas de tal manera que hubiera una ventilación natural para favorecer la buena conservación de la mercadería.

Ante el trabajo de mano de obra que representaba el manejo de los granos envasados y los respectivos costos crecientes, hacia el principio de la década del 60 comenzó a generalizarse el manejo a granel de la producción de granos, eliminándose poco a poco el empleo de sacos.

Ello significó un cambio fundamental en el manejo de los granos, pues se divulgaron los silos y los equipos de movimiento. A fines de dicha década, ya se manejaba a granel la mayoría de la producción.

Desde ya hacía varios años se habían popularizado las cosechadoras automotrices, siendo, nuestro país, precisamente uno de los primeros creadores de estas máquinas.

Casi simultáneamente, o un poco después, se hicieron las primeras experiencias de cosecha temprana de maíz, por las ventajas que reportaba esta práctica a los productores.

Esa cosecha adelantada significaba menos cantidad de plantas caídas (por lo tanto, menos pérdidas de granos en el rastrojo), una disposición del campo más tempranamente, la posibilidad de mejores precios por disponer de mercadería en forma anticipada en los mercados, más seguridad de cosecha, etc.

Pero ello traía aparejado el problema de granos más húmedos, razón por la cual surgen, entonces, las secadoras, que se agregan a las instalaciones del acopio.

Al principio se pensó que los mismos agricultores debían poseer sus propios silos de almacenamiento. Tan es así que el gobierno concedía créditos para instalación de hasta tres silos por productor, con la finalidad de tener dos llenos y el tercero para transitar. En definitiva, en la realidad se llenaron los tres, y empezaron a aparecer entonces los problemas de granos que se echaban a perder por acción de insectos y hongos. Estos inconvenientes surgieron principalmente en las áreas maiceras.

En las zonas trigueras del sur no fueron importantes, pues el trigo se cosechaba seco y ya había una experiencia más antigua en la conservación de granos en silos metálicos.

Algo parecido sucedió con las primeras experiencias de secado artificial. Se fabricaron secadoras en tandas de pequeña capacidad para que fueran usadas por los agricultores, o por los contratistas de cosecha, en los momentos en que se efectuaba la recolección. Pero su reducida capacidad horaria provocaba la detención de las cosechadoras, lo que causaba perjuicios de todo tipo.

Todas estas razones impulsaron el desarrollo de los acopladores privados y de las cooperativas agrícolas, provistos de adecuada capacidad de almacenamiento y de secadoras de mayor tamaño.

Hoy, es posible suponer que alrededor del 85 - 90% de los granos producidos se acondicionan en acopladores privados, en cooperativas agrícolas y, en menor proporción, en depósitos de industrias.

Estadísticas publicadas en 1985 por la Junta Nacional de Granos (JNG) de Argentina, señalan que la capacidad de almacenaje privado o cooperativo es del 72% de la capacidad total del país.

Esta situación es, en general, opuesta a lo que sucede en otros países productores de granos, como Estados Unidos, Canadá y otras naciones. En éstas, la mayor proporción de granos se almacena en la propia finca del productor. De esta forma, el agricultor no depende de las condiciones que le impone el acopio externo, puede regular la velocidad de su cosecha a sus necesidades, y puede disponer de la mercadería para su venta en el momento que le parezca oportuno.

La pregunta que surge es cuál posición es la más conveniente para los productores y para la economía del país.

Se piensa que el sistema empleado en Argentina es eficiente porque, en general, abarata los costos. El costo de acopio de una planta de granos que maneja anualmente 30 000 Tm tiene que ser necesariamente menor (hablando de un costo por quintal o por tonelada) que el de un productor que sólo procesa 2 000 tm. Por otra parte, la experiencia demuestra que, en un promedio general, la calidad de la mercadería de una planta de acopio comercial es superior a la que entregan productores con silos. Debe recordarse que muchos agricultores no habitan en la propia finca, y esto hace que sea problemático un buen control de los granos en los depósitos.

Las inversiones para instalar silos, norias, secadoras y otros equipos son elevadas, y escapan, entonces, a las posibilidades financieras de gran parte de los agricultores, habida

cuenta de la situación económica de los países. Sólo las empresas privadas o las cooperativas podrían afrontar tales gastos en la actualidad.

## **2.2 HUMEDAD DE LOS GRANOS Y DEL AIRE**

Los granos, como es bien conocido, no pueden conservarse almacenados si no están secos. La cuestión es determinar cuándo un grano se considera "seco". Como término general, para los cereales, una humedad del 15% se considera el límite para estimarlo como "seco". Pero este valor es relativo, pues depende de diversos factores.

En un país de clima frío, un cereal como el trigo puede conservarse a 15% de humedad, pero en un país de clima cálido, la humedad de conservación deberá ser de 12 - 13%.

Los granos oleaginosos, tienen que ser almacenados a humedades aún menores, 10% a 11%, y todavía más bajas, como en el caso de la calza.

### **2.2.1 HUMEDAD EN BASE HÚMEDA Y EN BASE SECA**

Se sabe que la medición de la humedad del grano se fija sobre la llamada "base húmeda", es decir, la cantidad de agua que tiene el grano en total, o sea, sobre su peso de materia seca más agua. Es el dato que dan los humidímetros comunes usados en el comercio.

Pero en ciertas operaciones, sobre todo para trabajos científicos, es preferible usar la humedad en "base seca", que es la cantidad de agua que tiene el grano en relación solamente a la cantidad de materia seca. Esta humedad será siempre mayor que la anterior.

Las relaciones entre ambas expresiones son las siguientes:

$$H_s = \frac{H_h}{100 - H_b} \times 100$$

$$H_b = \frac{H_s}{100 + H_s} \times 100$$

(ecuaciones 1 y 2)

En donde:

Hh: humedad en base húmeda, %

Hs: humedad en base seca, %

Por ejemplo, un maíz con 24% de humedad en base húmeda, tendrá 31,6% de humedad en base seca (cuadro 1).

Todas las transacciones comerciales se efectúan sobre base húmeda, pero sin embargo, hay muchas opiniones relativas a que la comercialización de los granos debiera hacerse sobre materia seca. Tomando algunos ejemplos, se podrá deducir la certeza de aquellos juicios. Por cada quintal (100 kg) de grano entregado por diferentes productores sucede lo siguiente:

Hh	Hs	Hh	Hs	Hh	Hs
7	7,5	20	25,0	33	49,3
8	8,7	21	26,6	34	51,5
9	9,9	22	28,2	35	53,8
10	11,1	23	29,9	36	56,2
11	11,4	24	31,6	37	58,7
12	13,6	25	33,3	38	61,3
13	14,9	26	35,1	39	63,9
14	16,3	27	37,0	40	66,7
15	17,6	28	38,9	41	69,5
16	19,0	29	40,8	42	72,4
17	20,5	30	42,9	43	75,4
18	21,9	31	44,9	44	78,6
19	23,5	32	47,1	45	81,8

**Cuadro 1. Equivalencias entre humedad en base húmeda (Hh) y humedad en base seca (Hs)**

## 2.2.2 MEDICIÓN DE HUMEDAD DE LOS GRANOS

No es necesario mencionar la importancia que tiene la correcta medición de la humedad de los granos, por la gran influencia en la comercialización, en el proceso de secado, en la conservación de los granos, etc.

Es por ello que los aparatos medidores de humedad llamados "humedímetros", empleados durante el acopio de granos, deben estar correctamente regulados.

Estos humedímetros, que trabajan por capacitancia eléctrica, pueden dar origen a varios errores, como:

A) El humedímetro no está adecuadamente calibrado; si el aparato, por ejemplo, señala 14% de humedad a la salida de la secadora, cuando en realidad el grano tiene 13%, significa que se está perdiendo un punto, que representa muchos quintales de menos por un exceso de sobresecado y un desperdicio de energía.

B) No efectuar las correcciones por temperatura de los granos. Si un grano está caliente, y se corrige por temperatura, el valor que indica el humedímetro puede ser hasta un punto mayor que la realidad.

Por el contrario, si el grano está frío, puede indicar un punto menor que la humedad real del grano.

Afortunadamente, existen hoy en el mercado nuevos medidores de humedad, más precisos y que hacen automáticamente la corrección por temperatura.

C) No tener en cuenta el revenido del grano. Este término "revenido" se aplica a un proceso que se produce en los granos que han sido secados artificialmente, y que es tanto más notable cuanto más severo haya sido dicho secado. Se manifiesta el revenido por un aumento de la humedad del grano después de varias horas de haber pasado por la secadora.



Es posible entonces que un grano, al salir de la secadora, y al medir su humedad, se encuentre en un 13,5%, pero al transcurrir unas horas, ésta se incrementa hasta un 14,5% . Este fenómeno se debe a que los humidímetros corrientemente empleados en el acopio de granos miden más la humedad superficial de la semilla que la interna. Cuando se hace un secado rápido, lo que se pierde con mayor velocidad es la humedad de las capas externas, mientras que las internas todavía conservan una humedad mayor.

Con el transcurso del tiempo, esa humedad interna migra hacia el exterior, y ello se refleja en la nueva medición del humidímetro.

Lo ideal sería que la medición de la humedad, al salir de la secadora, se llevara a cabo moliendo una muestra de granos y haciendo la determinación en una estufa de humedad. Por supuesto, esta técnica es más compleja y prolongada, pues puede requerir 24 horas de estufa.

Lo que se aconseja es guardar la muestra en un recipiente hermético (por ejemplo, un frasco de vidrio bien lleno y cerrado) y medir la humedad no menos de 5 horas después, acción que permitirá hacer las liquidaciones definitivas con el nuevo valor.

El humidímetro puede calibrarse en una forma aproximada, preparando una tabla con la diferencia entre las dos mediciones (a la salida de la secadora y 10 horas después). Esta tabla será válida sólo cuando los procesos de secado sean similares entre sí, con variaciones menores entre las temperaturas del aire de secado y de humedades iniciales no muy dispares.

El aumento de la humedad de una masa de granos sólo se producirá si se fuerza el aire a atravesar el grano, como sucede con la aireación, pero solamente si el aire tiene un alto porcentaje de humedad relativa y si está sólo un poco más caliente que el grano; en este caso, no sería un revenido, sino directamente un rehumedecimiento.

El revenido puede evitarse secando con aire a menor temperatura o haciendo dos pasadas por la secadora con un período de descanso o "tempering", o empleando el sistema de seca-aireación (dryeration).

En el acopio, no es conveniente despachar inmediatamente una partida de grano después del secado a causa del revenido, porque puede llegar a destino con una humedad mayor que lo convenido, con los consiguientes rechazos o descuentos.

El revenido se debe a las causas explicadas y no a otras que suelen argumentar algunas personas. Éstas dicen que no se pueden enviar granos en camiones o transporte en días muy húmedos o neblinosos, porque acumularán agua. Si el grano está bien seco no existe peligro en transportarlo en esas condiciones. Sólo se humedecerá una pequeña capa superficial y el resto no tendrá ningún problema.

### **3. TIPOS DE SECADORAS DE GRANOS**

Las máquinas secadoras pueden clasificarse de la siguiente forma:

#### **A) Secadoras de flujo continuo**

##### **(1) Verticales (tipo torre):**

- de flujo mixto (de caballetes)
- de flujo cruzado (de columnas)
- de persianas
- de flujo contracorriente
- de flujo concurrente

##### **(2) De cascadas**

##### **(3) Horizontales:**

- de flujo cruzado (de columnas hexagonales)

- de flujo mixto

- de lecho plano

- fijo

- fluido

## B) Secadoras en tandas

(1) De flujo cruzado:

- con recirculación

- estáticas

(2) De flujo mixto:

- con recirculación

- estáticas

## C) Silos secadores

(1) De flujo contracorriente

(2) De flujo cruzado

Tanto las máquinas verticales (de menor tamaño) como las de cascadas, horizontales y secadoras en tandas, pueden ser fijas o transportables.

Esta clasificación comprende solamente a las secadoras comerciales, o sea aquellas que se emplean en las plantas de acopio de granos de una capacidad media a alta.

A nivel de pequeño productor, existe una amplia gama de diversos equipos de secado, la mayoría de los cuales son de reducida capacidad y de diseños simples, que se utilizan en países donde todavía no ha llegado una tecnología avanzada.

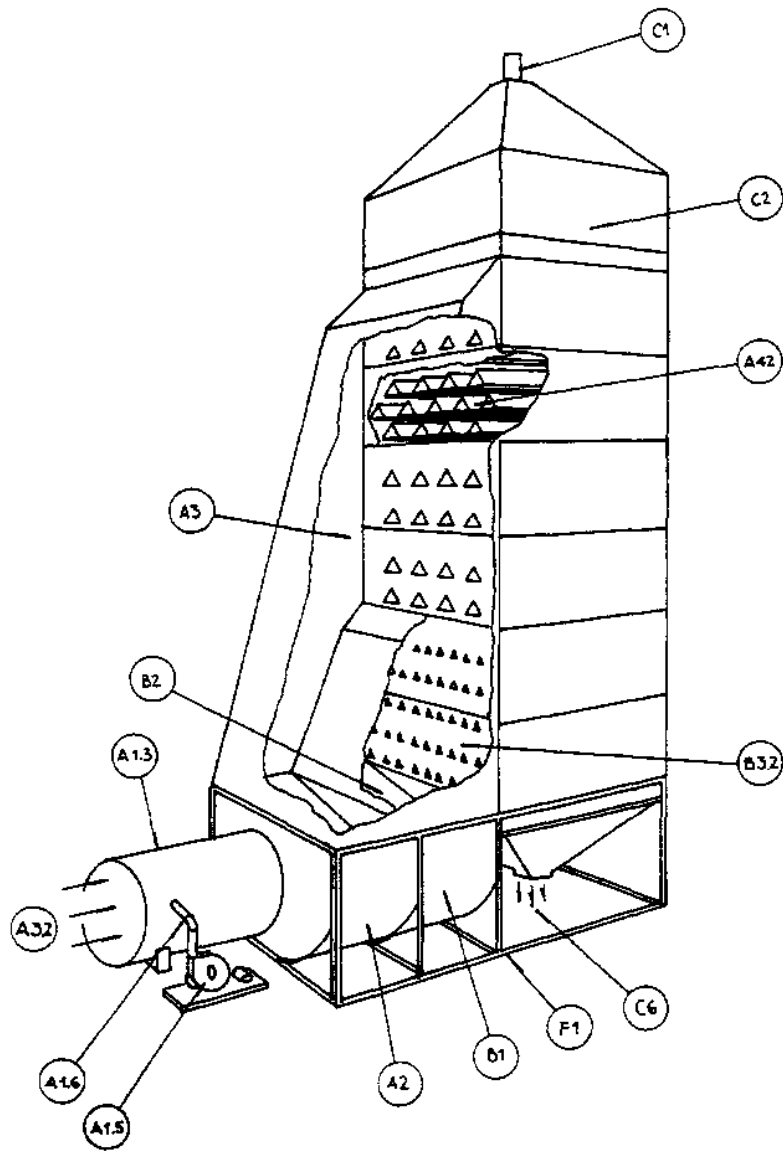
Otros ejemplares de secadoras, algo más evolucionados son las secadoras solares, secadoras por convección natural, patios de secado, túneles de secado, etc.

### **3.1 SECADORAS DE FLUJO CONTINUO**

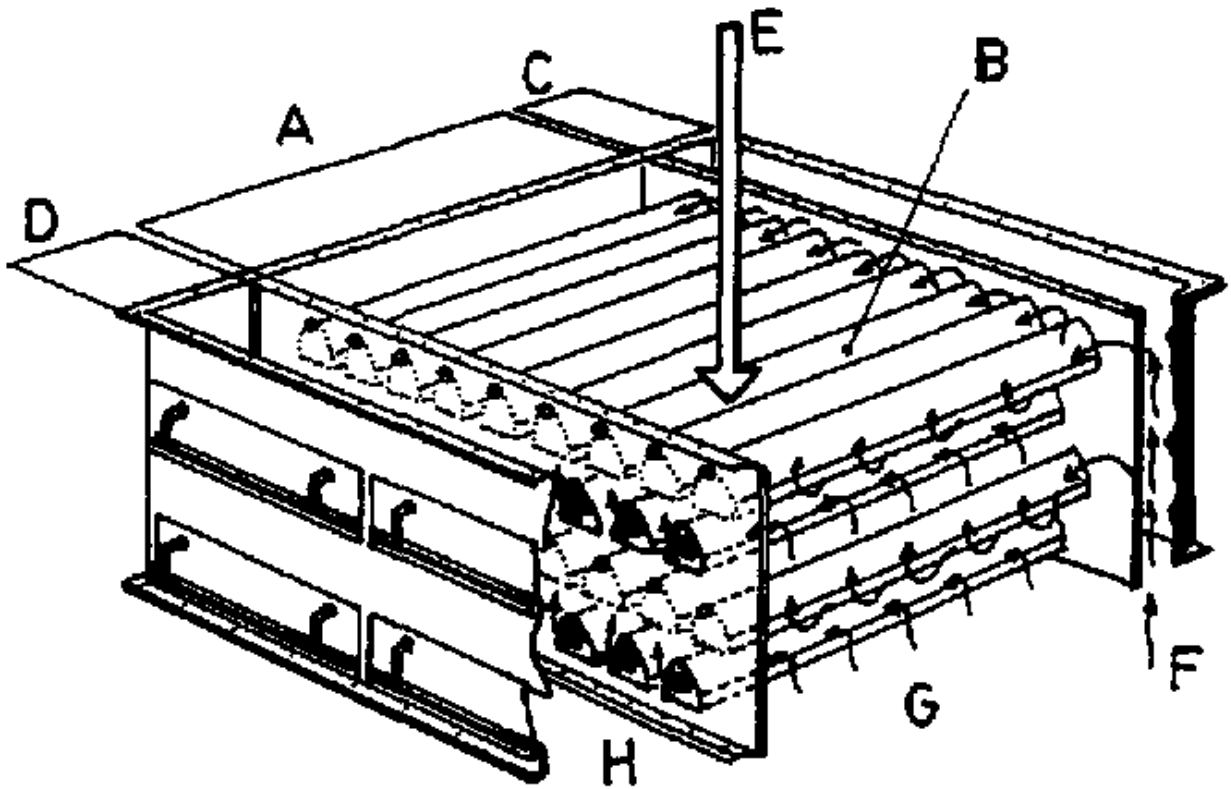
Son aquéllas en las que el grano se introduce y descarga en forma continua o intermitente, permaneciendo constantemente llenas las secciones de secado y enfriamiento. Las operaciones de secado y enfriamiento se efectúan en forma simultánea e ininterrumpida.

Las secadoras verticales, también llamadas "tipo torre", se caracterizan por el recorrido del grano, desde arriba hacia abajo, y pueden ser clasificadas en varios grupos, de acuerdo al tipo de flujo.

Las secadoras de flujo mixto, también llamadas de "caballetes" (figura 9), tienen como elemento principal, en las zonas de secado y enfriamiento, un conjunto de conductos en forma de V invertida (figura 10), por donde circula el aire caliente o frío.



**FIGURA N°9. Secadora de caballetes**



**FIGURA N°10. Corte de cámara de secado de caballetes**

Las de flujo cruzado, también llamadas "de columnas" (figura 11) poseen columnas o venas rectas por donde circula por gravedad el grano; las columnas están formadas por paredes de chapas perforadas, las cuales atraviesa el aire caliente (o frío) en forma cruzada o perpendicular al espesor de la columna. Se conocen también comosecadoras de columnas de forma circular (figura 12).

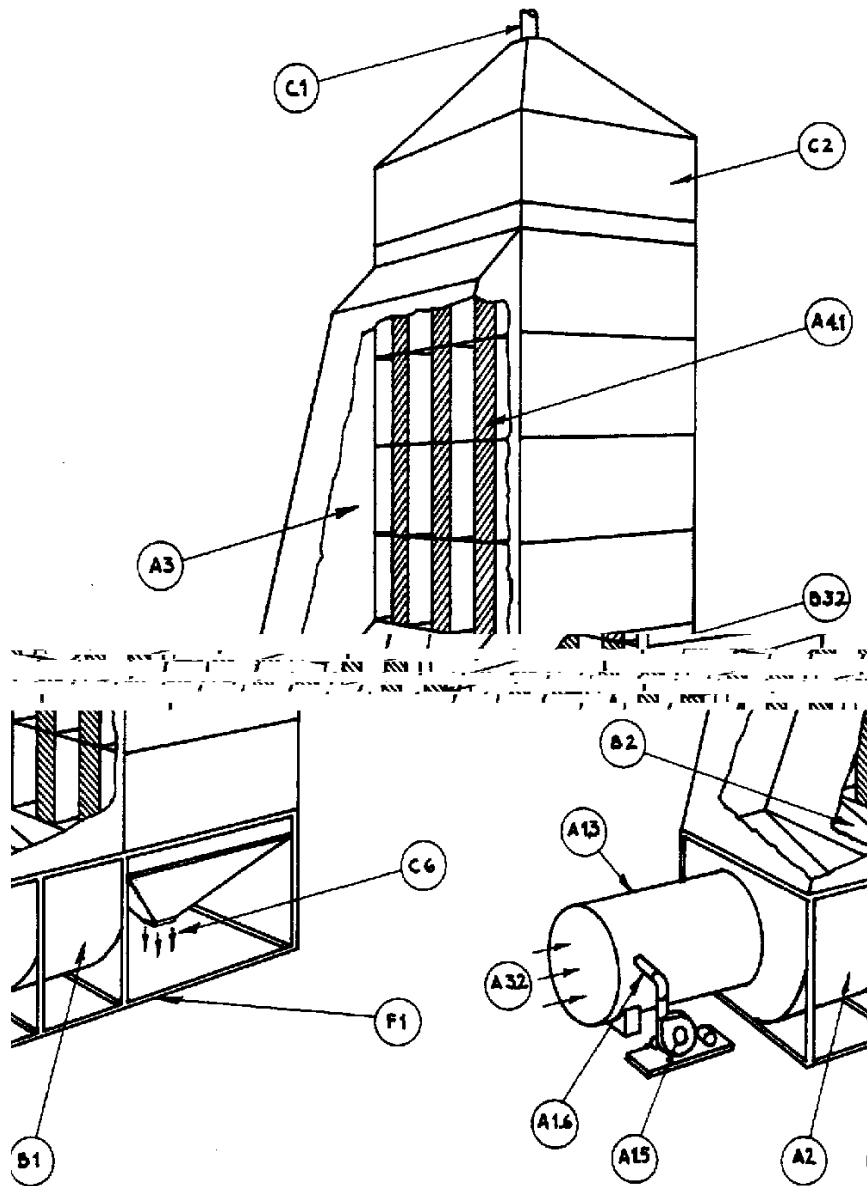
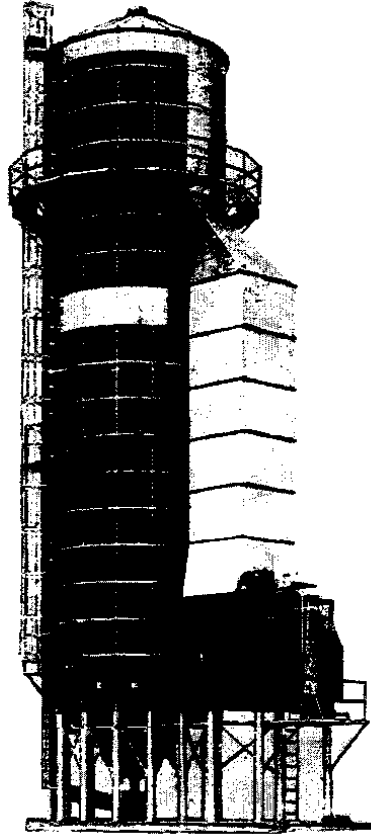


FIGURA N°11. Secadora de flujo continuo de columnas



**FIGURA N°12. Secadora de columna de forma circular**

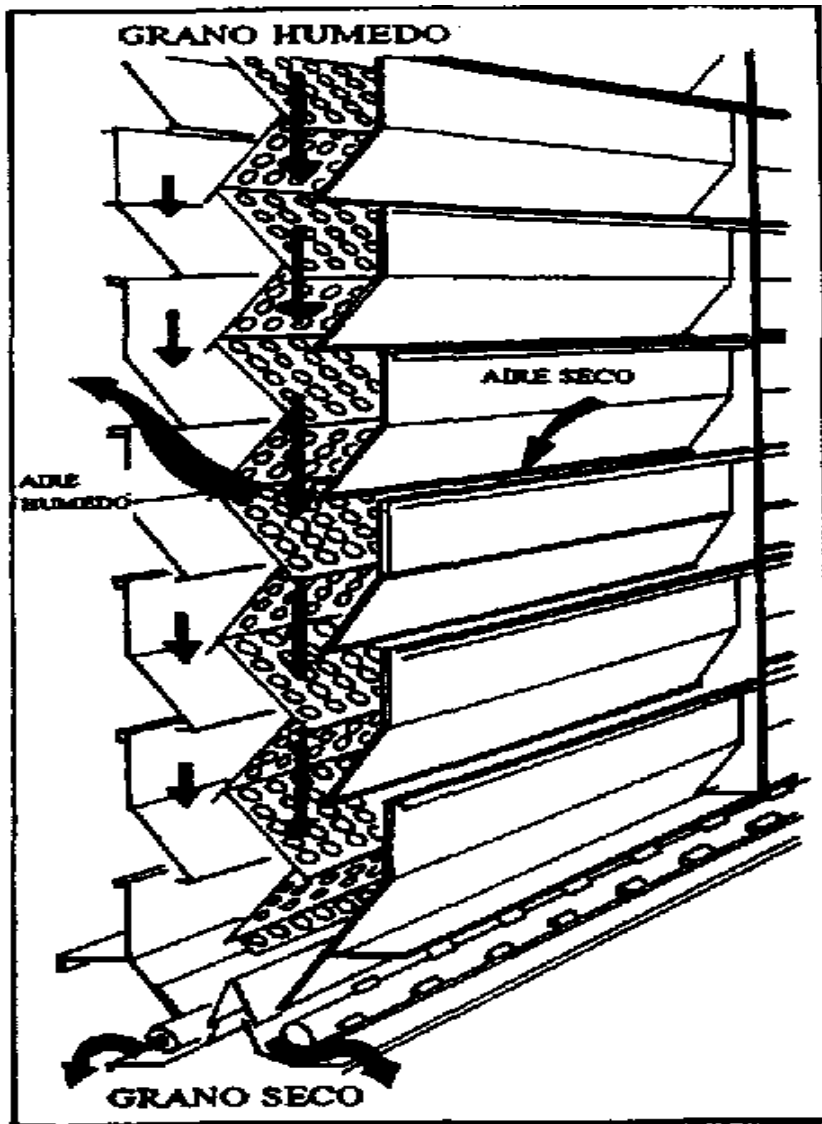
Estos dos tipos son los modelos comerciales más empleados en la actualidad.

Las secadoras de persianas tienen su cuerpo principal formado por tres tabiques verticales, como lo muestra la figura 13, estando los dos exteriores abiertos en las dos caras, y el tabique medio en zig-zag con grandes perforaciones. Este sistema permite que el grano situado en el costado por donde ingresa el aire caliente descienda más rápidamente que el grano situado en el costado opuesto, con el fin de asegurar un secado más homogéneo. El espesor de la columna es de alrededor de 40 cm.

Las de flujo contracorriente y de flujos concurrentes se conocen como de flujos paralelos (de aire y de grano). Las de flujo contracorriente son aquéllas en las que el aire y



el grano marchan en la misma dirección, pero en sentido contrario. En las de flujo concurrente, el aire y el grano marchan en la misma dirección y en el mismo sentido.



