



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

SECADO DE PASTA ALIMENTICIA  
TIPO SPAGUETTI

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
RICARDO CAMARGO MORENO

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. ELIGIO PASTOR RIVERO MARTINEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1993

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	PAG.
INTRODUCCION	1
<b>CAPITULO I.- <u>GENERALIDADES SOBRE EL SECADO</u></b>	
I.- GENERALIDADES	3
II.- PROPIEDADES DE LAS PASTAS Y PROBLEMAS RELACIONADOS	13
<b>CAPITULO II.- <u>MATERIA PRIMA Y PRUEBAS DE CALIDAD</u></b>	
I.- ASPECTOS GENERALES DE LA MATERIA PRIMA	20
II.- PRUEBAS DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA	43
III.-PRUEBAS DE CALIDAD EN LA PASTA	67
IV.- INFLUENCIA DE LA MATERIA PRIMA SOBRE LA CALIDAD DE LA PASTA	75
<b>CAPITULO III.-<u>PROCESO DE ELABORACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO</u></b>	
I.- DESARROLLO DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE SECADO	118
II.- DESCRIPCION GENERAL DE UN EQUIPO COMERCIAL DE ALTA TEMPERATURA	143
<b>CAPITULO IV.- <u>TEORIAS DE SECADO DE LA PASTA</u></b>	
I.- TEORIAS DE SECADO	202
II.- ASPECTOS BASICOS DE LOS EQUIPOS DE SECADO	230
<b>CAPITULO V.- <u>INFLUENCIA DEL SECADO EN LA CALIDAD DE LA PASTA</u></b>	239
CONCLUSIONES	267
BIBLIOGRAFIA	270

## TABLAS

	Pag.
CAPITULO II	
TABLA II.1	Porcentaje en que se encuentran las partes del grano 21
TABLA II.2	Composición química promedio del trigo 24
TABLA II.3	Composición de aminoácidos del trigo 24
TABLA II.4	Composición aproximada de carbohidratos en el trigo 27
TABLA II.5	Contenido de azúcares en el grano de trigo (Base seca) 28
TABLA II.6	Contenido de azúcares en el germen de trigo 28
TABLA II.7	Contenido de vitaminas en el trigo (microgramos/gr. (Base seca)) 31
TABLA II.8	Pruebas de cocción sobre spaguetti de trigo suave 85
TABLA II.9	Cenizas y granulación 90
TABLA II.10	Condiciones empleadas para el secado de spaguetti 91
TABLA II.11	Puntajes de color 93
TABLA II.12	Prueba de rango para firmeza 94
TABLA II.13	Prueba de rango para firmeza 95
TABLA II.14	Prueba de rango para pérdida en el cocimiento 96
TABLA II.15	Prueba de rango para pérdida en el cocimiento 96
TABLA II.16	Temperatura y humedad en la gelatinización del almidón 102
TABLA II.17	Distribución del tamaño de partícula 107

TABLA II.18	Valores de proteína, cenizas, gluten húmedo de los retritुरados	108
TABLA II.19	Efecto de la mezcla de retritुरados con sémola	109
TABLA II.20	Efecto de la mezcla de retritुरados sobre el peso	110
TABLA II.21	Efecto del tiempo de cocción sobre la calidad de cocción	110
TABLA II.22	Efecto de la mezcla de retritुरados sobre la pérdida en la cocción	110
TABLA II.23	Efecto de los retritुरados sobre la firmeza de cocción	111
TABLA II.24	Efecto del tiempo de cocción sobre la calidad de cocción de spaguetti con retritुरados	112
TABLA II.25	Efecto del tiempo de cocción sobre la calidad de cocción de spaguetti con retritुरados	113

### CAPITULO III

TABLA III.1	Ciclos de secado	128
TABLA III.2	Elementos de evaluación vs resultados	135
TABLA III.3	Comparación en pruebas de cocimiento entre THT y HT	136

### CAPITULO IV

TABLA IV.1	Relación de humedad y tiempo	205
TABLA IV.2	Sumario de datos	217
TABLA IV.3	Pérdida en peso	217
TABLA IV.4	Coefficiente de difusión superficial	220
TABLA IV.5	Valores de coeficiente de secado, K	223

**CAPITULO V**

<b>TABLA V.1</b>	<b>Características en diferentes sementinas</b>	<b>251</b>
<b>TABLA V.2</b>	<b>Efecto de las condiciones de secado sobre color y resistencia.</b>	<b>255</b>
<b>TABLA V.3</b>	<b>Efectos de las condiciones de secado</b>	<b>260</b>
<b>TABLA V.4</b>	<b>Efectos de las condiciones de secado</b>	<b>263</b>

## FIGURAS

	Pag.
<b>CAPITULO I</b>	
Fig. I.1	Curva típica de sorción 5
Fig. I.2	Curva típica de rapidez de secado a condiciones de secado constante 8
Fig. I.3	Curva típica de velocidad de secado en sólidos porosos 12
 <b>CAPITULO II</b>	
Fig. II.1	Corte longitudinal del trigo 22
Fig. II.2	Corte transversal del trigo 22
Fig. II.3	Molienda de trigo duro a semolina 35
Fig. II.4	Fragmentación del endospermo de trigo duro 39
Fig. II.5	Fragmentación del endospermo de trigo blando 39
Fig. II.6	Amilograma 48
Fig. II.7	Farinógrafo 51
Fig. II.8	Farinograma 55
Fig. II.9	Comparación de farinogramas 57
Fig. II.10	Mixograma 58
Fig. II.11	Parámetros de medición del mixógrafo 59
Fig. II.12	Alveograma 64
Fig. II.13	Ciclos de secado 83
Fig. II.14	Efectos de las condiciones de secado sobre la solubilidad de la proteína 83
Fig. II.15	Mixogramas 92
Fig. II.16	Efectos de temperatura en la gelatinización 102

Fig. II.17	Efectos del contenido de humedad en la gelatinización	103
Fig. II.18	Efectos de la velocidad del extrusor en la gelatinización	104
Fig. II.19	Efectos del diámetro del extrusor	104

### CAPITULO III

Fig. III.1	Diagrama de secado pasta larga vs humedad de producto	127
Fig. III.2	Diagrama de temperatura con tecnología THT en pasta larga	133
Fig. III.3	Diagrama de temperatura con tecnología THT en pasta corta	134
Fig. III.4	Línea pasta larga: comparación de diagramas de secado	134
Fig. III.5	Línea pasta corta: comparación de diagramas de secado	135
Fig. III.6	Comparación en longitud entre líneas de pasta corta	137
Fig. III.7	Comparación en longitud entre líneas de pasta larga	138
Fig. III.8	Máquina de elaboración de pasta larga	144
Fig. III.9	Prensa	147
Fig. III.10	Dosificador	148
Fig. III.11	Dosificador de harina	149
Fig. III.12	Entrada de harina	150
Fig. III.13	Desacarga de harina	151
Fig. III.14	Dosificador de agua	153
Fig. III.15	Turbo spray	154
Fig. III.16	Flecha de turbo spray	155
Fig. III.17	Amasadora	157

Fig. III.18	Sistema de vacío	158
Fig. III.19	Extrusor	160
Fig. III.20	Enfriamiento del extrusor	161
Fig. III.21	Cabezal	163
Fig. III.22	Flujo de amasado	165
Fig. III.23	Transportación del spaguetti	166
Fig. III.24	Ventilación en extendedora	168
Fig. III.25	Extendedora	169
Fig. III.26	Mecanismo de extendedora	170
Fig. III.27	Presecado	172
Fig. III.28	Flujo de aire en presecado	174
Fig. III.29	Unidad de termoventiladores en pre-secado	176
Fig. III.30	Rototermo	180
Fig. III.31	Planchas térmicas	182
Fig. III.32	Secado	184
Fig. III.33	Unidad de termoventiladores en secado	188
Fig. III.34	Unidad de condensación	189
Fig. III.35	Tolva de condensados	191
Fig. III.36	Flujo de aire en secado	192
Fig. III.37	Sistema de enfriamiento	197
Fig. III.38	Desfiladora	199

#### CAPITULO IV

Fig. IV.1	Contenido de humedad de equilibrio	203
Fig. IV.2	Evolución de humedad en diferentes diámetros de spaguetti	208
Fig. IV.3	Curvas en términos $\ln(N-N_e)/(N_0-N_e)$	209

Fig. IV.4	Humedad en el cambio de comportamiento agua-sólido en relación a la temperatura de bulbo seco	210
Fig. IV.5	Diagrama de secado	211
Fig. IV.6	Secador de humedad controlada	215
Fig. IV.7	Contenido de humedad de equilibrio en macarrón	218
Fig. IV.8	Curvas de velocidad de secado (velocidad de aire 95 pies/min)	221
Fig. IV.9	Curvas de velocidad de secado para pastas con huevo	221
Fig. IV.10	Variación de coeficiente de secado con respecto a la humedad relativa	223
Fig. IV.11	Curvas de velocidad de secado (velocidad de aire 150 pies/min)	224
Fig. IV.12	Curvas de velocidad de secado para macarrón Ácido	224
Fig. IV.13	Curvas de velocidad de secado para macarrón tipo codo	226
Fig. IV.14	Curvas de velocidad de secado para spagueti	227
Fig. IV.15	Contenido de agua en macarrón tipo codo	228
Fig. IV.16	Velocidad de secado en macarrón tipo codo	228
Fig. IV.17	Velocidad de secado comercial	229

#### CAPITULO V

Fig. V.1	Diagramas de secado	240
Fig. V.2	Diagrama de extrusión	242
Fig. V.3	Harinograma de semolina especial de trigo duro	243
Fig. V.4	Gelatinización	247

Fig. V.5	Condiciones de humedad y temperatura para cada ciclo de secado	253
Fig. V.6	Influencia del secado sobre el pigmento amarillo	257
Fig. V.7	Influencia del secado sobre la proteína soluble en ácido acético	259
Fig. V.8	Influencia del secado sobre azúcares reductores (maltosa)	261

## INTRODUCCION

Actualmente en México la industria para la fabricación de pastas alimenticias, comparada con la industria de los Estados Unidos de América y Europa, se puede considerar atrasada en cuanto al nivel tecnológico de la maquinaria y la capacidad del personal (a excepción de algunas cuantas empresas que dominan el mercado nacional), propiciando así que la instalación de nuevas empresas para la fabricación de pastas año con año sea menor, ya que una empresa de este tipo, para ser lo suficientemente rentable, hablando en forma muy general, requiere producir grandes volúmenes y eficientes procesos de producción.

Las empresas fuertes a nivel nacional en este ramo, cuentan con equipos y tecnología de vanguardia en los procesos de producción y empaque que, comparada con la tecnología de la mayoría de las empresas en México, existen grandes ventajas: en el mantenimiento del equipo, control automatizado del proceso y sobre todo en la mejoría de la calidad en el producto terminado. Sin embargo se considera que conociendo los conceptos básicos de operación de las líneas de producción es factible alcanzar una operación eficiente del proceso.

Considerando lo anterior, se puede decir que a pesar de la deficiencia tecnológica actual, el problema más fuerte que sufre la industria de pastas alimenticias, es la falta de capacidad del personal, ya que la mayoría de las empresas trabajan con personal con años de experiencia, la cual no tiene los conocimientos básicos necesarios para la toma de decisiones cuando se presentan problemas no conocidos durante el proceso de elaboración, ya que el control de operación desde la materia prima, extrusión y

secado, son controlados, en la mayoría de los casos, empíricamente, ocasionando así que las diferencias marcadas en la calidad del personal, dejen un gran margen de ventaja en calidad y producción de las empresas fuertes en el país.

El objetivo principal de esta tesis es crear un libro de consulta general sobre las cuestiones básicas del proceso de elaboración, materia prima y calidad del producto, mencionando así los estudios más recientes sobre las diferentes variables que afectan el producto terminado.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES SOBRE EL SECADO

#### I.- GENERALIDADES

El secado desempeña un papel muy importante en casi todas las ramas de la industria. El término secado significa la eliminación de líquido (generalmente agua) de un sólido mediante procedimientos térmicos. Esta definición distingue a la extracción de humedad de sólidos por medios mecánicos (presión, filtración, centrifugación), pero no establece diferencias respecto a la evaporación la cual utiliza calor para evaporar grandes cantidades de agua en soluciones y suspensiones.

El método de secado a usar depende de la naturaleza de la sustancia y de su estado físico. Los productos sometidos a este proceso deben tratarse pues en función de las características exigidas. Un secado rápido puede causar daños irreparables en el producto, mientras que un secado lento puede llegar a ser económicamente poco rentable.

Ahora bien, no necesariamente se desea eliminar toda la humedad en el producto; el nivel de humedad requerido será tal que permita el manejo, conservación y uso para el cual ha sido concebido el producto en cuestión.

Las pastas alimenticias son un caso que vale la pena estudiar; el secado es muy lento y se tienen dificultades en el mantenimiento de condiciones específicas en el túnel de secado y en el control general del proceso.

Naturaleza de la humedad: Según la unión entre la humedad y la materia seca en los cuerpos puede distinguirse: el líquido adherente, el líquido capilar y el líquido de hinchado. A menudo también se presenta la humedad como agua químicamente combinada, cuya separación no constituye un problema de secado.

El líquido adherente se presenta en forma de película rodeando la superficie exterior de la materia, existiendo por todas partes un contacto libre entre la superficie húmeda y el agente secador.

El líquido capilar es el que queda retenido por los intersticios de la materia porosa y que, durante el secado, se desplaza hacia la superficie bajo la acción de fuerzas capilares.

El líquido de hinchado es la humedad que provoca en el cuerpo un aumento de volumen. Este líquido de hinchado forma parte integral de la fase del producto y es de naturaleza coloidal, a diferencia de los líquidos adherente y capilar que solamente mojan la superficie externa e interna respectivamente.

Equilibrio. Isotermas de sorción: Cuando un producto del tipo higroscópico se encuentra en contacto con un vapor, fija éste hasta que se establece un estado de equilibrio. Este fenómeno es conocido como adsorción. De manera análoga, si dicho producto entra en contacto con una atmósfera seca, cederá vapor hasta que la presión parcial resultante sea igual a la tensión de vapor de equilibrio. Este fenómeno se denomina desorción.

La relación entre el porcentaje de humedad en el producto y el de su vapor a la presión de equilibrio (expresada como % de humedad relativa del aire ambiente) se representa, para las temperaturas determinadas, por medio de las isotermas de sorción.

Las curvas típicas de sorción se muestran en la figura I.1.

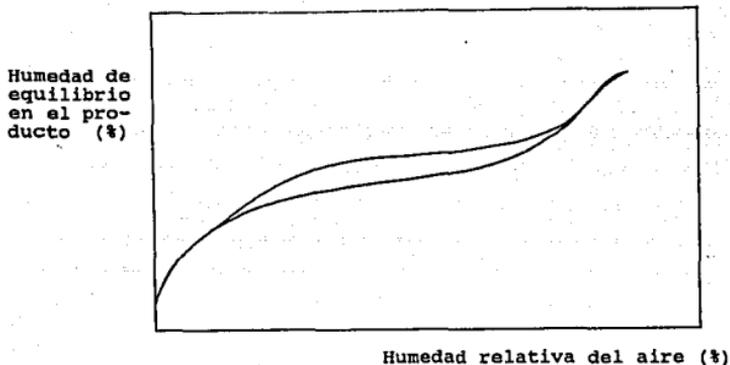


Fig. I.1 Curva típica de sorción.

Estas isotermas de sorción son características para cada producto y son particularmente importantes pues proporcionan la humedad final que debe alcanzarse mediante el secado tomando en cuenta las condiciones bajo las cuales se manejará y conservará el producto. Proporcionan además información importante sobre el comportamiento higroscópico y otros fenómenos físicos inherentes en el material en cuestión.[29]

La forma de determinar estas curvas es sencilla, se recomienda utilizar el método dinámico que consiste en hacer circular aire previamente acondicionado a través de la muestra hasta obtener peso constante en ella.

Velocidad de Secado: La capacidad de un secador térmico depende tanto de la velocidad de transmisión de calor como de la velocidad de transferencia de materia.

Consideremos un sólido inerte húmedo con agua pura que se deseca en una corriente de aire caliente que fluye paralelamente a la superficie de desecación, la cual mantiene constantes las condiciones de temperatura y humedad durante todo el ciclo de desecación. Si durante todo el proceso se registra la variación de la humedad del sólido se encontrará que existen diferentes etapas en las que la velocidad de eliminación de agua se comporta de manera diferente.

a).- Fase o periodo de "estabilización": En esta fase las condiciones de la superficie se equilibran con las del aire de desecación. La característica es que la velocidad de secado es muy irregular.

b).- Periodo de velocidad constante: El comportamiento registrado en esta etapa se ha explicado a partir del hecho de que la superficie del sólido se mantiene saturada con agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido a la superficie ocurre a la misma velocidad que la evaporación en la superficie.

Durante esta fase, la velocidad de desecación depende de la velocidad de transferencia de calor a la superficie de desecación. La velocidad de transferencia de masa se equilibra con la velocidad de transferencia de calor de forma que la temperatura de la superficie de desecación se mantiene constante. Esta temperatura de la superficie es igual a la del bulbo húmedo del aire.

Mientras que la superficie está completamente húmeda, el proceso de secado es independiente del mecanismo mediante el cual la humedad alcanza la capa mas externa y el proceso se reduce a una transferencia de masa desde la superficie del sólido a la corriente de aire y una transmisión de calor desde el aire al sólido.

Cuando la migración de la humedad desde el interior del sólido hasta su superficie comienza a ser menor que la evaporación, entonces el periodo de velocidad constante llega a su fin, y a la humedad del sólido en este punto se le llama "humedad crítica ó punto critico.

c).- Periodo de velocidad decreciente: Al avanzar la desecación se alcanza un punto en que la velocidad de movimiento de la humedad desde el interior del producto hasta la superficie disminuye de tal forma que esta última comienza a secarse. Al alcanzar este punto, la velocidad de transferencia de humedad desde el sólido al aire desciende, dando comienzo a la fase de velocidad de secado decreciente.

A partir de aquí, la temperatura del producto comienza a elevarse aproximadamente a la temperatura de bulbo seco del aire.

En la gráfica contigua (Figura I.2) puede verse esta fase como la denotada por la trayectoria C-E de la curva. Como se observa, esta fase esta dividida en dos secciones: C-D y D-E. En el primer periodo C-D la superficie se seca y disminuye la velocidad de desecación; al alcanzar el punto D, el campo de evaporación se desplaza penetrando hacia el interior del sólido y la velocidad de desecación decae aún mas.

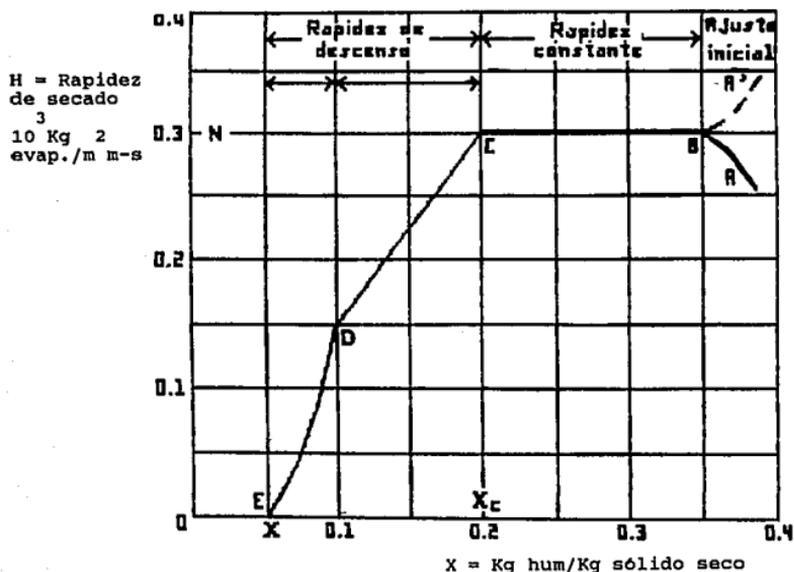


Fig. 1.2 Curva típica de rapidez de secado, condiciones de secado constantes.

En todo este periodo la velocidad de desecación está influenciada principalmente por la velocidad del movimiento de la humedad dentro del sólido, reduciéndose los efectos de los factores externos, sobre todo la velocidad del aire.

De acuerdo con la investigación realizada hasta ahora, existen diferentes mecanismos para el flujo de la humedad:

1.- Teoría de la difusión: Esta teoría es aplicable al caso de sólidos no porosos tales como el jabón. Estas sustancias son esencialmente geles coloidales de sólidos y agua y retienen

grandes cantidades de agua ligada. En ellos, la humedad fluye por difusión a través del sólido.

La resistencia a la transferencia de materia del vapor de agua desde la superficie del sólido al aire es generalmente despreciable y la difusión en el sólido controla la velocidad de secado. La humedad en la superficie tiene un valor muy próximo al de equilibrio. La velocidad del aire tiene poco o ningún efecto, y su influencia en el proceso se debe esencialmente a la que ejerce sobre la humedad de equilibrio del sólido.

2.- Flujo de agua por capilaridad: En los sólidos porosos el agua fluye a través de ellos por capilaridad. Un material poroso contiene una estructura interior complicada, formada por poros y canalillos intercomunicados.

Para camas de sólidos granulares, o bien para sustancias con una amplia estructura porosa abierta, evidentemente el mecanismo de difusión molecular es incorrecto. En estos materiales, el movimiento de líquido dentro del sólido se presenta como una fuerza total, que surge de las diferencias en las cargas hidrostáticas y en los efectos de tensión superficial. La tensión superficial ocasiona la presión bajo una superficie curva de líquido, que es diferente de una superficie plana.

Para contenidos de humedad menores, la interfase del líquido empieza a retirarse de la superficie. La retirada no es uniforme, como tampoco lo son los radios de curvatura de los meniscos de líquido en la superficie. El líquido en los poros grandes se sumerge dentro de la muestra y emerge de ella en los poros pequeños mediante la fuerza directora de la tensión superficial.

A medida que el secado prosigue, el líquido en los poros amplios continúa retirándose hasta que alcanza un "estrangulamiento" dentro del poro, o bien se retira lo suficiente para que la fuerza de tensión superficial no balanceada se encuentre detenida por la fuerza gravitacional.[30]

#### Analisis del Tiempo de Secado

Para calcular el tiempo de secado de un sólido en las condiciones para las cuales se ha construido una curva como la descrita en la sección anterior, se requiere solamente leer la diferencia en los tiempos que corresponden a los contenidos inicial y final de humedad mediante la curva.

Por definición, la rapidez de secado se calcula por la relación :

$$N = \frac{-S_s dx}{A dt} \quad (\text{Ec. I.1})$$

donde:

N = Flujo de secado, masa/tiempo(area), Kg agua/hr m<sup>2</sup>

S<sub>s</sub> = Masa de sólido seco, Kg.s.s.

A = Area expuesta de secado, m<sup>2</sup>.

t = Tiempo, hr.

x = Humedad, Kg H<sub>2</sub>O/Kg s.s.

Reordenando e integrando en el intervalo de tiempo en que el contenido de humedad cambia de su valor inicial X<sub>1</sub> a su valor final X<sub>2</sub> :

$$t = \int_0^t dt = \frac{S_s}{A} \int_{X_2}^{X_1} \frac{dx}{N} \quad (\text{Ec.I.2})$$

Esta relación tomará su forma definitiva dependiendo si se trata de la fase de velocidad constante o decreciente:

a.- Fase de velocidad constante: Si el secado tiene lugar dentro de esta fase, de forma que  $X_1$  y  $X_2 > X_c$  y  $N = N_c$ , donde:

$X_1$  = humedad inicial

$X_2$  = humedad final

$X_c$  = humedad en el punto crítico

$N_c$  = velocidad de secado constante

lo cual resulta:

$$t = \frac{S_s (X_1 - X_2)}{A N_c} \quad (\text{Ec. I.3})$$

b.- Velocidad de secado decreciente: En este caso es necesario obtener la funcionalidad de  $N$  con  $X$ . Es decir, como se analizó en la sección anterior, a medida que decrece la humedad en el producto también decrece la velocidad, dependiendo el proceso de la forma de flujo de la humedad.

Los conceptos anteriores pueden ser representados por la siguiente relación:

$$N = \frac{S}{A} \left( \frac{dx}{dt} \right) \quad (\text{Ec. I.4})$$

donde  $N$  = Velocidad de secado ( $\text{Kg agua/m}^2\text{-s}$ )

$S$  = Peso del sólido seco ( $\text{Kg sólido seco}$ )

$A$  = Area de la superficie expuesta ( $\text{m}^2$ )

$x$  = Humedad ( $\text{Kg}$ )

$t$  = Tiempo ( $\text{seg}$ )

La fig. I.3 muestra una curva típica de velocidad de secado en sólidos porosos.

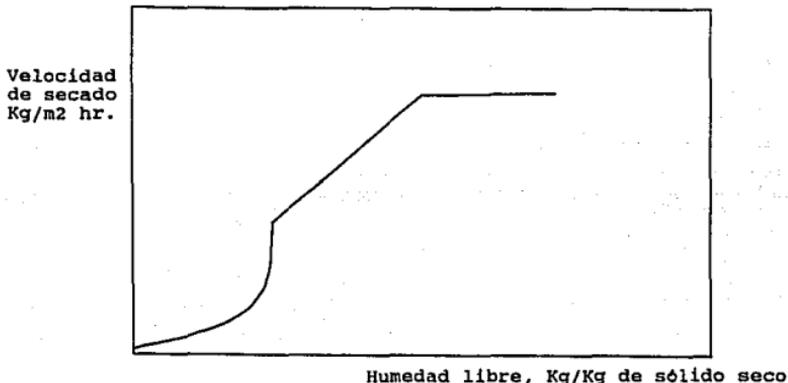


Fig. I.3 Curva típica de velocidad de secado en sólidos porosos.

Puede determinarse el tiempo de secado a partir de la curva de velocidad de secado. Frecuentemente la única forma de construir esta curva es obteniendo datos experimentales con el material que se va a secar, lo cual implica a su vez, un conocimiento directo del tiempo de secado. Las curvas de velocidad generalmente se modifican cuando se opera en otras condiciones y en este caso es conveniente calcular el tiempo de secado a partir de la curva de velocidad de secado.

c.- Modelación: Tomando en cuenta las variables que intervienen en un proceso, puede obtenerse un modelo matemático capaz de predecir su comportamiento bajo determinadas condiciones. El modelo a usarse dependerá de la tendencia del proceso y la complejidad del número de variables que participan.

La regresión simple y múltiple es una herramienta muy útil para este fin, pudiendo además optimizar una variable objetivo en función de las demás.

## II.- PROPIEDADES DE LA PASTA Y PROBLEMAS RELACIONADOS

En el producto terminado de las pastas alimenticias, existe un defecto de calidad denominado estrellamiento, el cual se puede definir como una fractura parcial de la pasta ocasionando una ruptura total durante el cocimiento. Este problema es sin duda el mas importante de los efectos sobre el producto durante el proceso de elaboración.

Hay diferentes tipos de estrellamiento, el cual es provocado por tensiones debidas a la expansión y contracción de la pasta causadas por los cambios en el contenido de humedad.[22]

Estrellamiento en el presecado: El estrellamiento o la deformación en el presecado se han incrementado desde que se introdujeron los procesos con vacío. Si en un presecador de spaguetti largo el calor esta distribuido de tal forma que la pasta que entra sea secada rápidamente por una ráfaga de aire seco caliente, continuando despues el secado a una menor velocidad hasta el final de la sección de secado, la parte externa del spaguetti se endurecerá desde el principio. El interior se contraerá ya que la humedad interna se esta eliminando lentamente, pero la superficie no podrá seguir el proceso de contracción. Esto ocasionará que la superficie se vea aplastada a la salida del presecado. Lo mismo ocurre con las pastas cortas, pero el producto tendrá arrugas de un lado al otro del codo o se arrugará como una ciruela pasa.

Normalmente, en el sobresecado preliminar (humedades relativas muy bajas y altas temperaturas) aparecerá como manchas blancas o burbujas en el interior de la pasta. Esto se debe al encogimiento interior que jala a la superficie endurecida provocando que la pasta se rompa en los puntos en los que aparecen las burbujas. Usualmente estos estrellamientos en el presecado no causan mucho problema en lo que respecta a las cualidades de cocción.

Estrellamiento de Compresión: Si se coloca pasta seca en una atmósfera muy húmeda, la superficie absorberá humedad y habrá expansión. Si este proceso es largo, la superficie absorberá humedad desde el interior y causará estrellamientos serios. Antes del uso del vacío, este estrellamiento en el spaguetti se observaba como una fractura bajo la superficie que corría a un ángulo de alrededor de 30 grados hacia el eje del spaguetti en ambos lados del lugar del estrellamiento. Desde la introducción del vacío, este estrellamiento se observa en el spaguetti como líneas cortas perpendiculares al eje del spaguetti. Este es el tipo de estrellamiento mas serio.

Estrellamiento por Tensión: Si se coloca un producto con una humedad de 12 o 13% en un área con aire seco y muy caliente, la superficie se secará y se contraerá. Esto causará una red muy fina de estrellamientos que aparecerán en la superficie. Normalmente estos estrellamientos no penetran muy hondo en la pasta y no causan problemas en la cocción. Se llama así por que la superficie esta en tensión cuando esto ocurre.

Estrellamiento causado por Tensiones Atrapadas: Si una pasta húmeda es secada rápidamente, la superficie se secará sin

provocar tensiones, ya que el producto es plástico. Bajo estas circunstancias, el contenido de humedad en la superficie será bajo y en el interior será alto. El contenido de sólidos en la superficie será alto y en el interior será bajo. Si se continua el secado con esta diferencia de concentraciones, pasando del rango de plasticidad hacia el rango de quebrado, no se producirán tensiones siempre que la velocidad de secado sea lo suficientemente rápida para mantener el contenido de humedad en línea con el contenido de sólidos. Cuando el secado termine, la humedad tenderá a distribuirse uniformemente por si misma; esto provocará que la superficie se expanda debido a su alta concentración de sólidos y que el interior se contraiga debido a su baja concentración de sólidos, provocando estrellamiento por compresión, que es el que se encuentra con mayor frecuencia en el secado de pastas. Algunas veces este tipo de estrellamiento tarda varios días en aparecer y puede hacerse evidente despues de que el producto ha sido empacado.

Tratamientos que causan Estrellamiento: Si una pasta corta tiene una pequeña cantidad de tensión atrapada insuficiente para causar estrellamiento en circunstancias normales, esta pasta será mas susceptible al estrellamiento por cambios de humedad que un producto que ha sido secado adecuadamente. Si un producto como este se coloca cuando esta caliente en un recipiente de acero y se lleva a un área en donde el aire ha sido enfriado, la capa de pasta cercana a la superficie del recipiente se enfriará, de tal forma que la humedad emigrará del interior caliente del recipiente hacia el producto frio cerca de la superficie. La

pasta fría absorberá esta humedad y se estrellará, lo cual es muy común. Algunas veces bajo estas condiciones se estrella la pasta que esta a los lados del recipiente, pero no la de la superficie abierta, debido a que la humedad se escapa hacia el aire y no se condensa en la pasta fría. En los secadores Batch (de lote) para pastas, con frecuencia existe una parte de la cámara que es mas lenta que el resto. Se han visto secadores en los que una parte de la cámara estaba a 15% de humedad, mientras que otras partes estaban todavía a 21% de humedad o mas. Cuando la mayor parte de la cámara ha alcanzado un contenido de humedad del 15% o menos, frecuentemente la humedad relativa decrece rápidamente en toda la cámara debido a los programas establecidos en los controles o debido a las tendencias naturales de los secadores sin control. Esto provocará que la parte del secador que contiene humedad alta pierda humedad rápidamente y quizá pase de 21% a 15% en una hora mas o menos. Este producto tendrá un tipo de estrellamiento de tensión atrapada muy serio. Este es el mecanismo que causa que cierta parte del secador produzca con frecuencia pastas estrelladas.

Tensiones Lentas: El mecanismo que provoca que algunas pastas se estrellen despues de un largo periodo de tiempo se presenta cuando hay tensiones atrapadas en la pasta. En un spaguetti en el que el agua no está distribuida uniformemente, se ejercen presiones de expansión en la superficie y de contracción en el interior. La fracción de la pasta que fluye gradualmente se ajusta por si misma a esta presión y el esqueleto de la pasta eventualmente no puede soportar la presión del agua, ocurriendo el estrellamiento. Este es el único mecanismo que puede explicar

porqué algunos productos estan bien hasta por dos semanas, presentando finalmente estrellamiento sin haber sido expuestos a cambios violentos de temperatura o humedad. Por ello se hace necesario secar las pastas en un periodo de uno o dos dias, siendo que la humedad puede ser eliminada en realidad en unos minutos.

#### Propiedades físicas de las pastas

El estrellamiento es causado por la expansión y contracción de la masa de las pastas bajo la influencia de cambios en la humedad y en la temperatura. Se encontró que el coeficiente de expansión térmica de la masa de las pastas es, en promedio, de  $58 \times 10^{-6}$  plg/'C. Esto quiere decir que por cada grado centigrado de aumento en la temperatura, una pieza de pasta de una pulgada de largo incrementará su longitud 58 millonésimas de pulgada. El coeficiente de expansión relacionado con el contenido de humedad es de  $4 \times 10^{-3}$  plg/% humedad, lo que quiere decir que por cada incremento del 1% en el contenido de humedad la longitud de una pieza de pasta se incrementará en 4 milésimas de pulgada. La resistencia al rompimiento puede variar desde 1500 lb por pulgada cuadrada para fideos que fueron sobresecados en el presecador (el presecador es la primera etapa en el secado lo cual, técnicamente, tiene por objetivo eliminar la humedad interna del spagueti) hasta 7300 lb por pulgada cuadrada para productos comerciales de pasta. Se encontró que un presecado severo disminuye la resistencia del fideo de 3000 a 1500 por pulgada cuadrada. Existen datos que muestran que las pastas con 14% de proteína tienen una resistencia al rompimiento de 5,116 lb por

pulgada cuadrada mientras que un producto con 10% de proteína tiene una resistencia al rompimiento de 3,978 lb por pulgada cuadrada. Cálculos basados en la resistencia al rompimiento, en el coeficiente de elasticidad, el coeficiente de expansión debido a la humedad y el coeficiente térmico de expansión, muestran que una pasta que contiene un 12% de agua (base seca) a una temperatura de 90°F colocada repentinamente en una corriente de aire a 70°F con una humedad relativa tal que no pueda ocurrir un cambio en el contenido de humedad de la superficie, desarrollará una tensión de 18.7 lb por pulgada cuadrada. Este es un valor muy pequeño comparado con las 5000 a 7000 lb por pulgada cuadrada que se requieren para romper o para estrellar una pasta. Una pasta en equilibrio con aire de humedad relativa del 65% que es cambiada a una humedad relativa del 85%, desarrollará una tensión máxima de 4700 lbs por pulgada cuadrada. Esto estará muy cerca de provocar estrellamiento en la pasta o de hecho lo provocará debido a irregularidades en la estructura. Esto demuestra que el estrellado de las pastas es causado por diferencias en el contenido de humedad y no por diferencias de temperatura. Sin embargo, se debe tener en cuenta que las diferencias en la temperatura del aire tienen un gran efecto en la distribución de la humedad, por lo que las diferencias de temperatura pueden causar estrellamiento indirectamente.

Propiedades físicas de las pastas:

Coeficiente de expansión térmica (promedio) =  $50 \times 10^{-6}$  ,plg/'C.  
Coeficiente de expansión por humedad =  $4 \times 10^{-3}$  ,plg/% humedad.  
Coeficiente de ruptura (resistencia al rompimiento) a 13 % de humedad = 5400 lb por pulgada cuadrada (esto varia desde 1500

hasta 7300 lb por pulgada cuadrada dependiendo de las condiciones del producto y la historia de secado previa).

Tensión térmica = 18.7 lb por pulgada cuadrada (por cambio de temperatura de 90°F a 70°F).

Tensión por cambio de humedad relativa (de 65% a 80%) = 4700 lb por pulgada cuadrada.

Gravedad específica del spaghetti (a una humedad del 10 %) = 1.4 lb/pie<sup>3</sup>.

Coefficiente de elasticidad =  $0.1 \times 10^6$  plg (a una humedad de 10 % base seca).

Coefficiente de elasticidad =  $0.6 \times 10^6$  plg (a una humedad del 15% base seca).

CAPITULO II  
MATERIA PRIMA Y PRUEBAS DE CALIDAD

I.-ASPECTOS GENERALES .

Historia y clasificación del trigo

En el mundo se producen cerca de cien mil millones de toneladas de cereales. Los cereales mas importantes son el trigo y el arroz prácticamente en la misma proporción así como el centeno, cebada, maíz y avena. Los granos de cereales constituyen la fuente de energía alimentaria más económica del mundo y proporcionan las dos terceras partes o más de la energía humana y de la aportación de proteínas en numerosas regiones en vías de desarrollo donde se consumen en forma natural o ligeramente modificada. [32]

El trigo comercial se divide en tres grupos principales:

TRIGO	USOS
<u>"Triticum vulgare"</u>	Idóneo para harina de pan.
<u>"Triticum durum"</u>	Fabricación de pastas alimenticias.
<u>"Triticum compactum"</u>	Producción de harina de confitería.

Hay varias bases comerciales para clasificar los diferentes tipos de trigo, como son: el color de la semilla (que se usa a veces como un medio de diferenciación entre trigos rojos y blancos) y la época de siembra. El trigo que se siembra en primavera y se recoge el otoño siguiente, se llama "Trigo de Primavera"; así como el que se siembra en invierno y se recoge al siguiente otoño se llama "Trigo de Invierno". Los trigos también pueden ser clasificados por aspereza en duros y blandos, término que se refiere a la calidad del almidón o endospermo del grano.

### Composición del grano de trigo

El trigo como los otros cereales es un fruto compuesto de:

1.-Semilla, constituida por:

- a) Germen o embrión
- b) Endospermo
- c) Cubierta de la semilla

2.-La cubierta del fruto o pericarpio que rodea a la semilla y que está unida estrechamente a la cubierta de ésta.

Este tipo de fruto se llama comúnmente grano y son conocidos por los botánicos como cariopside, siendo ésta una característica de las gramíneas.

El grano de trigo mide de 4 a 10 mm. de longitud. Dicha longitud se afecta por la variedad y la localización del grano en la espiga.

### Relación cuantitativa de las partes del grano.

La cantidad de cada una de las partes del grano de trigo cambia según la variedad. La siguiente tabla muestra el porcentaje aproximado en que se encuentran las partes del grano de trigo.

TABLA II.1 PORCENTAJE EN QUE SE ENCUENTRAN LAS PARTES DEL GRANO DE TRIGO (Base seca).

PARTE DEL GRANO		% (Base Seca)
Semilla		94.8
Germen o embrión		3.1
Escutelo	1.7	
Cavidad embrionaria	1.3	
Endospermo		89.5
Capa aleurona	6.8	
Endospermo	82.7	
Cubierta de la semilla		2.2
Pericarpio		5.9
Parte externa		4.5
Parte interna		1.4

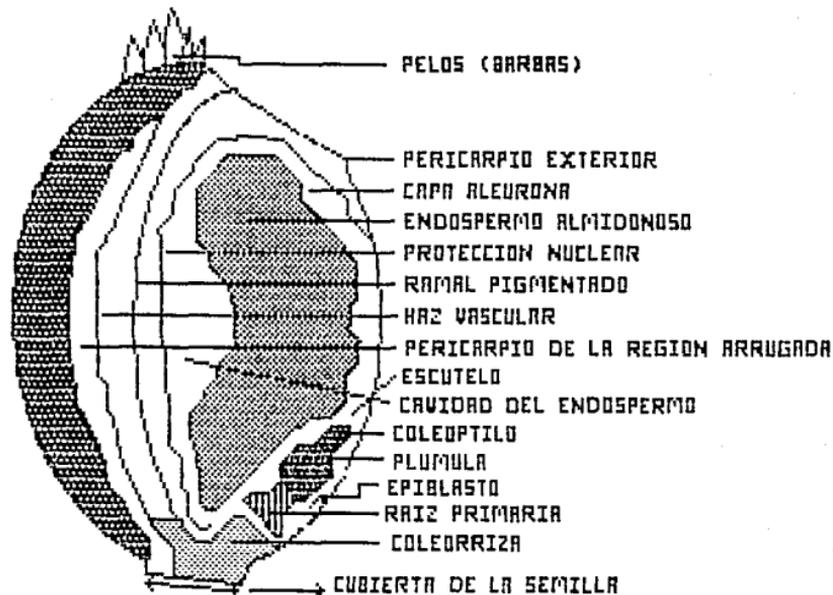


Fig.II.1 Corte longitudinal de trigo

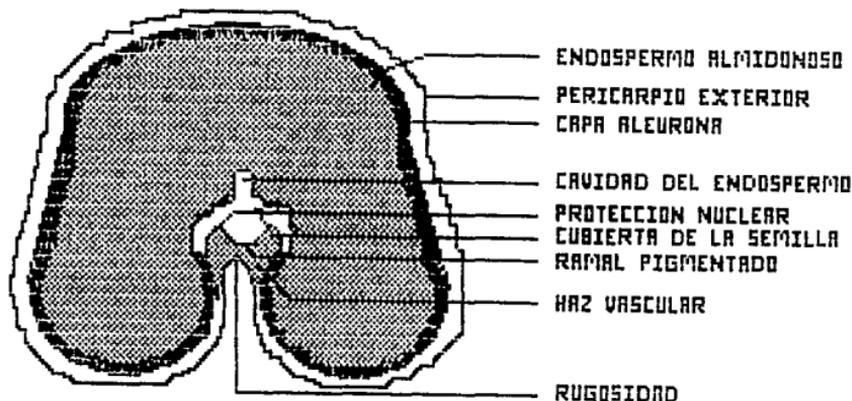
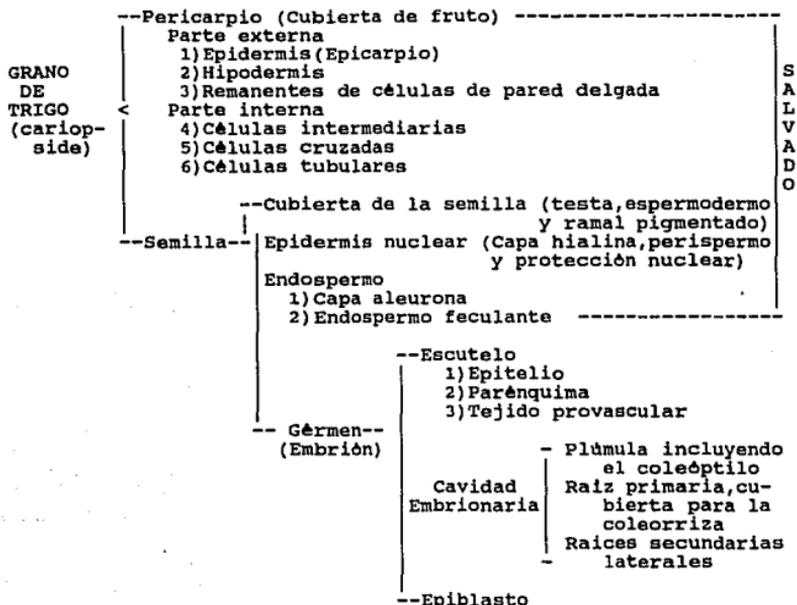


Fig.II.2 Corte transversal de trigo

## PARTES DEL GRANO DE TRIGO Y SU INTERRELACION



### Composición química general del trigo.

La composición química de los cereales, y por lo consiguiente del trigo, es muy inconsistente, dependiendo del medio ambiente, suelo y la variedad y es por ello que en la siguiente tabla solo se da un promedio aproximado.

TABLA II.2 COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DEL TRIGO

Componente	Promedio
Humedad %	10.0
Proteinas %	14.3
Grasa %	1.9
Fibra cruda %	3.4
Cenizas %	1.8
Vitamina B1 mg/kg	5.5
Niacina mg/kg	63.6
Vitamina B2 mg/Kg	1.3
Ac. Pantoténico mg/kg	13.6

La cantidad de proteínas de trigo es 7 a 22 % mayor que los otros cereales; no solo de proteínas es buena fuente el trigo, sino también en aminoácidos esenciales:

TABLA II.3 COMPOSICION DE AMINOACIDOS DEL TRIGO

AMINOACIDO	%
Arginina	0.8
Cistina	0.2
Histidina	0.3
Isoleucina	0.6
Leucina	1.0
Lisina	0.5
Metionina	0.2
Fenilalanina	0.7
Treonina	0.4
Triptofano	0.2
Tirosina	0.5
Valina	0.6

En el trigo los lípidos se localizan principalmente en el germen. Los minerales se encuentran en la cáscara y principalmente en la aleurona. Estas partes son removidas durante los principales procesos del trigo.

De la parte comestible de los cereales el 70% esta constituido por carbohidratos. Igualmente el contenido de vitaminas en los cereales es muy variado, y durante los procesos son reducidos considerablemente.

## Proteínas

El endospermo, que constituye alrededor del 85% del grano entero, contiene aproximadamente el 70% de el total de las proteínas. Las propiedades principales de la masa, resultan fundamentalmente de las características de las proteínas del gluten, que contienen aproximadamente el 85% de las proteínas del endospermo. También estas propiedades pueden ser modificadas por la interacción de otros componentes del sistema, como el agua, almidón, lípidos, pentosanas y proteínas que no forman el gluten.

### Proteínas del Gluten.

La preparación del gluten varía considerablemente, pero el método tradicional de prepararlo sería como sigue: Lavar la masa de harina en un exceso de agua o una solución diluida con cloruro de sodio, posteriormente remover la solución en donde se encontrará la mayoría del almidón y muchas sustancias solubles, al separar la solución queda una masa chiclosa que es lo se llama gluten, que contiene aproximadamente el 80% del total de las proteínas de la harina. Los sólidos secos del gluten contienen 75 - 80 % de proteínas, dependiendo del método de lavado; también se encuentra de 15 - 16 % de lípidos, los cuales se encuentran unidos a las proteínas, unión que se forma al amasar.

El gluten obtenido en esta forma está compuesto por dos fracciones. La soluble en alcohol que son las proteínas llamadas gliadinas (prolaminas); y la fracción insoluble en alcohol que son proteínas llamadas gluteninas. La gliadina y glutenina difieren en las propiedades físicas, tales como la viscosidad, ya que es mayor en glutenina que en gliadina. La gliadina es

cohesiva y elástica. Las dos proteínas difieren en aminoácidos. Las gliadinas tienen gran cantidad de prolina, ácido glutámico y glutamina. Las gluteninas tienen más glicina, lisina y triptófano. Estas proteínas podrían decirse que son de baja calidad nutritiva, comparadas con las proteínas de la leche, carne y huevos.

#### Propiedades de las gluteninas y gliadinas en el amasado de harina

La estructura de la masa formada mezclando harina y agua, es una matriz continua de proteínas y gránulos de almidón. Dicha matriz no existe en el endospermo debido a que se forma durante el proceso de amasado. Pero las propiedades de la masa son el resultado de una red continua de varios componentes como son: proteínas, almidón, lípidos, etc. Pero el gluten es de fundamental importancia, ya que, contribuye con la cohesividad y elasticidad de la masa.

Los puentes de hidrógeno formados por las proteínas del gluten son en gran parte los responsables de la existencia de la cohesividad de dichas proteínas; esto sugiere que un exceso de agua puede romper estos puentes de hidrógeno y de esta manera también romper la cohesividad del gluten.

El pH también juega un papel muy importante en la calidad de la masa ya que, como es sabido cambia la estabilidad de las proteínas. Así podemos ver que si el pH baja, la masa se hace menos dilatada, quizá porque los enlaces salinos son destruidos debido a que los iones hidrógeno se asocian a los carboxilos o porque las fuerzas electrostáticas repulsivas entre moléculas proteicas decrece. Otra posibilidad es que haya cambios conformacionales en las proteínas.