**FIGURA N°13. Cuerpo principal de secadora de persianas**

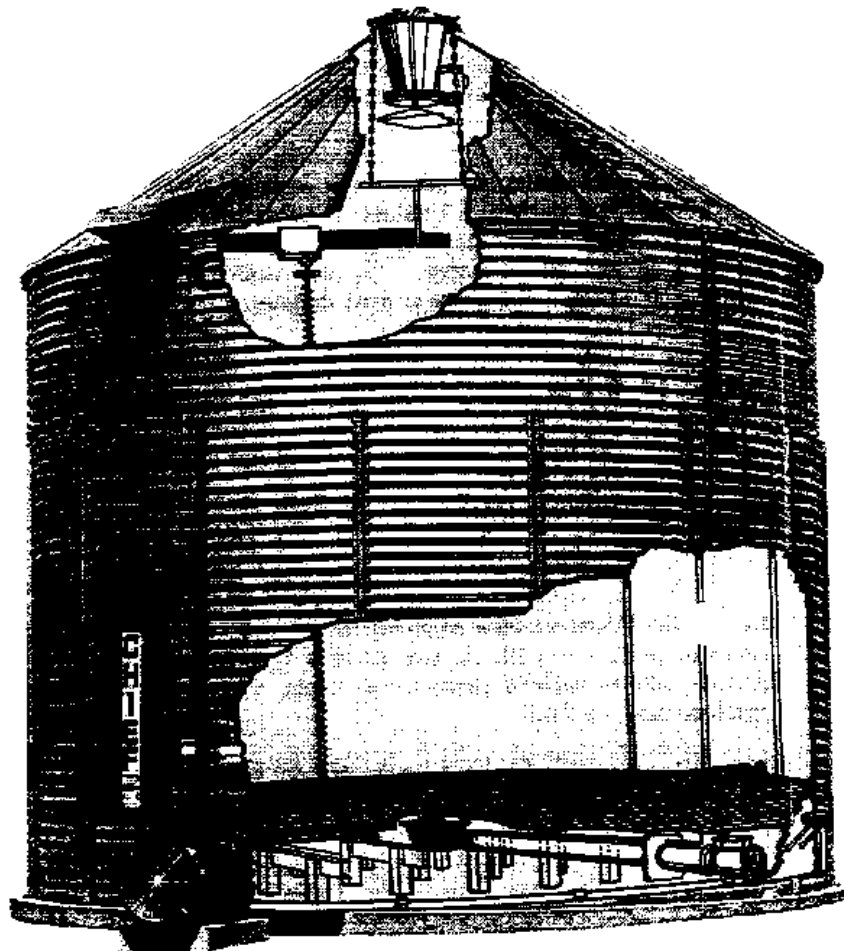
### **3.2 SECADORAS DE FLUJO CONTRACORRIENTE**

En esta secadora el grano fluye hacia abajo y el aire hacia arriba. De forma general, este tipo de secadora corresponde al silo secador ilustrado en la figura 14.

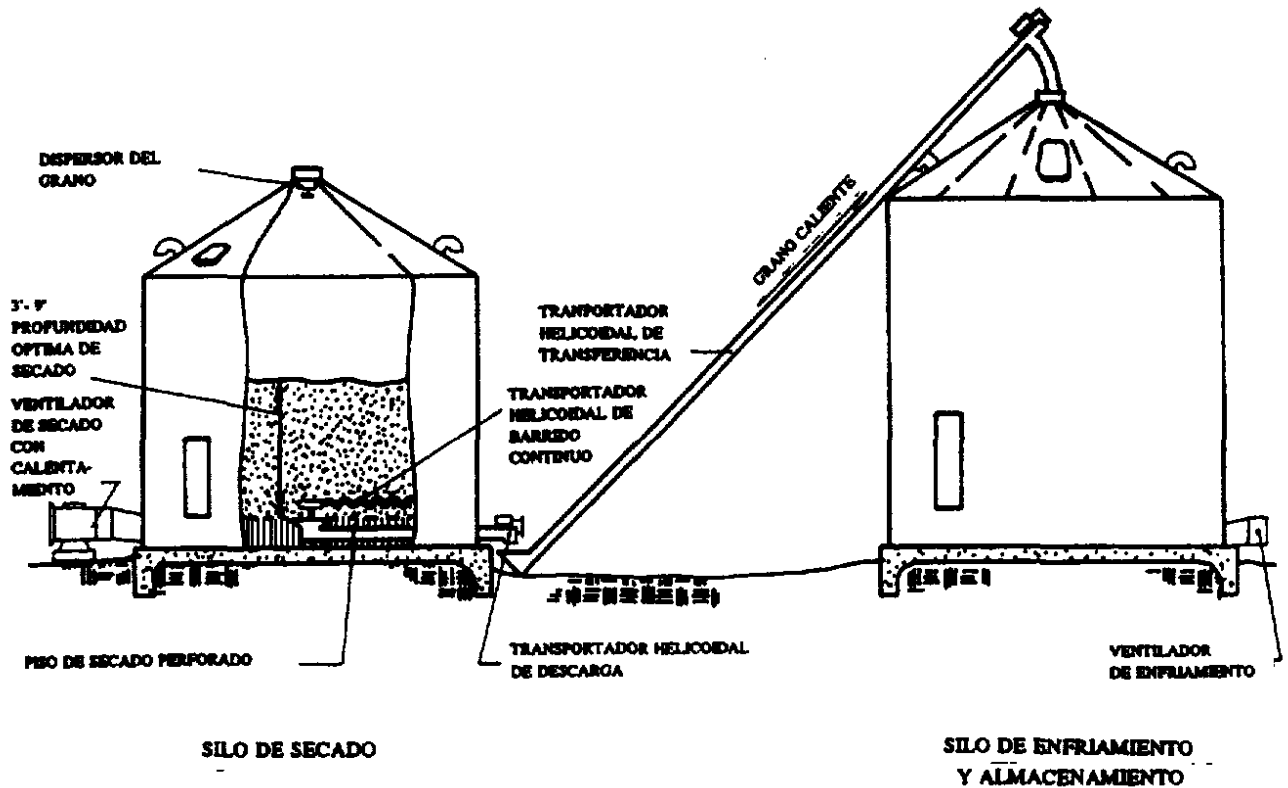
Este tipo de secado es muy eficiente energéticamente, porque el aire sale a través del grano más húmedo, o sea muy saturado, pues recoge una máxima carga de humedad.

El espesor de la capa de grano no suele superar los 3 - 4 m, pero si aumenta el espesor de la masa de granos también hay un incremento en la resistencia al paso del aire, que produce una disminución de la capacidad de secado.

El equipo puede funcionar todo en caliente y efectuar el enfriamiento en un silo separado (figura 15) para hacer el proceso en forma continua, aplicando lo que se conoce como "secado combinado".



**FIGURA N°14. Silo secador tipo americano**



**FIGURA N°15. Silo secador de flujo contracorriente (secado combinado)**

### 3.3 SECADORAS DE FLUJO CONCURRENTE

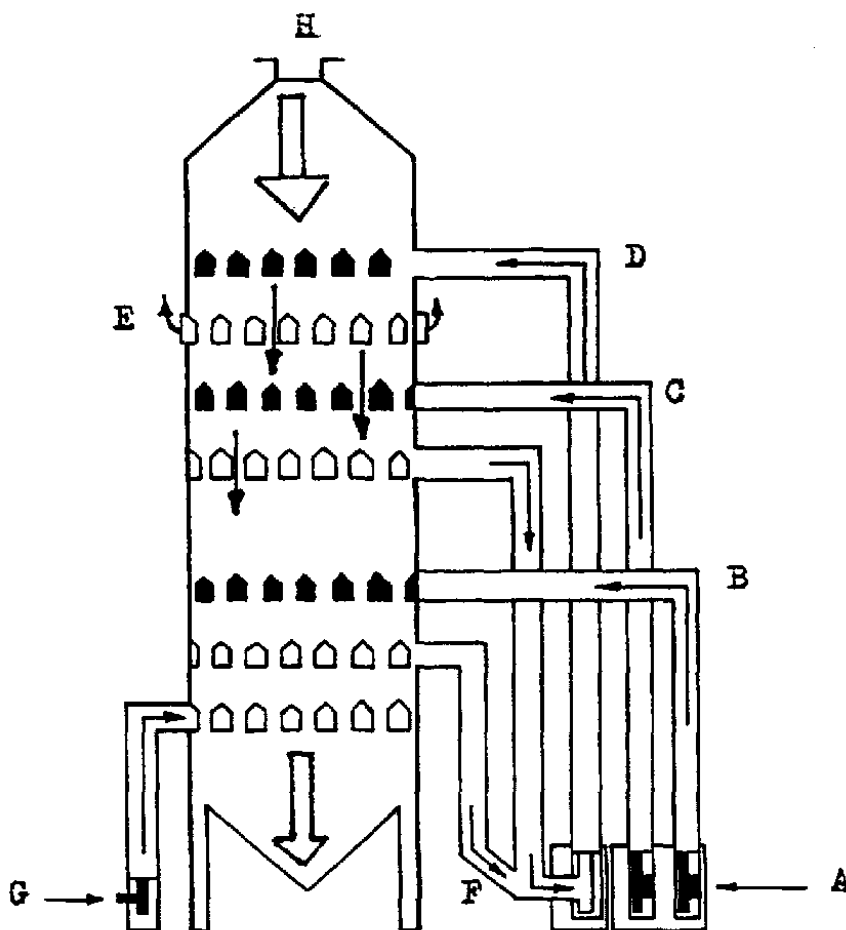
En este tipo, el grano y el aire de secado fluyen en la misma dirección y sentido. De esta forma, el aire caliente se encuentra con grano frío y húmedo, pero la transferencia de calor y humedad que tiene lugar asegura que la temperatura del grano no alcance la temperatura del aire de entrada y que descienda rápidamente.

Este diseño tiene la ventaja que se puede emplear a muy altas temperaturas del aire, que originan altas velocidades de secado sin sobrecalentar el grano. Este último está sometido a un tiempo de permanencia más corto, por lo cual no es muy afectado.

Se ha comprobado también que el consumo específico de energía se encuentra entre 850 y 900 kcal por kg de agua evaporada, que significa una buena eficiencia térmica.

En la práctica, se ha comprobado que la extracción de humedad por cada tratamiento de flujo concurrente no supera los dos puntos de humedad, de manera que las secadoras comerciales existentes tienen dos o tres etapas, separadas cada una por secciones de reposo. Tales máquinas son muy altas, la potencia consumida es elevada y los tiempos de residencia más prolongados, todo lo cual está limitando, hasta ahora, por la difusión de modelos de este tipo, así como su mayor costo inicial.

En la figura 16 se observa una secadora de este diseño, de tres etapas, con temperaturas diferenciales con enfriado en flujo contracorriente.



**FIGURA N°16. Secadora de flujos concurrentes de tres etapas de secado y enfriamiento por flujo contracorriente**

### **3.4 SECADORAS CASCADAS**

Estas máquinas están formadas por uno o dos planos inclinados, compuestos por persianas (las que atraviesa el aire) por las cuales el grano va descendiendo en forma de una cascada continua.

Este sistema tiene la ventaja de que no se tapan agujeros (porque no existen) con borra o basura, como en otras secadoras que tienen paredes perforadas. También son aptas para secar semillas muy pequeñas, como calza, tréboles y otras similares, reduciendo el caudal de aire.

La corriente de aire que pasa por las persianas, además de su función principal de secar y enfriar, realiza una buena limpieza del grano. Las impurezas arrastradas tampoco caen en el plénum o cámara de aire caliente, con lo cual el riesgo de incendio es reducido a un mínimo.

Existen dos configuraciones especiales, una con un solo plano inclinado (figura 17), en el cual la última sección es la zona de enfriado, y otra con dos planos inclinados (figura 18) donde el plano superior es la zona de secado, y el inferior, la zona de enfriado.

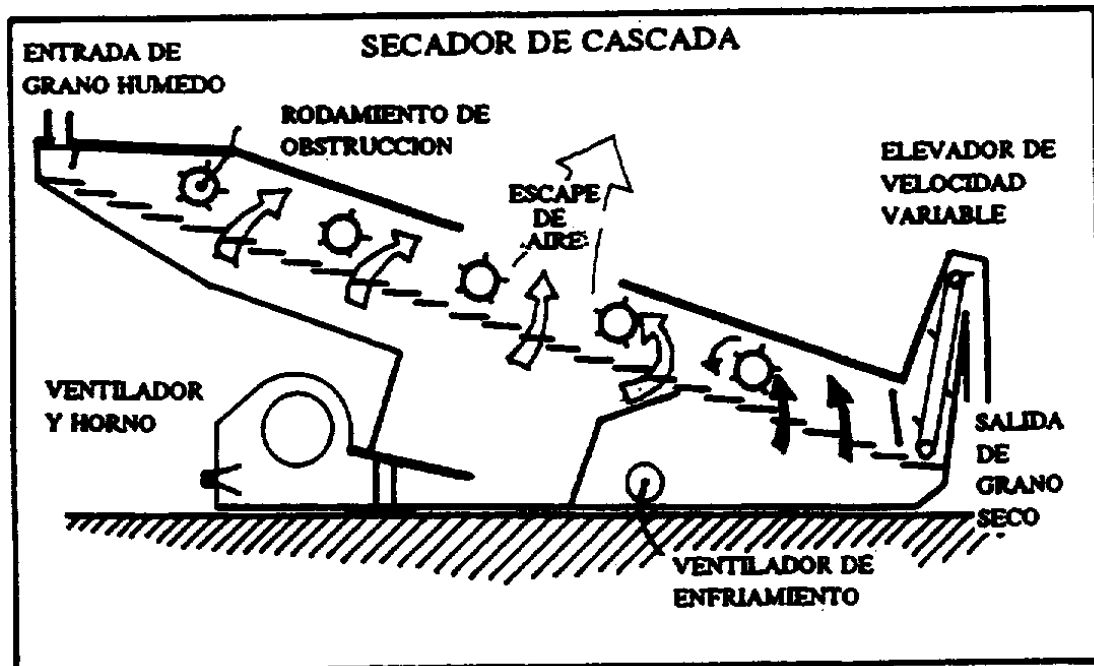


FIGURA N°17. Secadora de cascadas de un solo plano

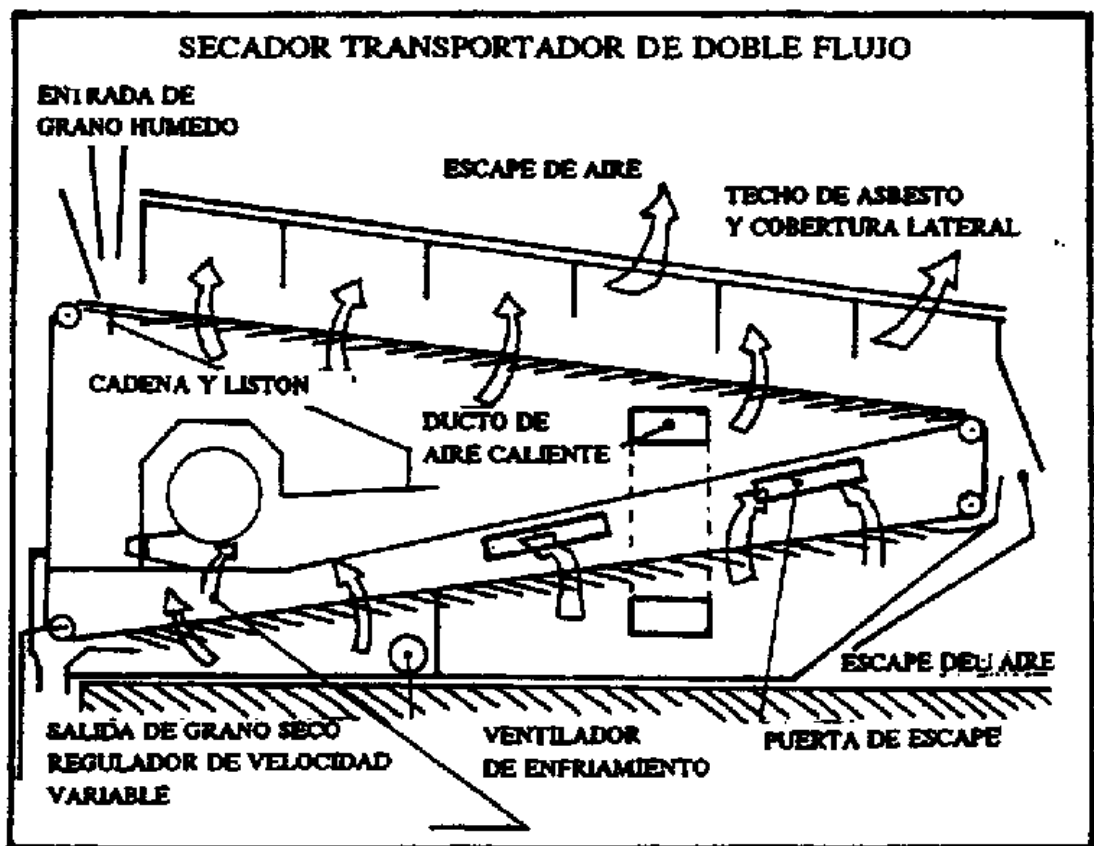
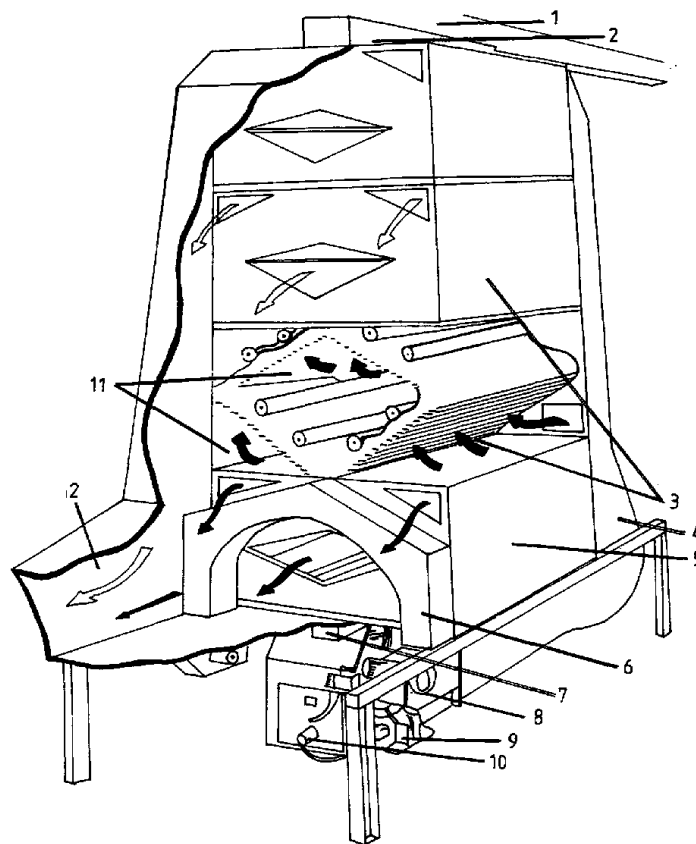


FIGURA N°18. Secadora de cascadas de dos planos

Como son equipos de poca inclinación, ocupan un área superficial mayor que las secadoras tipo torre. Además, la potencia absorbida por toneladas es casi el doble que las secadoras mencionadas.

Con el fin de aumentar la capacidad de secado, se han fabricado secadoras con este mismo principio de cascadas, pero verticales, formadas por módulos de forma romboidal (Figura 19) que pueden montarse uno arriba del otro, obteniéndose secadoras de hasta 100 t/hora.



**FIGURA Nº19. Secadora de cascadas de módulos romboidales**

En general, estas secadoras de lecho en cascadas emplean mayores caudales de aire que las secadoras de flujo mixto, pero trabajan a menores temperaturas del aire de secado.

Sus fabricantes dicen que debido a dichas razones son preferidas estas máquinas por las malterías y los elaboradores de arroz.

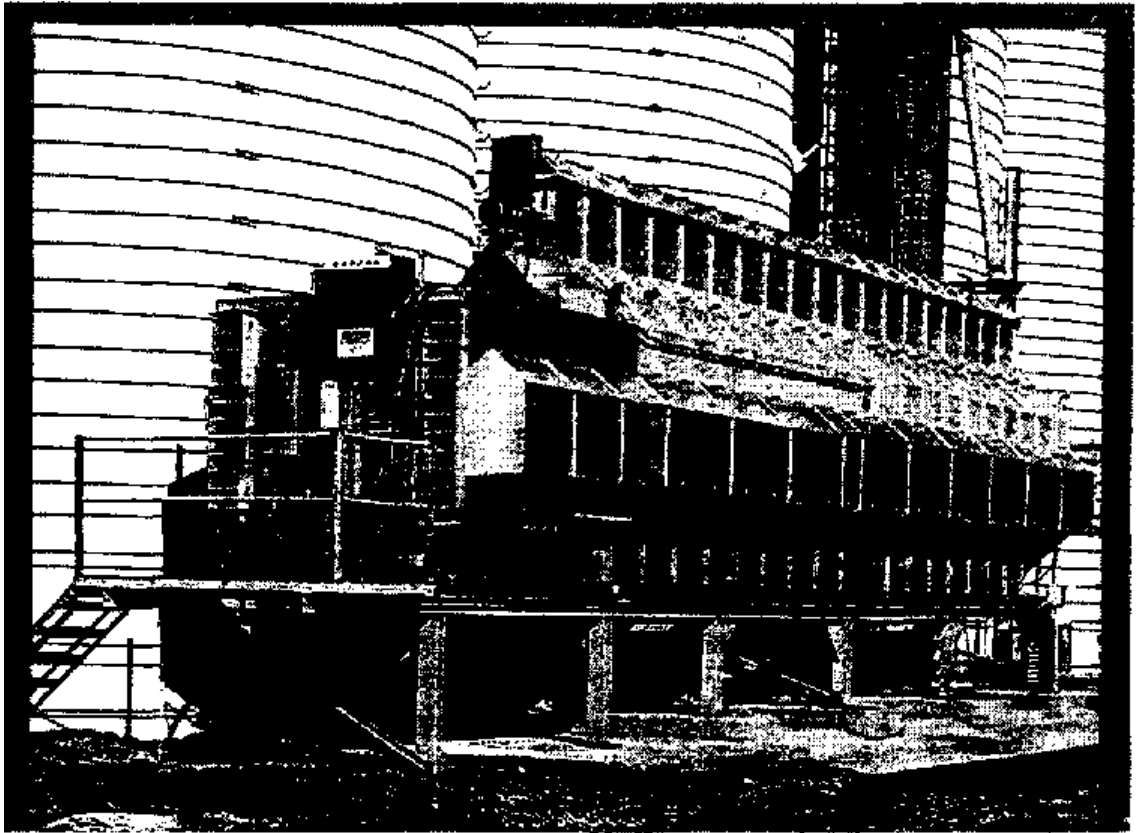
La instalación de las secadoras de 1 ó 2 planos es fácil, pues ya vienen entregadas en un único cuerpo completo, y sólo se necesita una grúa para ubicarlas.

### **3.5 SECADORAS HORIZONTALES**

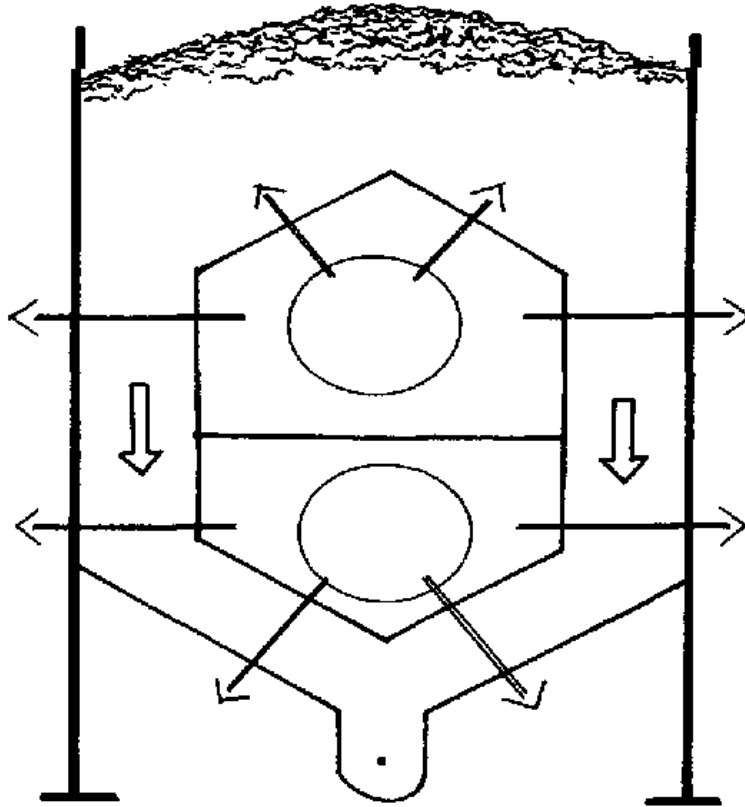
Se ubican en este grupo dos tipos: las secadoras horizontales de columnas hexagonales y las secadoras horizontales planas.

Las primeras son similares en su diseño a las secadoras en tandas, pero se diferencian porque su operación es continua, tienen ciclo de enfriamiento, son más complejas, y suelen ser más largas (figura 20). En la figura 21 se observa un esquema interno de una secadora de este tipo, en la cual el grano se desplaza desde arriba por venas que rodean un plénum de aire caliente o frío.



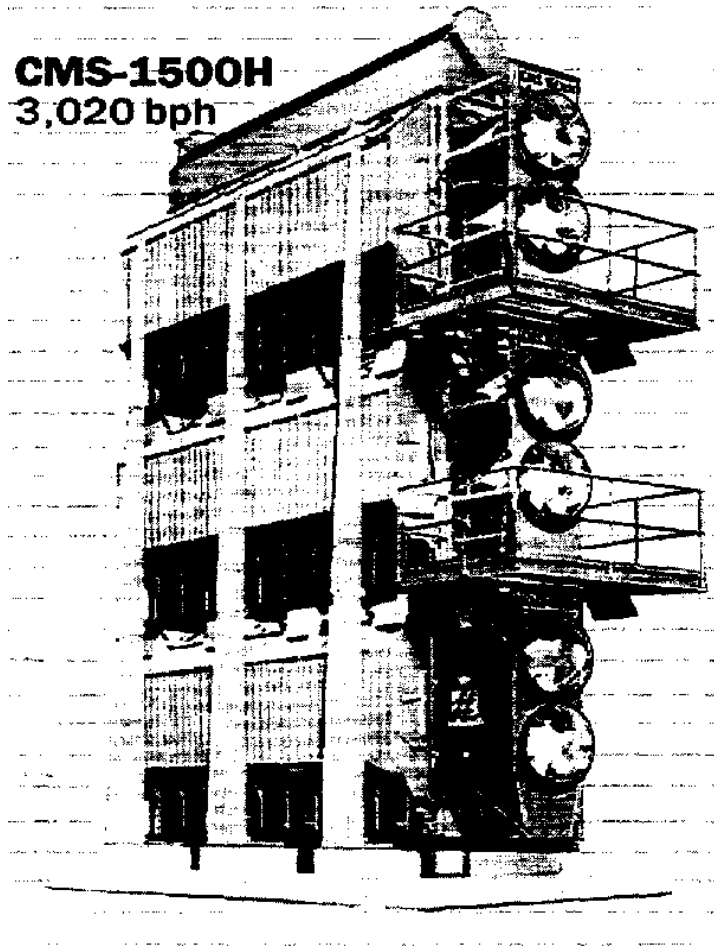


**FIGURA N°20. Secado horizontal de columnas hexagonales**



**FIGURA Nº21. Sección transversal de secado horizontal de columnas hexagonales**

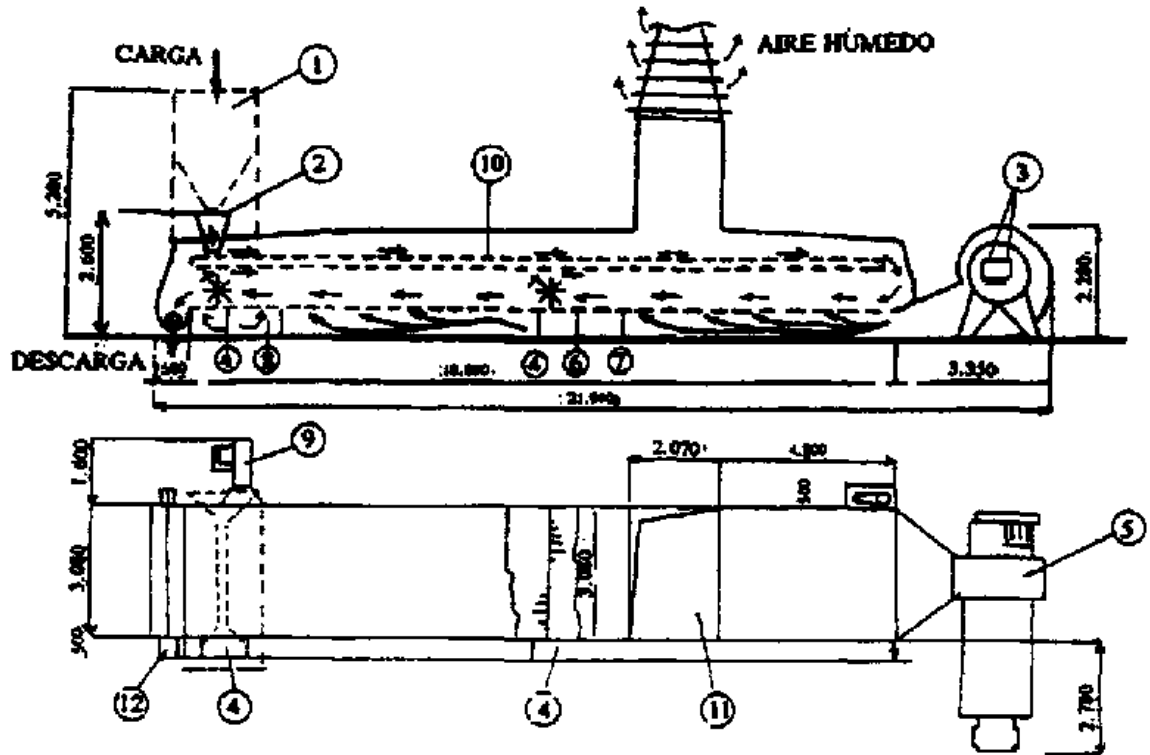
La capacidad de estas máquinas se aumenta haciéndolas de mayor longitud. Algunas marcas están formadas por módulos superpuestos, en los que cada módulo es una secadora individual. Esta última disposición tiene la ventaja de que cada módulo puede tener temperaturas de secado diferentes, mayores en los módulos superiores y menores en los inferiores; al mismo tiempo se detienen o suprimen los ventiladores de aire frío (excepto en el módulo inferior), intercalando de esta forma períodos de reposo que mejoran la calidad y eficiencia del proceso (figura 22).