### Proteínas solubles

El término proteínas solubles se refiere a las proteínas que son solubles en agua o en solución de sal, es decir, los que se solubilizan durante la separación del gluten. Estas proteínas son fundamentalmente albúminas globulinas y en menor cantidad glicoproteínas y nucleoproteínas. Estas proteínas pueden causar pequeñas modificaciones en la absorción del agua. En varias investigaciones realizadas [32], se encontró que las proteínas solubles contienen gran cantidad de grupos -SH y enlaces -S-S que no afectan a la masa.

### Carbohidratos

Los carbohidratos son los componentes mas abundantes del trigo. Se ha observado que el almidón esta concentrado en el endospermo, los azucares en el germen y la celulosa y hemicelulosa en el salvado como se muestra en la siguiente tabla:

TABLA II.4 COMPOSICION APROXIMADA DE CARBOHIDRATOS EN EL TRIGO

CARBOHIDRATO	ENDOSPERMO %	GERMEN %	SALVADO %
Hemicelulosa	2.4	15.3	43.1
Celulosa	0.3	16.8	35.2
Almidón	95.8	31.5	14.1
Azucar	1.5	36.4	7.6
% Total carbohidratos	86.0	50.5	70.0

### Clases de azucares en el trigo

El término "azúcar" en este caso, se refiere a monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos. El trigo contiene trisacáridos como la rafinosa; disacáridos como la sacarosa y algunas veces maltosa; y en menos proporción, monosacáridos como la glucosa y fructosa, cuyos porcentajes se muestran a continuación:

TABLA II.5 CONTENIDO DE AZUCARES EN EL GRANO DE TRIGO (Base seca)

COMPONENTE	%
Glucofructanosa	1.03
Rafinosa	0.33
Glucodifruktanosa	0.41
Maltosa	trazas
Sacarosa	0.84
Glucosa	0.09
Fructosa	0.06
Galactosa	0.02

Azúcares en el germen

El germen contiene de 20 - 30 % de azúcares, de los cuales la sacarosa es el que se encuentra en mayor cantidad, siguiéndole la rafinosa; también se ha encontrado que del total de los azúcares del trigo, el germen contiene el 24.3% de los cuales el 6.9% es rafinosa y 17.4% de sacarosa:

TABLA II.6 CONTENIDO DE AZUCARES EN EL GERMEN DE TRIGO

AZUCAR	%
Sacarosa	55.9
Rafinosa	38.1
Fructosa	2.8
Glucosa	2.1
Meliobiosa	1.1

Almidón

El almidón es cuantitativamente el componente mayor de el endospermo del trigo y por consiguiente de la harina. El almidón como es sabido, esta compuesto de amilosa y amilopectina, es una

proporción de 21-27% de amilosa y 73-79% de amilopectina para el almidón del trigo.

Un fenómeno que ocurre en los almidones, es la "gelatinización", que es un término aplicado frecuentemente al fenómeno que ocurre cuando el almidón se calienta en un medio acuoso. El hinchamiento del gránulo de almidón de trigo ocurre a 59.5-64 °C, siendo esta una característica que diferencia a los almidones, pues hay diferentes temperaturas (dependiendo del origen) de hinchamiento. Al aumentar la temperatura, el gránulo continúa tomando agua y se expande, permaneciendo intacto a 100°C, excepto algunas de las moléculas lineales que pasan al agua que las rodea. Probablemente la característica más notable de estos cambios, sea el incremento de viscosidad, la cual resulta por la falta de espacio que tienen los gránulos al hincharse. Pero el incremento sucede siempre y cuando el gránulo de almidón no se rompa, porque cuando esto sucede la viscosidad empieza a bajar, la máxima viscosidad representa el punto justo antes de la fragmentación del gránulo.

Cuando una pasta de almidón de trigo se calienta, sin agitación, se forman enlaces intermoleculares entre los gránulos de almidón y sus fragmentos. Estos enlaces son descritos como unas pequeñas regiones cristalinas entre la amilosa y amilopectina. Cuando un gel de almidón es firme, las regiones cristalinas crecen y hacen que el gel encoja, perdiendo algo de agua. Este retorno de la estructura cristalina (aunque no a los originales gránulos) se denomina "retrogradación". La retrogradación causa un aumento en rigidez y/o capacidad y una

disminución en la habilidad de formar complejos con el yodo o de ser atacado por las amilasas. Estos cambios son mejorados con frío.

### Celulosa

La celulosa es un polisacárido compuesto por glucosas unidas por enlaces Beta-1-4. La molécula de celulosa es lineal, es decir, no tiene ramificaciones. La celulosa representa el 40-43 % de la paja del trigo, 35 % de el salvado y el 0.3 % de el endospermo. La celulosa se considera un componente indeseable en los productos de trigo.

### Hemicelulosa

El término hemicelulosa se refiere a aquellos polisacáridos no amiláceos, que son insolubles en agua. El endospermo del trigo contiene aproximadamente 2.4 % de hemicelulosa; cuando el gluten es extraído se separa junto con el almidón una sustancia mucilaginoso que contiene, además del almidón, hemicelulosa y proteínas principalmente y es llamada amilodestrina.

### Modificación y participación de los lípidos en los procesos del trigo

En el amasado durante el mezclado, los lípidos interactúan con otros componentes de la harina y especialmente con las proteínas, modificando la estructura del gluten.

Estos se unen con el gluten y principalmente con la glutenina (81.5% del total de los lípidos). La glutenina contiene 20% de lípidos, mientras que la gliadina solamente 1.5%. De los lípidos que se unen con la gliadina, el 75% son polares. La glutenina contiene 24% de polares y 58% son triglicéridos.

## Vitaminas

Las vitaminas son de los componentes que se pierden durante los procesos del trigo, debido a que gran parte de estos se encuentran en el salvado.

El contenido de vitaminas en las diferentes partes del trigo se da a continuación (microgramo/gr., base seca):

TABLA II.7 CONTENIDO DE VITAMINAS EN EL TRIGO (microg/g base sec)

VITAMINA	TRIGO ENTERO	HARINA	SALVADO
Tiamina (Vit B1)	9.9	0.7	13.2
Riboflavina (Vit B2)	3.1	1.5	5.5
Niacina (Vit PP)	48.3	9.5	171.4
Biotina	0.056	0.013	0.162
Ac. Fólico	0.56	0.09	1.59
Ac. Pantoténico	9.1	2.5	31.7
Piridoxina (Vit B6)	4.7	0.48	13.0

## MOLIENDA DEL TRIGO DURO

Las harinas se clasifican por la cantidad de celulosa que contienen, en íntima relación con las proporciones de cenizas, grasas, gluten, color y tersura, y estos caracteres varían con el grado de extracción o proporción de harina que se obtiene, en relación al peso del grano total y a la calidad del trigo que se usa.

Los trigos se clasifican en trigos duros, semiduros y blandos.

Los trigos duros son semitransparentes, de dureza uniforme en todas las capas, tienen envolturas delgadas, poca agua y las harinas provenientes de este trigo son consideradas de alta

extracción, que varía entre 80 y 85 %, en relación al peso del trigo, son de color oscuro por los pigmentos de las envolturas, son poco tersas por la alta proporción de celulosa y conservan las proteínas, las grasas, los almidones, la tiamina y los minerales que forman parte de las estructuras histológicas que pueden digerirse.

Para obtener sémola debe ser molienda de trigo duro ambar.

Una buena molienda produce 62 - 64% sémola y sobre 8 - 9% de harina.[6]

Los trigos semiduros son semitransparentes en las capas externas y blancas en las capas internas y son consideradas harinas de extracción media, que varían entre 75 y 80 %, son las de uso común y se destinan para elaborar el pan ordinario y productos de pastelería, tienen menos proteínas, grasas, celulosa, vitaminas y minerales que las harinas de alta extracción.

Los trigos blandos tienen envolturas de mayor espesor que los trigos duros y semiduros, mayor proporción de gránulos de almidón y menor cantidad de gluten y son consideradas harinas de baja extracción, el rendimiento varía de 70 a 75 %, en relación al peso del trigo, el salvado y los otros subproductos representan del 30 a un 25 % del peso del grano. La extracción muy baja no significa necesariamente que las harinas sean muy blancas y tersas, porque pueden ser morenas y algo ásperas si se emplean trigos blandos, por eso la industria mezcla diversas variedades para que las harinas tengan los caracteres comerciales y dietéticos más convenientes.

Sémola es aquel alimento preparado por una molienda y

tamizado del trigo durum con tal finura que pasa un tamiz # 100, libre de salvado y germen, con un contenido de cenizas no mayor de 0.92 % en base seca y no mas del 15 % de humedad.

En donde quiera que el trigo se emplea como alimento humano, en su mayor parte se convierte primero en harina.

La operación de molienda generalmente elimina de los granos la fibra no digerible, la cual esta formada por todas las capas que dan origen a la cuticula y pericarpio que generalmente se conocen como salvado, y el germen, que es rico en grasas, cuando se destina para consumo humano.

El propósito de la molienda de trigo es la reducción del endospermo del grano para extraer el mayor rendimiento posible de harina; para llevar esto a efecto el grano de trigo es sometido a una serie de etapas que son: limpieza, ablandado, molienda, purificación y cribado.

#### Ablandamiento del trigo

Despues de la limpieza el trigo se ablanda, antes de la molienda, por adición de humedad.

La humidificación se realiza en tres etapas:

73 horas antes de la molienda, el grano se humedece al 12.5 %; 24 horas antes, se humedece al 14.5 %; y 45 minutos antes, se humedece al 17.5 %.

#### Molienda

La molienda es una etapa en la cual se llevan a cabo una serie de trituraciones y reducciones graduales, las cuales son efectuadas en pares de rodillos que giran en sentido contrario y a distintas velocidades, seguidos de una operación de cernido.

Los rodillos usados son distintos en diámetro, longitud, estriado y velocidad a la que giran.

Los rodillos se dividen en dos grupos: trituradores y reductores. Los rodillos trituradores son los encargados de separar el salvado de la harina. Los rodillos reductores se encargan de moler las partículas intermedias después de pasar por el primer reductor.

Una primera etapa se lleva a cabo a través de quebradores donde se criba y purifica.

El tamizado se lleva a cabo en cernedores vibratorios que poseen una serie de tamices que efectúan la clasificación del producto.

La trituración y reducción es llevada a efecto hasta que el producto se encuentra despojado de todo el producto harinoso separable. Generalmente son de cinco a seis trituraciones y de diez a doce reducciones.

Esta serie de trituraciones y reducciones nos rinden alrededor de treinta corrientes de harina. Cada una de estas corrientes, derivadas de diferentes partes del endospermo, poseen propiedades distintas por diferir en su contenido de proteínas y minerales principalmente. Por tales motivos, existen muchas fracciones que reciben nombres distintos según sea su composición.

Normalmente un rendimiento de sémola de 55% es bueno.

La molienda de un trigo duro, difiere de una molienda de harina, en que los rodillos en harina son lisos y en sémola son corrugados para producir productos granulares.

### Purificación de sémola

La purificación se realiza a través de dos etapas de purificación, cada purificador tiene cuatro compartimientos, las cribas son movidas por motores separados.

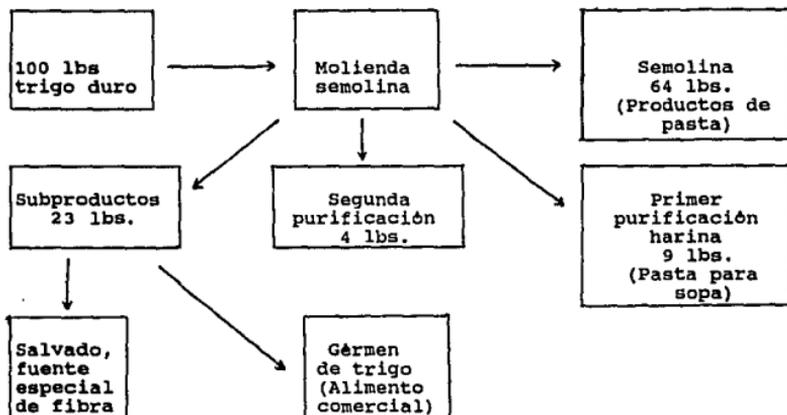


Fig.II.3 Molienda de trigo duro a sémola

La sémola se hace por la molienda y cribado del trigo duro, separandola del salvado y gérmen, para dar un producto granular con no mas del 3% de harina; la función primaria del purificador es separar el salvado e impurezas del endospermo. La función secundaria es para obtener una calidad de partícula dentro de un rango de varios tamaños para una eficiente molienda.

### Proteína sémola

La cantidad de proteína es un factor importante de calidad. La sémola con bajo contenido de proteína puede causar problemas

durante el proceso, ya que al tener baja proteína existen altos niveles de almidón, por lo que se cambian las características de absorción de la mezcla por la extrusión. Así la producción de un producto uniforme será más difícil y provoca problemas de secado y pérdidas de producción.

La calidad de proteína en la sémola es un factor que viene dado desde el desarrollo en el programa de la variedad de trigo duro y puede ser indicado por la fortaleza del gluten y determinado por el farinograma o mixograma.

La sémola debe tener un alto porcentaje de gluten húmedo, la calidad de la proteína en los procesos de producción de pasta están asociados con el cocimiento y elasticidad.

El término calidad para trigo duro y sémola es directamente ligado con el porcentaje de proteína.

La producción de harina blanca del trigo involucra un intento de disección del endosperma de cada grano y su subsecuente molienda, a cierto grado adecuado de fineza. Esto está lejos de ser una simple tarea, porque, a diferencia de los materiales inorgánicos o sintéticos, el cereal de trigo no solamente tiene una estructura compleja sino también una forma delicada. No es posible producir harina blanca cerniendo el producto de cualquier proceso de molienda simple de trigo, porque la trituración inevitable del salvado produce una alta contaminación de la harina.

El almidón se presenta en forma de gránulos discretos que están divididos en dos categorías principales. Los gránulos más grandes de tipo A son lenticulares con un diámetro de 15 - 35 micrómetros, mientras que los pequeños de tipo B son esféricos con

un diámetro de 1 - 10 micrómetros aproximadamente. El contenido de almidón se incrementa y el contenido de proteínas disminuye, moviéndose de la región exterior a la interior del endosperma. Algunos gránulos de almidón llegan a estar mecánicamente dañados en el curso del molido de la harina y la cantidad en la cual ocurre este daño tiene que ser controlada, por su importancia en la relación con la cantidad de agua necesaria para formar una masa y para la degradación del almidón por las amilasas para formar azúcares, los cuales están involucrados en las etapas posteriores.[18]

El endosperma representa el almacén de alimento de la semilla de trigo y su composición es adecuada para este papel. En las primeras etapas de la germinación, la acción combinada del calor y la humedad origina que el germen suelte partículas las cuales por turno estimulan la capa de aleurona produciendo un rango de enzimas hidrolíticas. Estas entonces derrumban las paredes de la célula endospermica y atacan adentro al almidón y a las proteínas para producir azúcares y aminoácidos para alimentar a la raíz y al sistema de crecimiento de la planta embrionica. Una vez que el brote en desarrollo aparece sobre el nivel de la tierra, el retoño posterior es abastecido por la fotosíntesis y el suministro de nutrientes por el sistema de la raíz.

Un alto nivel de actividad amilasa en la harina es particularmente indeseable pues degrada el almidón a dextrinas gomosas durante el proceso de horneado. Esto puede surgir cuando el grano se cosecha bajo condiciones de humedad que permiten que algún grado de germinación tenga lugar, pero además hay algunas variedades de trigo que normalmente contienen un nivel

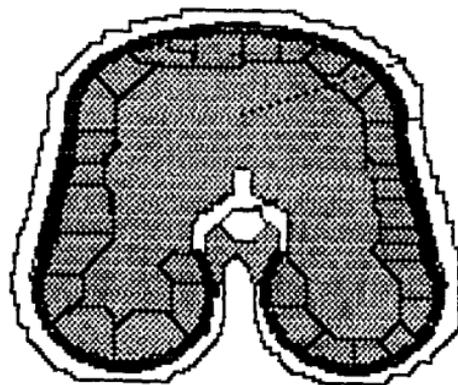
relativamente alto de esta enzima.

#### FRAGMENTACION DEL ENDOSPERMA

Los granos de trigo son clasificados como "duros" o "suaves" de acuerdo a la manera en la cual el endosperma se rompe cuando es aplastado. En los trigos duros la acción de hendirse tiende a ocurrir entre las células, así que aparecen muchas células intactas en el producto aplastado, mientras que el endosperma del trigo suave tiende a romperse a través de las células produciendo grandes números de células rotas y finos desechos. Para los propósitos de molido los trigos duros son preferidos pues la tendencia de las células del endosperma a permanecer intactas facilita un cernido eficiente y la remoción del salvado, y de este modo se da un buen porcentaje de extracción de harina. Con los trigos suaves, los desechos de la célula de endosperma se convierten en impactados sobre el salvado del cual no pueden ser completamente removibles. Antes del molido, el contenido de humedad del trigo se ajusta y se permite equilibrar mediante un proceso conocido como "condicionamiento". Los contenidos óptimos de humedad van desde aproximadamente 17% para las variedades más duras a aproximadamente 15% para las más suaves.

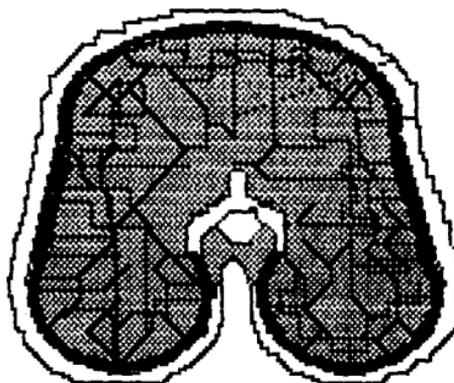
La diferencia entre el comportamiento del endosperma duro del suave está muy bien ilustrada mediante el examen de las secciones delgadas que han sido ligeramente humedecidas. Las figuras II.4 y II.5 muestran como el endosperma duro tiende a romperse a lo largo de las paredes celulares revelando la estructura celular del endosperma muy claramente, mientras que el endosperma suave da un patrón mucho menos definido de rupturas.

que frecuentemente pasan através de las células. Estas secciones transversas también ilustran la cantidad de "pliegues" a los que nos referimos en la introducción.



Endospermo  
Almidonoso

Fig.II.4 Fragmentación del endospermo en trigo duro.



Endospermo  
Almidonoso

Fig.II.5 Fragmentación del endospermo en trigo blando.

### MOLIDO CON RODILLOS

La producción de harina blanca mediante el molido con rodillos fué desarrollada a mediados del siglo XIX. Inmediatamente antes de esto, el trigo era pulverizado entre piedras para producir un grano comestible no muy molido cuyos fragmentos mas grandes de salvado eran removidos mediante el cernido.

El molido con rodillos es una sucesión gradual y progresiva de etapas de pulverizado y cernido divididas en dos secciones principales denominadas sistemas de "ruptura" y "reducción". Estos están enfocados respectivamente a la ruptura abierta del grano con la remoción del endosperma del salvado y el triturado de los endospermas sueltos.

#### EL SISTEMA DE RUPTURA

El objetivo del sistema de ruptura no es principalmente el producir harina, sino efectura una separación del salvado y el endosperma. Esto requiere una combinación de acciones de fricción y raspadura y se lleva a cabo mediante el uso de pares de rodillos aserrados , una sucesion de cuatro o cinco pasajes ha sido comunmente empleada. El producto de cada uno se cierne y las porciones mas gruesas pasan al siguiente.

Deberia notarse particularmente que los aserramientos de los "canales" se arreglan en un ángulo ligero hacia la línea axial de los rodillos y que los rodillos no corran a la misma velocidad. Una relación de 2.5:1 es lo usual. Los canales del rodillo mas lento tienden entonces a mantener el material mientras que el rodillo mas rápido imparte una acción de raspadura.

El trigo se alimenta en una cortina delgada en la abertura entre los primeros rodillos de ruptura, los cuales están relativamente acanalados toscamente (5/cm) y ampliamente espaciados (0.5mm). Los granos individuales tienden a ser abiertos por la raspadura en el pliegue de los rodillos, de este modo liberan algo de endosperma (la mayoría en forma de pedazos gruesos y cortos con muy poca de la fineza de la harina). En el cernido del producto, la harina se remueve como la fracción mas fina. Los pedazos gruesos y cortos intermedios, que son la "sémola" y los "salvados", pasan al sistema de reducción y las fracciones mas gruesas se alimentan a los segundos rodillos de ruptura. Este patrón se repite cada par de rodillos de ruptura, siendo cada vez mas finos los canales y mas estrechos los espacios que en el par precedente.

Al final del sistema de ruptura, las fracciones mas gruesas del cernido de la ruptura inicial son salvado (un producto terminado). Cada pasaje de ruptura produce una cierta cantidad de harina que contribuye al producto total final, mientras que el material semola/salvado, representa el volúmen del endosperma con algo de contaminación rasposa (parecida al salvado).

Las particulas de salvado libre se remueven pasando corrientes de aire hacia arriba al cernidor que permite "purificar" el material que cae y que la sémola/salvado sea pasada a una etapa adecuada del sistema de reducción de acuerdo al tamaño en particular.

#### SISTEMA DE REDUCCION

Los rodillos de molido empleados en el sistema de reducción defieren de aquellos del sistema de ruptura en que tienen una

superficie lisa o mate, y la relación de velocidad diferencial se reduce a 1.25:1. La abertura del rodillo es también mas reducida y esto, combinado con la ausencia de canales, tiene como resultado que se ejerza mucha mas presión. Ciertamente la reducción de los pedazos gruesos y cortos del endosperma a fina harina tiene que ser un proceso gradual y comúnmente se emplean de 8 a 10 pasajes.

Mediante un cuidadoso control de la presión en cada etapa para adaptarse al tamaño y composición del material que está siendo tratado y, mediante una elección adecuada de los cernidores, es posible efectuar un grado útil de remoción del salvado residual y las partículas de germen del endosperma aplastado.

Las partículas de germen se vuelven rápidamente aplanadas en el aplastamiento y las porciones de salvado unidas a los pedazos gruesos y cortos de endosperma tienden a retener su integridad en forma de hojuelas, mientras que el endosperma desmenuzable se desintegra.

Un cernido subsecuente puede entonces remover las hojuelas de germen y el salvado como una fracción relativamente gruesa y este tipo de material se colecta como "despojo fino".

Debe de tenerse cuidado de no ejercer una presión excesiva durante el proceso en los rodillos, pues esto tiene como resultado una formación indebida de hojuelas de endosperma y un daño excesivo en los gránulos de almidón.

El sistema de reducción produce la mayor parte de la harina total del proceso de molido.

## II.- PRUEBAS DE CALIDAD DE MATERIA PRIMA

### Materias primas utilizadas

Los cereales cultivados en varias partes del mundo, bajo condiciones climáticas o agrícolas diferentes, presentan naturalmente variaciones de calidad. Esto influye considerablemente en la calidad de los productos elaborados. Aún cuando en los países industrializados se elaboran las pastas preferentemente de sémola de trigo duro (sobre todo las pastas largas), se nota una tendencia, por razones económicas, de operar con materias primas más baratas, evitando también la importación y la consiguiente salida de divisas, y de elaborar un producto bueno y atractivo para el consumidor.

Por tal motivo, los fabricantes de equipo y los productores de pastas alimenticias, deben enfrentarse a una amplia gama de materias primas y tienen que adaptar la tecnología de elaboración a las diversas situaciones cambiantes.

Los principales valores de calidad para las materias primas son [35]:

- Variaciones y mezclas
- Contenido de proteínas
- Contenido de gluten
- Contenido de cenizas
- Contenido de humedad
- Grado de extracción
- Granulometría
- Contenido de pigmentos
- Contenido de aminoácidos
- Contenido de maltosa. etc.

### Condiciones de elaboración

El grado de absorción de agua influye en forma importante en la elaboración de la masa. Diferentes estudios demuestran, sobre la preparación de la masa en relación a las materias primas, lo siguiente:

Para la formación de una masa viscosa plastificada en formatos lisos y fácilmente cortables, la granulometría tiene mucho que ver. Mientras sea mas fina, la superficie de las pastas será mas lisa; mientras sea mas gruesa, será más difícil obtener una superficie lisa.

Tipo y tiempo de mezcla

Tipo del dispositivo de vacío

Extrusión { Temperatura  
Presión  
Tiempo  
Velocidad de salida

Secado { Enfriamiento  
Temperatura  
Humedad  
Tiempo

Diferentes investigaciones publicadas tratan la granulometría de productos de trigo duros y todos están de acuerdo, referente al color, que de una granulometría gruesa se obtiene un mejor aspecto en las sémolas pero no en las pastas.

La granulometría gruesa contiene también una gran cantidad de moteados, mientras una granulometría muy fina, influye evidentemente en el color de las sémolas pero no en el color de las pastas ya secadas.

### Pruebas físicas de la harina

A continuación se describirán los diferentes diagramas de harina que son el resultado de la aplicación de pruebas físicas. Las pruebas físicas más comunes actualmente son a través de los siguientes aparatos: Amilógrafo, Farinógrafo, Mixógrafo y Alveógrafo.

Es posible observar las características plásticas y los comportamientos especiales de la masa en relación a los esfuerzos mecánicos.

Masas con un alto contenido de gluten y buenas características del mismo, son más resistentes en comparación con masas de bajo contenido de gluten o de gluten de baja calidad. De estos diagramas se pueden obtener la estabilidad, resistencia, el grado de ablandamiento (pérdida de consistencia), y así como la capacidad de absorción de agua.

Así por ejemplo, masas con gluten de características débiles no tienen resistencia, tienen un tiempo corto de formación de masa y una gran pérdida de consistencia.

De gran importancia es la granulometría de la materia prima. La diferencia se nota inmediatamente en la capacidad de absorción del agua y en el tiempo de formación de la masa.

La diferencia en la capacidad de absorción del agua con sémolas de trigos duros y blandos con una granulometría entre 300 y 600 micras es relativamente poca.

	Absorción de agua
Con semolina especial de trigo duro	49.5% - 67.3%
Con semolina de trigo blando	50.7% - 61.5%

Las sémolas reducidas comparadas con sémolas mas gruesas, ofrecen una mayor capacidad de absorción de agua y un tiempo mas corto de formación de masa. La diferencia entre las sémolas reducidas y las sémolas originales es muy marcada.

Las harinas con una granulometria abajo de 200 micras son también muy diferentes. Con las harinas bajas de trigo blando no se puede obtener una curva en el harinograma.

#### Amilografo

El amilógrafo mide de forma continua la resistencia que a la agitación presenta una suspensión de harina en agua, cuando su temperatura va aumentando constantemente 1.5 'C y se mantiene un aumento minuto a minuto hasta llegar a 95 'C.

Determina el poder de gelatinización de la harina relacionado con la generación de sistemas enzimáticos. Mide el efecto de la alfa-amilasa, que es normal, pero que debe tener ciertos límites, sobre el almidón; dicho en otras palabras, si debe haber alimento para las levaduras, pero hasta cierto límite.

Este aparato se usa en los ensayos de harinas cuyo destino será la fabricación de pastas alimenticias principalmente, para lo cual la viscosidad del producto despues de la gelatinización es una característica importante.

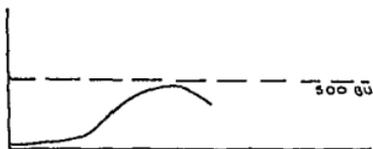
Si hay un aumento en la actividad enzimática se debe a la aparición de efectos de beta-amilasa que puede tener lugar en trigos germinados o por contaminación por hongos.

Para la determinación del poder de gelatinización se utilizan viscosímetros, los cuales miden el cambio de viscosidad por el efecto de la gelatinización; el amilógrafo es mas

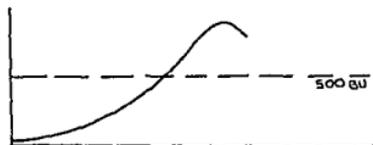
especifico y mide el incremento de viscosidad por el efecto de gelatinización en función de la temperatura. La viscosidad máxima se alcanza cuando todo el almidón se ha gelatinizado y se expresa en Unidades Brabender.

Las enzimas alfa y beta-amilasa producen dextrinas, mientras más cantidad de enzimas existan, disminuirá la cantidad de almidón que se pueda gelatinizar.

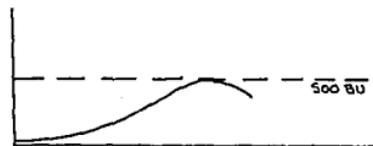
Para llevar a cabo la medición, primero se lleva agua destilada a un pH 5.3-5.5 ya que este es el pH óptimo de las amilasas (Citratos-Fosfatos), se agrega a la harina en el mezclador. La mezcla se pone en el amilógrafo que tendrá un aumento automático de temperatura de 1.5 °C por cada 2 minutos.



Poca fuerza durante la panificación. Harinas propias para galletas.



Harinas muy fuertes propias para pastas alimenticias



Harinas propias para panificación.

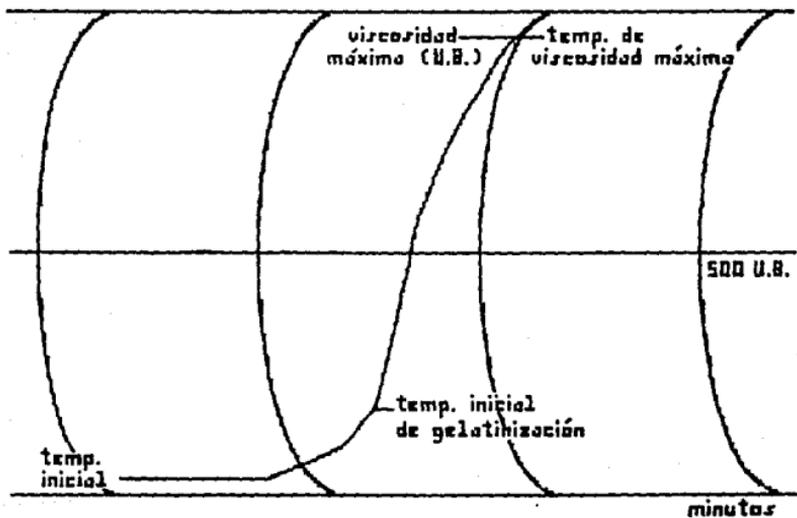


Fig.II.6 Amilograma

En la fig.II.6 se muestra la trayectoria de la curva de un amilograma. La viscosidad máxima, en este amilograma de masa propia para pasta alimenticia, es de 970 U.B.; la temperatura inicial de gelatinización es de 30 'C y la temperatura de viscosidad máxima es de 96 'C.

La granulometría cambia sensiblemente el aspecto de las curvas. Por esa razón, las curvas obtenidas de mezclas de sémola gruesa, son mas elevadas que las mismas obtenidas de mezclas con sémolas finas reducidas. Así tambien, con sémolas finas reducidas, es mas rápida la disminución de la viscosidad por la degradación enzimática, despues del punto mas elevado de la curva. Esto quiere decir: Granulometría fina = degradación acelerada. Las harinas bajas de trigo blando producen una curva muy plana, causada por un contenido bajo de almidón y por otro lado un contenido alto de cenizas y grasas.

En conclusión, se puede decir que independientemente de la granulación, se debe utilizar una granulometría lo mas pareja posible, y no utilizar sémolas gruesas y harinas al mismo tiempo en la elaboración de la masa. En este caso las granulaciones mas finas absorben mucho mas rápido el agua disponible que las granulaciones gruesas y por tal motivo se alarga el tiempo de mezclado o se impide una mezcla homogénea, ocasionando esto los famosos puntos blancos en el producto final. Para eliminar este fenómeno se deberan formar las pastas a mas altas presiones, durante la extrusión y aumentando la temperatura del amasado, lo cual, arriba de ciertos limites produce una influencia negativa en las características de cocimiento en el producto final, esto se explicara ampliamente en el capítulo IV.

### Cenizas de sémola

Las cenizas son el residuo que queda después del calentamiento de una pequeña muestra de sémola bajo condiciones en que todos los materiales orgánicos son destruidos y ninguno de los constituyentes no combustibles son volatilizados y expulsados.

La determinación del contenido de cenizas en la sémola es una de las más importantes mediciones del grado de calidad de la sémola.

El alto contenido de cenizas disminuye la calidad, dado que indica mayor contenido de salvado y la capa de la aureola ha sido incluida en el proceso de molienda. Estos materiales reducen apariencia, calidad y grado de cocimiento de la pasta.

### Contenido de partículas en la sémola

El trigo duro debe ser relativamente libre de enfermedades como puntos negros, gérmenes o intemperismo. Estos factores pueden afectar las propiedades del trigo duro durante el proceso de molienda. Estos defectos son usualmente medidos en la sémola por la cantidad de partículas por área de superficie de la sémola.

### Farinógrafo

Determina el complejo "trigo y calidades de las harinas", por la apreciación del complejo "masa".

El farinógrafo (Fig. II.7) consta de: Un pequeño recipiente de mezclado (1) que está conectado a un dinamómetro libremente balanceado (2) el cual se ajusta con una chumacera (3), así que la resistencia del amasado en el recipiente de mezclado es completamente transferido al dinamómetro y este es transferido

por un sistema de levas (4) el cual es amortiguado por un recipiente de aceite (5) y es transferido a un sistema en escala (6) que conectado a un graficador (7) presenta una gráfica donde se muestra la resistencia del amasado por la acción mecánica recibida en el recipiente de mezclado (farinograma). [6]

El recipiente de mezclado y el amortiguador de aceite se mantienen a una temperatura constante por circulación de agua controlada por un termostato (8), el cual es calentado eléctricamente (9) por medio de un termoregulador (10), el agua se adiciona por medio de una bureta graduada (11).

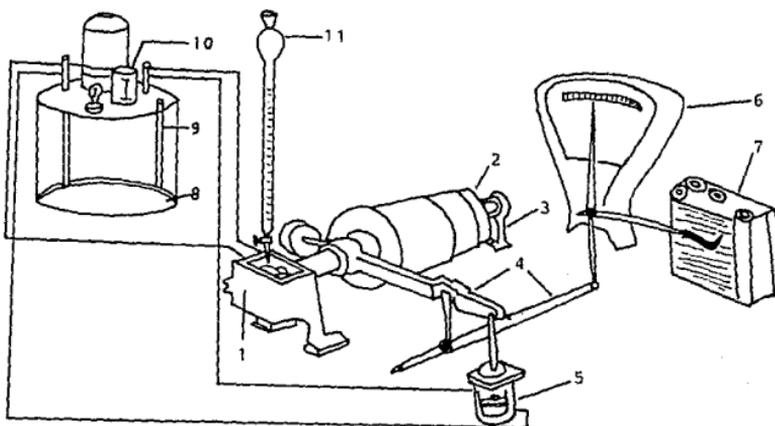


Fig.II.7 Farinógrafo

El farinógrafo registra la resistencia que la masa opone a un esfuerzo mecánico, donde la fuerza de amasado y la acción en la tensión durante 10 - 20 minutos, se puede medir y así determinar la resistencia de el amasado.[5]

La determinación se lleva a cabo en un mezclador, a una temperatura constante de 30 °C., dado que la variación de la temperatura influirá en las propiedades reológicas. Con este aparato se puede medir la plasticidad y movilidad de la masa, cuando se aplica una acción mecánica prolongada y relativamente suave. La resistencia ofrecida por la masa, se transmite por medio de un dinamómetro, el cual se conecta a la plumilla que grafica. La gráfica del farinógrafo se denomina farinograma, la cual tiene una escala expresada en Unidades Brabender (o Unidades Farinográficas), con las cuales se mide la consistencia del amasado, en donde la absorción de agua debe ser (dependiendo de la naturaleza de la harina) la suficiente para alcanzar las 500 U.B. y considerar la gráfica como representativa.

Los parámetros obtenidos por el farinógrafo dentro de la curva (farinograma) son los siguientes:

1.- Absorción de agua: la absorción es definida como la cantidad de agua necesaria para que el centro de la curva del farinograma alcance la línea de 500 U.B. para la masa de agua-harina.

2.- Tiempo de llegada (1.5 min. aprox.): es el tiempo en minutos necesario para alcanzar la línea de 500 U.B. después de la adición del agua.

Generalmente se encuentra que entre las diferentes

variedades de trigo, al aumentar la proteína, el tiempo de llegada también aumenta.

3.- Tiempo de desarrollo de masa (5.5 min. aprox.): es el tiempo en minutos que transcurre entre el inicio de la curva hasta el desarrollo máximo de la curva inmediatamente antes del primer indicio de debilidad.

Este valor es también llamado tiempo de punta, ocasionalmente dos picos pueden ser observados, el segundo debe ser tomado como punto de desarrollo de masa.

4.- Estabilidad (10 min. aprox.): es definida como la diferencia de tiempo relativo al punto donde el máximo de la curva intercepta la línea de los 500 U.B. y el tiempo relativo al punto donde el máximo de la curva deja la línea de los 500 U.B. o sea, desde que llega a 500 hasta que sale de 500 U.B.

Este valor indica la tolerancia a la mezcla que tendrá la harina.

5.- Tiempo de salida (11.5 min. aprox.): es el tiempo desde la adición de agua hasta el tiempo donde la curva deja la línea de 500 U.B. y es igual a la suma del tiempo de llegada más estabilidad. En cuanto mayor sea el tiempo más fuerte será la harina.

6.- Valor T.D.M. (110 U.B. aprox.): es el cambio en la altura del centro de la curva en la punta al centro de la curva 20 minutos después de la primera adición de agua.

Este valor generalmente da el grado de quiebra y fuerza de la harina, cuanto mayor sea su valor indicará que es una harina débil.

7.- Índice de tolerancia (40 U.B. aprox.): es la diferencia

en unidades Brabender del máximo de la curva en la punta hasta el máximo de la curva medido 5 minutos después de que la punta sea alcanzada.

En general, harinas que tienen buena tolerancia a la mezcla tienen un valor bajo de tolerancia; cuanto mayor sea, más débil será la harina.

8.- Tiempo de quiebra (10 min. aprox.): es el tiempo desde el inicio de la mezcla hasta la caída del punto máximo.

Es determinado trazando una línea horizontal a través del centro de la curva en el punto más alto y después una línea paralela a 30 unidades inferiores.

9.- Valor del valorímetro: es un dato empírico de calidad y se basa en el tiempo de desarrollo o tolerancia y es derivado en el farinograma por medio de un equipo producido por los fabricantes del farinógrafo.

La Fig. II.8 muestra los parámetros a interpretar en el farinograma:

- Absorción de agua
- Valor del valorímetro
- Estabilidad. ( A )
- Índice de tolerancia. ( B )
- Tiempo de desarrollo de masa. ( C )
- Tiempo de llegada. ( D )
- Tiempo de salida. ( E )
- Valor T.D.M. (20 minutos de caída). ( F )
- Tiempo de quiebra ( G )
- Elasticidad ( H )

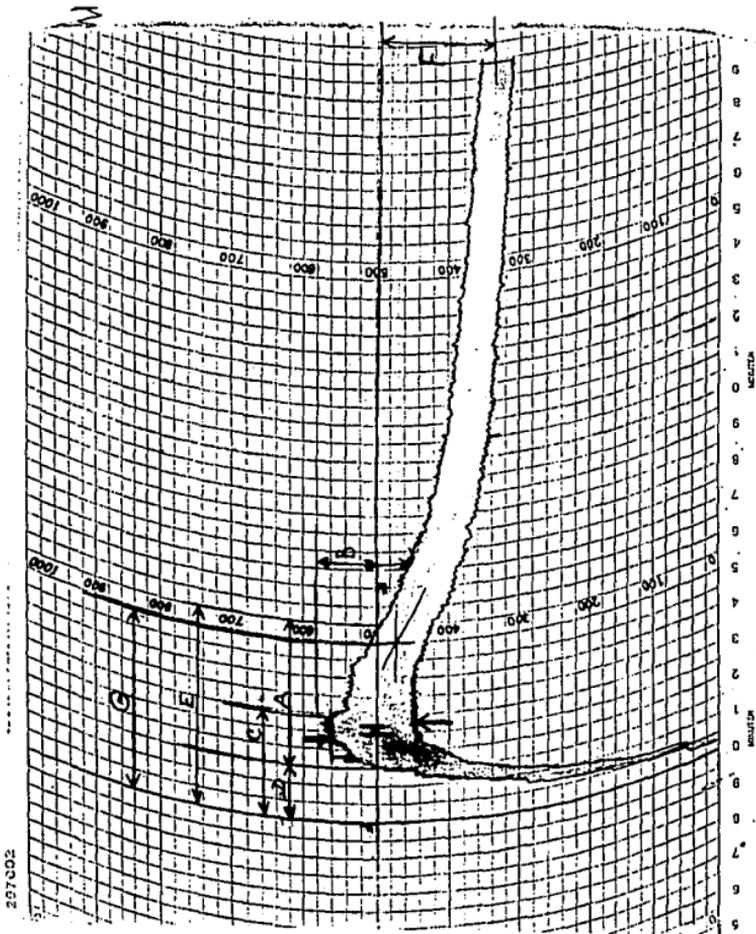


Fig.II.8 Farinograma

La elevación inicial en la gráfica se interpreta como la resistencia inicial al amasado (tiempo de desarrollo de la masa) y el punto donde se presenta la máxima resistencia o la mínima movilidad de la masa, se considera como el punto máximo de consistencia y el tiempo de desarrollo óptimo.

La siguiente fracción representa un descenso a la resistencia y disminución de la consistencia de la masa. Con respecto a esta segunda fracción, se deja que la gráfica avence 12, 14 o 20 minutos, dependiendo de las características que se requiera conocer.

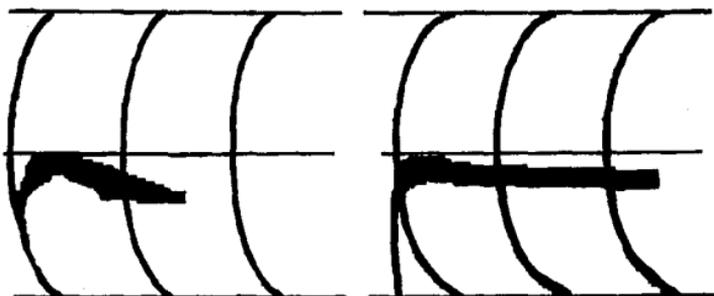
Otro dato que se debe manejar es la cantidad en mililitros de la adición de agua, que se denomina Porcentaje de Absorción. Esta determinación indica la relación del % de proteína, es decir, sobre la cantidad y calidad del gluten que se forma y la consistencia de la masa.

A mayor absorción de agua, mayor contenido de proteína y mayor cantidad y calidad de proteínas formadoras de gluten.

Con esta información se puede conocer las características de la harina y así determinar la utilidad de la misma; aunque se pueden determinar otros parámetros de la masa, como estabilidad, tiempo de desarrollo, índice de tolerancia.

Dos ejemplos clásicos (fig.II.9) representan los farinogramas de un trigo débil y un trigo duro.

Se ha demostrado que las características fuertes de un amasado (trigo duro) está relacionado directamente con la calidad de cocimiento de la pasta.



Trigo debil

Trigo duro

Fig.II.9 Comparación de Farinogramas

### Mixógrafo

El mixógrafo es un instrumento de medición muy importante para las propiedades de mezclado para sémola, ya que también puede determinar la resistencia del mezclado. Se ha demostrado que el tiempo de mezclado en el mixógrafo puede ser usado para determinar la calidad del gluten de una particular variedad de trigo duro.

La acción de mezclado del mixógrafo se realiza con unos removedores los cuales son más severos que los del farinógrafo.

Las 5 partes básicas del mixógrafo son mostradas en la Fig. II.10.

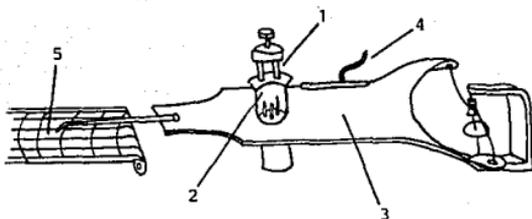


Fig. II.10 Mixógrafo: 1) Pernos de mezclado, 2) Mezclador, 3) Sistema de levas, 4) Tensionador y 5) Graficador.

La acción de mezclado del mixógrafo es realizada a través de cuatro pernos verticales móviles sobre tres pernos fijos en el fondo del mezclador, la acción de mezclado puede ser descrita como "jalar y doblar" y lo cual es una acción mucho mas severa que el farinógrafo.

Una ventaja del mixograma es la rapidez con que se pueden obtener resultados.[2]

El amasado es expuesto a un aumento de esfuerzos, necesarios para mover los pernos a través del amasado. Este aumento en la fuerza es medido como una tendencia a girar del recipiente, mismo que esta montado en el centro del sistema de levas. La resistencia a la rotación es provista por un tensionador, el cual



en el desarrollo del amasado.

Altura máxima (B): la altura de la base de la línea al centro de la curva en su punto mas alto, es un máximo de plasticidad (línea H); la medida da información sobre la fuerza de la harina y absorción. La altura de la curva en un tiempo específico es similar al índice de tolerancia del farinograma. Valores altos indican una harina mas tolerante al mezclado.

Angulo 1: Es el ángulo entre las porciones de curva ascendentes y descendentes. Este ángulo es obtenido trazando una línea a partir del centro de la curva hacia ambas direcciones. Un ángulo grande esta asociado con harina mas tolerante.

Angulo 2: Es el llamado ángulo de debilitamiento, es formado trazando una línea al centro de la curva descendente y una línea horizontal a la base pasando por el centro de la curva en la máxima altura de la curva. El valor de ese ángulo es inversamente proporcional a la tolerancia de la mezcla.

Angulo 3: Es el llamado ángulo de desarrollo, es el formado por la línea horizontal trazada al centro de la curva y una línea trazada por el centro de la curva ascendente.

Algunos investigadores demostraron los efectos del contenido de proteína y absorción en el mixógrafo; concluyendo que un factor mas potente se da con el aumento de proteína.

El mixógrafo es mas limitado que el farinógrafo debido al mal control de temperatura y el sistema de medición da resistencia del amasado durante el mezclado. Pero tanto el farinógrafo como el mixógrafo son herramientas que identifican las propiedades físicas de las harinas.

### Sedimentos

Es una prueba diseñada como un simple método para la medición de la fuerza del trigo duro, el tiempo de duración de la prueba es aproximadamente 30 minutos y el equipo es relativamente simple.

El método esta basado en el hecho de que el gluten absorbe agua y se hincha (cuando es tratado con ácido láctico diluido). La cantidad de agua absorbida (hinchazón) depende de la calidad del gluten. A mayor volúmen absorbido indica mejor la calidad del gluten (mas fuerza).

Una muestra de trigo se coloca dentro de una lana fina y se coloca dentro de un cilindro de vidrio graduado, se le agrega agua y ácido láctico de manera que el aumento en el volúmen determina el volúmen de sedimentos, el cual se lee en un cilindro graduado y depende de la cantidad y calidad en el gluten de trigo. El rango de valores de sedimentos menores de 20 es para trigos muy débiles y de 70 o mas corresponde a trigos fuertes.

### Gluten Húmedo

La prueba de gluten húmedo es una importante evaluación de la calidad del trigo y productos de harina. Es de gran importancia que la estructura del gluten este limpia de restos en el proceso del análisis. El primer paso es dejar el gluten libre de almidón.

Actualmente existe un método estandar "Theby Gluten Washer", el gluten se pesa y se obtiene el % de gluten húmedo.

### Alveógrafo

El alveógrafo mide ciertas características reológicas de las

masas obtenidas a partir de trigo suave.

En principio es la preparación de una masa con contenido de agua constante a partir de una harina de trigo suave y de agua salada. Se forman pastillas de masa en forma de discos; después de un tiempo de reposo determinado y regulado por el espesor de la pastilla, extender en sentido biaxial por inflamiento en forma de burbujas; registro gráfico de las variaciones de presión en el interior de la ampollita en función del tiempo. Apreciación de las características de la masa de acuerdo a la superficie y forma de los diagramas obtenidos.