**FIGURA N°22. Secadora de tres módulos superpuestos**

Las secadoras horizontales planas se caracterizan por tener la sección de secado y enfriamiento en posición horizontal plana. Pueden ser clasificadas en dos modelos: de lecho fijo y de lecho fluido.

Las de lecho fijo (figura 23) tienen una cámara de secado plana de un ancho de unos 3 m y una longitud entre 10 y 15 m.



**FIGURA N°23. Secadora horizontal de lecho fijo, plano doble**

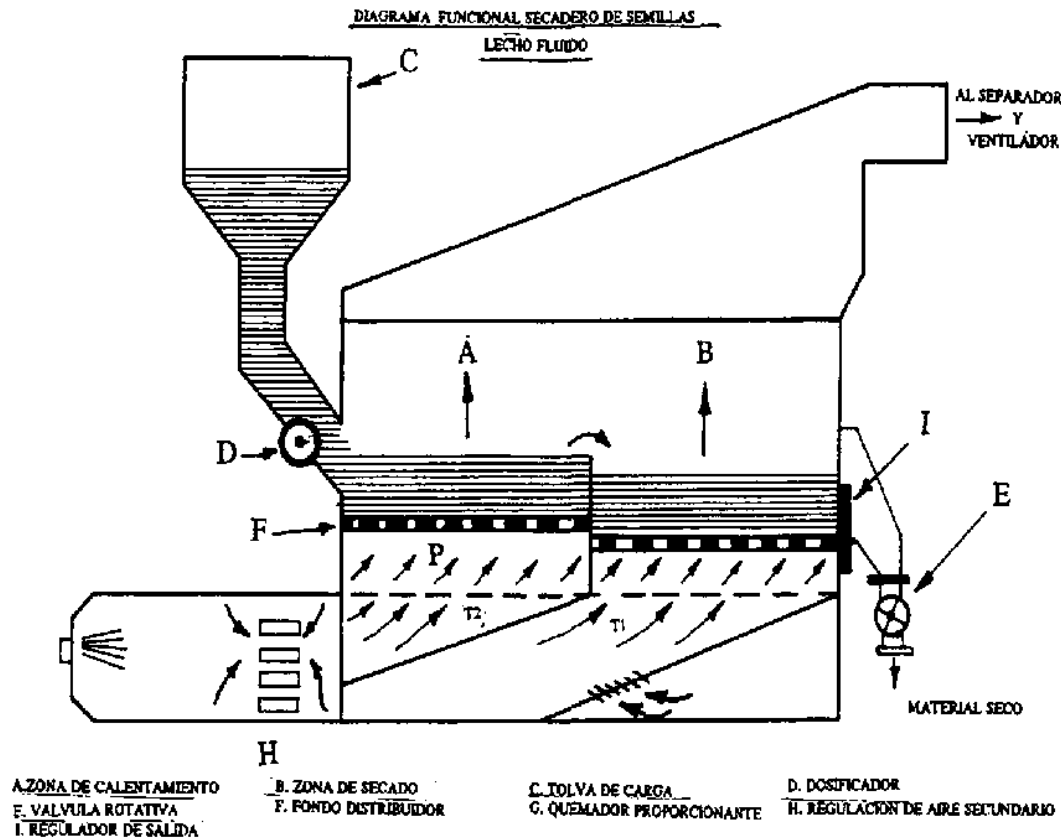
El grano es removido continuamente por un agitador que avanza y retrocede, y es transportado por unidad de piso movable hacia el extremo de salida. En la última parte de la máquina se lleva al cabo el enfriado del grano.

El grano avanza en capas de 30 a 48 cm, removidas regularmente, produciéndose así un buen contacto entre grano y aire. Según sus constructores, estas características les permiten obtener una alta calidad de grano seco.

Muchas de estas secadoras horizontales también pueden ser empleadas para secar forraje, pellets y otros productos y subproductos.

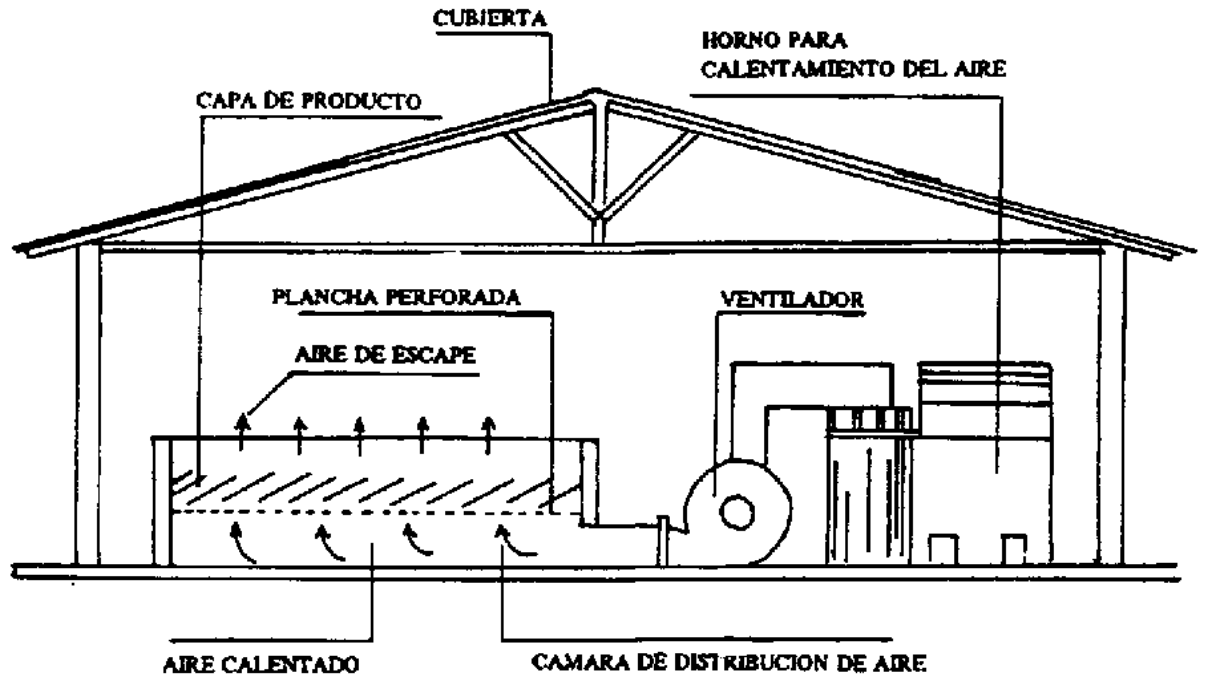
Son secadoras de baja capacidad de secado, de alrededor de 5 -7 t/hora.

Las secadoras de lecho fluido se diferencian porque emplean elevados caudales de aire caliente, con el fin de agitar y poner en suspensión a la capa de granos, y de esta forma conseguir un secado más rápido y uniforme (figura 24).



**FIGURA N°24. Secadora horizontal de lecho fluido**

Existe otro tipo de secadora horizontal de lecho fijo, más simple, también llamada "de capa estacionaria", pero que trabaja en tandas. La ilustración de la figura muestra una secadora de esas características (Dalpasquale et al. 1991) (figura 25).



**FIGURA Nº25. Secadora horizontal de capa estática o estacionaria**

### 3.6 SECADORAS EN TANDAS Y SILOS SECADORES

Este sistema, que tiene lugar en secadoras del mismo nombre, reside en colocar el grano húmedo en la secadora, mantenerlo en ella hasta que es secado, y luego enfriado en la misma. Posteriormente, el grano es extraído y la secadora se vuelve a llenar con otra tanda.

Los sistemas descritos como "secado a baja temperatura" pueden ser asimilados también a un secado en tandas.

*Tanda convencional.* Este secado se hace en una secadora tal como aparece en la figura 26, que es uno de los tipos más difundidos. Pueden ser transportables o no. Se carga la máquina, se prende el quemador, y se seca el grano; luego se apaga el quemador, y el ventilador funciona sólo con aire frío, hasta enfriar toda la carga.



**FIGURA Nº26. Secadora en tandas transportable**

Han aparecido secadoras de este tipo totalmente automáticas, para el llenado, descarga, apagado del quemador y otras operaciones.

Adolece la mayoría el inconveniente del espesor de la columna de grano que ocasiona un secado disparejo, pues el grano en contacto con las chapas calientes sufre un sobrecalentamiento y un sobresecado excesivo, mientras que en el lado opuesto el grano esté húmedo y poco caliente. Para reducir estos problemas, se aconseja hacer dos pasadas a

baja temperatura (unos 70°C), derivando el grano a un silo intermedio, donde pueda reposar, y volver luego a la secadora.

Las secadoras en tandas son, en general, de baja capacidad y pueden ser empleadas en la propia finca o chacra del productor. Siempre tienen que tener una capacidad similar a la de las máquinas cosechadoras, para no interrumpir la cosecha.

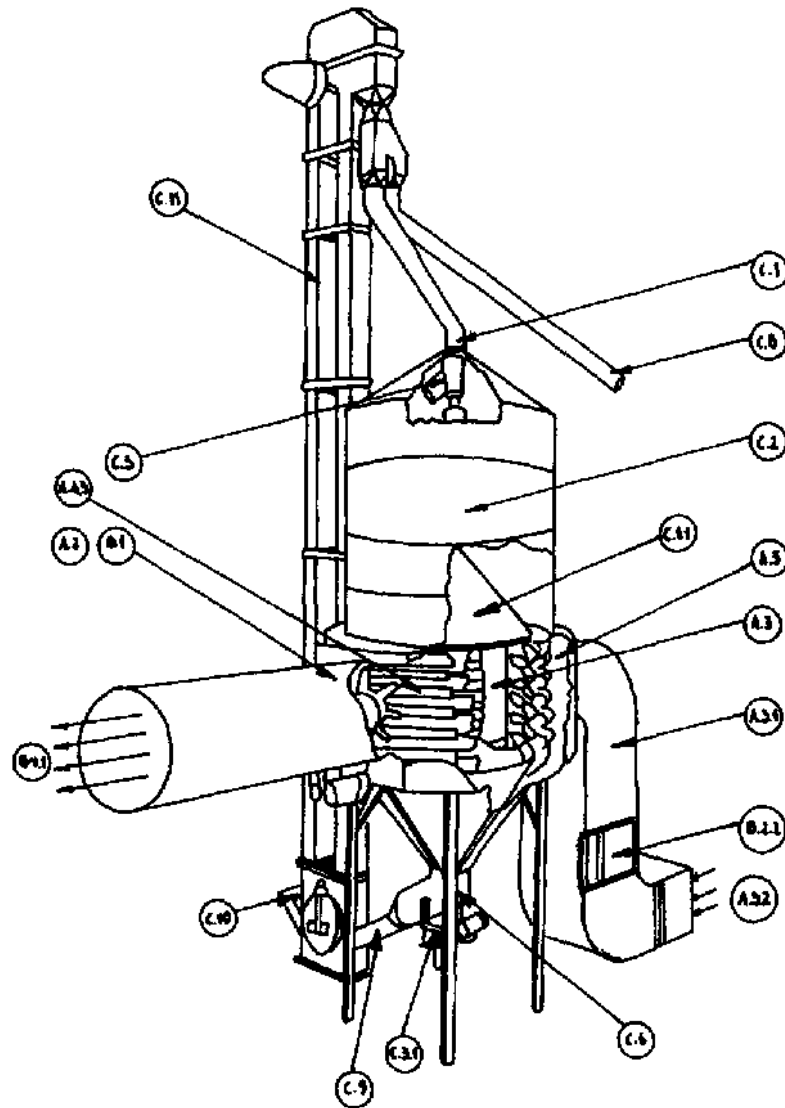
Estas secadoras se adaptan bien para seca-aireación.

### **3.6.1 SECADORAS EN TANDAS CON RECIRCULACIÓN**

Estas secadoras, ya sea de columnas o de caballetes, poseen una cámara de secado convencional, pero el grano es reciclado varias veces en la secadora, con el auxilio de un elevador de cangilones o de una rosca vertical, de manera que existen períodos de descanso, que favorecen un templado parcial del grano. Una vez que el grano está seco, se lo enfría apagando el quemador, y se lo descarga, quedando luego la máquina libre para un nuevo ciclo.

Estas máquinas pueden presentarse en modelo fijo o en modelo transportable, y en versiones más chicas pueden ser accionadas por la toma de fuerza de un tractor (figuras 27 y 28).





**FIGURA N°27. Secadora en tandas con recirculación, noria elevadora y período de reposo**

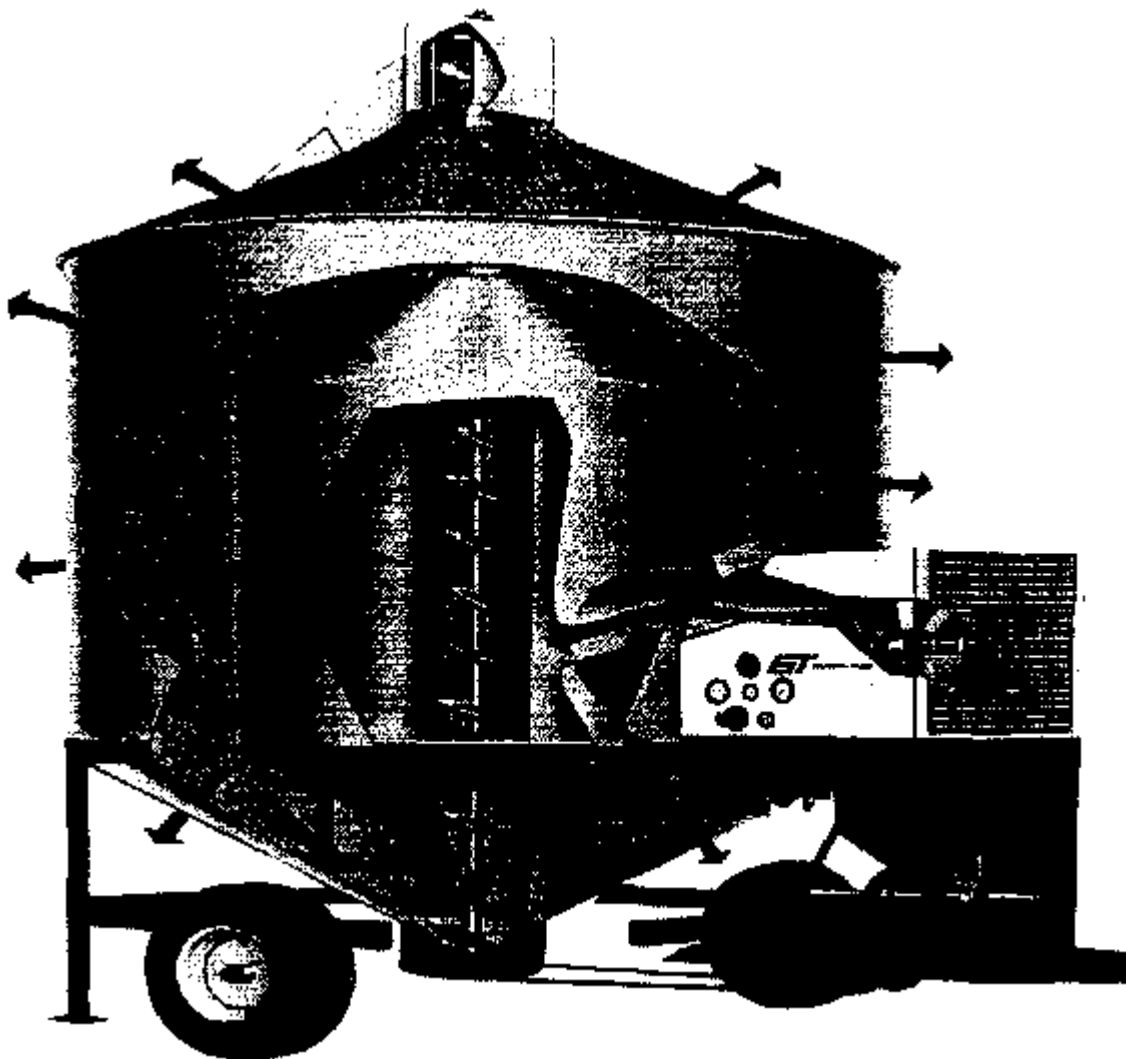
Si bien el manipuleo extra a que es sometido el grano puede ocasionar un gasto mayor de energía y quizás algo más de rotura, es posible conseguir un grano de buena calidad; se obtiene, además, una mejor uniformidad de secado que con las secadoras en tandas del tipo convencional.

Se adaptan bien para secar arroz, que necesita varias etapas y ciclos de reposo con el fin de mantener una muy buena calidad para su procesamiento posterior.

Hay que destacar que, debido a las diversas pasadas del grano por la secadora, la capacidad de secado se reduce apreciablemente en comparación con una secadora convencional continua, pero se produce, una ganancia significativa de la calidad del grano.

Todas las secadoras en tandas, tanto las estáticas como las que circulan el grano, tienen la ventaja de poder variar el tiempo de enfriamiento independientemente del tiempo de secado.

Por otra parte, no es probable que la recirculación del grano mejore la eficiencia energética.



**FIGURA Nº28. Secadora en tandas con recirculación por rosca elevadora**

#### **4. TIPOS DE SECADO**

##### **4.1 SECADO EN DOS PASADAS**

Esta es una variante recomendada del secado convencional cuando se trata de partidas de alto porcentaje de humedad.

Si se debe secar un grano, por ejemplo, de maíz o trigo, que tenga alrededor de 28-30%, el hacerlo en una sola pasada por la secadora significa que estará obligado a

permanecer dentro de la máquina un tiempo demasiado prolongado y por ende a estar más tiempo en contacto con el aire caliente; el daño al grano puede ser considerable. En una sola pasada no debiera superarse una extracción de 6-7 puntos de humedad.

La solución más recomendable consiste en hacer dos pasadas por la máquina; en la primera la humedad será reducida a 18-20% enviando luego el grano a un depósito de donde se lo extrae para volverlo a pasar por la secadora, después de unas horas de estacionamiento. Con esto se consigue que la humedad se uniformice en toda la masa, para terminar el secado y salir a la humedad de recibo.

La primera pasada puede hacerse también "toda en caliente, con una mayor velocidad de pasada aumentando la descarga de la máquina. Para ello hay que anular el ventilador de aire frío. No es conveniente aplicar el enfriamiento en la primera pasada, pues es un gasto inútil de energía.

Este método tiene el inconveniente de la duplicación de movimientos, la necesidad de contar con silos extras, y la correcta sincronización de los tiempos de permanencia en la secadora y en los silos. Pero con éste se logra aumentar considerablemente la capacidad de la secadora, y se reducen mucho los daños que pueda sufrir el grano gracias al período de reposo.

En Francia suele emplearse un sistema similar. En la primera pasada por la secadora la humedad se reduce, por ejemplo, de 35 a 21-22%, se transfiere luego el grano a un silo intermediario provisto de buena aireación, donde puede mantenerse durante un período de 1 a 3 semanas. Cuanto mayor sea la humedad con que el grano ingrese a este silo, menor será el tiempo de permanencia en éste; del mismo modo cuanto menor sea la temperatura

que se pueda bajar con la aireación, más prolongado puede ser el período en el silo intermediario. Pasado este período, el grano vuelve a la secadora para la segunda pasada y el secado final.

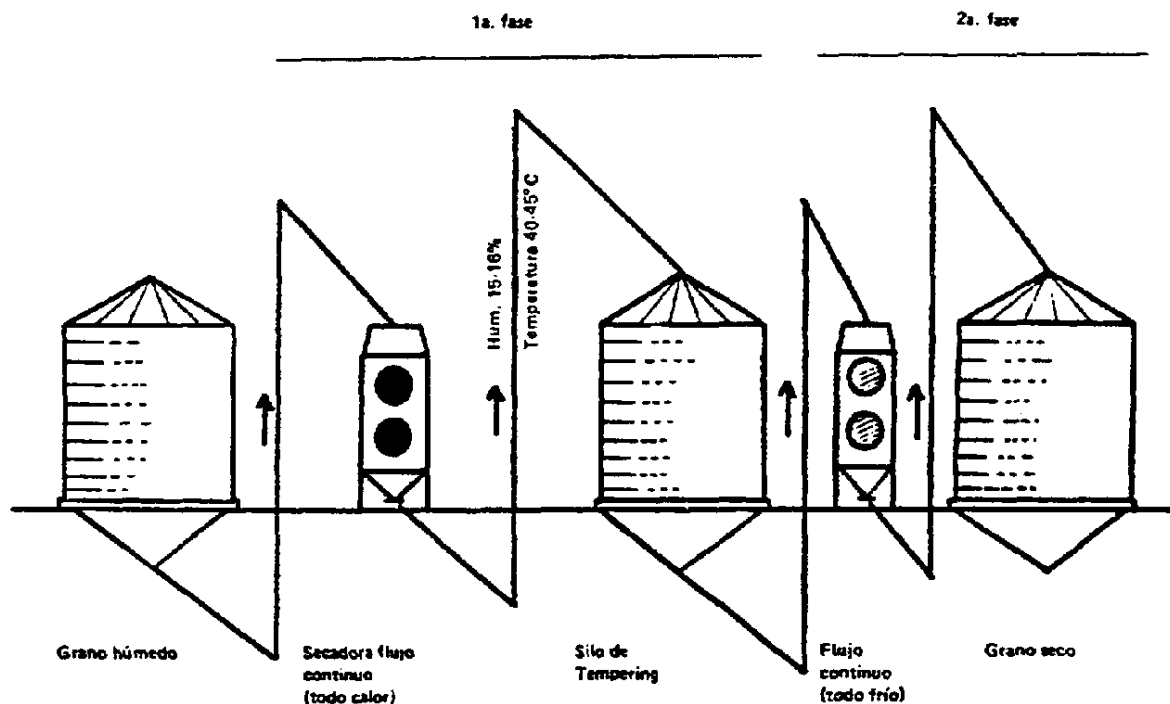
Con este método, se puede superar en parte el problema de grandes ingresos de grano húmedo, pues puede regularse mejor el proceso de secado reduciendo los riesgos de prealmacenamiento húmedo. Los inconvenientes que presenta son una cierta pérdida de materia seca ocasionada por este período en el silo intermediario, y la necesidad de tener estos depósitos suplementarios con la correspondiente inversión.

#### **4.2 SECADO POR RETORNO**

El secado por retorno, que puede ser asimilado al sistema de seca-aireación (dryeration) - aunque existan ciertas diferencias que se puntualizan más adelante, consiste en emplear la secadora "todo caliente" en la primera pasada, como si fuera seca-aireación, y luego transferir igualmente a un silo de reposo. Transcurrido el período de "témpering" (8 a 10 horas), se retorna el grano a la secadora; funciona ésta con sus ventiladores sin prender los quemadores, para un palado de enfriamiento y secado final.

Este método implica también un movimiento adicional de norias y un pasaje doble por la secadora, pero mantiene una calidad aceptable del grano y el costo por tonelada resulta más bajo que en el secado convencional. Con respecto a la seca-aireación, tiene la ventaja de que no requiere silos especiales de enfriamiento con aireación reforzada, por lo cual las inversiones son menores.

En este caso, también se aumenta en cierta proporción la capacidad horaria de la secadora. El procedimiento es adecuado para secar trigo, maíz, soja, sorgo y girasol y se adapta preferentemente para plantas pequeñas y medianas (figura 29).



**FIGURA N°29. Secado por retorno**

Marsans et al. (1985) aconseja una buena sincronización para este sistema. En la primera pasada, se trabaja unas seis horas con la secadora, y con el grano caliente (unos 40°C) y el grano algo húmedo, se lo deriva a un silo. Luego se sigue trabajando otras 6 horas y se lo deriva a otro silo. Posteriormente, se reingresa el grano del primer silo (que tuvo un reposo entre 6 y 9 horas) y se lo airea durante aproximadamente 3 a 4 horas, y así se continúa.

El enfriamiento es más violento que en seca-aireación, por lo que es posible que aparezca un porcentaje mayor de fisurado. Sin embargo, es apropiado para secar soja

(Marsans, 1985) pues, comparado con un secado convencional, produce menor porcentaje de cáscara suelta y granos rotos.

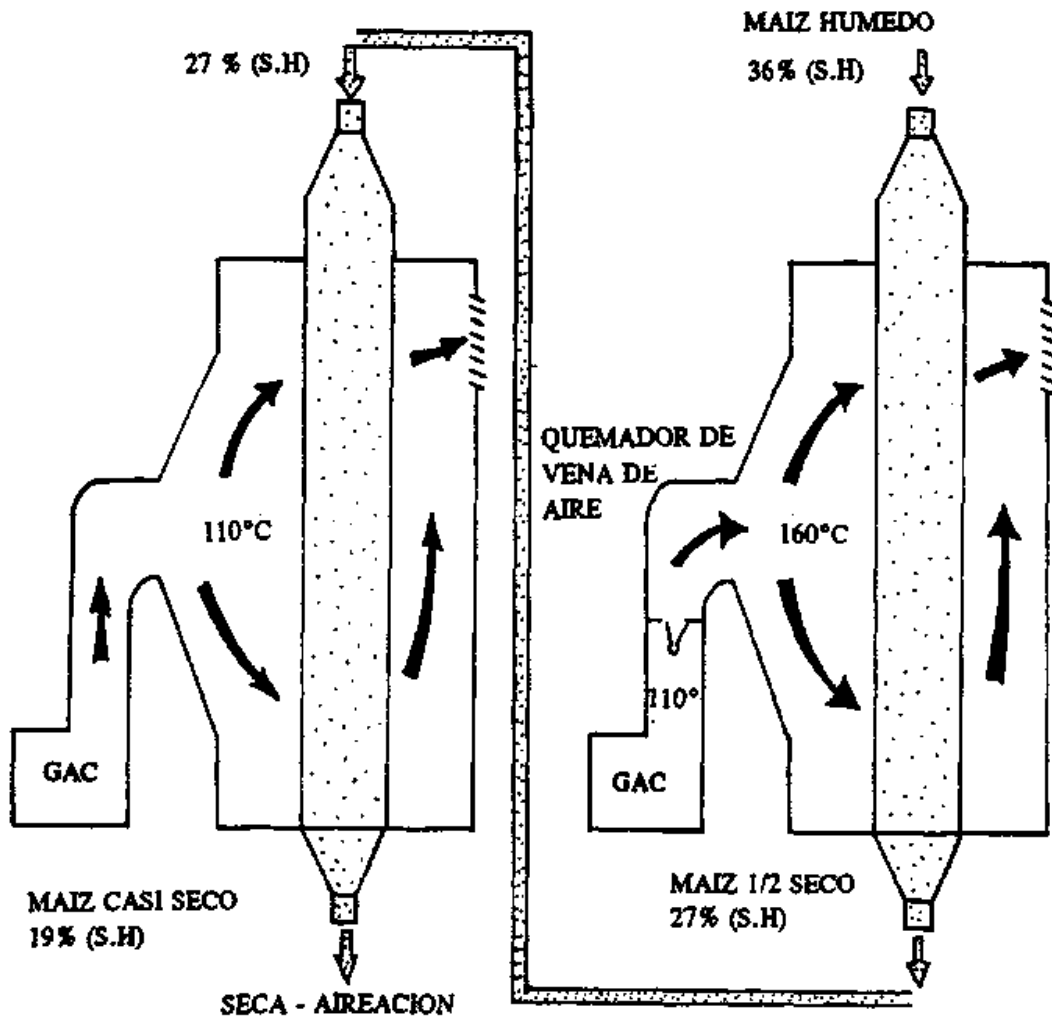
### **4.3 SECADO COMBINADO**

Cuando en una misma planta de acopio se poseen dos secadoras, pueden trabajar en serie o en paralelo. En paralelo significa que las dos trabajan a la par, recibiendo el grano, al que secan y enfrían en forma simultánea. Este sistema tiene la ventaja de que si una secadora se detiene por algún inconveniente, la otra sigue funcionando.

Trabajar en serie significa que el grano que sale de una secadora ingresa a la otra, donde se finaliza el proceso. En la primera, la máquina trabaja toda en caliente, y el grano es secado, por ejemplo, de 30 a 18%, y en la segunda, de 18 a 14%. Esta última también puede trabajar toda en caliente, dejar salir el grano a 15,5%, y terminar el proceso por el sistema de seca-aireación.

Sin embargo, se requiere contar con un elevador extra para las dos secadoras, además de las modificaciones para adaptarse a seca-aireación. Otra desventaja que presenta reside en la elección correcta de las respectivas capacidades de las dos secadoras y en el ajuste de los caudales de grano.

Es evidente que este último procedimiento se adapta más a secadas con alto porcentaje de humedad inicial. La ilustración de la figura 30 muestra dos secadoras trabajando en serie en una cooperativa francesa, equipadas con quemadores a gas, con dos temperaturas diferenciales y seca-aeración (M. Blin, 1979).



**FIGURA N°30. Secadoras trabajando en serie**

Este método consiste en emplear, en primer lugar, un secado donde todo calará del grano húmedo, y luego que ha llegado a 18-20%, transferirlo a un silo con aireación común, donde se termina de secarlo y enfriarlo. Este período en el silo puede demorar de 4 a 8 semanas, o más tiempo. Si se utiliza una aireación más potente, de unos 50 m<sup>3</sup>/hora, el período se puede reducir a 40 - 80 horas.



En Estados Unidos, por ejemplo, y por su clima más frío, el secado y enfriado puede ser detenido a fines de otoño y completado durante la primavera siguiente. Es practicado por muchos agricultores de aquel país con maíz, pues les reporta una serie de ventajas, como aumento de la capacidad horaria, reducción del consumo de energía y una mejor calidad del grano. Además, es más flexible para las condiciones del país del Norte, porque cuando el cultivo madura tempranamente debido a un clima favorable, el secado a alta temperatura puede ser parcialmente eliminado, y reemplazado por secado con aire natural o levemente calentado.

En realidad, es una variación de seca-aireación, con la diferencia de que no hay un período de "témpering" completo y la aireación se conduce en silos con aireación común, por lo cual el proceso demora mucho más tiempo.

Es posible que, debido al prolongado tiempo de aireación, pueda quedar una diferencia de humedad de varios puntos entre el fondo del silo y su parte superior .

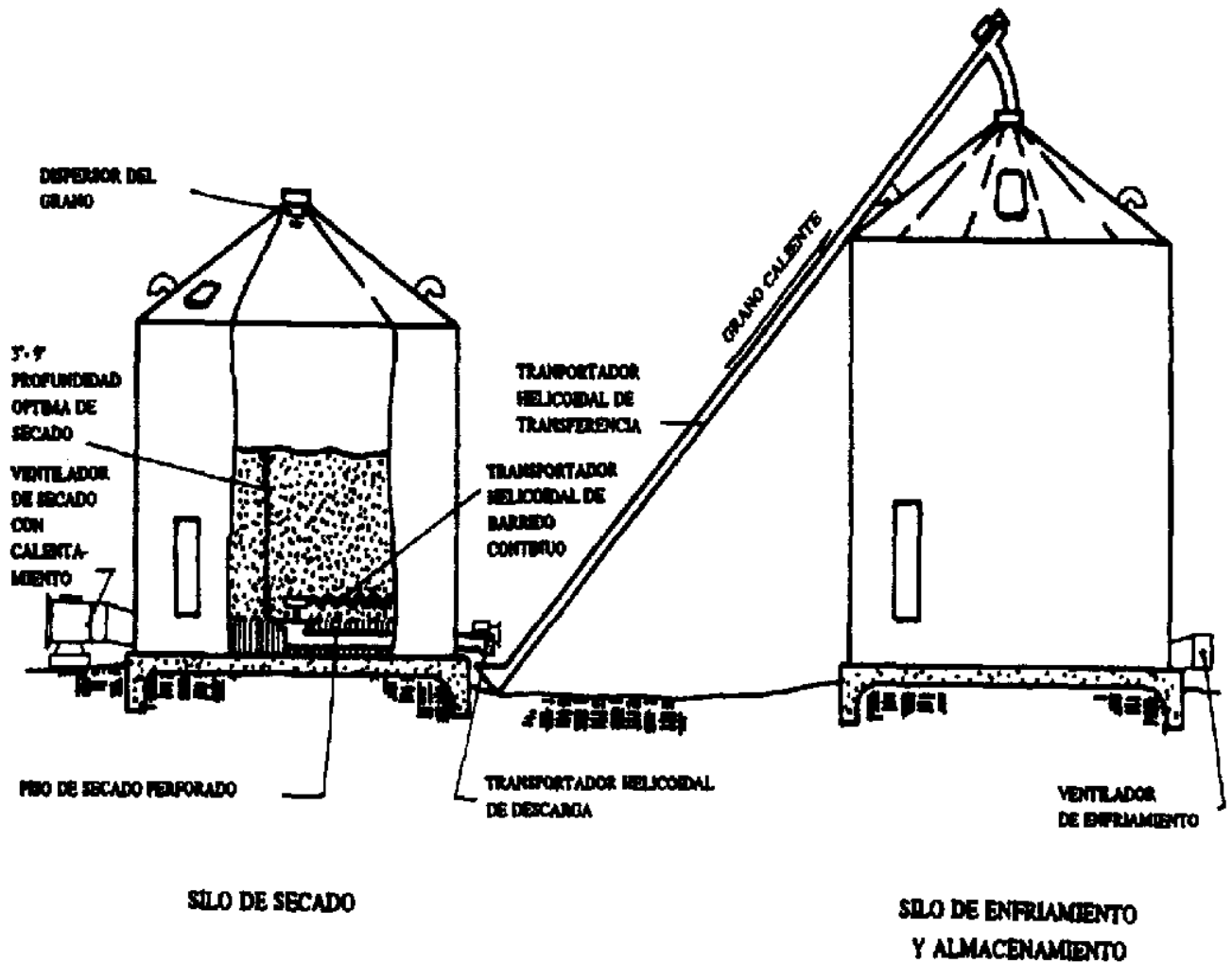
El secado combinado puede tener un costo algo mayor que el de seca-aireación (Bakker-Arkema, et al., 1980) pero origina menos cuarteado y una menor susceptibilidad a la rotura que este último.

En Argentina, algunos acopladores practican un sistema similar; secan convencionalmente (con o sin enfriamiento) hasta 14,5-15%, y luego traspasan el grano a un silo con aireación normal, donde lo terminan a 14 -13,5% luego de varios días o semanas.

#### **4.4 SECADO Y ENFRIADO EN SILO**

Este sistema, también conocido como "bin cooling", se ha difundido mucho en Estados Unidos en los últimos años entre los productores de maíz (Bakker-Arkema, 1984).

Consiste de dos silos, uno de los cuales es un silo-secador con aire caliente por contracorriente. El grano se carga en el primer silo y es secado hasta que una capa de 10 cm de grano en el fondo haya alcanzado un contenido de humedad de 16,5 - 18,5%. Este grano caliente y parcialmente seco es removido del fondo con una rosca barredora y es transferido al segundo silo, donde tiene lugar el secado final y el enfriamiento. Posteriormente, ingresa otra capa de 10 cm (figura 31).



**FIGURA N°31. Secado y enfriado en silo**

La temperatura del aire en el primer silo es de 70 a 95°C, dependiendo del tipo de grano y su humedad. El caudal es entre 10 - 30 m<sup>3</sup>/min-t, que depende de la altura del grano en el silo. En el segundo silo se usa aire ambiente, con un caudal de 3-10 m<sup>3</sup>/min-t, también dependiendo de la altura del grano.

La remoción del grano parcialmente seco del primero al segundo silo es intermitente. El ciclo de tiempo de la rosca depende del valor del caudal de aire, la humedad del grano y la temperatura del aire.

La capacidad de secado es de unas 2 t por hora (bajando de 26 a 1596 de humedad), pero resulta de alta eficiencia energética. La calidad del grano es algo inferior a la obtenida con seca-aireación.

#### **4.5 SECADO SOLAR**

El uso de la energía solar para secar granos ha sido práctica general en muchos países para cantidades pequeñas o medianas.

Los patios, playas o canchas donde se volcaba y distribuía el grano húmedo han existido, y existen todavía en muchas fincas o pequeñas empresas de países de zonas tropicales y subtropicales.

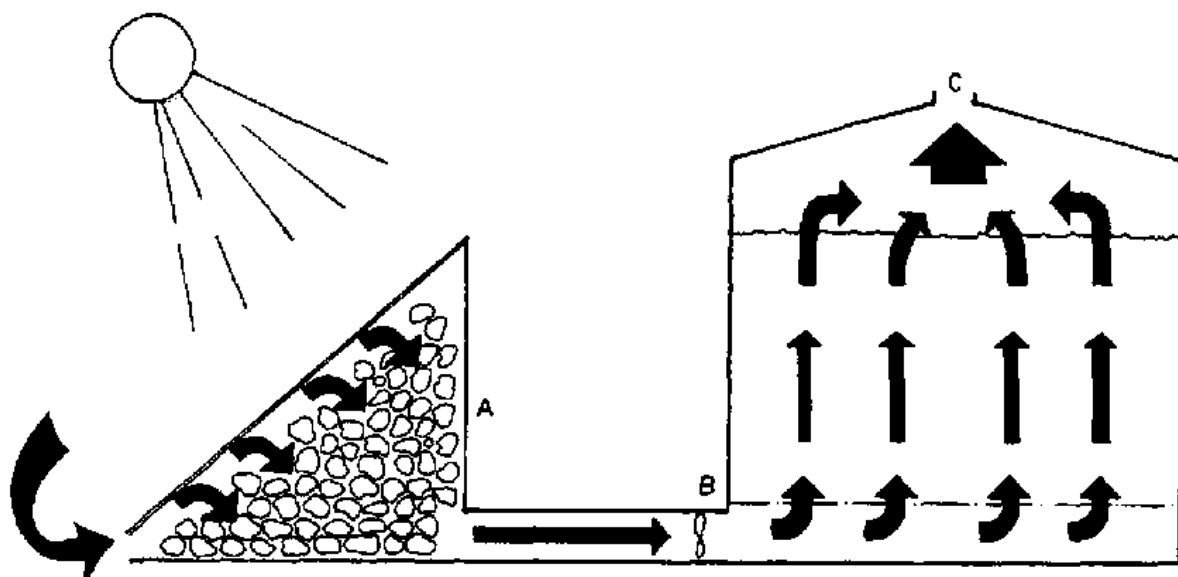
Expuesto en capas de pocos centímetros y con una remoción periódica, el grano se secaba al sol, en forma pareja y con un costo mínimo. Se distribuía durante el día y se recogía por la noche.

Pero en los últimos años se han creado algunos equipos para secar granos empleando secadoras simples que utilizan la energía del sol para calentar el aire.

Esta técnica es ventajosa para volúmenes reducidos, pues el ahorro de energía es considerable, la inversión escasa, y no afecta mayormente la calidad de los granos.

Sin embargo, su empleo a escala de gran acopio es impráctico porque es un método lento, y porque requiere colectores solares de gran superficie, de manera que su aplicación ha quedado reducida a pequeños productores.

En la figura 32, se ilustra esquemáticamente una secadora solar. En A se indica un colector solar, formado en este caso por piedras amontonadas en una caja cuyas paredes inferior y lateral son negras. El aire penetra por la parte inferior, atraviesa las piedras calentadas por el sol, se calienta a su vez, e ingresa al silo de grano por la parte inferior, auxiliado por un ventilador B para secar los granos, y sale por la abertura superior C.



**FIGURA N°32. Secado solar**

#### **4.5 SECADO POR MICROONDAS**

La difusión de la energía por microondas para el calentamiento y cocción de alimentos, que se ha expandido por todo el mundo, ha predispuesto a probar el sistema para el secado de granos. Las experiencias realizadas han sido promisorias en cuanto a la mayor velocidad de secado, pero han ocasionado algunos problemas de deterioro de la calidad de los granos, similares a los del secado convencional. Por otro lado, el alto costo de este procedimiento lo limita por ahora, solamente, a experiencias de laboratorio (Nelson, 1986).

Las frecuencias de microondas son parte de la porción de radiofrecuencias del espectro electromagnético. Generalmente, están consideradas las que caen en las frecuencias de alrededor de 1 GHz.

Este tipo de secado no contamina los granos y seca rápidamente, pues actúa sobre toda la masa de granos en forma casi instantánea.

#### **4.6 SECADO NATURAL**

Se llama así al secado del grano que se produce naturalmente en la planta en el campo, y que llega a la humedad apropiada para su conservación posterior.

Este secado se origina en países o regiones donde las condiciones climáticas son estables y más bien secas en la época de maduración del grano. Esta situación se presenta, por ejemplo, en Australia, donde la gran mayoría de su producción triguera se cosecha bien seca, a veces entre 10 y 12%, porque las características del clima en el mes de diciembre se presentan uniformemente cálidas y secas. Sólo en algunas regiones más húmedas puede necesitarse el secado artificial.

En Canadá, se manifiesta una situación similar. Se calcula que de cada 5 años, cuatro son propicios para el secado natural del trigo, y sólo un año se cosecha el grano húmedo, requiriéndose, entonces, el secado artificial convencional.

Es evidente que estas condiciones son muy favorables desde el punto de vista de la calidad de los granos y del ahorro de la energía que necesitaría el secado. Canadá tiene todavía una ventaja adicional, su clima más frío, que permite una mejor conservación de los granos.

La mayoría de los países europeos, sobre todo los ubicados hacia el norte del continente, se encuentran en una situación opuesta. Casi toda su producción granaria se cosecha húmeda y debe ser secada, como en Inglaterra y Alemania. En Francia, el trigo se recoge, en general seco, pero el maíz, a veces tiene una humedad superior al 40%.

Pero, además, debe tenerse presente que en esos países de Europa la base de la comercialización, para maíz y trigo, está en promedio en 15% de humedad, valor algo elevado para países, como Argentina, y muy elevado para naciones importadoras de grano, como lo son muchos países africanos, árabes y asiáticos, en los cuales la conservación de los granos sería extremadamente difícil a esas humedades.

Países como Francia, que exportan grandes volúmenes de trigo, se encuentran en la necesidad de secar partidas para poder satisfacer las condiciones de los compradores.

#### **4.7 SECADO EN TROJES**

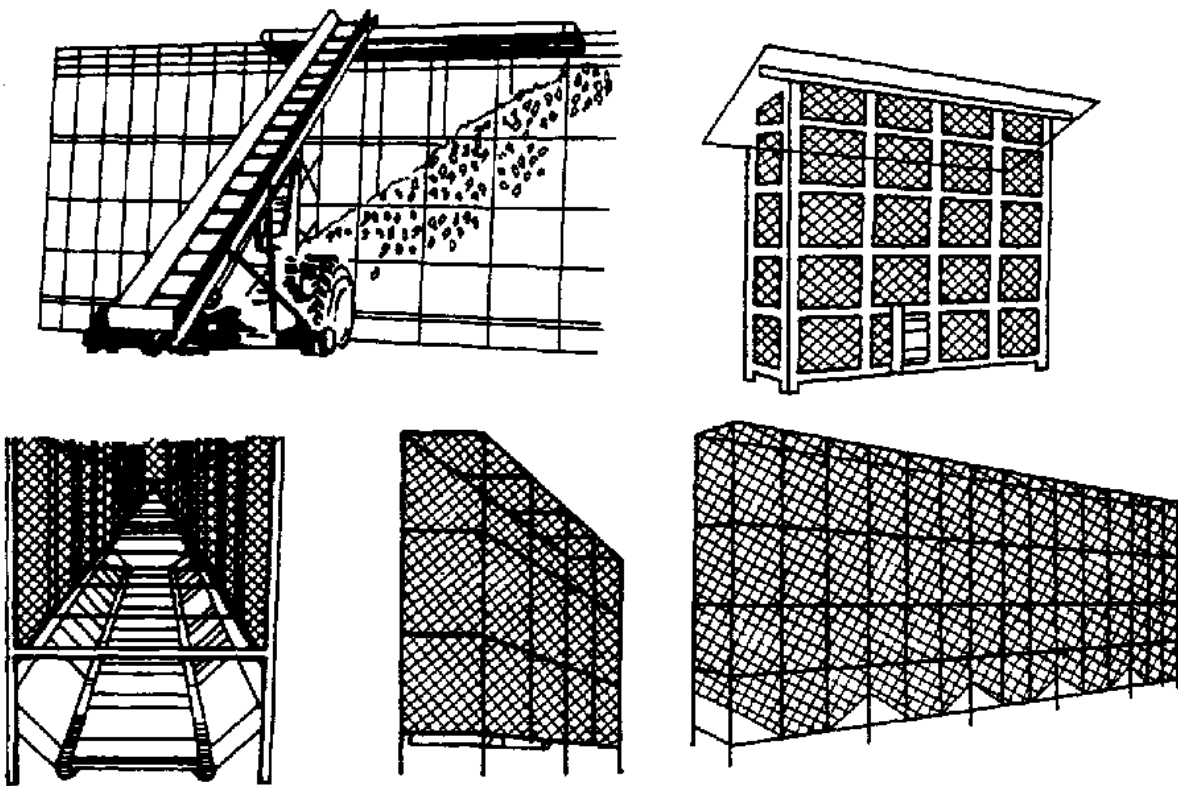
Cuando el maíz se cosecha en mazorca, con juntadoras-espigadoras, y con cierto porcentaje de humedad, se debe almacenar en depósitos especiales, llamados trojes, para su secado natural.

Antiguamente se hacían trojes cilíndricas, de alambre tejido perimetral, para que pudieran ser atravesadas por los vientos y secar así las mazorcas.

La cosecha en mazorca en Argentina por ejemplo, queda restringida a los criaderos o semilleros de maíz, porque el sistema permite obtener una mejor calidad de semilla, excepto en años de muy malas condiciones climáticas.

En Francia y Estados Unidos, el sistema suele ser utilizado por aproximadamente 15% de los agricultores, que generalmente destina la cosecha al autoconsumo.

En la actualidad, se emplean las trojes de forma rectangular, largas y angostas (figura 33). Suelen tener una altura útil de 4 a 6 m, un espesor de 0,80 a 0,90 m y un largo variable, que depende de la producción cosechada, pero pueden llegar a 50 m. Se aconseja no colocar espigas con más de 20% de humedad.



**FIGURA N°33. Tipos de trojes rectangulares**

El piso está algo elevado del suelo, para evitar el contacto con la tierra. Todas las paredes y el piso son de alambre tejido y tienen un techo protector, ya sea de material o de atados de paja.



El costo de una troje rectangular de hierro y alambre en Francia es de unos 40 dólares por m<sup>3</sup> almacenado. Un metro lineal de troje de 4 m de altura y 0,80 m de espesor puede guardar 20 quintales de grano.

En un sistema mecanizado se suelen cargar con un elevador portátil, y tienen un transportador de cadena tipo "redler" para favorecer la descarga y el transporte de las mazorcas hacia la trilladora.

Estas trojes deben estar alejadas de cercos, edificios o montes de árboles que actúen de corta-vientos, y orientados de manera de enfrentar a los vientos predominantes.

#### **4.8 SECADO A BAJA TEMPERATURA**

Este tipo de secado se realiza en silos-secadores o secadoras en silo, equipos que generalmente están formados por un silo metálico apropiado para estos fines (figuras 34, 35, 37, 38). Se utiliza sólo el aire natural, o levemente calentado. El procedimiento es relativamente simple, económico y mantiene una buena calidad de grano, pero se deben cumplir una serie de requisitos, que pueden enumerarse como sigue:

**a.** La humedad del grano no debiera ser superior a 20% para nuestras condiciones (22% en Estados Unidos). A humedades superiores, es posible secar el grano, pero la temperatura del aire debe ser inferior a 15°C y utilizar caudales de aire más elevados. En caso contrario, pueden producirse alteraciones en algunas capas de la masa de granos.

En Estados Unidos, los máximos contenidos de humedad para este tipo de secado (MWPS-13, 1987) son:

<b>maíz</b>	22%
<b>girasol</b>	18%
<b>lino</b>	15%
<b>trigo</b>	17%
<b>sorgo</b>	22%

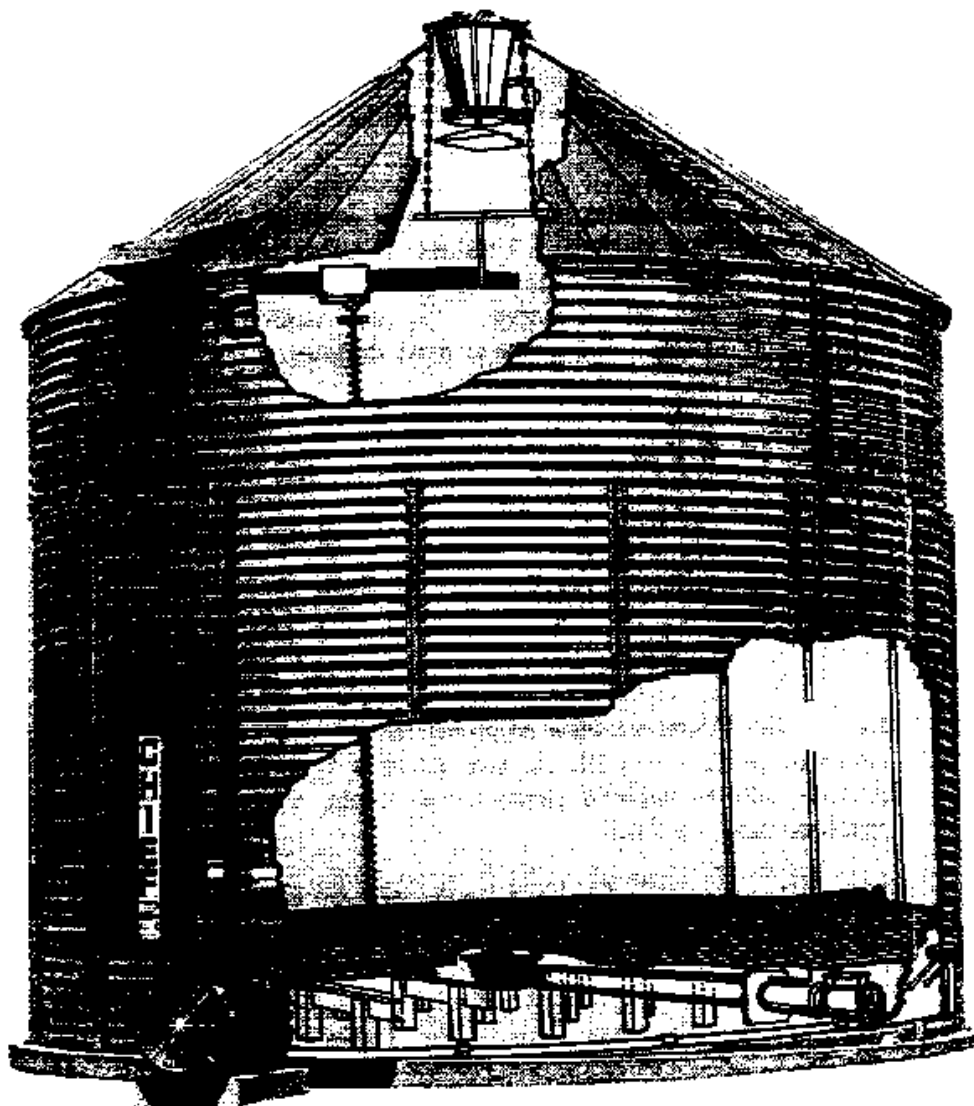
**Cuadro 2. Máximos contenidos de humedad para secado a baja temperatura**

**b.** La cantidad de grano a secar es aconsejable que no supere las 300 t y que la altura de grano en el silo no sea mayor a 5 m. Si los silos fueran más grandes, sólo se deberían llenar parcialmente, o hasta donde la altura del grano no pase los 5 m.

**c.** El caudal de aireación debe ser bastante elevado; cuanto mayor sea el caudal, mayor es la velocidad del frente de secado, pero debe tenerse presente que ese mayor caudal requiere un motor más potente.

Para secar con aire natural en condiciones inglesas (Nellist, 1986), el caudal aconsejado es de 135 m<sup>3</sup>/hora y por m<sup>3</sup> de grano.

Los caudales necesarios para secar maíz, con datos de Estados Unidos, no debieran ser menores de 50 m<sup>3</sup>/h.m<sup>3</sup>, pero pueden ser aumentados hasta 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>3</sup> y aún mayores, para zonas de mayor humedad relativa. Los mayores valores también pueden ser usados para las más altas humedades iniciales del grano.



**FIGURA N°34. Silo secador a baja temperatura**

Cuenta con generador de aire caliente, distribuidor superior, piso perforado, removedores de grano, rosca barredora y rosca extractora. Estos equipos pueden emplear temperaturas del aire de secado de hasta 80°C. (Doc. Chief)

**d.** La potencia requerida para caudales entre 50 y 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>3</sup> de grano depende de la altura de grano en el silo; para alturas de 4 m y silos no muy anchos, la potencia de los motores para los ventiladores se encuentra alrededor de 10 CV.

**e.** Son preferibles para esta tarea los silos de fondo plano perforado, porque la aireación es así mucho más efectiva. En Estados Unidos, estas secadoras en silos "in-bin dryers" son muy comunes entre los agricultores.

**f.** La práctica general aconseja no usar aire cuya humedad relativa sea mayor que el 70%, lo que se consigue, generalmente, en horas de la tarde, aunque esto depende de la época del año.