Expresión de resultados: Los resultados son medidos o calculados a partir de las cinco curvas obtenidas. No obstante, si una de ellas se aleja notablemente de las otras cuatro, especialmente a causa de una ruptura prematura de la ampolla, no se toma en cuenta en la expresión de los resultados, Fig. II.12.

-Sobrepresión máxima P.: La media de las ordenadas máximas medida en milímetros y multiplicada por 1.1 representa el valor de la sobrepresión máxima P. que esta en relación con la resistencia a la deformación de la masa.

-Abscisa media a la ruptura L.: La abscisa a la ruptura de cada curva es medida en milímetros sobre la línea del cero, a partir del origen de las curvas hasta el punto correspondiente a la perpendicular del punto de comienzo de la caída brusca de presión debida a la ruptura de la ampolla. La media de las abscisas a la ruptura de las curvas es una medida de la extensibilidad del amasado.

-Relación P/L: A esta relación se le llama convencionalmente razón de configuración de la curva.

-Índice de inflamamiento G: Este valor es la raíz cuadrada del volumen de aire, expresado en mililitros, necesario para desarrollar la ampolla hasta su ruptura y este índice representa la relación compleja de viscosidad.

-Trabajo de deformación W: El área bajo la curva representado por "S" donde a partir de la cual se determina "W" que es el trabajo de deformación cuyo valor representa la energía necesaria para inflar la burbuja de amasado hasta la ruptura y el indicador de la fuerza de la harina.

$$W = 1.32 \times V/L \times S$$

V = Volúmen de aire en mililitros

L = Abscisa media a la ruptura en milímetros

S = Superficie de la curva en centímetros cuadrados.

Cálculo práctico: En el caso de las harinas más comunes que tienen índices G comprendidos entre 12 y 26, índices medidos por medio del ábaco, se aconseja el uso de la siguiente fórmula simplificada:

$$W = 6.54 \times S$$

En la fig. II.12 se muestran los siguientes parámetros:

P = Tenacidad = H x 1.1, (mm.)

L = Extensibilidad, (mm.)

S = Área bajo la curva, (cm<sup>2</sup>)

W = Fuerza general = 6.54 x S, ( x 10<sup>3</sup> ergs)

G = Expansión, (mm.)

P/G = Elasticidad, (mm.)

P/L = Índice de equilibrio, (mm.)

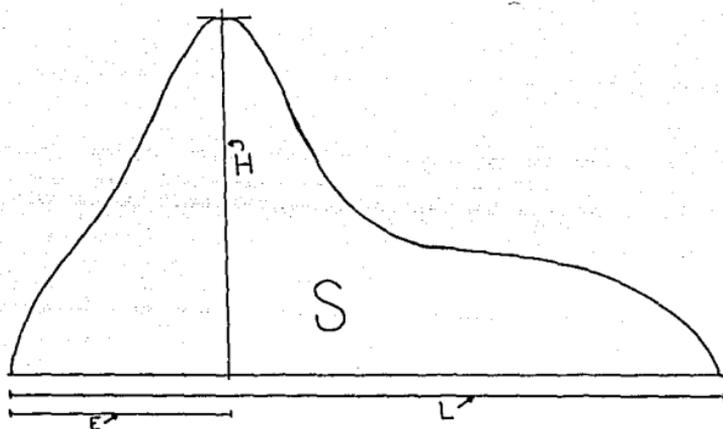


Fig. II.12 Alveograma

Masa Normal:  $W = 170 \times 10^3$  ergs.  
 $P = 52$  mm.  
 $G = 24$  mm.  
 $P/L = 0.44$  mm.

Masa blanda:  $W = 156 \times 10^3$  ergs.  
 $P = 38$  mm.  
 $G = 28.4$  mm.  
 $P/L = 0.23$  mm.

Trigo USA:  $W = 410 \times 10^3$  ergs.  
 $P = 88$  mm.  
 $G = 26.6$  mm.  
 $P/L = 0.62$  mm

### Actividad Diastásica

La prueba revela la extensión hasta la cual las enzimas con actividad diastásica de una harina, son capaces de producir azúcar, cuando el sustrato es el almidón de la harina en prueba.

Generalmente una harina panificadora tiene un contenido adecuado de beta-amilasa, pero esta enzima es capaz de actuar solamente en almidones dañados, los cuales varían en cantidad de una harina a otra.

La prueba es efectuada incubando una suspensión acuosa de la harina por determinado tiempo y a una determinada temperatura y luego, midiendo la reducción del azúcar presente.

El método mas ampliamente usado es el Plish y Sandstedt en el cual, una suspensión de la harina en una solución amortiguadora (Buffer) de pH de 4.6 - 4.8, es incubado durante una hora a 30 °C. y después de la inhibición o acción diastásica y precipitación de proteína, es analizada para la reducción de azúcares por oxidación con solución alcalina ferricianúrica.

En los E. U. donde se originó este método, los resultados se reportan como miligramos de maltosa por 10 gr. de harina, pero en el Reino Unido es una práctica común registrar el número de maltosa producida por 100 gr. de harina.

La actividad diastásica de una harina puede ser evaluada indirectamente, midiendo la cantidad de gas producido durante la fermentación de una masa preparada con ella, siempre y cuando que las condiciones bajo las cuales se hizo y mantuvo la masa durante la prueba, sean cuidadosamente controladas y valoradas.

Una cantidad numerosa de procedimientos apropiados han sido descritos, algunos de los cuales miden no solamente el gas producido, sino también la cantidad retenida dentro de la masa pero estos son demasiado tardados para que una medida de producción de gas sea un rasgo común en las pruebas de control rutinario aplicados a la harina.

Si el número de maltosa determinado con el procedimiento de Blish y Sandstedt sobre un rango de porcentajes es superior de 3.7, generalmente significa que la harina tiene una alta actividad indeseable de alfa-amilasa; la harina molida extraída de trigo sano demuestra muy poca actividad de alfa-amilasa pero una harina extraída de un trigo tierno o con señales de retoños puede tener un alto contenido de alfa-amilasa.

Esta enzima produce dextrinas de alto peso molecular y éstas imparten dureza al migajón del pan.

La calidad de una harina panificadora puede ser dudosa si su número de maltosa, esta fuera del rango 2.5 - 3.7, pero debido a que el contenido de alfa y beta-amilasas en la harina invariablemente no corren paralelamente, un alto número de maltosa, aún cuando indique un riesgo no corresponde necesariamente a un contenido excesivo de alfa-amilasa.

### Color

Es una medida del color que presentan las harinas refiriéndose a una escala numérica. Se basa en el rayo de luz que se proyecta sobre una escala traslúcida en la que se lee directamente el grado de color en un galvanómetro. Esto se lleva a cabo tomando aprox. 3 gr. de muestra y con 50 ml. de agua se forma una pasta suave y homogénea la cual se introduce en la celdilla del colorímetro.

La escala para el color es la siguiente:

- a).- Harinas de primera extracción 1.0 - 3.5
- b).- Harinas con un 75% de extracción 4.0 - 5.5
- c).- Harinas con un 80% de extracción 6.0 - 8.0

### III.-PRUEBAS DE CALIDAD EN LA PASTA

Los análisis mas comunes de la pasta son:

#### Pruebas de cocimiento

Diez gramos de spaguetti se agregan a 250 ml. de agua y se hierve rápidamente. El spaguetti se cocina en el tiempo óptimo de cocción, definido como el tiempo requerido para que el centro blanco en las hebras desaparezca (aproximadamente 12 min). El tiempo para que desaparezca el centro ha sido establecido en una cocción preliminar removiendo las hebras del agua de cocción a intervalos y aplastandolas entre dos placas de vidrio.

#### Prueba de adherencia

El principio básico del procedimiento de prueba es comprimir las hebras del spaguetti cocinado bajo un émbolo, y alzando el émbolo para medir la fuerza de adhesión del émbolo con el spaguetti.

#### Resistencia del Spaguetti.

La resistencia de cada spaguetti se determina rompiendo 20 hilos individualmente con el montaje de un calibrador El área transversal del spaguetti se calcula del diámetro medio de los 20 hilos analizados. El resultado medio de los 20 hilos medidos se expresa como N/mm<sup>2</sup>. La desviación standard de la prueba, basada en 10 determinaciones de una muestra representativa, fué 0.5 N/mm<sup>2</sup>.

#### Color del spaguetti.

Se montan hilos enteros de spaguetti sobre cartón blanco para mediciones de color y se colocan en un espectrofotómetro La

longitud de onda dominante, la pureza y la brillantez se determinan por el método de las Diez Ordenadas Seleccionadas. La longitud de onda dominante es la longitud de onda del espectro de color puro que en combinación con una lámpara de tungsteno produce el color. El color deseable para los productos de pasta, un amarillo ambar brillante, se caracteriza por una longitud de onda dominante mayor a 578 nm. La brillantez es una medida de la cantidad de luz reflejada por la muestra respecto a la cantidad de luz reflejada por una superficie blanca casi perfecta. La pureza es una indicación de la intensidad del matiz o color y, por lo tanto, se relaciona con el contenido del pigmento.

#### Solubilidad de Proteína.

Se pesan por duplicado muestras de un gramo directamente en tubos de centrifuga de 50 ml. y se extraen en 20 ml. de ácido acético 0.05M en una centrifuga de uso rudo a 60 rpm. durante 3 horas. Las muestras se centrifugan durante 15 minutos, se descartan los sobrenadantes, y las bolitas restantes se congelan y secan en los tubos de centrifuga durante la noche. Se determina la proteína presente en las bolitas mediante el procedimiento Kjeldahl y se expresa como la proporción de proteína en la muestra original.

#### Indice de Suavidad.

Cada spaguetti se cuece a su tiempo de cocción óptimo (12 min) y hasta 10 min. despues de su tiempo de cocción óptimo. Este último se define como el tiempo requerido para que el corazón blanco del centro del hilo desaparezca. Se determina sacando un hilo del agua de cocción y presionandolo entre dos placas de

vidrio. La calidad de cocción se evalúa como se describió previamente. El índice de suavidad representa la velocidad en que se parte una muestra cocida bajo una fuerza creciente. Las muestras firmes producen valores bajos para el índice de suavidad; las muestras suaves produjeron valores altos. El grado al cual una muestra puede ser comprimida bajo una fuerza constante, está representado por la compresibilidad y la elasticidad de la muestra. Las muestras suaves producen altos valores de compresibilidad. Para compensar la pérdida de elasticidad cuando el spaghetti se somete a una sobrecocción, se usa un peso de compresión más ligero para la muestra sobrecocida. El peso del spaghetti cocido y la pérdida de cocción se determinaron por duplicado en 100 g (con base a una humedad del 14%) de spaghetti en 1000 ml de agua de la llave hirviendo, según fue descrito previamente (Dexter y Matsuo, 1979).

#### Granulometría.

Para los fines de la absorción del agua y de la acción de la amilasa sobre los gránulos del almidón, cuyas paredes hayan sido más o menos dañadas durante la molienda, es importante la granulación de una harina para elaborar pastas. Se tamizan 100 gr. de muestra en tamiz de 100 y 50 U.S. estándar en un aparato vibrador a 70 r.p.m. durante 10 min.. Pasado este tiempo, se recolectan los residuos que quedan en cada tamiz por separado y se pesan, reportando el resultado en porciento retenido.

#### Defectos.

Se entiende por defectos aquel porcentaje encontrado en la

pasta de material afectado por: estrellamiento, deformación de la figura, quebrado, pinta (burbujas por falla de vacío), bicolor (defecto en el cual existe mezcla de pasta blanquisca y color alto o normal).

#### Cenizas de pasta

Es el residuo que se obtiene después de someter de 2 a 3 gr. de muestra a 850°C de temperatura durante una hora; se corre un blanco. El resultado se da en porciento como sigue:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{(\text{gr. cenizas muestra} - \text{gr. cenizas blanco}) \times 100}{\text{gr. muestra inicial}}$$

#### Proteínas

El método se basa en la mineralización del nitrógeno orgánico y su conversión a sulfato de amonio mediante la adición de hidróxido de sodio. Se emplea de 1 a 2 gr. de muestra de harina o pasta molida colocándola en un matraz kjendahl, se le agrega 0.7 gr. de óxido de mercurio, 15 gr. de sulfato de sodio o de potasio y 25 ml. de ácido sulfúrico concentrado.; se coloca en el aparato de digestión kjendahl por un periodo mínimo de 30 min. a ebullición; pasado el tiempo se deja enfriar y se agrega 300 ml. de agua destilada, un poco de granalla de zinc (para evitar ebullición violenta) y suficiente álcali (mínimo 60 ml.). Se coloca el matraz en el destilador donde ya se tendrá un matraz erlenmeyer de 500 ml. conteniendo una cantidad suficiente de ácido sulfúrico 0.5 N (a fin de que haya un exceso de cuando menos 0.5 ml de ácido) y suficiente agua destilada para enfriar el extremo del tubo de salida de condensados. Se destila para obtener por lo menos 150 ml. de destilado. El contenido del vaso

receptor se titula con una solución 0.25 N de NaOH, empleando 2 o 3 gotas de indicador rojo de metilo 0.1%. Se corre un blanco paralelo.

$$\% \text{ Nitrógeno} = (B - S) \times N \times 0.014007 \times 100 / \text{gr. muestra}$$

donde:

B = Vol. gastado de NaOH en el blanco

S = Vol. gastado de NaOH en la muestra

N = Normalidad de la sosa

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times 5.7$$

#### Gluten húmedo y gluten seco

Es la cuantificación del total de Glutenina y Gliadina disponibles en la muestra de harina o pasta molida. Se forma, con 25 gr. de muestra y aprox. 25 ml. de agua corriente, una masa que se lava al chorro de agua sobre un tamiz, hasta que todo el almidón y materia soluble se elimina. Se comprime a lo mas seco posible y se pesa.

$$\% \text{ Gluten Húmedo} = \text{Peso del gluten obtenido} \times 4$$

$$\% \text{ Gluten Seco} = \% \text{ gluten húmedo} / 2.95$$

#### Cocimiento y volumen en pasta cruda y cocida

Para complementar el cuadro cualitativo del producto, es necesario investigar las características de cocimiento del producto mismo, mas o menos apreciadas por el consumidor.

Las características de cocimiento son:

a) Grado de cocimiento:

Es el tiempo que se lleva el cocimiento total de 100 gr. de muestra en 1000 ml. de agua hirviendo. Se comprueba el punto final de cocimiento comprimiendo la pasta entre dos vidrios de

reloj, esto es cuando la pasta comprimida no muestre un filamento blanco al centro de la figura.

b) Peso en pasta cruda:

Siempre son 100 gr., puesto que es lo que se utiliza para hacer los análisis y reportar en por ciento.

c) Peso en pasta cocida:

Una vez cocida la pasta, se toma la olla y se vierte sobre un embudo buchner de polipropileno de 15 cm. de diámetro, colocado sobre una probeta de 1000 ml.. Se deja escurrir 30 min. y ya escurrida, se vierte la pasta en el plato de la balanza granataria y se toma el peso.

d) Grado de absorción:

El grado de absorción es la cantidad de agua absorbida durante la cocción de la pasta cruda; es decir el peso de la pasta cocida menos el peso de la pasta cruda.

e) Volumen en pasta cruda:

Se utiliza una probeta graduada de 1000 ml. y un filtro metálico. Se introduce el filtro en la probeta conteniendo hasta 600 ml. de agua, se toma la lectura (volumen ocupado por el filtro). Se introducen en el filtro 100 gr. de pasta cruda y se sumerge en la probeta conteniendo hasta 600 ml. de agua. Se toma la lectura alcanzada en el desplazamiento; se deja escurrir 10 min. y se pesa nuevamente la pasta. Los cálculos son como sigue:

ml. desplazados = lectura final - lectura inicial

ml. desplazados - volumen desplazado = volumen desplazado  
por el filtro por la pasta

Volumen desplazado + gramos aumentados = Volumen desplazado  
por la pasta en pasta cruda por la pasta cruda

f) Volumen en pasta cocida

Después de pesar la pasta ya cocida, se introduce en el filtro mediante la misma forma que en el caso de volumen de pasta cruda, los cálculos son idénticos al volumen en pasta cruda.

g) % de aumento de la pasta cruda con respecto a la pasta cocida.

Este porcentaje deberá ser similar al grado de absorción, la única diferencia es que es a partir del volumen y no del peso.

$$\% \text{ Aumento de la pasta} = \frac{\text{vol. pasta cocida} - \text{vol. pasta cruda}}{\text{vol. pasta cruda}} \times 100$$

Sedimentos

La pasta una vez cocida, se vierte en un embudo buchner colocado en la parte superior de una probeta graduada de 1000 ml., se deja escurrir 30 min.. Pasado ese tiempo, se retira el embudo con la pasta y se deja reposar el filtrado durante 3 horas. El % de sedimentos será la lectura directa de la probeta en la que se separan las dos fases.

Acidez

Se pesan 4 gramos de muestra (harina o pasta molida) en un matraz erlenmeyer de 250 ml. con tapón y boca esmerilada. Se agrega 100 ml. de solución acuosa de alcohol etílico absoluto al 50 % previamente neutralizado con fenolftaleína como indicador. Se deja en reposo durante una hora, agitando esporádicamente, se decanta y se filtra. Se toman 50 ml. del filtrado y se titula su contenido de ácidos grasos libres con una solución NaOH al 0.1 N. hasta una coloración rosada permanente.

$$\% \text{ Acidez} = Vg \times N \times 28.2 \times 2$$

donde:

Vg = Vol. gastado NaOH

N = Normalidad de NaOH

28.2 = Factor en base al ácido oléico

2 = 2 veces los 50 ml. utilizados en la titulación

#### Determinación de pH

Se pesan 10 gr. de muestra en un matraz erlenmeyer perfectamente limpio y seco. Se agregan 100 ml. de agua destilada libre de CO<sub>2</sub>, se agita hasta mezclar perfectamente. Se deja reposar por 30 min. agitando de vez en cuando.

Se decanta el líquido en un vaso de precipitados y se determina el pH inmediatamente en la solución a 25 °C.

Para estandarizar el potenciómetro, se deja calentar de 10 a 15 minutos y se ajusta el aparato con soluciones buffer estandarizadas de pH 7.0 ó simplemente de pH conocido.

pH de la solución = Lectura del potenciómetro

#### Humedad y materia volátil

La humedad y cualquier material volátil, se cuantifica sometiéndolos a una temperatura superior a su punto de ebullición. Se pesan 5 gr. de muestra en una cápsula de aluminio previa-mente tarada. Introducir la cápsula con la muestra en el horno de tiro forzado a 130 °C durante 2 horas. Pasado el tiempo, se saca la cápsula del horno y se introduce en un desecador hasta que se enfríe, posteriormente se pesa.

$$\% \text{ Humedad + materia volátil} = \frac{\text{Pérdida de peso} \times 100}{\text{Peso de muestra}}$$

#### IV.-INFLUENCIA DE LA MATERIA PRIMA SOBRE LA CALIDAD DE LA PASTA

La popularidad de la pasta en todo el mundo y su creciente consumo, están estimulando el desarrollo de tecnologías para obtener nuevos productos que algunas veces muestran sorprendentes calidades de cocción, considerando las características de los materiales crudos. En realidad, el fenómeno involucrado en el procesamiento y la cocción de este alimento no están completamente comprendidos. La investigación básica sobre la pasta, así como también sobre los cereales o los alimentos basados en el almidón, requieren que se considere la distribución de los productos del agua, los cambios en la estructura interna fina de los gránulos de almidón y las interacciones en la matriz de proteínas. Todos estos factores pueden ser estudiados con las técnicas de microscópio electrónico de alta resolución (EM), la técnica de congelamiento-fractura (FF) y congelamiento-agua fuerte (FE). Este ha sido recientemente reconocido como un método prometedor en el estudio de las estructuras de productos de cereales.

En un estudio realizado [16] de la ultraestructura de la pasta hecha con diferentes materiales comerciales crudos (i.e. sémola de trigo durum, harina de trigo suave, almidón de arroz y harina de arroz) son comparados con los datos publicados, enfatizando las implicaciones de los resultados para aceptabilidad del consumidor de los productos (e.g. firmeza de la pasta cocida y adherencia). Para una mejor comprensión de la ultraestructura de la pasta como se muestra por la técnica FF, es necesario considerar la ultraestructura del almidón y el gluten solos, antes y después del tratamiento.

## ALMIDON

El extracto de almidón lavado de harina de trigo comercial (de acuerdo a Banks y Greenwood) y a través de la técnica de congelamiento- fractura revela una textura de esférula compacta en los gránulos. Los diámetros de los gránulos tienen un rango desde 1 a más de 20 micromilímetros. A menudo se encuentran tamaños mayores en harinas de trigo suaves comunes (sin considerar las variedades de trigo duro) comparados con la sémola de trigo durum, como fue recientemente confirmado por el Microscópio Electrónico de Exploración (SEM). Asumiendo que el tamaño de los gránulos influye en su temperatura de gelatinización, podría ser útil una evaluación estadística de estas diferencias para los estudios sobre la pasta, teniendo en mente que las calidades de cocción usualmente son mejores en el trigo durum que en la pasta de trigo suave. Las esférulas de los gránulos tienen un diámetro de 5-20 micromilímetros. Existe una hipótesis que menciona que el rango en los tamaños se podría deber a un arreglo específico de las moléculas de amilosa y amilopectina en las esférulas. Diversos cambios estructurales podrían tener lugar cuando los gránulos de almidón son calentados bajo diferentes condiciones de tiempo-temperatura-humedad. 1) un esponjado progresivo de los gránulos que promueve un incremento en el tamaño de las esférulas; 2) cambios de forma; 3) pérdida de la estructura organizada (gelatinización); 4) colapso y 5) solubilización y reorientación de los polímeros.

El FF es un método adecuado para seguir estos estados de hidratación y transición en los gránulos. Cuando se examinan

después del congelamiento fractura, bajo un calor más intenso, los gránulos de almidón del trigo absorben más agua, se gelatinizan y pierden la estructura distintiva de sus gránulos.

Con el SEM, los cambios estructurales progresivos en los gránulos de almidón calentados se observan fácilmente. Los estudios con el SEM de la ultraestructura del almidón tratan principalmente acerca de los cambios en la morfología de la superficie de los gránulos. Algunos estudios señalan una estructura fibrosa en el exudado del almidón gelatinizado, probablemente formado por cadenas de amilosa .

#### GLUTEN

El Gluten extraído de la semola de trigo durum comercial, exhibe una pérdida de la estructura de proteínas después de la técnica FF . Después de la cocción en agua hirviendo, la matriz parece más compacta y contraída. Estas modificaciones del gluten promovidas por el calentamiento son también encontradas en la matriz de proteínas de la pasta cocinada. Ellas juegan un papel importante en la determinación de la ultraestructura y las cualidades de cocción de la pasta.

Las fibras más delgadas de gluten (cadenas de subunidades de proteínas alineadas) tienen un espesor de 10 nm. El gluten crudo exhibe una forma fibrosa cuando fué observado mediante la división en secciones delgadas y , usando el SEM, reportaron una red de fibras de proteínas en el gluten comercial solamente cuando es amasado con agua y estirado. Sin embargo, se pueden conciderar como patrones. Algunos aspectos como que el gluten el trigo durum muestra fibras mas anchas que el gluten del trigo rojo duro de primavera.

## HARINA DE TRIGO

El efecto de hidratación sobre la matriz de proteínas muestran a los gránulos de almidón estar encasillados en matrices de proteínas amorfas, las cuales, debido a las hidrataciones parciales, comienzan a envolver a los gránulos. La estructura fina de las proteínas no difiere sistemáticamente en la sémola y en la harina de trigo suave como se observa mediante la técnica FF, aunque las características y diferentes aspectos son notados mediante el SEM para estos dos materiales crudos. Además, los micrografos SEM ejecutados en el endosperma de trigo suave, muestran que la continuidad de la matriz de proteínas puede estar relacionada a la dureza de los granos.

## SPAGUETTI DE TRIGO SECADO BAJO LAS CONDICIONES CONVENCIONALES

El procesamiento convencional de la pasta involucra la mezcla de sémola o harina con agua (30%), en el amasado, la extrusión a 80-90 bars. y el ciclo de secado usualmente abajo de los 55°C durante al menos 20 hrs. El spaguetti de trigo duro crudo comercial muestra (después del FF) una estructura similar a la de la sémola. Hay más interacciones extensivas dentro de la matriz de proteínas (interacciones proteína-proteína), que sin embargo carecen de texturación en una estructura compacta y continua. El contenido de humedad relativamente bajo de la masa de pasta y el mezclado insuficiente durante la extrusión no permiten el desarrollo completo de una red de gluten como el que toma lugar en la masa de pan. Además, las condiciones de secado relativamente moderadas (tiempo, temperatura, humedad del spaguetti) evaden la coagulación extensiva de la proteína y las

modificaciones visibles de los gránulos del almidón, aún cuando algunos autores midieron los cambios en carbohidratos durante el procesamiento convencional del espagueti. No se observaron asociaciones de proteínas con almidón; contrario a lo que se encontró en la masa del pan donde las interacciones son reportadas como intensificadas por la acción de la levadura durante la fermentación.

Contrario a lo que se ha observado en la pasta secada convencionalmente, se denota que el paso de la extrusión en el procesamiento promueve una pérdida parcial de la estructura de los gránulos de almidón. Sus resultados probablemente están relacionados a diferentes temperaturas de extrusión. Las altas temperaturas pueden fácilmente conducir a modificaciones en el almidón y en las proteínas considerando la alta presión y la humedad relativamente alta de la pasta (30%) en la etapa de extrusión.

La cantidad de las interacciones dentro de la matriz de proteínas de la pasta seca está relacionada con la calidad y cantidad de gluten, el trigo suave común y el espagueti de trigo durum muestran un patrón similar mediante el FF. De este modo, es usualmente imposible predecir la calidad de cocción en base a la ultraestructura convencional de la pasta cruda. Las mismas conclusiones fueron obtenidas mediante el microscopio óptico.

Cuando es visto con el SEM, el espagueti crudo exhibe un aspecto diferente entre la parte interior y exterior. Esta última presenta una película de proteína envolvente continua y lisa, cuyo papel en la determinación de la calidad de la pasta no está clara. En la parte interior, una matriz de proteínas

amorfa envuelve los gránulos de almidón . El espagueti de trigo duro y suave exhiben una estructura similar.

El espagueti de trigo durum comercialmente cocinado muestra una red fibrilar compuesta de proteínas coaguladas que envuelven los gránulos de almidón gelatinizados. No hay diferencias significativas entre la parte interior y exterior de la pasta. Una sección cruzada comprobó que el espagueti estaba completamente cocinado. En los micrógrafos FF del espagueti cocinado, la proteína se reconoce fácilmente debido a su fina estructura granular y a las inclusiones de lípidos. En el espagueti de trigo suave, las proteínas usualmente tienden a coagular dentro de masas discretas. La distribución de esférulas de almidón, debida a la discontinuidad de la matriz de proteínas, es mas difusa y entonces los gránulos son facilmente removibles de la red . Muchos autores correlacionan la calidad y cantidad de esta red con las propiedades físicas de la pasta cocinada. Estas propiedades pueden también ser afectadas por la relación almidón-proteína en la superficie del espagueti y por la película de proteína que cubre la superficie del espagueti, la cual no puede ser observada mediante el FF.

Sobre la base de las observaciones en EM, se ha podido concluir que cocinar la pasta con un secado convencional induce a dos fenómenos opuestos: Interacción completa de proteínas coagulantes y esponjamiento del almidón y gelatinización. Como la desnaturalización por calor del gluten y las modificaciones del almidón de trigo tienen lugar en aproximadamente las mismas condiciones de cocción (humedad y temperatura), ambas contribuyen

en la calidad de la pasta. En los interespacios entre los gránulos, la coagulación de proteínas y la interacción conducen a la formulación de una red continua y fortificada que atrapa al almidón mientras que este último, mediante el esponjamiento y la gelatinización, tapa estos interespacios. De este modo, parece razonable asumir que la competencia física existe entre estos comportamientos. El mas rápido es el esponjamiento del almidón y la dispersión de esférulas, y el mas lento es el porcentaje de la interacción de proteínas y la debilidad de la red de proteínas dentro del espagueti. Si la interacción de las proteínas coagulantes es mas rápida que el esponjamiento del almidón y la gelatinización y la red de proteínas es lo suficientemente fuerte y elástica para prevenir las rupturas, la pasta cocinada será firme. En el caso opuesto, la pasta será suave y usualmente pegajosa. Asumiendo que esto es cierto, los factores que pueden mejorar la calidad de cocción de la pasta convencional son: 1) alta calidad y cantidad de gluten; 2) su distribución uniforme en los interespacios de los gránulos; 3) la menos cantidad de proteínas desnaturalizadas por calor en la pasta seca, 4) la buena coagulación de las proteínas del trigo con una baja temperatura de coagulación. El principal factor de detrimento es la baja temperatura de gelatinización que puede estar relacionada con el tipo de almidón, el tamaño de los gránulos, la temperatura de gelatinización y la disponibilidad del agua.

En el proceso de secado de la cantidad de agua en la pasta es limitado. De este modo, cuando la cocción comienza, se establece una competencia por el agua entre el almidón y la proteína. La menor cantidad de proteínas rodeando a los

gránulos, el rápido porcentaje de almidón que se esponja y gelatiniza. Se puede asumir que esta competencia es más crítica en la parte periférica del espagueti donde la hidratación de los componentes toma lugar rápidamente en el comienzo de la cocción.

Con base en la discusión anterior, se entiende mejor las relaciones que existen entre las características del material crudo y la calidad de cocción de la pasta. La hipótesis apoyada por los datos experimentales de algunos trabajos realizados, también es corroborada por los hallazgos de que la pasta preparada del mismo gluten mezclado con los almidones de trigo exhibiendo delicadas diferencias en la temperatura de gelatinización, muestra una diferencia significativa en las calidades de cocción. Las relaciones entre el tipo de almidón y las propiedades de cocción del espagueti son también reportadas por Dexter y Matsuo [10]. Lo antes citado ha sido confirmado por los siguientes estudios ultraestructurales sobre el secado de pasta a altas temperaturas.

La Fig. II.13 muestra los ciclos de secado ejecutados durante el procesamiento del espagueti experimental. a) condiciones convencionales: b), c), d), tratamientos de alta temperatura a diferentes humedades del espagueti; donde LT = baja temperatura, HT = alta temperatura, LM = baja humedad, MM = humedad moderada y HM = alta humedad.

La Fig. II.14 muestra el efecto de las condiciones de secado de la pasta sobre la solubilidad de las proteínas en una solución diluida de ácido acético. a) pasta seca; b) lo mismo que a), tratado a 135°C durante 15 min. en una atmósfera seca.

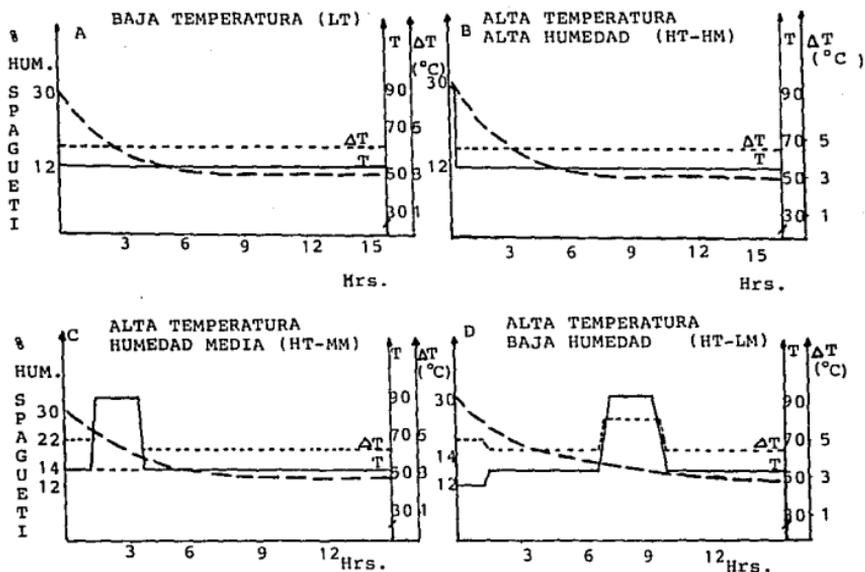


Fig. II.13 Ciclos de secado en el procesamiento de spaghetti

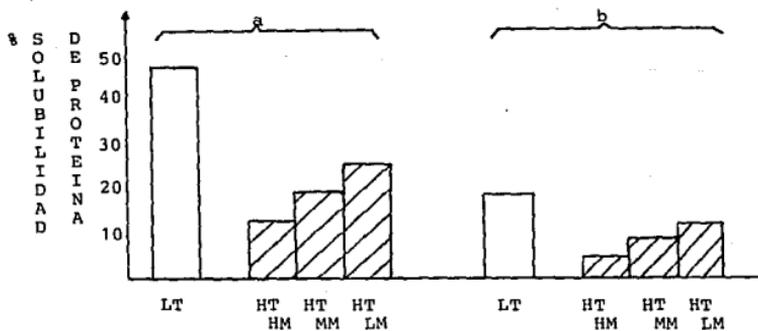


Fig. II.14 Efectos de las condiciones de secado sobre la solubilidad de las proteínas.

## SECADO DE PASTA CON EL PROCESAMIENTO A ALTAS TEMPERATURAS (HT)

Algunos productores de equipo manufacturador de pasta han introducido recientemente ciclos de secado que involucran tratamientos a altas temperaturas ( > 60°C -procesamiento HT). Estas tecnologías, ampliamente utilizadas en Europa e introducidas para reducir los tiempos de secado y la contaminación microbiana, pueden algunas veces mejorar las cualidades de la cocción de la pasta. Con el fin de comprender este fenómeno, se ha estudiado la ultraestructura del espagueti HT producido con un trigo suave común bajo condiciones experimentales apropiadas. Se reportan aquí solamente los datos experimentales con respecto al espagueti de trigo suave común porque su ultraestructura claramente demuestra los fenómenos involucrados en el procesamiento HT. HT-HM (pasta secada a alta temperatura con un alto contenido de humedad), HT-MM (humedad media) y HT-LM (humedad baja) indican las condiciones experimentales de secado HT, mientras que LT (baja temperatura) indica el proceso convencional. Todos los diagramas del ciclo de secado son mostrados en la fig. II.13.

El procesamiento HT (Fig.II.14) reduce la solubilidad de proteínas conforme la humedad del espagueti se incrementa. Estos resultados están de acuerdo con lo que se ha reportado por otros autores y confirma la relación entre la sensibilidad al calor de las proteínas vegetales y el contenido de humedad. La pasta HT-LM exhibe la mejor calidad después de cocinada, mientras que la HT-HM muestra una menor calidad que la de control (LT), como se ve en la tabla siguiente:

TABLA II.8 PRUEBAS DE COCCION SOBRE SPAGUETTI DE TRIGO SUAVE\*  
C O C I M I E N T O

	tiempo min.	peso gr.	pérdida gr.	Spaguetti calidad
-----				
A				
LT	10	300	6.36	PEGAJOSO
HT-HM	10	313	6.59	PEGAJOSO
HT-MM	11	295	6.28	PEGAJOSO
				MODERADO
HT-LM	11	290	5.73	FIRME
-----				
B				
LT	15	280	5.62	FIRME
HT-HM	15	291	6.48	PEGAJOSO
				MODERADO
HT-MM	16	280	5.62	FIRME
HT-LM	16	278	5.58	FIRME
-----				

A = El spaguetti secado bajo condiciones experimentales

B = Secado como en A y entonces tratado a 135°C durante 15 min. en condiciones de secado.

\* = La cocción se lleva a cabo con 100 gr. de spaguetti seco en 1000 ml. de agua corriente. La calidad del spaguetti se evalúa mediante un procedimiento subjetivo.

La pasta cruda HT-HM exhibe, después de empapada, un esponjamiento parcial de los gránulos de almidón y una red discontinua de las proteínas coaguladas. El esponjamiento del almidón promovido por el tratamiento HT-HM, previene a las proteínas coagulantes de interactuar y formar redes continuas y debido a la cantidad de tensión produce una ruptura que propicia el trigo suave que tiene una baja cantidad y calidad de gluten. Después de la cocción, la red de proteínas muestra un derrumbamiento posterior por la tensión inducida por el volumen de pasta incrementado. La calidad de pasta resultante es pobre comparada con la de control (LT). Se pueden observar algunas

segregaciones entre los gránulos de almidón esponjado y la matriz de proteínas.

Probablemente, esto debe estar relacionado con el contenido de agua libre en esta área y confirma que no se han formado interacciones almidón-proteínas.

Durante el procesamiento HT-LM, el esponjamiento del almidón no tiene lugar debido a la baja humedad del espagueti ( 14%) en el paso de alta temperatura y las fibras de proteínas continuamente coaguladas envuelven a los gránulos. Las capas de agua que rodean los gránulos de almidón se podrían deber al esponjamiento de la pasta seca durante la preparación del espécimen que promueve la hidratación de las proteínas no coaguladas. Durante la cocción la magnitud del efecto del esponjamiento del almidón y la gelatinización sobre la calidad de cocción serán reducidas pues ya se ha formado una red continua de proteínas en la pasta cruda. Esto es particularmente cierto para la pasta hecha de materiales crudos de pobre calidad. Si el material crudo es de buena calidad (e.g. la sémola de trigo durum buena), no podrían ser esperadas grandes diferencias en las cualidades de cocción de las tecnologías HT-LM o HT-HM, debido a la fuerza de la red de proteínas comparada con el efecto negativo del esponjamiento del almidón. Si el material crudo es de mala calidad, estas diferencias serán altamente significativas.

La calidad de cocción de la pasta también puede estar relacionada con la ultraestructura característica del almidón en el espagueti cocinado HT-LM . Estos patrones pueden ser obtenidos experimentalmente tratando la pasta cruda LT con altas temperaturas (135°C) en una atmósfera seca. El espagueti

procesado de esta manera siempre exhibe cierta mejora en las cualidades de cocción, debido a la cantidad incrementada de coagulación de proteínas en el secado sin esponjamiento del almidón y los cambios en la ultraestructura del almidón inducidos por la cocción. Se ven claramente las interacciones proteína-almidón en la parte exterior y en las fibras lineales o ramificadas en el área central de los gránulos. Estos patrones del almidón modificados pueden ser comparados con los resultados de otros estudios por micrografos obtenidos de pan seccionado en partes delgadas después de salir del horno, pero la pasta cocinada de congelación fractura, las hebras de proteínas son entretejidas con el almidón solamente en la parte exterior de los gránulos gelatinizados. Se pueden interpretar los aspectos del almidón de acuerdo a las declaraciones de Sterling, quien reporta que el esponjamiento y la gelatinización suceden en el interior de los gránulos de almidón mientras que las regiones externas permanecen birrefringentes ( la propiedad de birrefringencia de los gránulos se debe a la formación de zonas cristalinas producidas por la unión de moléculas lineales a través de puentes de hidrogeno, por lo que la presencia de moléculas ramificadas impide este arreglo cristalino debido a que forman zonas de estructura amorfa que no tienen características de birrefringencia); durante estos cambios físicos, tiene lugar la contracción radial y la expansión tangencial de los componentes ramificados y no ramificados.

La pasta de alta calidad puede obtenerse del almidón solo tomando en cuenta el efecto de realce de las modificaciones del

almidón inducidas por el calor.

Un ejemplo ilustrativo es el "Bee-Hoon", fideos orientales producidos del almidón y de ciertas variedades de arroz. Su estructura parecida a un panal, tanto en el estado crudo como en el cocinado, se debe a las técnicas especiales de procesamiento que usan altas temperaturas para una gelatinización efectiva del almidón que se degrada prontamente bajo el enfriamiento. Estos cambios físicos rinden un producto con excelentes cualidades de cocción.

En base a estas y a las observaciones previamente reportadas es posible hacer una buena pasta de los materiales crudos con una baja calidad de proteínas tal como la harina del arroz quebrado. La extensión de la red de hebras de almidón después de la cocción puede estar relacionada con la calidad de la pasta (su ausencia implica una adherencia completa) y las variedades de almidón. Los materiales de las proteínas se entrelazan con las hebras de almidón también observadas en este tipo de pasta. Estas modificaciones, que promueven la textura reticular extensiva, fueron debidas en gran parte al almidón que está involucrado, pueden a menudo explicar las cualidades de cocción de la pasta de materiales crudos no convencionales.

La pasta prueba ser un interesante sistema limitado de agua-almidón-proteínas donde la competencia del almidón/proteínas por el agua, los cambios conformacionales y las interacciones mutuas tienen lugar durante el procesamiento y la cocción. La comprensión de estos fenómenos, que pueden ser paralelos a los de los productos de cereales, pueden ser realizados por el estudio de la estructura fina de la pasta.

## INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA DE SECADO

Un estudio de la influencia de la temperatura de secado sobre la calidad del espagueti [9], indicó que la creciente temperatura de secado mejoraba el color del espagueti, incrementaba los valores de firmeza, y decrecía la pérdida en el cocinamiento (sedimentos) y los valores del peso de lo cocinado.

Incrementando la proporción de la harina de trigo HARD RED SPRING (HRS) en las mezclas de harina-sémola, se ocasiona un incremento en la firmeza y una disminución de las pérdidas de lo cocinado, el peso cocinado y el color del espagueti. Cuando se incrementa el contenido de harina HARD RED WINTER (HRW), los valores de firmeza no cambiaron significativamente, pero el color, la pérdida de lo cocinado y los valores de peso de lo cocinado disminuyeron al igual que las muestras con HRS. Los valores de firmeza de las muestras que contenían harina HRS fueron mas altos que los de las muestras que contenían HRW, mientras que los valores de pérdida de lo cocinado fueron mas bajos. Estos datos, basados en muestras limitadas indican que se puede hacer un espagueti de buenda calidad de las mezclas de sémola-harina, pero las mezclas que usan harina obtenida de trigo HRS producen un espagueti superior en calidad al espagueti que sale de las muestras de harina-sémola HRW.

El secado de pasta a altas temperaturas ha sido discutido por diversos investigadores. Sin embargo se ha puesto mayor énfasis en los aspectos bacteriologicos, y se ha proporcionado poca informacion acerca de la calidad del espagueti secado a altas temperaturas.

El uso de trigo NONDURUM para la produccion de pasta ha sido

reportado en algunos estudios. Estos reportes proporcionan información sobre la calidad del espagueti obtenido de la harina derivada del trigo NONDURUM, pero la información es limitada.

Algunos estudios realizados han demostrado los efectos del secado a altas temperaturas sobre la calidad del espagueti así como también investigar el uso de las mezclas de harina-semola para hacer el espagueti.

Los datos de CENIZA y GRANULACION sobre las muestras de harina y semola se presentan en la Tabla II.9.

Las mezclas fueron preparadas conteniendo la semola DURUM y 0, 5, 10., 20, 40, 60, 80 y 100% de cada clase de harina.

TABLA II.9 CENIZAS Y GRANULACION EN MUESTRAS DE HARINA Y SEMOLA.

	HRS HARINA (%)	HRW HARINA (%)	DURO SEMOLINA (%)
CENIZAS	0.35	0.33	0.67
GRANULACION			
Sobre malla 40	32.3	14.9	20.7
Sobre malla 60	64.2	80.7	61.5
Sobre malla 80	2.6	3.1	12.8
Sobre malla 100	0.3	0.6.	3.1
Atraves malla 100	0.6	0.7	1.9

14% Humedad

### Muestras de espagueti

El espagueti fue procesado en extrusor de pasta comercial con una capacidad de 25 lb./h. bajo las siguientes condiciones: temperatura de amasado, 37°C; velocidad del extrusor, 20 rpm; absorción de agua, 31% y una presión de vacío de 20 pulgadas de Hg.

El espagueti fue secado en un secador experimental de pasta.

Las muestras de control fueron secadas a 40°C, con la humedad relativa decreciendo linealmente de 95 a 60% durante todo el ciclo de secado de 18 h.

La alta temperatura de los ciclos de secado se compuso de dos etapas.

TABLA II.10 CONDICIONES EMPLEADAS PARA SECADO DE SPAGUETTI

TEMPERATURA SECADO (°C)	TIEMPO SECADO (Hr)	CONDICIONES			
		Estado	Temp. (°C)	T	Tiempo (Hr)
40	18	Decremento lineal de humedad relativa de 95 a 60°C.			
60	10	1	40	5.5	2
		2	60	4.2	8
70	8	1	40	5.5	2
		2	70	4.0	6
80	6	1	40	5.5	2
		2	80	4.0	4

T es la diferencia entre las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo y da una indicación de la humedad relativa.

### Calidad del espagueti

El color del espagueti fue determinado con un medidor de diferencia de color Hunter.

La calidad de cocinado fue determinada usando tres tiempos de cocinado (10, 15 y 20 min.). La firmeza del espagueti fue medida con un probador universal Instron, usando un procedimiento descrito por Walsh (1971).

Los MIXOGRAMAS, el contenido de CENIZA, y el contenido de proteínas KJELDAHL ( $N \times 5.7$ ) fueron determinados como se describe por la AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHIMISTS (1962). Asociación americana de químicos de los cereales.

### RESULTADOS

Los MIXOGRAMAS (Fig.II.15) indicaron que las dos muestras de harina tenían una fuerza similar de mezcla mientras que la sémola era substancialmente mas debil.

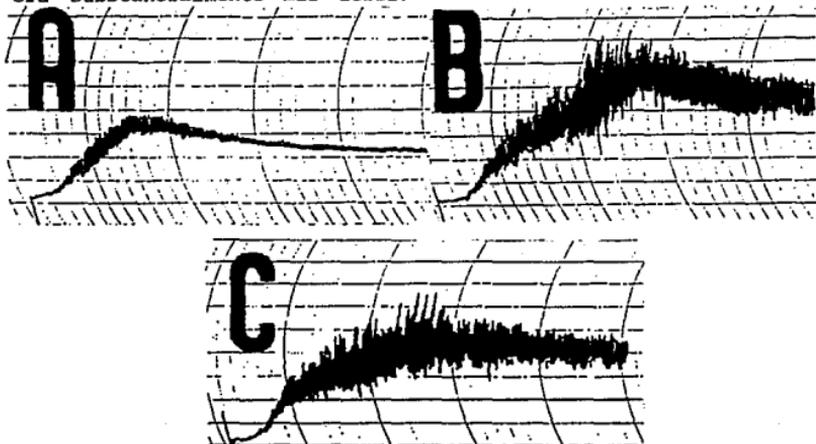


Fig. II.15 Mixogramas:A.-Semolina trigo duro,B.-Harina trigo HRS, C.- Harina trigo HRW.

El contenido de proteínas del trigo DURUM, de la sémola y de la harina de trigo HRS fueron iguales (12.6%), pero el contenido de proteínas de la harina de trigo HRW fue considerablemente menor (10.4%, expresada en una base de humedad de 14%).

Los puntajes del color del spagueti son mostrados en la tabla II.11.

TABLA II.11 PUNTAJES DEL COLOR DEL SPAGUETTI

MUESTRA	PORCENTAJE	TEMP. SECADO SPAGUETTI (°C)			
		40	60	70	80
SEMOLINA	100	8	9.5	9	9
HARINA HRS	5	9	9	9.5	9
	10	8	9	9	9
	20	8.5	9	9	9
	40	8	8.5	8.5	9
	60	7.5	8	8	8
	80	6	8	7	8
	100	5	6	6	6
HARINA HRW	5	7.5	9	9	9
	10	7.5	9	9	9
	20	8	9	9	9
	40	8	8.5	8.5	8.5
	60	7.5	8	8.5	8.5
	80	7.5	7.5	8	8
	100	7	7	8	7

Valores basados en puntos de 1 a 12, donde representan el peor y mejor color respectivamente.