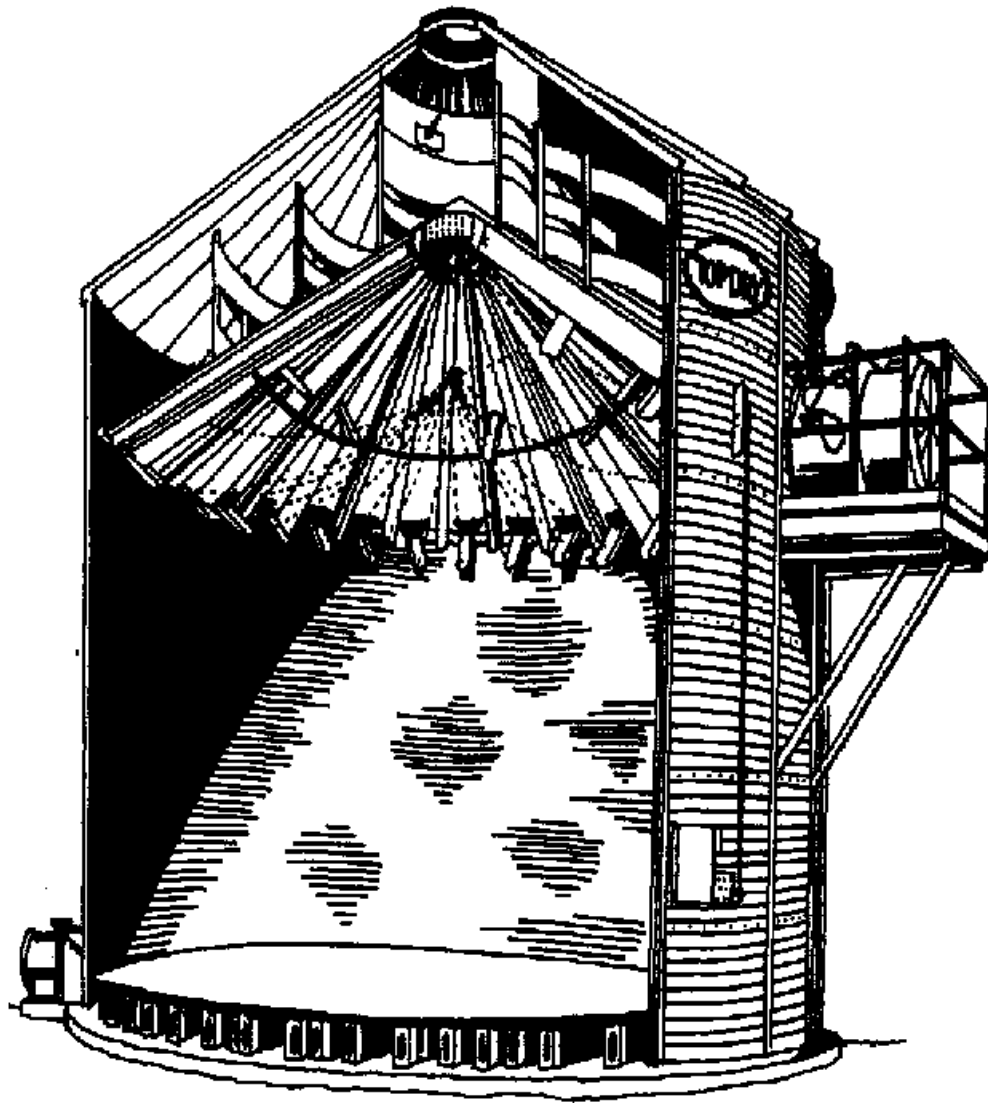
Lo ideal es que la aireación con fines de secado funcione día y noche, bajo esas condiciones, en las que el proceso puede llegar a demorar de 2 a 6 semanas. Pero en otoño e invierno la humedad relativa puede superar fácilmente aquel valor. En la zona maicera clásica argentina, la humedad relativa promedio de marzo hasta agosto es mayor, situación que obligaría a detener los ventiladores durante muchas horas del día.

Cuando se ha llegado a un 14,5 - 15% de humedad de grano en gran parte del silo, la aireación puede limitarse a los períodos en que la humedad relativa sea menor al 70%.

Pero debe recordarse, también, que cuando el grano esté ya seco, es necesario enfriarlo, y para ello pueden usarse las temperaturas frías de la noche, donde será fácil encontrar mayores diferencias entre las temperaturas del aire y del grano. Lo ideal es llegar a alcanzar una temperatura del grano de 10°C o menor, ya que de esta manera su conservación en los silos estará asegurada. Esta tarea llevará varias noches y mañanas frías, pero en un tiempo más reducido que el demorado para el secado.

**g.** En este procedimiento, es aconsejable soplar o insuflar el aire de abajo hacia arriba, en lugar de aspirar de arriba hacia abajo. Es más efectiva la aireación de esa forma; tiene la

ventaja de no tapar los agujeros de paso del aire y permite un control de la parte superior de la masa de grano, midiendo su humedad y temperatura. Otra superioridad es que, insuflando, el aire puede calentarse un poco al atravesar el motor eléctrico, lo que no sucede en aspiración.

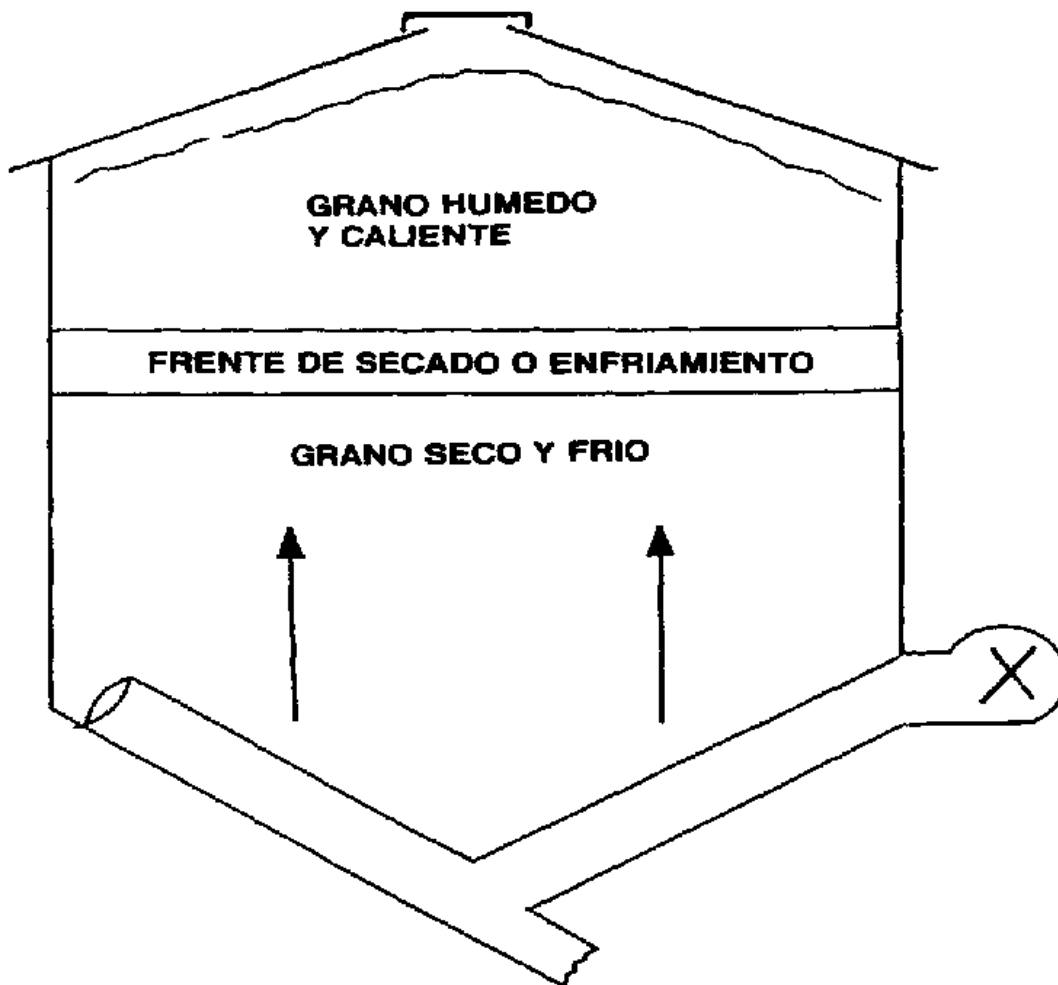


**FIGURA N°35. Silo secador**

Tiene una cámara superior para grano húmedo, y un generador de aire caliente para secarlo. Cuando está seco, se abren los vertederos mecánicos de descarga y cae hacia el

fondo del silo. Un ventilador inferior impulsa hacia arriba aire exterior para enfriar. A su vez este aire, al calentarse, actúa como precalentador del grano húmedo en la cámara superior (Top Dry).

La parte superior es, en aireación por secado, por insuflado, la más expuesta a la descomposición. El frente de secado, que avanza de abajo hacia arriba (ver figura 36) debe llegar y atravesar la capa superior del grano, es decir, debe completarse el secado antes de que se inicie cualquier deterioro en esa zona.



**FIGURA N°36. Frente de secado y enfriamiento**

**h.** De igual manera que se mencionó sobre el secado combinado, puede originarse un sobre secado en las capas inferiores (en el caso de insuflado) lo que producirá una desuniformidad en las humedades de la masa. Una forma de reducir esta diferencia consiste en utilizar unos removedores de tornillo sinfín en la masa del grano, colocados verticalmente (figura 34). Ello, sin embargo, encarece algo el secado por el costo del equipo y la energía consumida para accionarlo.

**i.** Una forma de mejorar el proceso es calentando unos 5°C el aire de secado, por medio de resistencias eléctricas en la toma de aire, o también por energía solar.

El agregado de calor al aire de secado en este sistema no aumenta mayormente la velocidad con que se mueve el frente de secado, sino que sirve para reducir la humedad relativa del aire y asegurarse de que la humedad del grano sea decrecida al nivel deseado.

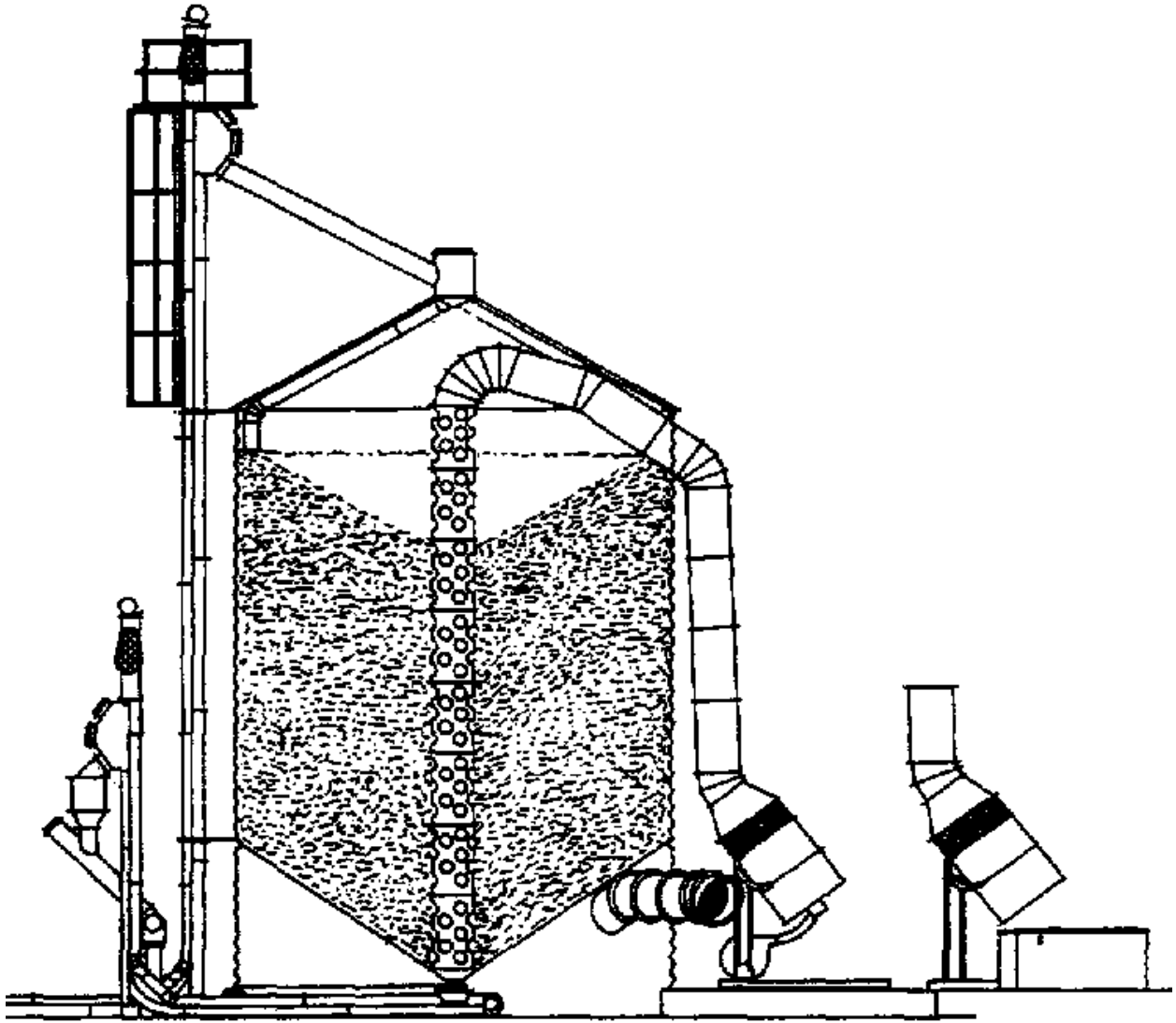
Si se agrega demasiado calor, se puede sobresecar al grano. Si la humedad relativa es menor que 70%, no es necesario calentar el aire.

**j.** En la capa superior del silo, en unos 30 a 50 cm, puede quedar una humedad más elevada que el resto, luego del período de secado, si es que el silo no cuenta con removedores de grano. La mezcla posterior de esta capa con el resto, que ya está seco, permite aliviar en buena parte este problema.

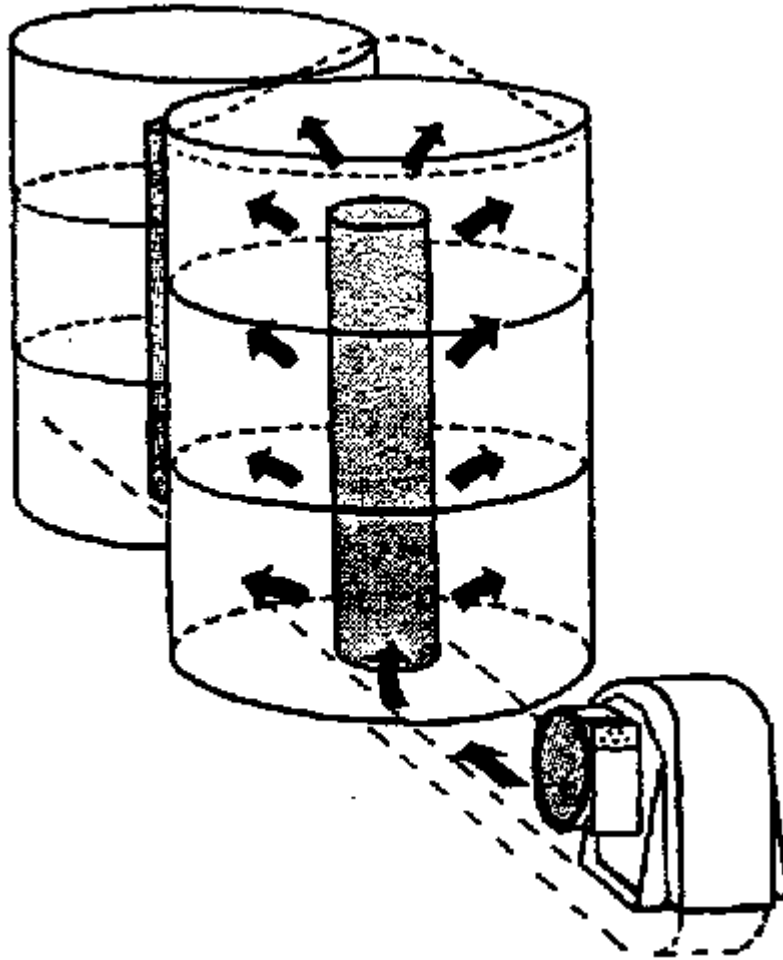
**k.** Si fuera posible, es oportuno llenar el silo sólo hasta la mitad, pues ello facilitará obtener un caudal doble de aire por unidad de volumen comparado con un silo totalmente lleno. Por esto, un llenado bien controlado del silo puede ser una herramienta adecuada para mejorar

el proceso. Cuanto menor sea la altura del grano, mayor será el caudal y más rápido el secado.





**FIGURA N°37. Silo secador alimentado con aire caliente**



**FIGURA N°38. Silo secador con cilindro central de chapa perforada y paredes laterales también perforadas de capacidades entre 15 Tm y 60 Tm**

En Estados Unidos, donde este método es bastante empleado por los productores, utilizan tres formas de llenado del silo:

- a. Un solo llenado: se llena el silo totalmente o hasta la altura recomendada para el secado (lo cual evita el desarrollo de hongos) y se inicia la aireación.

- b. Llenado por capas: se van agregando capas sucesivas de grano, generalmente de 0,30 m de espesor cada una. Cuando se seca la primera capa, se agrega otra, y así sucesivamente.
- c. Llenado por lotes: se coloca una capa de aproximadamente 1 m de espesor (puede ser la cosecha de un día) y se seca. Después se transfiere al lugar del almacenamiento. Se vuelve a colocar otra capa del mismo espesor y se procede de la misma forma y así sucesivamente. Para lograr un secado eficiente de cada lote, se necesita un buen equipo para la carga y descarga del grano.

En ciertas oportunidades, emplean una combinación de estos dos últimos.

Comienzan con el secado por lotes, hasta que el almacenamiento principal está lleno, y luego continúan secando por capas delgadas, hasta que se completa el silo secador, que sirve entonces, como silo de almacenamiento.

El secado por capas o lotes se suele hacer cuando el maíz supera los 22 a 24% de humedad, pues se reduce el tiempo de secado. El método de silo totalmente lleno es empleado para maíces con porcentajes menores de humedad, pues en caso contrario sería peligroso. Sin embargo, una desventaja del llenado por capas es que la cosecha debe ser detenida mientras la capa se seca.

**I.** En definitiva, el secado a baja temperatura es muy eficiente térmicamente. En un sistema bien manejado, el consumo específico puede ser reducido hasta un valor cercano al calor de vaporización del agua (unas 600 kcal/kg de agua).

**m.** Este método de secado a baja temperatura tiene algunos inconvenientes, que conviene explicar:

- a. El secado es lento, sobre todo cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables.
- b. Se requiere una suficiente cantidad de silos equipados, en particular cuando los volúmenes por secar son abundantes.
- c. Se necesita un buen control periódico del estado del grano, sobre todo en la parte superior.
- d. Se produce una mayor pérdida de materia seca que con el secado a alta temperatura. La razón es que al ser bastante largo el período de secado, se mantiene y acelera el proceso de respiración de los granos, por lo que se sigue consumiendo materia seca, pero la mercadería resultante es de mejor calidad.

**n.** Todo lo expuesto demuestra la conveniencia de tener equipados los silos y los silos secadores con termometría, y de que la planta de acopio esté provista de termómetro y psicrómetro.

**o.** En los últimos años, se han hecho experiencias en Estados Unidos con el uso del amoníaco o anhídrido sulfuroso que permitan un empleo más seguro del secado a baja temperatura. Por medio de aplicaciones intermitentes de esos productos, se puede extender el tiempo de secado del maíz antes que se inicie un deterioro microbiano, aun con granos de hasta un 26% de humedad. El equipo de aplicación es económico y fácil de instalar, empleándose dosis de amoníaco del 0,1 a 0,5%. El maíz así tratado sólo es apto para alimentación animal.

#### **4.9 SECADORES DE GALPÓN**

Estos equipos de secado trabajan también por el principio de secado a baja temperatura y son muy comunes en Gran Bretaña. El grano es retenido en depósitos con paredes sobre tres costados y por un ángulo de reposo en el cuarto. El aire es conducido bajo el grano por conductos sobre el piso. El grano es acumulado en este depósito por medio de un tractor con bulldozer hasta una altura máxima de 4 m, y luego del secado puede ser descargado por el tractor provisto de pala cargadera.

#### **4.10 SILOS SECADORES**

Se encuentran diversos tipos de estos silos secadores en el comercio de granos, ilustrados en las figuras 34, 35, 37 Y 38. La mayoría de ellos son silos metálicos cilíndricos, con distintos accesorios, que luego pueden utilizarse para almacenamiento.

Los silos secadores pueden emplear temperaturas del aire entre moderadas y altas, o solamente aire natural.

Una innovación que es común en silos secadores de Estados Unidos son los removedores de granos, que se componen de un árbol dispuesto horizontal y radialmente, colgado del centro del silo por un extremo y apoyado sobre un riel en la circunferencia del silo por el otro extremo, el cual está animado de movimiento circular. Sobre este árbol están montadas dos o tres roscas verticales, que tienen tres movimientos:

- de rotación sobre su propio eje;
- horizontal, a lo largo del árbol horizontal;
- circular, alrededor del silo, y que puede durar varias horas por vuelta.

# **CAPÍTULO III**

## **MARCO**

## **METODOLÓGICO**

## MARCO SITUACIONAL

Al extraer el vapor-líquido de agua de los estratos inferiores de la superficie terrestre, el líquido es separado del vapor, desviándose este último hacia las turbinas que funcionan bajo un ciclo termodinámico Rankine, y genera, así, electricidad. Mientras tanto, el líquido restante, así como el condensado proveniente de la salida de la turbina, es devuelto por gravedad hacia el subsuelo mediante pozos de reinyección, lo cual permite por una parte, recuperar el yacimiento geotérmico, lo que hace de la energía geotérmica una energía renovable, y por otro lado, con el calor residual que acarrea, levantar la temperatura del yacimiento. Como esta energía calorífica que acarrea el líquido de reinyección no es tan importante como el vapor que se extrae inicialmente, no existe preocupación alguna por la pérdida al aire de ésta. Por tanto, en vez de perder ese potencial calorífico, el ICE y la EARTH, en conjunto, plantean la posibilidad de utilizar parte de esa energía (que de todas formas se pierde), en el secado de granos y legumbres, específicamente cebolla, lo que permitiría acelerar la producción mediante un sistema productivo más veloz.

## MARCO METODOLÓGICO

### **Tipo de investigación**

La presente investigación se considera cuantitativa, de tipo exploratoria, ya que hay solamente guías o ideas alrededor del tema y no hay una definición exacta de cómo se debe diseñar un intercambiador de calor para una aplicación específica, por lo que hay que explorar al respecto para así aumentar el grado de familiaridad con el problema en cuestión.

Según Kerlinger, “La investigación no experimental es una indagación empírica y sistemática en la cual el científico no tiene control directo sobre la variables independientes porque sus manifestaciones ya han ocurrido o porque son inherentemente no manipulables. Las inferencias acerca de las relaciones entre variables se hacen sin una intervención directa a partir de la variación concomitante de las variables dependientes e independientes (1988, p 394).”

### **Sujeto de investigación**

Ubicado en el distrito Mogote (villa Guayabo) cantón de Bagaces, Guanacaste (con exploraciones en el sitio desde el año de 1979), el campo geotérmico Miravalles se encuentra como una alternativa pionera y única a nivel costarricense en el uso de la energía mecánica-calorífica proveniente del vapor que se encuentra en el subsuelo, para transformarla en energía eléctrica.

En sus inicios, el sistema para la extracción de vapor era únicamente del tipo experimental. A través de mediciones geocientíficas, se determina que la cantidad de energía potencial que se encuentra confinada en el vapor dentro del subsuelo es capaz de generar suficiente energía eléctrica para alimentar gran parte de la bajura de la provincia de Guanacaste.



Costa Rica, con 51 000 km<sup>2</sup> de extensión de tierra, posee puntos estratégicos para la producción de vapor mediante el desarrollo de plataformas geotérmicas. Esto es fácilmente identificable en el momento en que se aprecia que Costa Rica pertenece al Cinturón de Fuego del Pacífico.

Para la realización del estudio se tiene el apoyo de algunas fuentes para obtener la información.

Las fuentes se pueden dividir en las siguientes:

### **Material bibliográfico**

El material bibliográfico acerca del tema es muy escaso, dado lo reciente de la aplicación y lo específico que es su uso. No obstante, el diseño se lleva a cabo usando las leyes físicas estudiadas a lo largo de la carrera, por lo cual se consultará gran cantidad de libros ya adquiridos y otros obtenidos por préstamos en bibliotecas públicas de Universidades Estatales y la propia biblioteca de la AIU. Además, se buscará información bibliográfica en instituciones públicas o privadas como el ICE y la EARTH.

### **Manuales técnicos**

Para la realización del diseño se necesita seleccionar partes o componentes que proporcionan diferentes fabricantes de manera comercial. Es por esto que se tomará parte de la información por medio de la consulta de catálogos, manuales técnicos, programas y páginas electrónicas que proporcionen los proveedores de las partes para su selección y estudio.

### **Entrevistas**

Dado que el proyecto se enfoca a una aplicación poco explorada y con muy pocos antecedentes, no hay diseños previos o modelos del sistema. Por esto no hay libros de texto que hablen directamente del tema y el tema se torna en una serie de disciplinas que se conjugan para el logro de los objetivos. Es por esta razón que la entrevista viene a ser el medio más valioso de información para unir el conocimiento de varios conocedores y así disponerlos de manera integral para la realización del diseño.

La mayoría de las entrevistas son de larga duración y dan soluciones y explicaciones a la mayoría de problemas. En otros casos, se guió al entrevistador para la consulta por otros medios.

Los registros orales se realizaron en su mayoría en el ICE y en la EARTH, la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Costa Rica (UCR), la Escuela de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Costa Rica y diferentes profesionales relacionados con el área de la geotermia. Cabe indicar que muchos de los datos utilizados fueron obtenidos por medio de las entrevistas informales realizadas o los antes mencionados.

### **Observación**

Al no existir el sistema presentado, es importante ver cuál es su comportamiento y analizar cuál es su capacidad de funcionamiento, el cual está plasmado en fotografías tomadas en el momento de la realización de dichos experimentos.

Es común que por medio de la observación y el desarrollado sentido de medición obtenido como ingenieros se tenga que estimar datos y hacer suposiciones que de otra manera no podrían ser realizadas, ya sea por la falta de equipo y recursos o simplemente porque se sale del alcance del trabajo. Es por esto que en algunas ocasiones (las menos

posibles) se utiliza la observación de fenómenos como el comportamiento del agua y del calor que acarrea para predecir su comportamiento y generalizarlo a la situación.

### **Archivo personal**

También se debe mencionar que han sido de vital importancia los “archivos personales” que durante algún tiempo se recolectan de periódicos, revistas, catálogos y en general artículos que llaman la atención del investigador.

### **Recolección Documental**

Se accedió a varias fuentes documentales. En el ICE, se obtuvo toda la parte relacionada al comportamiento del líquido residual, temperatura y forma óptima de obtención de energía. En la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCR y en la Escuela de Ingeniería Electromecánica del ITCR se obtuvieron guías para el desarrollo de los cálculos y en la EARTH se consultaron tablas de secado e información climática relevante al tema desarrollado.

### **Metodología**

Para la elaboración de este trabajo de investigación, se recurrió a instrumentos varios para la recolección de información.

#### ***La observación***

La cuidadosa observación permite “ver” más cosas de las que se observan a simple vista. Puede decirse que observar es:

“La expresión de la capacidad del sujeto-investigador de “ver” las cosas (que las observa con método)”.

Según Bakerman y Gottman, especialistas en observación recomiendan seis asuntos que se deben de tener en cuenta cuando se va a observar:

- Nunca se debe observar algo si no se tiene previamente una pregunta para responder.
- Una vez formulada la pregunta, se debe elegir un nivel de análisis adecuado para buscar una respuesta.
- Dedicar un tiempo previo a observar de manera sistemática, con el fin de recoger información de forma descriptiva. Así, se podrá tener la posibilidad de establecer las categorías, para la descripción del problema.
- Utilizar categorías dentro de un mismo nivel de molaridad-molecularidad, que sean homogéneas y con suficiente nivel de detalle.
- El código debe estar compuesto por categorías exhaustivas y excluyentes entre sí.
- Después de hacer la observación sistemática y que se haya llegado a una propuesta de códigos, se debe iniciar un proceso de depuración mediante la contrastación empírica, antes de considerar que se ajusta a sus intereses como investigador.

### ***La hoja de cotejo***

Al observar un fenómeno, el investigador no siempre podrá retener de memoria toda la información. Tampoco podrá siempre grabarla, por lo que puede utilizar un método muy sencillo como lo es la hoja de cotejo.

Esta es una matriz de doble entrada en la que se anota en las filas los aspectos o conceptos que se van a observar y en las columnas la clasificación que otorga a esa observación.

### ***La encuesta***

Según Barrantes, hay dos tipos principales de encuestas:

1. Cuestionario: se puede decir que es un instrumento que consta de una serie de preguntas escritas para ser resueltas sin la intervención del investigador.

Para Gómez, las funciones básicas del cuestionario son: obtener por medio de preguntas adecuadas, las respuestas que suministren los datos necesarios para cumplir con los objetivos de la investigación.

2. La entrevista: según Pardinás, la entrevista es una conversación generalmente oral, entre dos personas, de las cuales una es el entrevistador y el otro el entrevistado.

### ***Material bibliográfico***

El material bibliográfico que existe para el tema es escaso, por ser un sistema de orden específico de la era actual. Se recurre a visitar bibliotecas para buscar temas asociados en general, como lo son la Biblioteca del ICE, revistas de geotermia y estudios realizados nivel institucional en el ICE y en la EARTH.

También se consultaron artículos internacionales, tanto en Europa como en Latinoamérica, y textos de uso general en el tema de geotermia.