Como se esperaba, el color disminuyó conforme el porcentaje de harina se incremento. Esta disminución fue mas pronunciada en el espagueti que contenia mas de 20% de harina. El uso de altas temperaturas de secado tambien causó un incremento en los puntajes de color, pero estos datos no indicaron diferencia en el color entre las muestras de las tres clases. Esto fue

justificado porque las orientaciones observadas usando los valores promedio fueron las mismas de aquellas observadas cuando los valores individuales fueron usados.

El valor de firmeza promedio (6.4 g/cm) de todas las muestras que contenian trigo HRS fue significativamente mas alto que el valor de firmeza promedio (5.7 g/cm) de todas las muestras que contenian trigo HRW. Esta diferencia en la firmeza podria ser atribuida a la diferencia en la cantidad de proteina y calidad de las harinas de trigo HRS y HRW.

Mientras que el porcentaje de harina de trigo HRS se incrementaba, los valores de la firmeza del espagueti se incrementaban (Tabla II.12).

TABLA II.12 PRUEBAS DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA LOS VALORES DE FIRMEZA DE SPAGUETTI QUE CONTENIA HARD RED SPRING.

GRUPO	FIRMEZA (g/cm)	% HARINA MEZCLA
D	5.9	0
C,D	6	5
C,D	6.1	10
B,C	6.4	20
A,B	6.6	40
B,C,D	6.3	60
A,B	6.7	80
A	6.9	100

Estos resultados podrian deberse a la diferencia en la calidad de proteina de la harina de trigo HRS y la sémola de trigo DURUM. Esta orientación no fue observada entre las muestras que contenian trigo HRW. Los resultados del MIXOGRAMA y el FARINOGRAMA indicaron que las propiedades de la mezcla de las

harinas de trigo HRS y HRW eran muy similares. Esto sugiere que las propiedades de mezcla no necesariamente indican la firmeza del espagueti y apoya los datos reportados por Dexter y Matsuo (1978). El secado a altas temperaturas mejoró la firmeza del espagueti (Tabla II.13). Manser (1980) reportó hallazgos similares y explicó que el cambio se debía a la resistencia de la estructura gluténica.

TABLA II.13 PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA LA FIRMEZA

GRUPO	FIRMEZA (g/cm)	TEMP. SECADO (°C)
B	5.6	40
A	6.1	60
A	6.1	70
A	6.3	80

El promedio de valores de pérdida de cocinado para el espagueti que contenía trigo HRS (6.1%) fue significativamente menor que aquellos para las muestras de espagueti que contenían harina de trigo WINTER (6.6%). La diferencia se debe probablemente a la diferencia del contenido proteínico. Las muestras que contenían trigo HRS -muestras que tienen un contenido más alto en proteínas- permiten que una menor cantidad de almidón sea extraída por lixiviación de las hebras de espagueti, teniendo como resultado un descenso en las pérdidas por cocinado.

Una disminución en las pérdidas por lo cocinado ocurrió mientras que el porcentaje de harina fue incrementado (Tabla II.14).

La disminución ocurrió por la diferencia en la calidad de

proteína en las muestras de sémola y harina, como se indica por el MIXOGRAMA.

TABLA II.14 PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA PERDIDA EN COCIMIENTO

GRUPO	PERDIDA (%)	% HARINA MEZCLA
A	6.6	0
A	6.6	5
A	6.6	10
A	6.6	20
B	6.3	40
B,C	6.1	60
C	6.0	80
C	5.9	100

El incremento de la temperatura de secado disminuyó los valores de pérdida de lo cocinado (Tabla II.15). La disminución en la pérdida de lo cocinado se debe probablemente a la red de proteínas fortalecida por el calor, que retiene mas almidón.

TABLA II.15 PRUEBA DE RANGO MULTIPLE DE DUNCAN PARA PERDIDA EN COCIMIENTO

GRUPO	PERDIDA (%)	TEMP. SECADO (°C)
A	6.7	40
B	6.3	60
B	6.3	70
C	6.0	80

Los valores del peso cocinado del espagueti no cambiaron significativamente mientras que el porcentaje de harina fue variado. No hubo diferencia en los valores del peso de lo cocinado entre las muestras que contenian trigo HRS y las muestras que contenian trigo HRW. El espagueti secado a altas temperaturas tuvo menores valores de peso de pasta cocida de lo

que las muestras secadas a temperatura de control. De nuevo esto es por la red gluténica fortalecida por el calor, que disminuye la proporción de la penetración del agua dentro de la hebra de espagueti.

Los resultados de este estudio indican que un producto de pasta de buena calidad puede ser obtenido incorporando cierto porcentaje de harina con sémola. La calidad de estos productos puede ser mejorada usando altas temperaturas para secar el producto. Serian beneficos los estudios posteriores usando harina y sémola de diferentes variedades y conteniendo un rango de proteínas de calidad y cantidad.

#### GELATINIZACION

La gelatinización es un fenómeno muy importante de tomar en cuenta en relación a la materia prima y las condiciones de operación en el secado de pastas alimenticias. A continuación se describe el concepto básico y los factores que afectan la gelatinización.

La propiedad de birrefringencia de los gránulos se debe a la formación de zonas cristalinas producidas por la unión de moléculas lineales a través de puentes de hidrógeno, por lo que la presencia de moléculas ramificadas impide este arreglo cristalino debido a que forman zonas de estructura amorfa que no tienen características de birrefringencia.

De manera lenta, a través de sus zonas amorfas, los gránulos de almidón absorben diferentes cantidades de agua, según la especie y las proporciones de las dos fracciones constitutivas. El gránulo, en presencia de agua fría, se hincha y aumenta

ligeramente de tamaño, lo cual solo se puede observar en el microscopio. Cuando las suspensiones de almidón se calientan a temperaturas de más de 50-55°C, los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas se rompen y continúa la absorción de una mayor cantidad de agua, en un fenómeno conocido como gelatinización. En estas condiciones se puede apreciar visualmente un aumento considerable del tamaño del gránulo, que va paralelo a la pérdida de la birrefringencia debido a una ruptura del arreglo radial de los polímeros. A medida que se incrementa la temperatura aumenta el agua absorbida y parte de las moléculas de amilosa de bajo peso molecular se disuelven y difunden fuera del gránulo, mientras que las cadenas de mayor tamaño permanecen en él impidiendo que exista más solubilización de las de bajo peso molecular. Cada almidón tiene un diferente grado de cristalización y por lo tanto se hincha y gelatiniza en distintas condiciones de temperatura.

La temperatura a la que se pierde la birrefringencia y se produce el máximo hinchamiento de los gránulos de almidón se llama temperatura de gelatinización, y a esta temperatura existe un alto grado de absorción de agua que hace que las dispersiones de este polímero alcancen grandes viscosidades. A medida que continúa este proceso, los gránulos se rompen y aparecen moléculas libres hidratadas de amilosa y amilopectina.

La viscosidad de la pasta se reduce hasta alcanzar un cierto valor en el que se estabiliza. La temperatura de gelatinización se expresa como un intervalo, ya que no todos los gránulos se hinchan y gelatinizan al mismo tiempo y temperatura debido a que algunos son más recientes y por tanto pueden requerir hasta 10°C

mas que otros. La determinación de la temperatura de gelatinización se hace en un microscopio de luz polarizada de placa caliente llamado Kofler.

La solubilización y la destrucción total del gránulo solo se consigue cuando se le somete a temperaturas de autoclave y se acelera considerablemente con una agitación violenta. El resultado de este proceso es la formación de una pasta en la que existen moléculas de amilosa hidratadas, de bajo peso molecular, que rodean los agregados hidratados que resultan del rompimiento del gránulo. Estos últimos están formados básicamente por cadenas de amilopectina y de amilosa de alto peso molecular. La cantidad de agua absorbida por los almidones varía entre los diferentes tipos, pero podemos considerar que se encuentra entre 40 y 55 gr. de agua por 100 gr. de almidón. El poder de absorción puede ser determinado con el peso del gránulo hinchado por gramo de almidón seco y es una propiedad de los almidones comerciales que se debe conocer, sobre todo dentro del intervalo de temperatura comúnmente empleado en la industria alimentaria. Se puede observar que el almidón de maíz se hincha muy poco comparado con los de papa, tapioca y sorgo céreo, además de que los almidones modificados tienen poderes de hinchamiento muy diferentes a los que presentan en forma nativa.

Algunos de los importantes factores que afectan la gelatinización del almidón durante la extrusión de la harina de trigo [15] tales como el contenido de la humedad, los materiales crudos, la temperatura, la velocidad del extrusor y el tamaño del extrusor fueron investigados. La interacción de la temperatura y

la humedad afectan significativamente la gelatinización del almidón. El aumento de las temperaturas de extrusión incrementa la gelatinización del almidón cuando el contenido de humedad estaba entre 18 y 27%. Los contenidos de humedad no afectaron significativamente la gelatinización del almidón a temperaturas bajas (65 y 80 °C), pero si afectaron la gelatinización a altas temperaturas (95 y 110 °C). Incrementando la proporción de corte (velocidad del extrusor) disminuyó la gelatinización del almidón. Con el incremento del tamaño del dado extrusor disminuyó la gelatinización del almidón. Los resultados mostraron que los (2-1) enlaces glicosídicos de la sucrosa y la rafinosa y los (1-4) enlaces de glicosídicos de malto-oligosacaridos y almidón se rompen cuando los productos de cereal son extrudados.

En la comida, los almidones gelatinizados pueden ser utilizados casi en cualquier ocasión que se desee. La gelatinización del almidón también afecta significativamente las características y la calidad de los alimentos, tales como el volumen del pan y el desmoronamiento del mismo, la elasticidad y suavidad de los productos de pasta, la digestión y el sabor, la tolerancia de propiedades mejores en los pasteles, con capa de clara de huevo, azúcar y las mezclas de masas, la cristalización del azúcar en los alimentos, y la textura, volumen, duración y estabilidad de bajas a altas temperaturas de pan y pasteles.

El horneado y la extrusión en años recientes se ha convertido en uno de los procesos nuevos mas populares de los desarrollados por la industrias de alimentos y alimenticias. Su principio básico es convertir un material sólido a un estado líquido aplicando humedad y calor, y entonces extrudizar el

material a través de un dado para formar un producto con características geométricas y físicas predeterminadas. La literatura sobre los alimentos procesados con extrusión es amplia pero la mayor parte de su énfasis está en la producción de un producto específico en lugar de añadir algo a la comprensión básica de la gelatinización del almidón durante el proceso.

Aquí, los factores más importantes que afectan la gelatinización del almidón durante el proceso de extrusión son tales como el contenido de humedad de los materiales crudos, la temperatura, la velocidad del extrusor, y los tamaños del dado de extrusor (diámetro de sinfín).

El análisis estadístico indicó que la temperatura, el contenido de humedad, la velocidad del tornillo y la interacción entre la temperatura y la humedad afectaron significativamente la gelatinización del almidón durante la extrusión.

La gelatinización del almidón se incrementó agudamente con el aumento de temperatura cuando los contenidos de humedad eran de 24 o 27%, pero se incrementaron más gradualmente cuando los contenidos de humedad fueron de 18 o 21% (Fig. II.16).

La tabla II.16 detalla los efectos sobre la gelatinización del almidón de combinaciones de contenidos de humedad y temperaturas de extrusión.

La gelatinización del almidón disminuyó agudamente con el incremento del contenido de humedad a temperaturas bajas de extrusión (65 y 80 grados C), pero a temperaturas más altas (95 y 110 grados C), incrementando el contenido de humedad significativamente, se incrementaba la gelatinización del almidón (Fig. II.17).

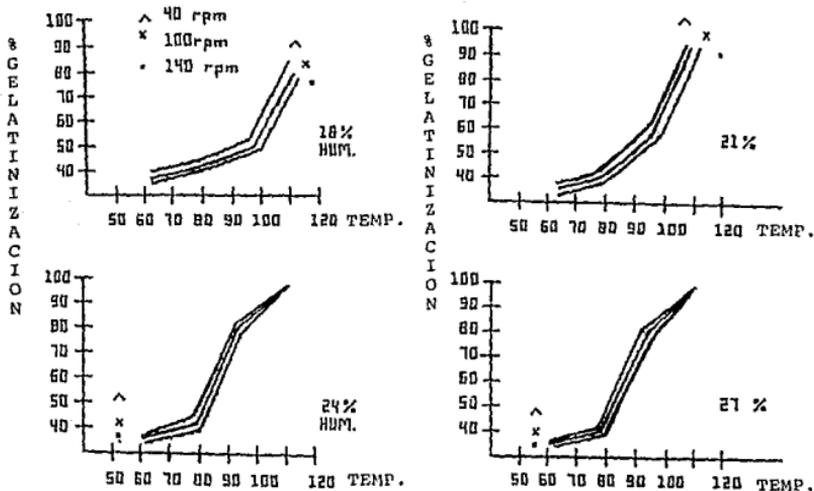


Fig.II.16 Efectos de temperatura en la gelatinización ( % de gelatinización & temperatura )

TABLA II.16 INTERACCION ENTRE TEMPERATURA Y HUMEDAD EN LA GELATINIZACION DEL ALMIDON

TRATAMIENTO		RESPUESTA
TEMP. - HUM.		GELATINIZACION
(°C)	(%)	(%)
110	27	100.0
110	24	99.6
110	21	87.0
110	18	82.8
95	27	81.0
95	24	78.8
95	21	56.4
95	18	55.1
80	27	37.6
80	24	41.3
80	21	40.1
80	18	38.5
65	27	33.0
65	24	33.2
65	21	35.7
65	18	38.2

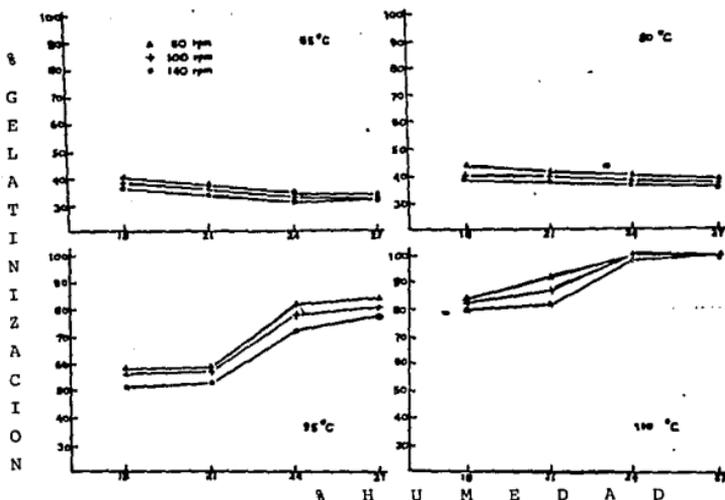


Fig. II.17 Efecto del contenido de humedad en la gelatinización ( % de gelatinización & % de humedad )

Conforme la velocidad del tornillo se incrementaba, la gelatinización del almidón disminuía (Fig. II.18). Debido a que la velocidad del tornillo disminuía, el tiempo de retención de la muestra en el extrusor era menor, por lo que resultaba presumiblemente en la disminución de la gelatinización del almidón. Conforme el tamaño del dado de cubo se incrementaba, la gelatinización del almidón disminuía (Fig.II.19). Tal vez la disminución de la presión y la superficie de corte causaron la disminución de la gelatinización del almidón debido al tiempo residual reducido de la harina en el extrusor.

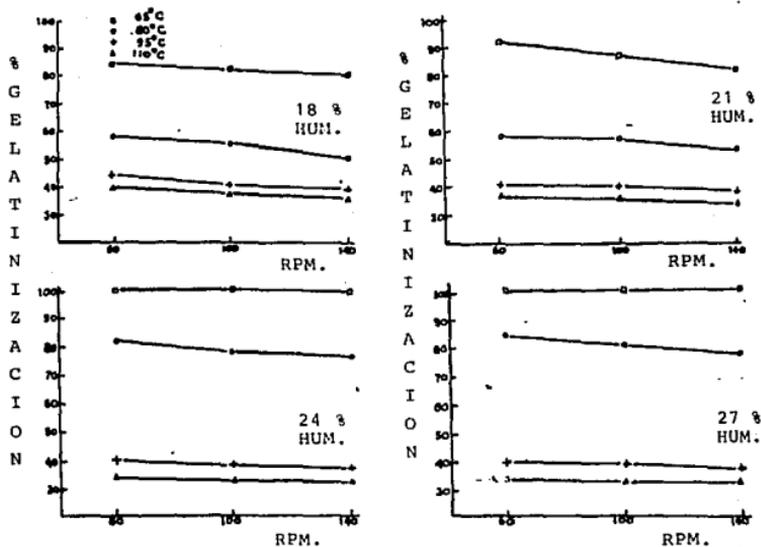


Fig. II.18 Efectos de la velocidad del extrusor en la gelatinización

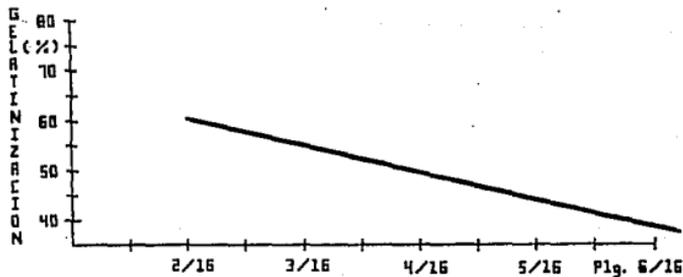


Fig. II.19 Efectos del diámetro del extrusor en la gelatinización

## DOSIFICACION DE RETRITURADOS

En la industria de la pasta normalmente se acepta de un 5 a 10 % de la producción de géneros secos que terminen como retriturados (reproceso).

Los retriturados son aquellos productos de pasta secos que, debido a los arranques de línea, en el ajuste de corte en la formación de los formatos de diferentes tipos y las primeras y últimas partes de producción sufren estrellamientos, los cuales son repulverizados en partículas de tamaño pequeño, al igual que productos mal formados.

Los tallarines de nuevo, como regla, no son y no deben ser repulverizados debido a la posibilidad de una contaminación por salmonela.

Estos productos repulverizados son mezclados con sémola y procesados.

Los repulverizados de este modo pueden representar un gran volumen de la producción industrial que termina como productos mezclados.

No hay información publicada que este disponible y que detalle los efectos de mezclar repulverizados con sémola en la calidad del espagueti o del macarrón.

El propósito de esta sección es revisar algunas investigaciones [14] que fueron hechas en laboratorios sobre el hecho de mezclar retriturados en diferentes porcentajes: 5, 10, 15, 20, 25, 50 y 100 %, determinando el efecto resultante sobre el color y la calidad del spagueti.

El efecto del tiempo de cocción también fué investigado.

### Retriturados.

Apartir de cinco muestras retrituras de cinco diferentes procesadores de pasta comerciales. Las muestras son identificadas por las letras A, B, C, D y E (tabla II.17). No se conoce una historia detallada acerca de cada una de las muestras pues representan principalmente el remezclado de productos de pasta que han sido procesados de 100% de sémola de trigo durum. La muestra F representa una muestra de espagueti que fue procesado en laboratorio de sémola y remezclados en un molino. Esta sémola y el espagueti representan las muestras de control.

### Mezclado

Las mezclas fueron preparadas revolviendo cada muestra retriturada con diferentes porcentajes de 5, 10, 15, 20, 25, 50, y 100% de muestra mas semola.

La distribución del tamaño de las partículas fue obtenida usando 100 gramos de muestra y agitándola durante 60 seg.

### Propiedades físico-químicas de los retrituras.

La distribución del tamaño de las partículas para cada muestra de retrituras se muestra en la tabla II.17. Los estándares de identidad para la sémola durum requieren que no permanezcan partículas mayores a un cernidor número U.S 20 y no más del 3% pasará a través del cernidor número U.S 100 (Walsh y gilles, 1974). El control y la muestra F cayeron dentro de estos límites estandarizados. En el exámen parece que los retrituras comerciales y los procesadores también usan molinos similares bajo diferentes condiciones de operación. Las muestras comerciales C tienen altos porcentajes de partículas gruesas arriba del cernido 20. Las muestras B y D tienen porcentajes

relativamente altos de harina (14 y 9% respectivamente) y la muestra E tiene 1% de partículas arriba del cernidor numero U.S. 20 y 5% que pasan atraves del cernidor numero U.S 100.

TABLA II.17 DISTRIBUCION DEL TAMANO DE PARTICULA EN RETRITURADOS.

TAMIZ U.S. No.	ABERTURA TAMIZ mm.	* DURAKOTA-- Semolina							
		RETRITURADOS*							
		A	B	C	D	E	F		
20	0.86	0	11	0	20	0	1	0	
40	0.38	24	67	37	47	29	60	24	
60	0.23	58	17	32	19	44	25	30	
80	0.18	10	2	12	6	13	6	15	
100	0.14	2	1	5	2	5	2	4	
b		2.5	2	14	6	9	5	1	

\*.-Valores en por ciento sobre su respectivo tamiz.

b.-Atraves de 100

El contenido proteínico de las muestras tenía en promedio un 12.5% e iba desde valores bajos de 12.1% para la muestra E a valores altos de 12.8% de la muestra C (Tabla II.18). Los niveles de ceniza eran en promedio de 0.66% e iban de los valores bajos de 0.58% para la muestra A a 0.70% para la muestra D. El gluten húmedo tenía en promedio un 30% e iba en los valores bajos de 24% para la muestra D a los valores altos de 38% para la muestra F. Aunque los niveles proteínicos listados en la tabla II.18 son normales para los productos comerciales de pasta, los niveles de gluten húmedo, con la excepción de la muestra F, son bastante bajos. Los niveles de gluten húmedo para la sémola durum que tiene niveles proteínicos indicados arriba de la generalidad irán de 36% a 44% sobre el promedio (Donnelly et al., 1975; Donnelly y Banasik, 1976, 1977, 1978). Los niveles mas bajos obtenidos aquí pueden reflejar alguna desnaturalización física del gluten del proceso de extrusión y/o del proceso de molido usado para triturar la pasta.

TABLA II.18 VALORES DE PROTEINA, CENIZAS, GLUTEN HUMEDO Y NUMEROS EN DESCENSO DE LOS RETRITURADOS

Muestra	Proteína (%)	Cenizas (%)	Gluten Hum.(%)	Puntos Farinog.	Numero Descend.
A	12.3	0.58	31	3	403
B	12.7	0.68	28	1	405
C	12.8	0.67	31	1	451
D	12.7	0.7	24	N.A.	340
E	12.1	0.65	30	2	364
F	12.4	0.67	38	2	469
Prom.	12.5	0.66	30		405

Todas las muestras tiene un gluten débil como se indicó en los bajos puntajes del farinógrafo. No fué posible obtener una curva para la muestra D debido a sus propiedades de mezclado extremadamente débiles.

Efecto del mezclado sobre el color del espagueti. El color del espagueti para el control fué de 8.0 indicando un producto ambar claro relativamente brillante (tabla II.19). La inspección de los datos de color obtenida de las mezclas, muestra que mezclar con porcentajes mayores del 15% no tiene efectos adversos sobre el color. Mezclando en el nivel de 20% se produjo una reducción en el color en las muestras b, c, y d de 8.0 a 7.5. Esto se puede deber a los niveles mas altos de harina presentados en la retrituration, causando una reducción en lo amarillento del espagueti en este nivel de mezclado.

Todas las muestras, a excepción de la F, muestran esta reducción en el color a un nivel de mezclado de 25%. El mezclado mas allá del 25% afectó adversamente el color del espagueti de todas las muestras.