La bibliografía es el estudio de referencia de los textos. Significa comúnmente la descripción de los libros y otras publicaciones; particularmente, las relaciones de los libros, sus mismos repertorios; secundariamente, el conocimiento de los libros y, en fin, la teoría

de la información sobre las listas de obras y de otros auxiliares para llegar a su conocimiento. Para lograr el conocimiento y así desarrollar el tema, se debe recurrir a la investigación, es decir, a un método de empleo de los medios necesarios para aclarar o descubrir algo. Sin embargo, la investigación está provista de una parte que la complementa: la observación. Lógicamente, para descubrir algo nuevo se debe ser muy cuidadoso y tener mucho criterio de observación para así poder definir los cambios o las cosas que se dan a raíz del avance de la investigación o el desarrollar de algún proyecto nuevo.

Es importante siempre ser claros en que es necesario utilizar entrevistas, las cuales forman parte de la obtención de los datos. Ésta tal vez no se pueda encontrar en los libros, pero gracias a la experiencia de una persona es posible obtenerla y almacenarla, con el fin de seguir una investigación, aplicando todos los recursos de los cuales se dispone. Sin embargo, a raíz del adelanto del proceso investigativo, es necesario recurrir, como se citó anteriormente, a todos los recursos que estén al alcance, por lo que el buscar pequeños artículos de revistas, periódicos y páginas electrónicas ligas al tema en desarrollo representa el último recurso aplicado en este proceso. Así, el poder citar y aplicar todos estos pasos o elementos esenciales de una investigación permite presentar un resultado bastante objetivo de ésta.

**CAPÍTULO IV**

**RESULTADOS Y**

**ANÁLISIS**

## ANÁLISIS TÉCNICO

### 1. CARACTERÍSTICAS DE LA CEBOLLA

La cebolla pertenece a la familia de las liliáceas y su nombre genérico es *allium cepa*.

Es una monocotiledónea con hojas alargadas, tallo muy grueso, reducido a un breve rizoma, o más a menudo a un disco cónico en la base de las plantas en estado vegetativo; y generalmente está constituida por un 92% de agua.

Es uno de los mejores cultivos en muchos países tropicales, siendo valorada por su sabor y valor nutricional en el suplemento de constituyentes menores, como minerales.

#### 1.1 CULTIVO

La producción con éxito del bulbo en muchas regiones depende de la selección de variedades que crecerán y producirán bulbos satisfactoriamente bajo las condiciones impuestas por el medio ambiente específico. De acuerdo con esto, las variedades de cebolla se dividen en tres tipos:

- Variedades de día corto que requieren de 10-12 horas de luz.
- Variedades intermedias que requieren de 12-13 horas de luz.
- Variedades de día largo que requieren de 14 horas o más de exposición al sol.

#### 1.2 VARIEDADES

Las variedades de cebolla presentan bulbos que se diferencian entre sí en lo que respecta a su forma y color. Las variedades mejor seleccionadas tienen estas diferencias menos acusadas. La forma de los bulbos varía de achatados a alargados, siendo la más



popular la forma redonda. El color de la piel es pardo oscuro, amarillo, blanco o rojo, siendo el amarillo rojizo y el pardo rojizo los preferidos.

Importante también es su aptitud para el almacenamiento, propiedad que varía según la variedad. Todas las variedades de piel blanca, así como las de bulbo coloreado con cuello grueso, se caracterizan por su deficiente aptitud para el almacenamiento. Por el contrario, las de cuello fino presentan una buena maduración y se conservan durante varios meses en buenas condiciones, siempre y cuando el tiempo reinante durante la recolección sea el conveniente para el secado de los bulbos.

En cuanto al sabor, se tiene que las variedades de sabor fuerte como la Louisiana Roja, tienden a conservarse por mayor tiempo que las variedades tempranas de sabor suave.

Otros factores que inciden directamente con el almacenamiento son: conservación de la humedad y la resistencia a la deshidratación.

En Costa Rica, las variedades que más se siembran son: Yellow Granex, Canaria, Sumbles Amarilla, Red Granex, Royal Amarilla, Ferry Mory Roja, Bermuda Roja, Tropicana Roja, Texasa Granex Amarilla y Sumbles Roja.

### **1.3 COSECHA**

La cebolla se puede cosechar en verde desde que tiene un centímetro de diámetro o más según el uso de exigencias del mercado. La mayor parte de la cebolla se cosecha cuando el bulbo ya ha alcanzado su máximo desarrollo. La cebolla que se destina al transporte y almacenaje se empieza a cosechar cuando la mitad de los tallos ya se han volcado, indicando así que han llegado a la madurez. Si se demora la cosecha, las plantas pueden volver a enraizar. Por lo general, una vez que el follaje se ha caído, los tejidos del cuello comienzan a marchitarse y se procede a cortar las raíces de los bulbos.

La mejor época de recolecta es cuando las condiciones ambientales son de alta temperatura y de baja humedad relativa; esto ocurre durante la época de verano. Si la humedad relativa es muy alta y la temperatura es fría en el momento de la cosecha como ocurre en Tierra Blanca de Cartago, el exceso de agua de las cebollas debe removerse en el proceso de curado.

#### **1.4 ENFERMEDADES QUE AFECTAN A LA CEBOLLA**

Las principales enfermedades que se presentan en las zonas cebolleras de Costa Rica (Cartago, Santa Ana y Alajuela) son:

- a. *Podrición suave*: Es la única enfermedad común para las tres zonas y a la vez la que más perjudica la producción de cebolla en el país. Es producida por la bacteria *erwinia carotovora*.
- b. *Podredumbre basal*: Es producida por el hongo *fusarium oxysporum*. El ataque de este hongo se detecta cuando las hojas de las plantas van muriendo rápidamente a partir de la punta hasta la base del fruto y reluce una coloración blanquesina mohosa.
- c. *Podredumbre del cuello*: Esta enfermedad se presenta con mayor frecuencia en Cartago. Es provocada por un hongo cuyo nombre es *botrytis sp.* y ataca casi en forma exclusiva a las variedades blancas.

El ataque de este hongo se detecta cuando las capas externas de la cebolla al principio de la enfermedad se vuelven sumamente acuosas y en unos pocos días ese día se torna y se va desecando rápidamente. Cuando es más viejo el bulbo afectado presenta una apariencia momificada y se vuelve bastante duro.

- d. *Mancha púrpura*: Esta es otra de las enfermedades que se presentan con bastante frecuencia y el organismo causante es el hongo llamado *alternaria porri*. Aunque se encuentra en algunas regiones de Santa Ana, es más común en la provincia de Cartago.

La altitud de una zona parece incidir sobre el efecto de las enfermedades en el cultivo. La zona más afectada es Cartago, que a la vez tiene las altitudes más elevadas. Otro factor que se relaciona con la aparición de enfermedades es la época de siembra y de cosecha, ya que las zonas que presentan mayor incidencia también se ven más afectadas por el invierno.

## **1.5 CURADO POR SECADO DE CEBOLLAS**

El curado por secado es una de las etapas más importantes para el cultivo de cebollas, sobre todo cuando éstas se destinan al almacenamiento en espera de altos precios en el mercado durante la época de escasez.

Se realiza una vez que las cebollas son recolectadas con el fin de desarrollar una serie de condiciones que permitan un producto de buena calidad y con condiciones óptimas para el almacenamiento.

El propósito del secado en sí es remover el exceso de humedad que existe tanto en las capas más externas de la cebolla como en el cuello de la misma para ayudar a reducir la infección por microorganismos causantes de enfermedades. A la vez se minimiza el encogimiento del bulbo causado por la remoción desde el interior.

El curado es un proceso adicional que ayuda al desarrollo y uniformidad del color de la cáscara; es llevado a cabo por exposición a altas temperaturas por un período de

tiempo determinado. El desarrollo de color es acompañado por la acumulación de compuestos fungicidas que evitaban la alteración por hongos.

Durante este proceso ocurre el fenómeno de cicatrización de magulladuras y roturas producidas durante el período postcosecha, por las cuales penetrarían microorganismos causantes de pudriciones.

## **1.6 FORMAS DE SECADO**

Las cebollas son curadas de dos formas fundamentalmente: natural y artificial.

El secado natural se hace en el campo una vez que las cebollas son recolectadas y consiste en colocarlas a plena exposición solar a fin de que se sequen las hojas superficiales y ofrezcan protección al bulbo. Con este secado se corre el riesgo de quemar las partes de la cebolla que reciben directamente los rayos solares. Así mismo cuando los bulbos permanecen mucho tiempo al sol también se puede desmejorar su calidad porque desarrollan clorofila y adquieren un color verde inapropiado, particularmente si se trata de variedades blancas.

Otra forma de acondicionamiento consiste en amontonar las plantas en pilas largas entre 3 ó 4 surcos de manera que las hojas protejan un poco los bulbos del sol.

Este tipo de secado ocurre si las condiciones atmosféricas lo permiten. Si lo contrario sucede se puede promover el crecimiento de moho con la consecuente decoloración de la piel. Además, la formación de la raíz puede comenzar resultando en una cosecha de menor calidad.

El curado artificial se lleva a cabo mediante circulación forzada de aire sin calentar a través de las masas de cebolla, cuando las ambientales son de baja humedad relativa y alta temperatura. En períodos lluviosos y fríos durante el secado, se necesita aire caliente para

este proceso. En este caso, toda la humedad de la piel y del cuello puede ser reducida artificialmente por ventilación con aire caliente antes de una etapa de acondicionamiento; además, con aire caliente se permite la etapa final del almacenaje. Ya que no hay un período de tendido en el campo, la piel de la cebolla no es manchada y se mantiene la calidad de la cosecha.

## **1.6 CONDICIONES DEL CURADO POR SECADO DE CEBOLLAS**

El secado natural se realiza en el campo por espacio de ocho días. Cuando es época seca, la cebolla simplemente se extiende en el terreno y se deja a la intemperie para que se seque al sol; en época lluviosa se acostumbra preparar una cama para extender la cebolla cerca de una bodega, de manera que al comenzar la tarde se cubren las cebollas con plásticos dentro de esos locales, para evitar que se humedezcan con las lluvias. Por la mañana, se dejan al descubierto para aprovechar el sol de las primeras horas del día.

Se recomienda hacer el secado por espacio de quince días en lugar de ocho (como se usa generalmente) con el fin de obtener una cebolla más seca y más sana, sobre todo en época de mucha producción, ya que así se podrá guardar parte de la cosecha para cuando la oferta en el mercado sea menor.

El secado artificial consiste en someter las cebollas a condiciones de temperatura y humedad controlada. Algunos rangos de temperatura y tiempo recomendados para este secado son desde 16 horas a 46 °C hasta 14-17 días a 26-27 °C con una humedad relativa entre 70% a 80%, pero para una buena retención de la cáscara, la humedad relativa no debe ser inferior a 65%. En cuanto a las temperaturas altas mencionadas anteriormente, éstas pueden producir efectos secundarios en el interior del bulbo, por lo que se recomienda utilizar otras temperaturas menos bruscas.

Por lo general, este tipo de secado artificial se lleva a cabo simultáneamente con el almacenamiento.

Las condiciones mencionadas aseguran la protección al bulbo, puesto que al eliminar la humedad, se evita la proliferación de microorganismos patógenos causantes de la disminución de la calidad y, por tanto, de su vida útil. Además, se cierran los estomas del cuello, lo cual impide la pérdida de agua desde el interior del bulbo y disminuye el peso del producto.

### **1.7 FACTORES IMPORTANTES QUE DEBEN CONSIDERARSE DURANTE EL CURADO-SECADO DE CEBOLLA**

La temperatura y la humedad afectan el brotamiento, enraizamiento, pérdida de peso, pudriciones y muchas otras cualidades de los bulbos.

La cebolla, al igual que cualquier otro tipo de bulbo, no puede brotar inmediatamente después de cosechada, aún cuando las condiciones ambientales sean favorables a este proceso. Esto se debe a que existen mecanismos fisiológicos internos que en forma natural frenan o inhiben la emergencia de brotes. Una vez que de alguna manera desaparece el bloqueo al estímulo de crecimiento de la cebolla cosechada, inicia su emisión de brotes con mayor o menor rapidez según las condiciones sean favorables en mayor o menor grado. Es decir, existe un período en que la cebolla no es capaz de iniciar un nuevo crecimiento y en este caso se dice que el bulbo se encuentra en receso. Si las condiciones en que se almacena la cebolla no son favorables para el crecimiento, los brotes del bulbo permanecen en latencia sin emerger. Se ha encontrado mediante estudios que las temperaturas entre 9 °C y 20 °C estimulan la brotación y que las temperaturas inferiores y superiores a este rango retardan notablemente este proceso.

## **1.8 ALMACENAJE DE LA CEBOLLA**

### **1.8.1 ASPECTO GENERAL**

El almacenaje permite conservar las cebollas en buenas condiciones hasta el cuarto mes después de la recolección.

Las técnicas de almacenaje persiguen mantener la calidad de la cosecha a través de un período de tiempo largo. Esto sólo puede ser alcanzado por medio de un control parcial o total del medio ambiente; además, se debe considerar que la calidad de la cosecha almacenada puede sólo ser tan buena como cuando ésta fue colectada y consecuentemente un buen manejo en el campo es necesario para dar la mejor calidad a la cosecha.

### **1.8.2 CONDICIONES DE ALMACENAJE**

Para mantener la calidad de las cebollas es necesario un cuidadoso almacenaje bajo condiciones de temperatura y humedad controladas. Además, es esencial dar una buena distribución de aire a través de la cosecha almacenada y adecuar la construcción almacenada para que permita el escape del aire exhausto húmedo caliente.

Las condiciones óptimas para el almacenamiento de las cebollas son las de una temperatura de 0 °C a 3 °C y una humedad relativa entre 65% a 70%. Sin embargo, humedades relativas hasta de un 85% con buena circulación de aire, pueden considerarse como buenas para el almacenamiento.

A temperaturas y humedades superiores a las anteriores se promueven pudriciones, enraizamiento o brotamiento de las cebollas, reduciéndose así la calidad, y por consiguiente, el período en el cual se pueden almacenar es más corto.

Debido a la respiración de las cebollas, la temperatura se eleva durante el almacenamiento, por lo que se requiere una ventilación constante a través de la masa de cebolla con el fin de reducir esta alza de temperatura, para mantenerla uniforme a través de todo el lote de cebollas y, además, reducir las condensaciones de agua dentro de la bodega de almacenamiento.

Las técnicas para el almacenaje de cebolla con medio controlado hacen uso de la ventilación con aire previamente calentado durante la etapa de proceso de secado. Este es un prerrequisito esencial para la etapa de almacenamiento exitosa. Más tarde, la temperatura de la cebolla podría ser reducida aproximadamente a 0 °C, utilizando ventilación con aire ambiental.

En el almacenaje sin refrigeración, se debe asegurar una ventilación adecuada, preferiblemente con aire forzado. Generalmente se extrae un poco de aire de la camada o almacén por la parte superior para efectuar la ventilación necesaria. El aire debe ser lo más fresco y seco posible.

### **1.8.3 CARACTERÍSTICAS DE LA CEBOLLA DESTINADA AL ALMACENAJE**

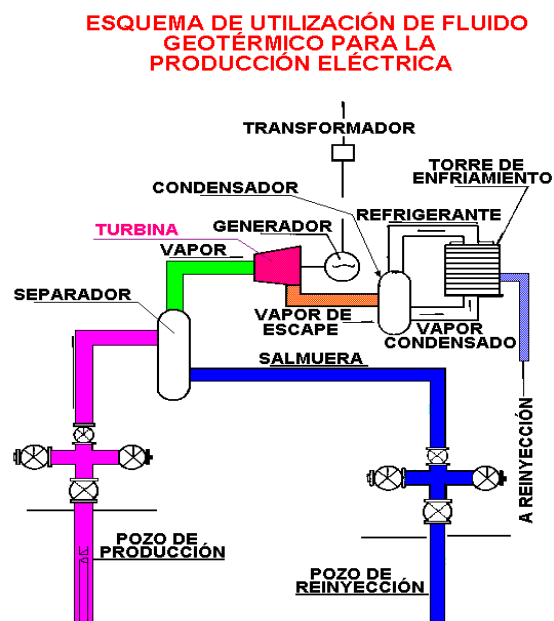
Para conservar las cebollas en buen estado por cierto tiempo, se recomienda en primer lugar realizar las labores de cosecha y poscosecha en forma cuidadosa, ya que de lo contrario pueden producirse lesiones causantes de fuentes de contaminación. Es importante realizar un buen secado y curado de los bulbos, hacer una selección de los bulbos que presenten un mejor aspecto para el almacenamiento, utilizar variedades adecuadas y realizar el proceso de almacenamiento con temperatura uniforme y humedad relativa baja.



## 1.9 GENERACIÓN DE CALOR PARA EL SECADO DE CEBOLLA

Para producir la energía eléctrica a través de geotermia, es necesaria la perforación de pozos profundos para extraer el vapor de agua que se conduce hasta la planta y hacerlo pasar a través de una turbina de vapor, la cual a su vez gira un generador, lo cual produce energía eléctrica. Sin embargo, el Campo Geotérmico Miravalles se clasifica dentro de los campos de agua dominante; esto significa que los pozos producen una mezcla de agua y vapor. Predomina la fracción de agua, la cual se encuentra en el fondo del pozo a temperaturas entre 240 y 260 °C. Los pozos en su mayoría están perforados a profundidades que oscilan entre 1500 m y 2500 m, dado que las zonas productoras se encuentran en cada pozo a diferentes profundidades dentro del reservorio geotérmico y producen una mezcla compuesta de 85 % de agua y un 15 % de vapor, por lo que es necesario la separación de la fase líquida con la de vapor. Éste se envía hacia la planta y el agua geotérmica o salmuera<sup>1</sup>, a un pozo reinyector.

Actualmente, en Miravalles se han perforado un total de 50 pozos profundos dentro de los cuales se tienen productores y reinyectores, agrupados de tres a cinco pozos productores por cada pozo reinyector<sup>2</sup>, de manera que los reinyectores



*Figura 39. Ciclo de Generación*  
*Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad*  
*1987*

<sup>1</sup> Salmuera: Flujo de agua geotérmica, generado después de la separación de fases

<sup>2</sup> Reinyectar: Retornar el agua geotérmica al reservorio después de la separación de fases.

están ubicados estratégicamente en la periferia del campo con el mayor distanciamiento posible de los productores. Así se puede mantener la reinyección por gravedad y minimizando el efecto hacia las zonas productoras por variaciones bruscas de temperatura. Por tanto, Miravalles cuenta con tres zonas diferentes de reinyección, orientadas hacia el oeste, otra hacia el suroeste y una tercera hacia el sudeste con relación a la ubicación de la planta geotérmica. La línea de reinyección con rumbo sur-oeste es la que se propone utilizar para el desarrollo del proyecto de secado, debido a que ofrece mejores condiciones de acceso y además topográficamente se orienta hacia las zonas de menor elevación en donde se dan las lluvias con menor intensidad, lo cual favorece ligeramente el proceso de secado.

Esta línea de reinyección tiene una longitud desde la unidad de separación hasta el pozo 24 de 1.31 km y consiste en una tubería de acero de 350 mm de diámetro, que conduce un caudal de agua geotérmica o salmuera de 115.1 L/s a una presión de línea de 11 Bar<sup>3</sup> y a una temperatura de 160 °C (figura 40) como resultado de la separación del aporte bifásico<sup>4</sup> de cuatro pozos productores. Además, tiene una protección externa de fibra de vidrio de 40 mm de espesor como aislante térmico para reducir las pérdidas de temperatura. Esta línea de reinyección será la fuente de calor para el proceso de secado.



<sup>3</sup> Bar: Unidad de presión que equivale a 1.02 kg/cm<sup>2</sup>

<sup>4</sup> Bifásico: Flujo mezclado de agua y vapor o fase líquida y gaseosa juntos.

Figura 40. Punto de Inserción de Planta Secadora  
Fuente: Instituto Costarricense de Electricidad  
1993

Dadas las condiciones topográficas por donde viaja la línea de reinyección, las áreas del ICE relativamente planas se ubican aproximadamente hasta unos 400 m después del punto donde se da la separación, además en esta zona existe un camino pavimentado que podría ser parte del acceso. Por estas razones se propone que esta área sea evaluada por el ICE para la posible ubicación de la planta, sin que se vean alterados sus objetivos primarios.

Para el secado de cebolla, la planta requiere abastecerse de un flujo de aire caliente y constante que por lo general no debe superar los 40 °C, según las pruebas que ha desarrollado la escuela agropecuaria del Instituto Tecnológico de Costa Rica, dado que con temperaturas mayores se produce una deshidratación excesiva en las primeras capas de la cebolla y afecta su presentación. Sin embargo, por recomendación del CNP, este suministro de temperatura debe ser evaluado constantemente y ser ajustado de acuerdo al contenido de humedad al ingresar a la planta, de tal manera que podría variarse con 5 °C por encima o por debajo de los 40 °C, lo cual es posible regular por medio de las velocidades de los abanicos que suplen el aire a través del colector de temperatura. Esto consiste en colocar sobre un tramo de la línea de reinyección un tubo de mayor diámetro en dos secciones con estrías internas para lograr mayor tiempo de exposición del aire al calentarse, de tal forma que la línea de 350 mm por donde viaja el agua a 160 °C sea abrazada por estas dos secciones. Así queda un espacio entre ambos tubos de 300 mm aproximadamente en un tramo aproximado a los 20 cm, en cuyos extremos tendrá la entrada del aire ambiente (25 °C a 30 °C) mediante un abanico o extractor que lo impulsa a su interior, y la salida a temperatura de 40 °C, extrayendo el calor necesario directamente de la línea que conduce el agua geotérmica a 160 °C. Esto deberá estar completamente protegido con la fibra de

vidrio al igual que toda la línea de reinyección para reducir las pérdidas de temperatura del aire hasta la planta.

Para el diseño de este colector de temperatura, se ha calculado la transferencia de calor que se transmite del agua al aire por medio de la línea de reinyección, obteniendo cuanto es la disminución de la temperatura del agua, lo cual da como resultado un valor menor a 1°C, debido a la diferencia de densidades y los flujos de masa entre ambos fluidos. Además, por ser una diferencia mínima de temperatura en el aire, al pasarla de 25 a 40 °C, se podrá considerar despreciable los efectos de esta reducción de temperatura, es decir, que no se produciría ningún efecto negativo que pueda perjudicar el yacimiento geotérmico.

### 1.11 CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE CEBOLLA EN LA ZONA

Según los datos estadísticos de la oficina regional del Ministerio de Agricultura y Ganadería (M.A.G) en Bagaces, la producción promedio de cebolla en la zona de Fortuna y Guayabo es de 75 hectáreas por año, con un rendimiento de 50 Tm/Ha, para una producción total de 3750 Tm anuales. Esta producción se inicia con la entrada del verano entre los meses de noviembre a enero, y se recogen las cosechas entre los meses de abril a junio, que corresponden al inicio

del invierno en la zona. Al observar en la gráfica del CENADA, PIMA el comportamiento del mercado nacional de cebolla, existen dos ciclos al año de mayor

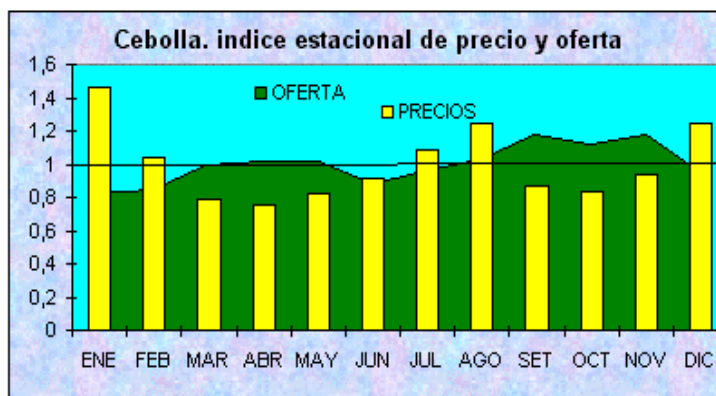


Figura 41. Producción de Cebolla en Zona de Bagaces, Guayabo y Fortuna  
Fuente: CNP

producción y oferta, que corresponden a los meses de abril y octubre. Por ende, los precios más bajos en el mercado son en estas épocas. Por esta razón y tomando en cuenta el ciclo de producción de Guayabo y Fortuna antes mencionado, se considera que son los factores que inducen para hacer el análisis de costo beneficio del secado y almacenamiento, principalmente para sacar al mercado en el período de julio a agosto, en donde existe un faltante para cubrir la demanda mensual, o bien mantenerla en almacenamiento hasta un segundo período de faltante entre los meses de diciembre y enero, dado que actualmente los faltantes están siendo cubiertos por importaciones de Canadá, Guatemala y Estados Unidos.

Es importante para este proyecto la coordinación y asesoramiento de parte del CNP para que se adopten las recomendaciones del manejo poscosecha y puedan lograrse los niveles de calidad de cebolla importada de países norteamericanos.

El secado para cualquier producto agrícola se refiere a la remoción de la humedad hasta alcanzar un contenido de humedad en equilibrio con el aire atmosférico normal o hasta un nivel de humedad adecuado para el almacenamiento. Específicamente para la cebolla debe hacerse con el fin de extraer el exceso de humedad de la capa exterior y el cuello, para aumentar así la resistencia del bulbo al ataque de hongos y bacterias, y disminuir las mermas causadas por las pérdidas de humedad desde el interior del bulbo, al formarse una capa exterior firme y seca.

Dentro de las primeras premisas por definir está la relación tiempo/temperatura que se ha usado para el secado. Ésta fluctúa desde 14 días a 16 °C hasta 16 horas a 46°C; sin embargo, dentro de las recomendaciones del CNP para lograr una buena presentación de la cebolla es necesario utilizar como máximo un tiempo de tres días a una temperatura de 35°C y un caudal de aire de  $7\text{m}^3/\text{min-Tm}$  o bien cuando la cebolla ha estado expuesta a la

lluvia requiere regular la temperatura del aire y el tiempo de exposición para lograr la mejor presentación comercial.

## **1.12 DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN DE LA PLANTA**

Dado que la producción de cebolla es la principal actividad agrícola comercial de esta zona (como se evidencia en la encuesta efectuada a los agricultores), la proyección sobre las características de la planta estarán orientadas al secado de cebolla. Sin embargo, dentro de su diseño práctico y sencillo será considerado también el secado de frijoles, maíz, arroz, que son otros productos de importancia en la zona. Cabe mencionar que para el secado de frijoles con su follaje o en grano la planta no requiere de modificaciones económicamente significativas, puesto que ambos productos requieren de un secado en condición estática y con un flujo de temperatura muy similar que se regula con la velocidad del aire caliente que se suministra. Por ello, la planta puede ser usada independientemente para cualquiera de éstos dos productos, mientras que el maíz en grano y el arroz son productos que sí requieren de una modificación económicamente considerable para la planta. Esto, a futuro, podría ajustarse para incluir dichos productos, pues efectivamente no habría limitaciones del potencial disponible para el secado; todo dependería de los volúmenes de producción en la zona y sus alrededores y de la evaluación de los costos para productos muy retirados.

Para estos requerimientos se dispone de un suministro de aire ilimitado, a la temperatura que se desee, dado que la fuente de calor es la línea de reinyección y se mantiene en una producción constante y permanente. Lo mismo sucede con el aire, el cual es absorbido del medio ambiente e impulsado a través de un ventilador de tipo axial con

una capacidad de 756 m<sup>3</sup>/min, manteniendo una presión estática interna de 35 mm columna de agua (0.0035 kg/cm<sup>2</sup>). Con estos valores se puede definir una capacidad de planta para procesar 108 Tm/cada 3 días; sin embargo, el parámetro de diseño estará en función de las necesidades actuales de secado, basado en la producción anual, cuyo promedio es de 3750 Tm, asumiendo que por múltiples razones técnico-económicas los productores decidan iniciar con un secado y almacenamiento de un 50 %, de la producción actual, lo que la planta procesará en un período de cuatro meses que corresponden a la producción generada entre los meses de marzo a junio. Se espera que con este servicio se estimule la producción, con lo que se ampliarían los períodos de producción, dado que actualmente en la zona existe un sistema de riego proporcionado por SENARA. Al contar con la planta de secado será posible la ampliación de los períodos productivos, buscando la máxima producción anual en función de la estación lluviosa, para lo cual será necesario el asesoramiento del CNP con el fin de buscar la variedad óptima que permita el mayor rendimiento y mayor resistencia a la época lluviosa. Para cubrir la demanda inicial del 50 %, la planta deberá contar con tres cámaras de secado con capacidad de 18 Tm por cada una; para lograr esto, se propone utilizar el sistema de secado mediante paletas-cajas, que consiste en apilar sobre paletas cuadradas de madera de 1.20 m por cada lado un total de 36 cajas plásticas ranuradas, para que permita el paso de aire a través de su interior, con dimensiones de 60 cm de largo por 40 cm de ancho y 23 cm de fondo con un contenido aproximado por caja de 25 kg. Se obtiene un peso total por paleta de 900 kg y una altura aproximada de 1.40 m (23 cm x 6 cajas).

Estas paletas serán colocadas manualmente y ubicadas en línea de cinco unidades en estantería de dos niveles. Se obtiene un paquete de 10 unidades frente a otro igual, separados por un espacio de 1.20 m, que será el canal presurizado de suministro de aire

caliente. Esto hace que circule el aire horizontalmente a través de cada uno de los estantes al generarse una caída de presión entre ambas caras de cada estante. Se crea así el arrastre de la humedad contenido en la cebolla. Esto se encuentra dentro de un cuarto cerrado con dos extractores de aire húmedo con salida hacia el medio ambiente.

Lo anterior compone una cámara de secado que está compuesta por 20 paletas con un peso de 900 kg cada una; por tanto, la capacidad total de la planta será de 54 Tm por cada tanda de tres días que demora el secado.

Por otra parte, el frijol y el maíz son otros productos agrícolas de importancia en la zona de Miravalles, según información de la oficina del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) de Bagaces. Estos productos en los últimos años han venido disminuyendo en su producción comercial, hasta casi producirse solamente para autoconsumo. Sin embargo, se espera que al disponer del servicio de secado, el agricultor contará con un mayor estímulo, según lo ha manifestado en las encuestas, para poder enfrentar las variantes en las condiciones climáticas. Por ello en ocasiones los productores se han visto obligados a movilizar sus cosechas de frijoles en distancias hasta de 50 km en busca de climas soleados para secar en mata (frijoles en la vaina sin ser despegado de la planta) y salvar su inversión. Este es el caso de Upala y La Cruz, que son zonas de alta producción frijolera, con 4000 y 3000 hectáreas anuales respectivamente, según los registros del CNP y el MAG de cada una de las zonas. En ambas localidades, han manifestado la necesidad de contar con una planta de secado con el fin de reducir el problema de las variaciones climáticas, por lo que tanto el CNP como el MAG, en coordinación con todos los productores, están actualmente en el estudio de cómo llevar a cabo un proyecto de secado a un bajo costo, según información suministrada en la Oficina



Regional del CNP de Upala y en la Agencia de Extensión Agrícola de La Cruz, Guanacaste.

Dadas las condiciones de infraestructura en Miravalles y con la opción de ofrecer un servicio a bajo costo, se espera un incremento en la producción a corto plazo, dado que para el frijoles se ofrecerá el secado una vez que el cultivo alcance su grado de madurez en la mata o planta. Éste será arrancado y llevado a la planta de secado colocándolo con todo y el follaje de la planta en el espacio del entarimado dentro de la cámara de secado, no siendo necesario establecer un área de prelimpieza. El período de secado se estima de uno a dos días, utilizando las mismas condiciones para el secado de cebolla. Esto será optimizado una vez se dé el proceso, ya que según el MAG su punto óptimo será en el momento en el cual la vaina que contiene el frijol se empieza a abrir. El momento crítico para el frijol se da desde el momento en que se arranca la mata, pues tradicionalmente se deja secando en el campo, lo que toma varios días. En estas condiciones, los productores se han visto obligados a trasladarlo grandes distancias para salvarlo, dado que los sorprenden las lluvias en el período de secado. Con el servicio de secado, se elimina este problema en Miravalles y le da una mayor seguridad y estabilidad de producción a los agricultores de la zona, con lo que se podría alcanzar mayores niveles de producción a corto plazo. Para ello, que se deberá buscar la coordinación y el asesoramiento del MAG y el CNP, con el fin de seleccionar y optimizar las técnicas de sembrado y la variedad que mejor se adapte al mayor periodo en el año.

Según el MAG, actualmente se siembran unas 5 ó 6 variedades: el criollo, el brunca, el guaymí, el talamanca y el bribrí en La Cruz y en Upala el brunca, el guaymí, el huetar y el criollo. Las temperaturas para el secado no son superiores a los 40 °C por lo que está de

acuerdo con la temperatura que se utilizará también para la cebolla, dado que se requiere bajar los porcentajes de humedad de entre 20% y 18% a un 15% ó 14 % para la comercialización. Sin embargo, serán necesarias la coordinación y planificación con el CNP y el MAG para la selección de las variedades y los procedimientos de siembra, con el fin de obtener los mejores rendimientos y calidades en la producción, ya que actualmente esto se deja al criterio del agricultor.

En el caso del maíz, aunque también se produce a niveles de autoconsumo, con el servicio de secado se podría generar una mayor industrialización, dado que es la materia prima para múltiples derivados en productos de consumo humano así como de consumo animal. Este cultivo está más adaptado a producirse en casi toda la época del año; sin embargo, en la zona de Guayabo y Fortuna de Bagaces se ve muy afectado por los fuertes vientos en el período del verano, de noviembre a marzo, que es la época para el cultivo de cebolla y frijol, por lo que es posible alternar el secado entre estos tres productos.

El secado del maíz será un proceso muy similar al de la cebolla, dado que éste se recoge de la plantación en mazorca cuando ha alcanzado su madurez fisiológica y es llevado a la planta de secado utilizando las mismas cajas plásticas y tarimas empleadas para la cebolla en la cámara de secado. Se mantiene el maíz en mazorca por un período de dos días hasta lograr bajar el grado de humedad de un 30 % hasta un 15 %, para ser posteriormente desgranado y colocado en el mercado o procesado para la elaboración de otro producto. El maíz, alcanza su grado de maduración en la planta y luego ésta por lo general es doblada para hacer que la planta muera más rápidamente y lograr que el maíz se seque en su medio. Es en este periodo donde se tienen las mayores pérdidas en la plantación, ya que durante este tiempo la mazorca está expuesta a una humedad más alta

con el crecimiento de la maleza, y esto provoca una alta podredumbre del maíz, lo cual se elimina con el servicio de secado.

Una vez que esté la planta en operación, podrá ser usada indistintamente para el secado de cualquier otro tipo de producto: chile dulce, tomate, legumbres y hortalizas con esto se podría dar pie a la industrialización de nuevos productos que los mismos agricultores puedan promover. Un ejemplo reciente es el chile picante molido que actualmente es importado de México o la misma cebolla molida que actualmente se importa para ser usada como condimento en algunos productos.

### **1.13 CÁLCULOS DE INGENIERÍA ASOCIADOS AL INTERCAMBIO DE CALOR Y FLUJO DE AIRE**

A partir de este punto y con la información recopilada hasta el momento, se realizan los cálculos para hallar el tamaño de planta y el diseño del intercambiador de calor.

#### Datos iniciales

Capacidad de la planta: 54 Tm

Fluido interno: Salmuera NaCl 25%

Fluido externo: Aire

Material tubería: Acero

Caudal de fluido dentro de tubería = 115,1 L/s = 0,1115 m<sup>3</sup>/s

Caudal de aire = 7m<sup>3</sup>/min-Tm (Dato suministrado por el CNP)

$\rho_{\text{aire}} = 1,17773560 \text{ kg/m}^3 @ 27 \text{ }^\circ\text{C}$

$C_{\text{paire}} = 1004,9968 \text{ J/kg-K}$

$T_i = 25 \text{ a } 30 \text{ }^\circ\text{C}$

$T_f = (40 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$

Tiempo de secado = 3 días

Tubería de fluido de reinyección

$\phi_{\text{nominal}} = 14'' = 350 \text{ mm}$

DE = 14'' = 350 mm

DI = 13,25'' = 336,55 mm

Cédula # = 30

Área de flujo = 138 pulg<sup>2</sup> = 0,089 m<sup>2</sup>

Superficie por pie lineal (pie<sup>2</sup>/pie)

Exterior	Interior
----------	----------

3,665	3,47
-------	------

(1,12 m/m <sup>2</sup> )	(1,057m/m <sup>2</sup> )
--------------------------	--------------------------

#### Cálculos intercambio de calor

Sabiendo que:

$$\rho = m/V \Rightarrow (\text{ecuación 3})$$

La masa de aire que debe circular en el sistema por tonelada métrica de cebolla dentro de la planta de secado:

$$m = \rho V = 1,1773560 \text{ kg/m}^3 * 7\text{m}^3/\text{min-Tm} = 8,241492 \text{ kg/min-Tm}$$

Para calcular la cantidad de calor necesaria para realizar el calentamiento necesario, se debe contemplar el límite mínimo y el máximo de la temperatura imperante en la zona de Guayabo:

a) Para  $T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = m C_p \Delta T (\text{ecuación 4})$$

$$Q = 8,241492 \text{ kg/min-Tm} * 1004,9968 \text{ J/kg-K} * (40-25) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 124240,0963 \text{ J/min-Tm} * 1 \text{ min}/60\text{s}$$

$$Q = 2070,66 \text{ J/s-Tm}$$

$$Q = 2,070 \text{ kW/Tm}$$

b) Para  $T_i = 30 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = m C_p \Delta T$$

$$Q = 8,241492 \text{ kg/min-Tm} * 1004,9968 \text{ J/kg-K} * (40-30) \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q = 82826,73087 \text{ J/min-Tm} * 1 \text{ min}/60\text{s}$$

$$Q = 1380,44 \text{ J/s-Tm}$$

$$Q = 1,3804 \text{ kW/Tm}$$

Para no encontrar ambigüedades en el diseño, se utilizará el valor más crítico que corresponde a  $T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Sabiendo que  $Q = 2,0706 \text{ kW/Tm}$ , para obtener el área de calefacción, conocida también como superficie de calefacción:

$$Q = U A \Delta T_m \text{ (ecuación 5)}$$

donde:

U: Coeficiente global de transferencia de calor.

A: Superficie de calefacción.

$\Delta T_m$ : Gradiente de temperatura total media.

Para conocer el coeficiente total de transferencia de calor para una tubería (cilindro):

$$R_{tc} = R_i + R_m + R_o \text{ (ecuación 6)}$$

donde:

$R_i$ : Resistencia convectiva interna.

Ro: Resistencia convectiva exterior.

Rm: Resistencia conductiva del material.

Entonces,

$$U_o = 1/[1/h_i + r_i \ln(r_o/r_i) /k + r_i/(r_o \cdot h_o)] \text{ (ecuación 7)}$$

Inicialmente, se aprecia que es necesario obtener el coeficiente de transferencia de calor convectivo para el fluido que va dentro de la tubería ( $h_i$ ), así como el coeficiente de transferencia de calor convectivo para el aire fuera de la tubería ( $h_o$ ).

Para ambos casos, es conveniente conocer que existen dos formas de cálculo:

- a.  $h = 3,66k/D$  (para  $Re \leq 2300$ ) (ecuación 8)
- b.  $h = 0,023 \cdot v^{0,8} \cdot k^{0,6} \cdot (\rho C_p)^{0,4} / (D^{0,2} \cdot \nu^{0,4})$  (para  $Re \geq 10000$ ) (ecuación 9)

Para ello, es necesario el conocimiento del Número de Reynolds ( $Re$ ), el cual se calcula de la siguiente manera:

$$Re = vD\rho/\mu \text{ (ecuación 10)}$$

donde:

v: Velocidad del fluido (m/s)

D: Diámetro del conducto (m)

$\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

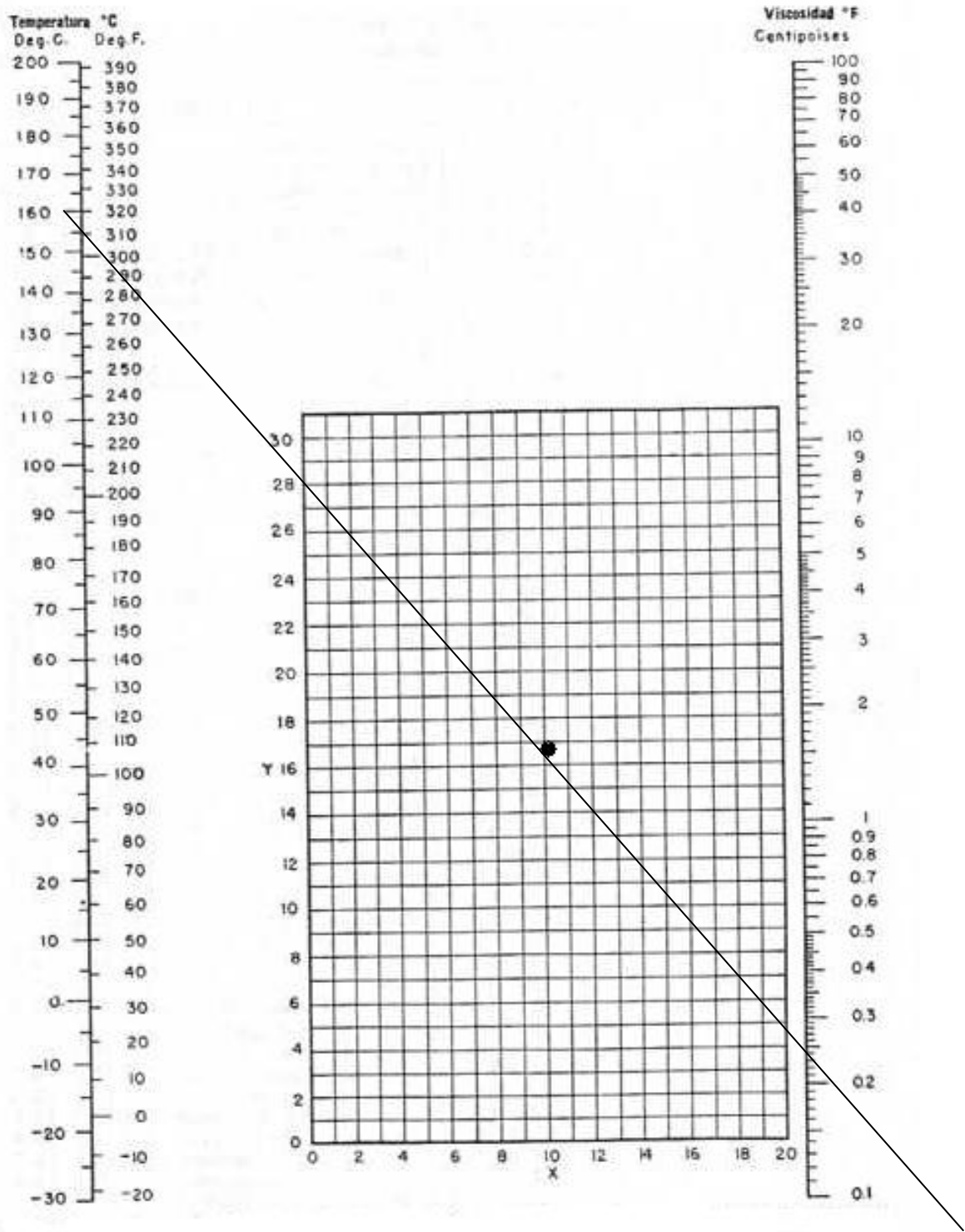
$\mu$ : Viscosidad del fluido (Pa-s)

Puesto que internamente a la tubería lo que se desplaza como fluido es Salmuera NaCl 25%, se usan los siguientes datos y el posterior gráfico:

Salmuera X: 10,2

Y: 16,6

Temperatura = 160 °C



**GRÁFICO N°1. Viscosidades de líquidos**

Por tanto, la viscosidad dinámica es:

$$\mu = 0,26 \text{ Centipoise} = 2,6 \times 10^{-4} \text{ Pa-s}$$

En cuanto a la velocidad del fluido dentro de la tubería, por la ley de la continuidad hidráulica:

$$Q = VA \text{ (ecuación 11)}$$

$$v = Q/A$$

donde:

Q: Caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

A: Área transversal del fluido ( $\text{m}^2$ )

v: Velocidad del fluido ( $\text{m}/\text{s}$ )

donde:

$$A = \pi D^2/4 \text{ (ecuación 12)}$$

donde:

D: Diámetro interno de la tubería ( $\text{m}$ ) = 336,55 mm = 0,33655 m

Por tanto,

$$A = \pi (0,33655\text{m})^2/4$$

$$A = 0,0889 \text{ m}^2$$

Con este valor de área,

$$v = 0,1115\text{m}^3/\text{s}/0,0889 \text{ m}^2$$

$$v = 0,129 \text{ m/s}$$



En cuanto a la densidad de la salmuera, ésta es de:

$$\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$$

Con estos valores se calcula Re:

$$\text{Re} = vD\rho/\mu$$

$$\text{Re} = 0,129\text{m/s} * 0,33655\text{m} * 1030 \text{ kg/m}^3 / 2,6 \times 10^{-4} \text{ Pa-s}$$

$$\text{Re} = 171\,989,99$$

Viendo que el flujo es superior a  $\text{Re} = 10000$ , entonces se cataloga como turbulento y se utiliza la siguiente ecuación:

$$h = 0,023 * v^{0,8} * k^{0,6} * (\rho C_p)^{0,4} / (D^{0,2} * \nu^{0,4})$$

donde:

v: Velocidad del fluido (m/s)

k: Conductividad térmica del fluido (W/m-K)

$\rho$ : Densidad del fluido ( $\text{kg/m}^3$ )

Cp: Calor específico: J/kg-K

D: Diámetro de la tubería ( $\text{m}^2$ )

$\nu$ : Viscosidad cinemática del fluido ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Ya se cuenta con algunos de los datos, así que se inicia con los datos desconocidos. Para la conductividad térmica de la salmuera:

$$k \approx 1,11 \text{ W/m-K}$$

@ 160 °C

Para el Cp:

$$C_p \approx 3443,15 \text{ J/kg-K} @ 160 \text{ }^\circ\text{C}$$

Para la viscosidad cinemática:

$$\nu = \mu/\rho \text{ (ecuación 13)}$$

$$\nu = 2,6 \times 10^{-4} \text{ Pa-s/1030 kg/m}^3$$

$$\nu = 2,52 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Con todos estos datos, se calcula  $h_i$ :

$$h_i = \frac{0,023 * (0,129 \text{ m/s})^{0,8} * (1,11 \text{ W/m-K})^{0,6} * (1030 \text{ kg/m}^3 * 3443,15 \text{ J/kg-K})^{0,4}}{[(0,33655 \text{ m})^{0,2} * (2,52 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s})^{0,4}]}$$

$$h_i = 1074,83 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

De acuerdo con una aproximación dada, se tiene que  $h$  para agua forzada va de 50-10000, por lo que se está dentro de los parámetros normales.

Para el caso del  $h_o$  del aire, se simplifican los cálculos, ya que la transferencia de calor se mantiene constante; por ello:

$$Q_i = h_i A \Delta T \text{ (ecuación 14)}$$

donde:

$$\Delta T = T_i - T_1 \text{ (ecuación 15)}$$

En la pared del tubo:

$$Q_{acero} = 2\pi kL\Delta T / \ln(r_2/r_1) \text{ (ecuación 16)}$$

donde:

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

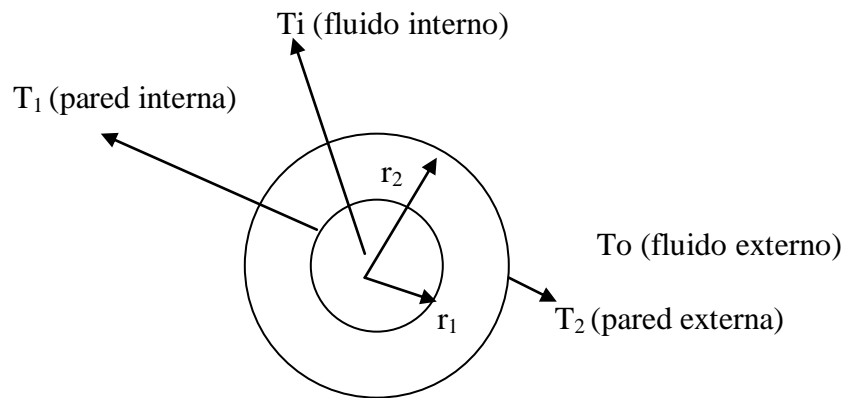
En la parte exterior del tubo:

$$Q_o = h_o A \Delta T$$

donde:

$$\Delta T = T_2 - T_o$$

Para todos los casos, los subíndices de las temperaturas se reflejan como sigue:



**FIGURA N°42. Detalle de tubería de conducción de salmuera**

Sabiendo esto:

$$Q_i = Q_{acero} = Q_o = Q = \text{constante}$$

Por tanto:

$$Q_i = h_i A \Delta T$$

Como el total de producto por secar en tandas de 3 días es de 54 Tm:

$$Q_{\text{total}} = 2,07 \text{ kW/Tm} * 54 \text{ Tm} = 111,78 \text{ kW}$$

Para un área de  $1 \text{ m}^2$ :

$$Q_i = h_i A (T_i - T_1)$$

$$T_i - Q_i/(h_i) = T_1$$

$$\text{Con } T_i = 160 \text{ }^\circ\text{C} + 273,15 = 433,15 \text{ K}$$

$$433,15 \text{ K} - (111,78 \text{ kW}/1,07483 \text{ kW/m}^2\text{-K}) = T_1$$

$$T_1 = 329,15 \text{ K}$$

Para acero:

$$k \approx 64 \text{ W/m-K}$$

Entonces:

$$Q_{\text{acero}} = 2\pi k L \Delta T / \ln(r_2/r_1)$$

Para  $L = 1 \text{ m}$ :

$$T_1 - Q_{\text{acero}} * \ln(r_2/r_1) / (2\pi k L) = T_2$$

$$329,15 \text{ K} - 111,78 \text{ kW} * \ln(350\text{mm}/336,55\text{mm}) / (2\pi * 0,064 \text{ W/m-K} * 1\text{m}) = T_2$$

$$T_2 \approx 318,25 \text{ K}$$

Se aprecia cómo la temperatura no se ve afectada por la interposición de la pared de la tubería, ya que cuenta con una buena conductividad térmica.

Para encontrar  $h_o$ , para un área de  $1 \text{ m}^2$ :

$$Q_o = h_o A (T_2 - T_o)$$

$$\text{Con } T_2 = 318,25 \text{ K}$$

$$h_o = Q_o / A * \Delta T$$

Para  $T_o = 25 \text{ °C} = 298,15 \text{ K}$

$$h_o = 111,78 \text{ kW} / (318,25 \text{ K} - 298,15 \text{ K}) \text{ m}^2$$

$$h_{oA} = 5,56 \text{ kW/m}^2\text{-K}$$

Para  $T_o = 40 \text{ °C} = 313,15 \text{ K}$

$$h_o = 111,78 \text{ kW} / (318,25 \text{ K} - 313,15 \text{ K}) \text{ m}^2$$

$$h_{oB} = 21,91 \text{ kW/m}^2\text{-K}$$

Por tanto, como el dato es totalmente experimental:

$$h_{o\text{total}} = (h_{oA} + h_{oB})/2$$

$$h_{o\text{total}} = (5,56 \text{ kW/m}^2\text{-K} + 21,91 \text{ kW/m}^2\text{-K})/2$$

$$h_{o\text{total}} = 13,73 \text{ kW/m}^2\text{-K}$$

Regresando al coeficiente total de transferencia de calor:

$$U_o = 1/[1/h_i + r_i * \ln(r_o/r_i) / k + r_i / (r_o * h_o)]$$

$$U_o = 1/[1/1,074 \text{ kW/m}^2\text{-K} + (0,33655\text{m} * \ln(350\text{mm}/336,55\text{mm})) / 0,064 \text{ kW/m-K} \\ + 336,55\text{mm} / (350\text{mm} * 13,73 \text{ kW/m}^2\text{-K})]$$

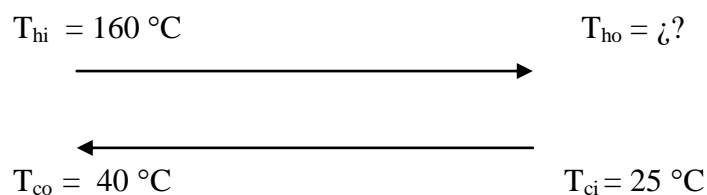
$$U_o = 0,82 \text{ kW/ m}^2\text{-K}$$

Sabiendo el dato del coeficiente de transferencia de calor total, falta encontrar el  $\Delta T_m$ , llamado diferencia de temperatura media logarítmica, que se muestra en la siguiente ecuación, para luego calcular la superficie de calefacción que interesa:

$$Q = U A \Delta T_m$$

Cálculo de la diferencia de temperatura media logarítmica

Puesto que el flujo sería en contraposición:



$$\Delta T_m = \Delta T_2 - \Delta T_1 / [\ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)] \text{ (ecuación 17)}$$

$$\Delta T_1 = T_{hi} - T_c$$

$$\Delta T_2 = T_{ho} - T_{ci}$$

Al no conocer la temperatura de salida de la salmuera ( $T_{ho}$ ), luego de pasar por el intercambiador de calor, es necesario, calcularla con la siguiente fórmula:

$$Q = m C_p \Delta T$$

donde:

$$m = \rho v$$

$$m = 1030 \text{ kg/m}^3 * 0,129 \text{ m/s}$$

$$m = 132,87 \text{ kg/s}$$

Sabiendo que:

$$C_p \approx 3443,15 \text{ J/kg-K}$$

y,

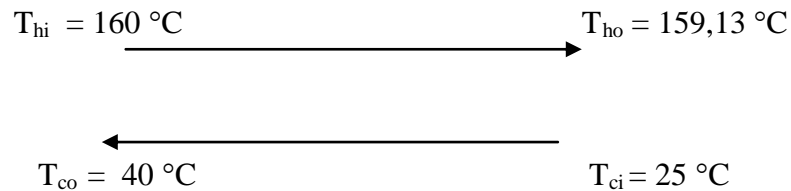
$$Q_{\text{total}} = 111,78 \text{ kW}$$

⇒

$$433,15 \text{ K} - 111,78 \text{ kW} / (132,87 \text{ kg/s} * 3,44315 \text{ kJ/kg-K}) = T_{\text{ho}}$$

$$T_{\text{ho}} = 432,28 \text{ K} = 159,13 \text{ °C}$$

Retomando el flujo en contraposición:

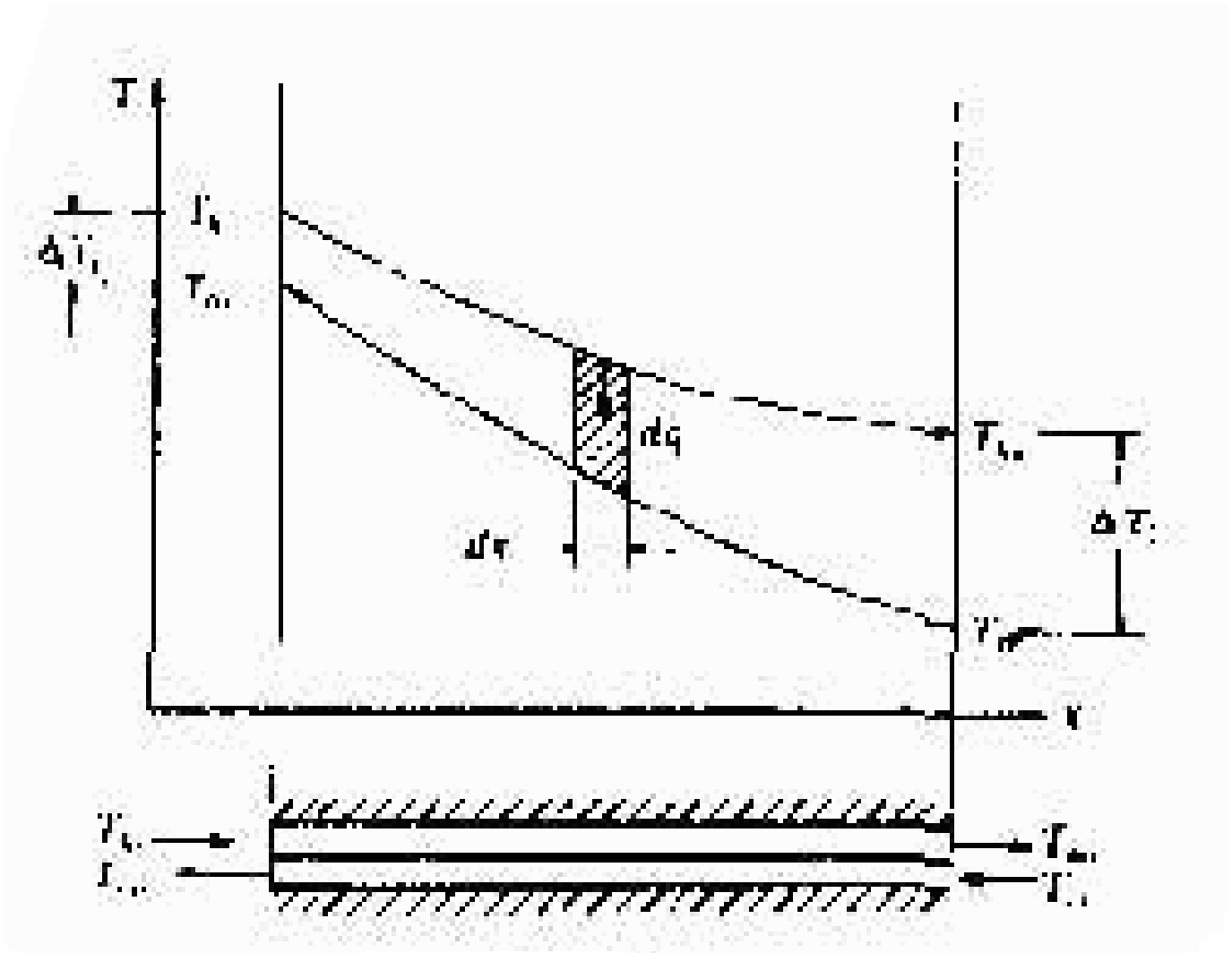


Por tanto:

$$\Delta T_1 = T_{\text{hi}} - T_{\text{c}} = 160 \text{ °C} - 40 \text{ °C} = 120 \text{ °C}$$

$$\Delta T_2 = T_{\text{ho}} - T_{\text{ci}} = 159,13 \text{ °C} - 25 \text{ °C} = 134,13 \text{ °C}$$

El siguiente gráfico muestra claramente la relación aquí detallada para un flujo en contraposición:



**GRÁFICO N°2. Flujos en contraposición**

Ahora:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2/\Delta T_1)}$$

$$\Delta T_m = 134,13 \text{ °C} - 120 \text{ °C} / \ln(134,13 \text{ °C} / 120 \text{ °C})$$

$$\Delta T_m = 126,93 \text{ °C} = 400,08 \text{ K}$$



Con todos los datos, la superficie de calefacción es:

$$A = Q/(\Delta T_m * U)$$

$$A = 111,78 \text{ kW} / (400,08 \text{ K} * 0,82 \text{ kW} / \text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$A = 0,34 \text{ m}^2$$

Sabiendo que el diámetro exterior de la tubería es de 350 mm, entonces:

$$A = 2\pi r_o L \text{ (ecuación 18)}$$

$$A / (2\pi r_o) = L$$

$$L = 0,34 \text{ m}^2 / (2\pi * 0,350 \text{ m})$$

$$L = 0,154 \text{ m} = 15,4 \text{ cm}$$

### Cálculos flujo de aire

Para satisfacer la demanda de aire requerida, sabiendo que se requiere es necesario calcular la capacidad de planta:

20 paletas (en dos niveles) o tarimas con 36 cajas cada una, con 25 kg aproximadamente de cebolla, implica:

$$36 \text{ cajas/tarima} * 25 \text{ kg/caja} = 900 \text{ kg totales/tarima}$$

$$900 \text{ kg totales/tarima} * 20 \text{ tarimas} = 18000 \text{ kg} = 18 \text{ Tm}$$

$$\text{Capacidad de planta} = 3 \text{ cámaras} \times 18 \text{ Tm/cámara} = 54 \text{ Tm}$$

Ahora, se requiere calcular la cantidad total de aire requerida:

$$7 \text{ m}^3/\text{min-Tm} * 54 \text{ Tm} = 378 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$378 \text{ m}^3/\text{min} * 1 \text{ min}/60\text{s} = 6,3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por cada cámara:

$$6,3 \text{ m}^3/\text{s}/3 = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Está estipulado que para un conducto principal de una industria a partir del ventilador, la velocidad del aire puede mantenerse en el ámbito:

$$V_{\text{principal}} = 6\text{m/s} - 12 \text{ m/s}$$

Por tanto, de la ley de continuidad hidráulica, para el conducto principal:

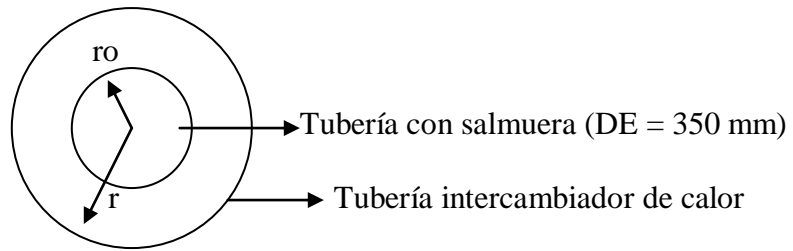
$$Q = VA$$

$$A = Q/V$$

$$A = 2,1 \text{ m}^3/\text{s} / 6/\text{ms}$$

$$A = 0,35 \text{ m}^2$$

Sabiendo que esta área en la sección del intercambiador es una tubería dentro de otra:



**FIGURA N°43. Sección intercambiador de calor**

Por tanto:

$$A = \pi (r-ro)^2$$

$$(A/\pi)^{1/2} + ro = r$$

$$(0,35 \text{ m}^2/\pi)^{1/2} + (0,35\text{m}/2) = r$$

$$r = 0,508 \text{ m}$$

$$d_{\text{principal}} = 0,508 \text{ m} * 2 = 1,016 \text{ m} \approx 1 \text{ m}$$

En cuanto a las derivaciones y conductos verticales, las velocidades recomendadas son de:

$$V_{\text{derivación}} = 3-5 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{vertical}} = 2-4 \text{ m/s}$$

Previo a la llegada de las tarimas, se realiza una derivación, donde el flujo de aire es:

$$Q_{\text{derivación}} = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}/2 = 1,05 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por tanto, si se escoge un valor intermedio de 3m/s, ya que además de ser derivación, ésta es vertical:

$$A = Q/V$$

$$A = 1,05 \text{ m}^3/\text{s}/3\text{m/s}$$

$$A = 0,35 \text{ m}^2$$

Sabiendo que el área es:

$$A = \pi r^2$$

⇒

$$(A/\pi)^{1/2} = r$$

$$(0,35 \text{ m}^2/\pi)^{1/2} = r$$

$$r = 0,35 \text{ m}$$

$$d_{\text{derivación}} = 2 * 0,35 \text{ m} = 0,7 \text{ m}$$

Para las salidas, se requiere de una velocidad de:

$$V_{\text{salidas}} = 1-5 \text{ m/s}$$

Para las salidas, que son 10 por cada nivel:

$$Q_{\text{salida}} = 1,05 \text{ m}^3/\text{s}/10 = 0,105 \text{ m}^3/\text{s}$$

Seleccionando una velocidad de salida de 1 m/s:

$$A = Q/V$$

$$A = 0,105 \text{ m}^3/\text{s}/1\text{m/s}$$

$$A = 0,105 \text{ m}^2$$

Sabiendo que el área es:

$$A = \pi r^2$$

⇒

$$(A/\pi)^{1/2} = r$$

$$(0,105 \text{ m}^2/\pi)^{1/2} = r$$

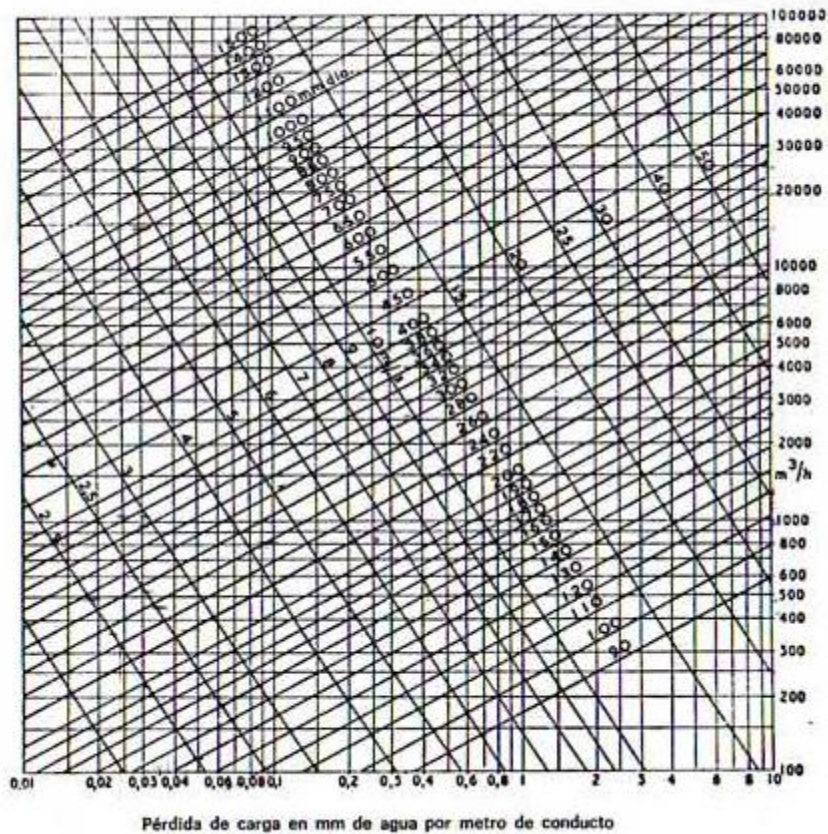
$$r \cong 0,20 \text{ m}$$

$$d_{\text{salida}} = 2 * 0,20 \text{ m} = 0,4 \text{ m}$$

Considerando la relación de Huebscher, se considera para las salidas una dimensión equivalente cuadrada de:

76 cm de altura \* 20 cm de ancho

Para la pérdida de presión en las tuberías, se utiliza el siguiente gráfico:



### GRÁFICO N°3. Resistencia al paso de flujo de aire en conductos metálicos circulares

- *Tramo desde ventilador hasta derivación dentro de planta*

$$D = 12 \text{ m}$$

$$Q = 2,1 \text{ m}^3/\text{s} = 7560 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 6 \text{ m/s}$$

$$\phi = 1 \text{ m}$$

$$\text{Pérdida de carga} = 0,01 \text{ mmH}_2\text{O}/\text{m} * 12 \text{ m} = 0,12 \text{ mm H}_2\text{O}$$

- *Tramo en cada derivación*

$$D = 6 \text{ m}$$

$$Q = 1,05 \text{ m}^3/\text{s} = 3780 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V = 3 \text{ m/s}$$

$$\phi = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Pérdida de carga} = 0,013 \text{ mmH}_2\text{O/m} * 6 \text{ m} = 0,078 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Pérdidas por cambios de dirección, aperturas salidas = 10% Pérdida total

$$\text{Pérdidas por pasada de cebolla} = 33 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$\text{Pérdida total} = 0,12 \text{ mm H}_2\text{O} + 0,078 \text{ mm H}_2 + (0,12 \text{ mm H}_2\text{O} + 0,078 \text{ mm H}_2\text{O}) * 0,1 + \\ 33 \text{ mm H}_2\text{O}$$

$$\text{Pérdida total} = 33,2178 \text{ mm H}_2\text{O}$$

## ANÁLISIS ECONÓMICO

Para este análisis, el asunto se vuelve sumamente cómodo, ya que al tratarse de una contribución a la comunidad, parte de los materiales pueden ser donados por el ICE, principalmente, porque constantemente se están renovando talleres, cuyo material desmantelado no cumple ninguna función específica:

MATERIAL	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Planta secadora	1	¢ 0 *	¢ 0
Ventilador	1	¢ 2 780 000	¢ 2 780 000
Alquiler de terreno	2000 m <sup>2</sup>	¢ 0 *	¢ 0
Cajas	720	¢ 1500	¢ 1 080 000
Tarimas	20	¢ 500	¢ 10 000
Ductos de ventilación	200 láminas	¢ 28 000/ lámina	¢ 5 600 000
Extractores	4	¢ 78 500	¢ 314 000
Electricidad		¢ 50 000/año	¢ 50 000
Mantenimiento		¢ 55 000/año	¢ 55 000
			<b>¢ 9 889 000</b>

\* Se trata de instalaciones o material que el ICE cederá. Para el caso de la electricidad del ventilador y extractores, el ICE la dará de sus plantas geotérmicas.



**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- El sistema planteado permite la colocación de 10 plantas en serie con una capacidad de 54 Tm, sin que se vea afectada la temperatura del agua para la recuperación del yacimiento geotérmico.
- El costo de la planta se puede repartir entre los 55 productores de la zona y si a esto se suman los productores de otros granos como frijol, maíz, e incluso chile, el monto se puede reducir aún más.
- La capacidad del ventilador de cada planta será de 2,1 m<sup>3</sup>/s.
- La capacidad de cada extractor será ¼ de la capacidad del ventilador total.
- El ventilador será del tipo axial montado sobre el suelo, de bajo mantenimiento.
- La eficiencia de producción de la planta se podría mejorar si se desea secar otro tipo de productos distintos a la cebolla.
- El proyecto de la planta secadora aumenta la producción y almacenaje de la cebolla, permitiendo ofertas en épocas de escasez.
- No existen problemas de tipo legal ni ambiental, ya que el terreno donde se encontrará la planta es zona reforestada por el ICE y su impacto visual queda ampliamente reducido por la cobertura boscosa con que cuenta.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la planta se inicie, ya que el ICE ha dado suficientes ventajas sobre la puesta en marcha. Cada productor debe invertir ¢189 000 aproximadamente, los cuales pueden ser administrados por la EARTH de Liberia.
- Sacar mayor provecho de la planta secadora, utilizándola para el secado de otros productos, como chile dulce y frijoles.
- Aprovechar el uso de la planta para estudios agronómicos de secado y experimentación por parte de entidades como el CNP, la EARTH, UCR y UNA.

## BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Osborne, W.; Turner, C. “Guía práctica de la ventilación”. Editorial Woods of Colchester Limited,: España, 1970.
  
- ❖ Mill, A. “Transferencia de calor”. Editorial McGraw-Hill/Irwin: España, 1994.
  
- ❖ Kern, D. “Procesos de transferencia de calor”. Editorial Compañía Editorial Continental: México, 1998.
  
- ❖ Mott, R. “Mecánica de fluidos aplicada”. Cuarta edición, Editorial Prentice Hall: México, 1996.
  
- ❖ Pitts, D.; Sismo, L. “Theory and Problems of Heat Transfer”. Primera Edición, Editorial McGraw-Hill Inc.: E.E.U.U., 1977.
  
- ❖ Fraas A.; Ozisik, M. “ Heat Exchanger Desing”. Editorial John Wiley & Sons: E.E.U.U., 1977.

- ❖ FAO Marques, J; Marcal, D. “Principios de secado de granos: Psicrometría-Higroscopía”. Serie: Tecnología Poscosecha 8.: Chile, 1991.
- ❖ Contreras, L. ”Aspectos teóricos de la operación de secado y su aplicación en productos sólidos”. Intenet: [www.monografias.com](http://www.monografias.com). Accedido 12-07-2012 a las 19:00 horas: Cuba.
- ❖ FAO Dalpasquale, V.; Marques D.; Sinicio, R. “Secado de granos a altas temperaturas”. Serie: Tecnología Poscosecha 10.: Chile, 1991.
- ❖ FAO Dalpasquale, V. et al. “Secado de granos: natural, solar y a bajas temperaturas”. Serie: Tecnología Poscosecha 9.: Chile, 1991.
- ❖ FAO De Dios, C. “Secado de granos y secadoras”. Chile, 1996.
- ❖ Díaz, R.; Díaz, L. “Uso del secador solar en la deshidratación de cebolla”. FONAIAP: Venezuela.
- ❖ CNP e INA. “Características de la cebollas y secado de cebolla”. Costa Rica, 2000
- ❖ Granados Oconitrillo, I. “Análisis del comportamiento del secado solar usado en proceso de curado-secado de cebolla”. UCR, Costa Rica, 1982.

- ❖ MENA Godínez, K. “Diseño técnico económico de un sistema de secado de granos básicos, utilizando como fuente de energía el vapor generado por un pozo de baja presión del campo geotérmico Miravalles”. UCR, Costa Rica, 1998.

# **CAPÍTULO VI**

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

Líquido	X	Y	Líquido	X	Y
Acetaldehído	15.2	4.8	Cloruro Estánico	13.5	12.8
Acetato de Amilo	11.8	12.5	Cresol, meta	2.5	20.8
Acetato de Butilo	12.3	11.0	Dibromoetano	12.7	15.8
Acetato de Etilo	13.7	9.1	Dicloroetano	13.2	12.2
Acetato de Metilo	14.2	8.2	Diclorometano	14.6	8.9
Acetato de Vinilo	14.0	8.8	Difenilo	12.0	18.3
Acetona 100%	14.5	7.2	Eter Etilico	14.5	5.3
Acetona 35%	7.9	15.0	Etilbenceno	13.2	11.5
Agua	10.2	13.0	Etilenglicol	6.0	23.6
Acido Acético 100%	12.1	14.2	Fenol	6.9	20.8
Acido Acético 70%	9.5	17.0	Formiato de Etilo	14.2	8.4
Acido Butírico	12.1	15.3	Freon 11	14.4	9.0
Acido Clorosulfónico	11.2	18.1	Freon 12	16.8	5.6
Acido Fórmico	10.7	15.8	Freon 21	15.7	7.5
Acido Isobutírico	12.2	14.4	Freon 22	17.2	4.7
Acido Nítrico 95%	12.8	13.8	Freon 113	12.5	11.4
Acido Nítrico 60%	10.8	17.0	Freon 114	14.6	8.3
Acido Propiónico	12.8	13.8	Glicerina 100%	2.0	30.0
Acido Sulfúrico 110%	7.2	27.4	Glicerina 50%	6.9	19.6
Acido Sulfúrico 98%	7.0	24.8	Heptano	14.1	8.4
Acido Sulfúrico 60%	10.2	21.3	Hexano	14.7	7.0
Alcohol Alílico	10.2	14.3	Hidróxido de Sodio 50%	3.2	25.8
Alcohol Amílico	7.5	18.4	Yoduro de Etilo	14.7	10.3
Alcohol Butílico	8.6	17.2	Yoduro de Propilo	14.1	11.6
Alcohol Etilico 100%	10.5	13.8	Isobutano	14.5	3.7
Alcohol Etilico 95%	9.8	14.3	Mercurio	18.4	16.4
Alcohol Etilico 40%	6.5	16.6	Metanol 100%	12.4	10.5
Acido Clorhídrico 31.5%	13.0	16.6	Metanol 90%	12.3	11.8
Alcohol Isobutílico	7.1	18.0	Metanol 40%	7.8	15.5
Alcohol Isopropílico	8.2	16.0	Meriletilcetona	13.9	8.6
Alcohol Octílico	6.2	21.1	Naftaleno	7.9	18.1
Alcohol Propílico	9.1	16.5	Nitrobenceno	10.6	16.2
Amoniaco 100%	12.6	2.0	Nitrotolueno	11.0	17.0
Amoniaco 26%	10.1	13.9	Octano	13.7	10.0
Anhidrido Acético	12.7	12.8	Oxalato de Dietilo	11.0	16.4
Anilina	8.1	18.7	Oxalato de Dimetilo	12.3	15.8
Anisol	12.3	13.5	Oxalato de Dipropilo	10.3	17.7
Benceno	12.5	10.9	Pentacloroetano	10.9	17.3
Bióxido de Azufre	15.2	7.1	Pentano	14.9	5.2
Bióxido de Carbono	11.6	0.3	Propano	15.3	1.0
Bisulfuro de Carbono	16.1	7.5	Salmuera CaCl 95%	6.6	15.9
Bromo	14.2	13.2	Salmuera NaCl 25%	10.2	16.6
Bromotolueno	20.0	15.9	Sodio	16.4	13.9
Bromuro de Etilo	14.5	8.1	Tetracloroetano	11.9	15.7
Bromuro de Propilo	14.5	9.6	Tetracloroetileno	14.2	12.7
n-Butano	15.3	3.3	Tetracloruro de Carbono	12.7	13.1
Ciclohexanol	2.9	24.3	Tetracloruro de Titanio	14.4	12.3
Clorobenceno	12.3	12.4	Tribromuro de Fósforo	13.8	16.7
Cloroformo	14.4	10.2	Tricloruro de Arsénico	13.9	14.5
Clorotolueno, orto	13.0	13.3	Tricloruro de Fósforo	16.2	10.9
Clorotolueno, meta	13.3	12.5	Tricloroetileno	14.8	10.5
Clorotolueno, para	13.3	12.5	Tolueno	13.7	10.4
Cloruro de Etilo	14.8	6.0	Turpentina	11.5	14.9
Cloruro de Metilo	15.0	3.8	Xileno, orto	13.5	12.1
Cloruro de Propilo	14.4	7.5	Xileno, meta	13.9	12.1
Cloruro de Sulfurilo	15.2	12.4	Xileno, para	13.9	10.9

### A.1. Viscosidades de distintos líquidos



## ANEXO 2

T K	Porcentaje de NaCl por masa				
	5	10	15	20	25
<b>Punto de congelación [K]</b>					
	270.2	266.6	262.2	256.7	264.3
<b>Conductividad térmica <math>k</math> [W/m K]</b>					
260	—	—	—	0.434	—
270	—	0.504	0.478	0.449	0.420
280	0.542	0.516	0.490	0.464	0.438
290	0.560	0.534	0.508	0.481	0.454
300	0.575	0.550	0.525	0.498	0.470
<b>Densidad <math>\rho</math> [kg/m<sup>3</sup>]</b>					
260	—	—	—	1160	—
270	—	1076	1115	1156	1189
280	1035	1073	1111	1153	1184
290	1033	1070	1108	1150	1180
300	1032	1069	1107	1149	1178
<b>Calor específico <math>c_p</math> [J/kg K]</b>					
260	—	—	—	3365	—
270	—	3680	3515	3380	3280
280	3920	3705	3535	3395	3290
290	3930	3720	3555	3415	3300
300	3940	3730	3575	3425	3310
<b>Viscosidad dinámica <math>\mu</math> [kg/m s <math>\times 10^3</math>]</b>					
260	—	—	—	4.70	—
270	—	2.30	2.60	3.05	3.83
280	1.50	1.65	1.95	2.25	2.60
290	1.17	1.30	1.50	1.75	2.03
300	0.90	1.00	1.18	1.38	1.65

### A.2.Datos Físicos de la salmuera

### ANEXO 3

Material	$k$ W/m K
Cobre	386
Aluminio	204
Bronce (70% Cu, 30% Zn)	111
Aceero dulce	64
Aceero inoxidable, 18-8	15
Mercurio	8.4
Concreto	1.4
Vidrio pyrex	1.09
Agua	0.611
Neopreno	0.19
Aceite para motores, SAE 50	0.145
Pino blanco, en la dirección perpendicular a la veta	0.10
Cloruro de polivinilo (PVC)	0.092
Freón 12	0.071
Corcho	0.043
Fibra de vidrio (densidad media)	0.038
Poliestireno	0.028
Aire	0.027

#### A.3. Conductividad térmica del acero

## ANEXO 4

	Edificios públicos	Fábricas
Entrada de aire fresco . . . . .	4-5 m/s	6-8 m/s
Conducto principal a partir del ventilador . . . . .	4-5 m/s	6-12 m/s
Conductos derivados . . . . .	2-5 m/s	3-5 m/s
Conductos verticales . . . . .	1,5-3 m/s	2-4 m/s
Salidas . . . . .	0,5-2 m/s	1-3 m/s

### A.6.Velocidades de aire en conductos

## ANEXO 5

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	
2	2,2	2,7	3,1	3,4	3,7	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	5,8	5,9	6,0	6,3	
3	2,3	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,2	5,5	5,7	6,0	6,2	6,4	6,6	6,8	7,0	7,1	7,3	7,5	7,7	8,0	
4	2,4	3,4	4,0	4,5	5,0	5,3	5,7	6,1	6,4	6,8	7,1	7,3	7,6	7,8	8,1	8,3	8,5	8,7	8,9	9,5	
5	2,5	3,5	4,2	4,8	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	7,6	8,0	8,3	8,6	8,9	9,1	9,4	9,6	9,8	10,8	
6	2,6	3,6	4,4	5,0	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,1	9,6	9,8	10,1	10,4	10,7	12,0	
7	2,7	3,7	4,5	5,2	5,8	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8	10,1	10,4	10,7	11,0	12,5	
8	2,8	3,8	4,6	5,3	5,9	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9	10,2	10,5	10,8	11,1	12,8	
9	2,9	3,9	4,7	5,4	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0	10,3	10,6	10,9	11,2	13,0	
10	3,0	4,0	4,8	5,5	6,1	6,5	6,9	7,3	7,7	8,1	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,4	10,7	11,0	11,3	13,2	
11	3,1	4,1	4,9	5,6	6,2	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8	10,2	10,5	10,8	11,1	11,4	13,4	
12	3,2	4,2	5,0	5,7	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,6	10,9	11,2	11,5	13,6	
13	3,3	4,3	5,1	5,8	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	10,7	11,0	11,3	11,6	13,8	
14	3,4	4,4	5,2	5,9	6,5	6,9	7,3	7,7	8,1	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	14,0	
15	3,5	4,5	5,3	6,0	6,6	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8	10,2	10,6	10,9	11,2	11,5	11,8	14,2	
16	3,6	4,6	5,4	6,1	6,7	7,1	7,5	7,9	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	14,4	
17	3,7	4,7	5,5	6,2	6,8	7,2	7,6	8,0	8,4	8,8	9,2	9,6	10,0	10,4	10,8	11,1	11,4	11,7	12,0	14,6	
18	3,8	4,8	5,6	6,3	6,9	7,3	7,7	8,1	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,2	11,5	11,8	12,1	14,8	
19	3,9	4,9	5,7	6,4	7,0	7,4	7,8	8,2	8,6	9,0	9,4	9,8	10,2	10,6	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	15,0	
20	4,0	5,0	5,8	6,5	7,1	7,5	7,9	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	11,4	11,7	12,0	12,3	15,2	
22	4,2	5,2	6,0	6,7	7,3	7,7	8,1	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,3	11,6	11,9	12,2	12,5	15,9	
24	4,4	5,4	6,2	6,9	7,5	7,9	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	11,8	12,1	12,4	12,7	16,7	
26	4,6	5,6	6,4	7,1	7,7	8,1	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,3	11,7	12,0	12,3	12,6	12,9	17,6	
28	4,8	5,8	6,6	7,3	7,9	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	18,5	
30	5,0	6,0	6,8	7,5	8,1	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,3	11,7	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	19,5	
32	5,2	6,2	7,0	7,7	8,3	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,6	12,9	13,2	13,5	20,5	
34	5,4	6,4	7,2	7,9	8,5	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,3	11,7	12,1	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	21,5	
36	5,6	6,6	7,4	8,1	8,7	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9	22,5	
38	5,8	6,8	7,6	8,3	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,3	11,7	12,1	12,5	12,9	13,2	13,5	13,8	14,1	23,5	
40	6,0	7,0	7,8	8,5	9,1	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	24,5	
44	6,4	7,4	8,2	8,9	9,5	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,5	13,8	14,1	14,4	14,7	26,5	
48	6,8	7,8	8,6	9,3	9,9	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,5	13,9	14,2	14,5	14,8	15,1	28,5	
52	7,2	8,2	9,0	9,7	10,3	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,5	13,9	14,3	14,6	14,9	15,2	15,5	30,5	
56	7,6	8,6	9,4	10,1	10,7	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,5	13,9	14,3	14,7	15,0	15,3	15,6	15,9	32,5	
60	8,0	9,0	9,8	10,5	11,1	11,5	11,9	12,3	12,7	13,1	13,5	13,9	14,3	14,7	15,1	15,4	15,7	16,0	16,3	34,5	
TABLA BASADA EN LA FORMULA DE HUEBSCHER  $d_e = 1,3 \sqrt[3]{\frac{(ab)^5}{(a+b)^2}}$																					22
24	26	28	30	32	34	36	38	40	44	48	52	56	60								60

### A.7. Equivalentes circulares de conductos rectangulares