**TABLA II.19 EFECTO DE LA MEZCLA DE RETRITURADOS CON SEMOLA SOBRE EL COLOR DEL SPAGUETTI**

Muestra	Puntos del color						
	5%	10%	15%	20%	25%	50%	100%
A	8.0	8.0	8.0	8.0	7.5	7.0	7.0
B	8.0	8.0	8.0	7.5	7.5	7.5	7.5
C	8.0	8.0	8.0	7.5	7.5	7.5	7.5
D	8.0	8.0	8.0	7.5	7.5	7.5	7.5
E	8.0	8.0	8.0	8.0	7.5	7.5	7.5
F	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	7.0	7.0
Prom.	8.0	8.0	8.0	7.8	7.6	7.3	7.3

**Efecto del mezclado sobre la calidad de cocción del espagueti.**

La calidad de cocción, como se indica por el peso de la cocción, la pérdida de cocción (sedimentos) y la firmeza de la cocción, fué determinada para cada una de las mezclas, usando el tiempo de cocción estandarizado de 15 min. Los datos del peso de la cocción son enlistados en la Tabla II.20. La inspección de los datos muestra que todas las muestras eran bastante similares en sus características de absorción de agua. El peso medio de la cocción para las muestras fué de 31.9 g. con una desviación estándar de 0.7g. (Tabla II.21) Obviamente el mezclado no afectó significativamente el peso de la cocción del espagueti. Los datos de la pérdida de cocción son enlistados en la Tabla II.22. Hay dos aspectos que son dignos de atención. El primero, que todas las mezclas en promedio tuvieron pérdidas de cocción mayores que el control. Segundo, conforme el grado de mezcla se incrementaba las pérdidas de cocción en promedio se incrementaban del 7.6% para la mezcla al 5% a 9.5% para los retriturdados al 100%. Con base en los resultados, el mezclado mas allá del nivel del 25% parecería producir , en promedio, pérdidas de cocción no

aceptables, pues los valores mayores del 9.0% son generalmente considerados como inaceptables.

TABLA II.20 EFECTO DE LA MEZCLA DE RETRITURADOS CON SEMOLA SOBRE EL PESO DEL SPAGUETTI COCINADO

Muestra	5%	Peso cocinado (gr.)					
		10%	15%	20%	25%	50%	100%
A	32	31.6	31.5	31.9	32.2	32.2	31.4
B	33.8	33.1	32.1	32.1	32.8	32.1	31.2
C	31.4	32.3	31.9	32.9	33.1	32	32
D	31.7	32.1	31.5	33	32.1	32	32.3
E	31.4	32.2	31.6	32.3	32	31.9	32.1
F	31.8	31.3	30.5	31	30.7	31.1	30.3
Prom.	32	32.1	31.5	32	32.2	32	31.6

Peso cocinado para proceso de spagueti de control: 31.9 gr.

TABLA II.21 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCION SOBRE LA CALIDAD DE COCCION DEL SPAGUETTI DE LOS RETRITURADOS

Tiempo Cocim. min.	Peso cocinado (gr.)				
	Alto	Bajo	Prom.	SD	Control
10	29.4	25.6	27.9	0.6	29
15	33.8	30	31.9	0.7	31.9
20	37.8	34.5	36.4	0.7	37.4
25	42.9	38	39.8	1	40.9

Los valores listados para cada periodo de cocimiento son para todas las mezclas.

TABLA II.22 EFECTO DE LA MEZCLA DE RETRITURADOS CON SEMOLINA SOBRE LA PERDIDA EN LA COCCION DEL SPAGUETTI

Muestra	5%	Perdida en el cocimiento, %					
		10%	15%	20%	25%	50%	100%
A	7.3	7.7	8.3	8.1	8.3	9.3	9.3
B	8	8.6	8.7	8.7	8.9	8.8	9.3
C	7.4	7.7	8.1	8.7	9	9.7	10.7
D	8.4	8.6	8.6	8.3	8.4	9	9.4
E	7.1	7.4	7.6	7.6	7.7	8.2	8.5
F	7.2	7.2	7.6	7.7	8.6	9.4	9.5
Prom.	7.6	7.9	8.2	8.2	8.5	9.1	9.5

Perdida de cocimiento para el proceso de spagueti de control: 7.1%

La firmeza de cocción, como la pérdida de cocción, también mostró tendencias en promedio indeseables conforme el grado de mezclado se incrementaba (Tabla II.23). Todas las mezclas en promedio fueron un poco más suaves que el control conforme el grado de mezclado se incrementaba hacia el 25% los productos se volvían progresivamente más suaves. Sin embargo aunque los productos cocidos sobre el promedio eran significativamente más bajos que el control en los niveles de mezclado mayores al 10%, todos los valores promedio estuvieron dentro de los límites aceptables de firmeza de cocción.

TABLA II.23 EFECTO DE LOS RETRITURADOS MEZCLADOS CON SEMOLA SOBRE LA FIRMEZA DE COCCION DEL SPAGUETTI

Muestra	Firmeza, g/cm.						
	5%	10%	15%	20%	25%	50%	100%
A	5.6	5.1	5.4	4.6	4.8	4.5	4.4
B	4.7	4	4.4	4.3	4.5	4.7	4.5
C	5.2	5.1	4.9	4.3	4.4	4.7	3.8
D	5.1	5.2	4.5	4.6	5	4.6	4.1
E	5	4.8	5	4.5	4.8	4.8	4.6
F	5	5	5.1	5.3	5.4	4.5	4.5
Prom.	5.1	4.9	4.9	4.6	4.8	4.6	4.3

Firmeza de cocimiento para procesar spaghetti de control: 5.3 g/cm.

Efecto del tiempo de cocción sobre la calidad de cocción del spaghetti.

Los tiempos de cocción variaron de 10 a 15, 20 y 25 minutos y el efecto sobre el peso del spaghetti cocinado, la pérdida de cocción y la firmeza de cocción fueron determinados. El peso promedio cocinado para todas las muestras mostró un incremento casi lineal con el tiempo de cocción de 27.9g a 10 min., a 39.8g a 25 min (Tabla II.21). Las desviaciones estándar fueron similares a 10, 15 y 20 min. y un poco más altas a 25 min. Ninguna de las

muestras fué significativamente diferente, en el promedio, de control. Los valores altos y bajos presentados en la tabla representan de cada muestra sus valores particulares.

El efecto del tiempo de cocción sobre la pérdida de cocción se muestra en la tabla II.24, aunque las pérdidas de cocción en promedio se incrementan con el tiempo de cocción, se incrementan a un promedio de 0.3% a 10 min. Las desviaciones estandar fueron 0.7% a 10, 20, y 25 min. y 0.5% a 15 min. Las pérdidas de cocción en el promedio fueron también mas altas que el control en cada tiempo de cocción, un efecto ya notado previamente en el tiempo estandar de cocción de 15 min.

TABLA II.24 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCION SOBRE LA CALIDAD DE COCCION DEL SPAGUETTI

Tiempo cocim. min.	Pérdida en cocimiento, %				
	alto	bajo	prom.	S.D.	control
10	8.2	5	6.3	0.7	6.1
15	10.7	7.1	8.4	0.5	7.1
20	11.3	7.5	9.1	0.7	8.4
25	11.7	8.2	9.7	0.7	9.4

Los valores listados para cada periodo de cocimiento son para todas las mezclas.

Conforme el tiempo de cocción era incrementado, la firmeza de cocción promedio decrecia de 5.5g /cm a 10 min a 3.5 g /cm a 20 y 25 min. (Tabla II.25). Las desviaciones estándar para todas las muestras a cada tiempo de cocción fueron bastante similares. La cocción mas allá de los 15 min. produjo puntajes de suavidad promedio de 4.0 y 3.5 g /cm a 20 y 25 min respectivamente. Ambos valores serian considerados muy suaves para la pasta cocinada de las dimensiones usadas en este estudio.

En general, las mezclas produjeron pasta cocida mas suave que el control a 10, 15 y 20 min de cocción.

TABLA II.25 EFECTO DEL TIEMPO DE COCCION SOBRE LA CALIDAD DE COCCION DEL SPAGUETTI DE LOS RETRITURADOS

Tiempo cocim. min.	Firmeza. g/cm				
	alto	bajo	prom.	S.D.	control
10	6.5	4.1	5.5	0.5	5.9
15	5.7	3.8	4.7	0.4	5.3
20	4.8	3.4	4	0.3	4.2
25	4.3	2.9	3.5	0.3	3.3

Los valores listados para cada periodo de cocimiento son para todas las mezclas.

#### ADHERENCIA DE LA SUPERFICIE O VISCOSIDAD DEL SPAGUETTI

De todos los factores principales en la calidad de cocido, la adherencia de la superficie o viscosidad del spaguetti cocinado, ha recibido la mínima atención por los investigadores. Donde algunos investigadores han demostrado que mientras el agua de cocción se vuelve mas dura (el CaCO<sub>3</sub> se incrementa) el spaguetti cocinado llega a ser adherente (Alary et al.,1979; D'Egidio et al.,1981; Menger,1980). Otros han reportado que el proceso del spaguetti bajo condiciones de secado a altas temperaturas puede en parte superar la adherencia del spaguetti cocido (Dexter et al.,1981; Manser,1981). La relación entre la adherencia y otros importantes factores de calidad en la cocción no han sido investigados.

La principal razón por la cual la adherencia del spaguetti ha recibido tan poca atención es que es difícil cuantificarla. Los páneces de sabor han sido usados para estimar la adherencia

del spagueti cocinado con algo de éxito. Sin embargo, las evaluaciones por los pánels de sabor consumen tiempo y requieren de muestras de gran tamaño. Estas desventajas limitan la esfera de las muestras que pueden ser estudiadas. Posiblemente la adherencia aparente de una muestra dada esta fuertemente influenciada por la cantidad de agua no absorbida asociada con el spagueti cocinado antes de desaguar, la cantidad de tiempo entre el desague, el cocinado y la humedad relativa del area de prueba.

Recientemente se adoptó el concepto general de Volsey et al.(1978) para desarrollar un procedimiento rápido y confiable para la medición instrumental de la adherencia del spagueti cocinado que requiere menos de 10 gr. por análisis (Dexter et al. 1983). Esto ha permitido extender las investigaciones previas a factores asociados con la adherencia del spagueti cocinado. [10].

#### Daño en la germinación

Una semola mal germinada (pico en el AMYLOGRAFO de viscosidad en menos de 20 unidades de Brabender ) fue procesada bajo condiciones de secado HT y LT y la calidad de coccion fue evaluada en el agua de grifo y en el agua deionizada. El contenido de proteínas de la semola germinada fue de 12.5%, similar al contenido de proteínas promedio de las muestras de cultivos con bajas proteínas. Una comparación de la cualidad de cocción de la muestra germinada con las muestras de cultivos con bajas proteínas falló en la demostración de la existencia de efectos que actuen en la adherencia o cualquier otro factor de la calidad de cocción.

El efecto del daño en la germinación en la adherencia del espagueti, no ha sido investigada previamente. Dick et al. (1974) y Donnelly (1980) bajo las condiciones LT, concluyeron que el peso del espagueti cocinado, la pérdida de cocción y la firmeza no estaban relacionados con el daño en la germinación. En contraste, Maier (1980) afirmó que los niveles relativamente bajos del daño en la germinación pueden afectar adversamente a la firmeza.

Matsuo et al. (1982b) recientemente atribuyó la variabilidad del efecto del daño en la germinación sobre la calidad del espagueti notada en los estudios pasados en la variabilidad en la retención de ALPHA-AMYLASE durante la trituration de la sémola. Ellos encontraron que bajo las condiciones de proceso LT, la firmeza era adversamente afectada por algunas muestras de sémola con una actividad de AMYLASE excepcionalmente alta. Sin embargo, señalaron que bajo las condiciones de HT ocurre una significativa desnaturalización de la AMYLASE (Dexter et al, 1981a, b) haciendo probable que los efectos del daño en la germinación, bajo las condiciones HT, fueran mucho mas reducidos. De hecho, bajo las condiciones de HT el espagueti procesado de la sémola germinada contenia niveles de maltosa comparables al espagueti procesado de dicha sémola (Dexter et al., 1981a, b). El pico de viscosidad tan bajo del AMYLOGRAFO de la muestra germinada usada en este estudio, consistía en una actividad muy alta de ALPHA-AMYLASE. De este modo, la probabilidad es que en casos extremos, el daño en la germinación tenga poco efecto sobre la calidad de cocción del espagueti.

### Granulación de la sémola

Los resultados de algunos estudios, en general, parecen congruentes con la información limitada actualmente disponible sobre los efectos de la granulación de la sémola. Por ejemplo, Seyam et al. (1974) encontraron que bajo las condiciones de procesamiento, las condiciones de la granulación de la sémola no influenciaban el peso de cocción y tenían solamente efectos marginales sobre la firmeza. Observaron un incremento en la pérdida de cocción conforme la granulación iba siendo mas fina; un resultado confirmado mas tarde por Breen et al. (1977).

La tendencia mas consistente observada en este estudio fue la tendencia para la adherencia a incrementarse mientras el contenido de harina se incrementaba. Otros estudios han confirmado otras tendencias significativas entre las muestras, pero aparte de una tendencia en el incremento de la pérdida de cocción con el incremento del contenido de harina, la mayoría de los cambios no fueron lo suficientemente grandes para ser de gran incumbencia en la práctica.

La influencia de la granulación en la pérdida de cocción fue particularmente interesante por la fuerte interacción con la temperatura de secado. En el agua de grifo y el agua deionizada el espagueti LT exhibió una relación casi lineal entre la pérdida en la cocción y el contenido de harina. Esto fue anticipado por el incremento en el daño del almidón con el incremento del contenido de harina. Cuando se procesó bajo las condiciones HT, el efecto del contenido de harina sobre la pérdida en la cocción fue drásticamente reducida. La razón para ese fuerte efecto del secado HT sobre la pérdida en la cocción,

no esta clara. Previamente se mostró que bajo las condiciones de HT las propiedades de gelatinización del almidón no eran modificadas comparadas con las condiciones LT (Dexter et al., 1981a, b). Sin embargo la desnaturalización de la proteína fue mucho mas grande bajo las condiciones HT. Hay la posibilidad de que durante el secado a HT, la película de la proteína sobre la superficie del espagueti sea endurecida conduciendo esto a la resistencia a la desintegración de las hebras. Esta posibilidad gana algún soporte debido a la tendencia de recuperación la cual esta muy fuertemente influenciada por la fuerza del gluten (Matsuo et al., 1982a) a mejorar mas bajo condiciones de HT que en los otros factores de calidad en la cocción.

El efecto del agua de cocción sobre los factores de calidad de la cocción para las diferentes mezclas de harina de sémola consistió en general, que la adherencia, el grado de esponjamiento y el peso de cocción, disminuyeron significativamente en el agua deionizada con relación al agua de grifo. Esta bien establecido que las diferencias en la firmeza y la recuperación de espagueti cocinado entre los cultivos de trigo durum pueden estar ampliamente relacionados con la fuerza del gluten (Dexter et al., 1980' Matsuo et al., 1982b' Quick et al., 1979; 1980). Existe la posibilidad de que la fuerza del gluten pueda estar asociada también con la adherencia del espagueti cocinado.

## CAPITULO III

### PROCESO DE ELABORACION Y DESARROLLO TECNOLOGICO.

#### I.- DESARROLLO DE LAS DIFERENTES TECNOLOGIAS DE SECADO.

La diferentes tecnologías de secado que se han desarrollado desde los primeros procesos manuales de secado de pasta hasta los modernos secadores que existen en la actualidad, se clasifican de la siguiente manera:

- A).- Secadores convencionales
- B).- Secado a alta temperatura
- C).- Secado a muy alta temperatura

La diferencia básica entre una y otra tecnología es el rango de temperatura que manejan los diferentes secadores y el tiempo de secado.

A continuación se realiza una descripción general de las teorías y conclusiones que fueron desarrolladas a través de la historia conforme a los avances tecnológicos.

#### A).- Secadores Convencionales

Por falta de conocimientos, los europeos se llevaron 20 años aproximadamente en desarrollar la ciencia necesaria, pero la experiencia fue decisiva para llevar a cabo el secado ya que se tomaban en cuenta las condiciones atmosféricas; así por ejemplo se llegaba a secar el macarrón en el techo de las casas. La ciudad de Napoles tiene una brisa de mar casi con la humedad relativa adecuada para el secado de la pasta.

En 1945 el proceso mas comun para secar pastas era el uso de un presecado continuo con una sección de sudado de secadores finales por lote. En el presecado tradicional las pastas largas se secan durante aproximadamente dos horas en los dos pisos

inferiores. La operación correcta de este secador es de gran importancia para prevenir la formación de manchas blancas dentro del cuerpo del spagueti, para evitar tensión en los secadores finales y para disminuir el tiempo de secado en ellos. El funcionamiento de estos secadores se puede mejorar aplicando controles y reguladores que dirijan el flujo de aire hacia abajo a través de la pasta de una manera mas uniforme. Los presecadores comerciales llevan a cabo el secado en mas de un piso, usando los dos pisos superiores para sudado y el inferior para secado; otros usan el superior para secado, el segundo para sudado y el tercero para secado. Un presecador estandar con buenos controles y buena circulación de aire podía reducir el contenido de humedad de un spagueti al vacio hasta cerca del 24%. Los secadores con dos pisos usados para secar pueden reducir la humedad a 22% o menos, lo que ayudaba mucho a los secadores finales. Es importante que no haya fugas de aire seco hacia las secciones de sudado, ya que éstas causan sobresecado y manchas blancas. Básicamente existian tres tipos de secadores finales de uso común en la industria de pastas. El mas viejo es el secador con un ventilador grande o varios ventiladores en un extremo de la cámara. que empujan aire a través de la pasta y lo regresan sobre el techo falso. Normalmente éste no era reversible. La parte trasera de este tipo de secadores, seca mas lentamente que la parte frontal, debido a que el aire se satura al pasar en las cargas que estan en la parte frontal de la cámara y pierde su poder de secado. Otro tipo de secadores tenian varios ventiladores repartidos en la parte superior central de la cámara. Estos ventiladores son

reversibles. En algunos casos había dos divisiones con ventiladores que reparten el aire uno hacia otro o en direcciones opuestas dependiendo de la dirección de rotación, de tal forma que esencialmente se tienen dos secadores pequeños espalda con espalda. Este diseño era efectivo porque era posible secar con aire de humedad relativa mas baja sin que la pasta se estrellara. Esto era posible porque la reversión regular de los ventiladores hace que la pasta que se encuentra en los dos extremos de la cámara se seque y sude alternativamente durante las etapas iniciales del secado. El centro de la cámara, directamente abajo de los ventiladores y cerca del piso se seca mas lentamente y normalmente cualquier tipo de estrellamiento que ocurra en este tipo de cámara será mas severo cerca del piso directamente abajo de los ventiladores. El estrellamiento en este punto ocurre debido a que el secado es mas retardado y la pasta es golpeada por aire con una humedad relativa mas baja antes de haber sido secada lo suficiente como para soportarlo. Este problema se podía resolver disminuyendo la velocidad de secado a la mitad del programa de secado. Las pruebas experimentales de secado en un secador pequeño demostraron que básicamente un spagueti con un diámetro de 0.067" podía secarse en 7 horas 30 min. incluyendo el presecado, el sudado, el secado final y el periodo de enfriamiento, dando un producto libre de estrellamiento y de muy buen color. El tiempo de secado para pastas de 0.145" de diámetro exterior, 0.080" de diámetro interior y 0.0325" de grosor de pared, fué de 10 horas 30 min.. Este programa de secado no se pudo aplicar directamente en secadores por lotes debido a los retrasos de tiempo involucrados. Sin embargo, se obtuvieron

buenos resultados al tratar de acelerar el secado en los secadores conteniendo 7500 lbs. de spaguetti con un diámetro de 0.072". Se secaba normalmente en un periodo de 18 horas despues de un presecado estandar. El programa de secado rápido pudo ser mas efectivo en un secador continuo, ya que tiene la ventaja de que cada porción es tratada de la misma manera y no hay retrasos de tiempo como en el caso de los secadores.

B).- Secador a alta temperatura

Actualmente a nivel mundial existen tres grandes empresas fabricantes de equipos para producción de pasta:

A.- Buhler - Miag Inc. (Suiza)

B.- Brainbanti & C.S.p.A. (Milano, Italia)

C.- Pavan S.P.A. (Galliera, Italia)

En 1950, ingenieros en el laboratorio de Buhler inc. [12] desarrollo-llaron una tesis con diferentes productos y determinaron una correlación especifica entre temperatura de secado y tiempo de secado. La misma tesis revelo importantes hechos en relación al estrellamiento del producto final debido al esfuerzo interno de la estructura durante el proceso de secado.

La primera línea de secado a altas temperaturas fue desarrollada como un resultado de esta información y desarrollada en la planta de la compañía alemana. Sin embargo la industria en general no esta lista para aceptar esta nueva tecnología.

En el año de 1960, el control bacteriano durante la manufactura de procesos empezó a darsele importancia. Las primeras líneas de pasta corta fueron construidas utilizando elevadas temperaturas, especialmente en la etapa de presecado.

Adicionalmente los beneficios de la nueva técnica de secado

pueden ahora ser realizados.

Estos beneficios son tiempos, costos de secado y secadores mas compactos, ademas de dar una capacidad de supervisión sencilla y menor mantenimiento.

Los fabricantes de máquinas financiados por productores, empiezan a desarrollar una nueva tecnologia de secado la cual lentamente es aceptada, especialmente en procesos de grandes plantas. Se construyeron nuevas líneas de pasta corta y larga a alta temperatura, las cuales hasta ahora han estado en operación por varios años. Respecto a los cambios en el producto final y sus resultados, muchas preguntas se mantienen y necesitan ser contestadas.

Sin embargo hay dos puntos importantes de discusión; mejoramiento o cambio en: (1) color y (2) calidad de cocimiento.

#### COLOR DE PRODUCTO

Los efectos de la reacción de Maillard han sido conocidos por años, el color amarillo de un producto duro se tornará levemente anaranjado o café si el producto es expuesto a secado a altas temperaturas. Sin embargo, el obscurecimiento es notable en temperaturas de mas de 160°F (70°C aprox.) para productos de huevo y mas de 180 - 190°F (80-88°C) para productos de agua. Sin embargo cuando se mezclan diferentes materiales, un ligero cambio en color (obscurecimiento) puede ser conveniente.

En adición al obscurecimiento negativo se debe tambien realizar una prueba de efectos. Los productos tienen una tendencia hacia un efecto agrio si es decolorado y los productos de huevo particularmente no deben ser secados arriba de 155°F

(68°C). Otro punto que debe considerarse es la leve disminución de la digestibilidad de la proteína de la pasta en el secado de pasta a alta temperatura.

Mr. B. Laignelet, Montpellier/France, en 1976 reportó el problema de la alta temperatura y la resultante destrucción de la lisina. La siguiente tabla muestra estos cambios:

Perdida de lisina debido a la reacción de Maillard durante el proceso de secado

Condiciones de secado		Lisina destruida	Pérdida Nutricional
Temp(°C)	Tiempo(hr)	( % )	( % )
60	10	7	28
70	7	7	29
80	6	12	47

Cada producto de trigo contiene solamente poca cantidad de lisina (mas de la cual se adiciona a la pasta con elementos como el queso, carne, etc.). Se cree que no debe darse mucho énfasis a este tema. La excepción es para productos de pasta con huevo donde se recomienda una temperatura de secado máxima de 155°F.

**CALIDAD DE COCIMIENTO**

Los fabricantes de equipos han comprobado que hay un ligero cambio en las características de cocimiento o calidad de la pasta en productos expuestos a secado a altas temperaturas. Un producto de alta calidad, puede resultar de estas altas temperaturas en la etapa final. Los beneficios de la alta temperatura son para pasta corta y larga. Los beneficios son, mas firmeza y menos viscosidad en el producto, especialmente si los materiales estan mezclados con trigo blando o si se utiliza 100% trigo blando.

Los productos de pasta expuestos a altas temperaturas en las condiciones de secado, tienen una tendencia plástica.

Por que éste cambio en el comportamiento del cocimiento?. El

Dr. R. Cueno puntualizó durante un seminario en Detmold 1974, que este cambio es un resultado de la gelatinización del almidón en el proceso de secado. Cada gelatinización del almidón depende mucho del contenido de humedad. Los fabricantes asumen que el efecto de la gelatinización ocurre durante la etapa de presecado. El aumento inicial en la calidad de cocimiento debe ser notable en este punto. B. Laignelet encontró en pruebas realizadas al respecto, que la calidad de cocimiento a alta temperatura en el presecado de la pasta es reducido y un incremento en viscosidad puede ser observado.

El secado final a elevadas temperaturas mejorará las características del producto. Sin embargo las temperaturas arriba de 90°C son inadecuadas para la gelatinización del almidón en un producto con una máxima humedad de 20%. Las pruebas de laboratorio realizadas con técnica al microscopio, indican no gelatinización en la producción de pasta en secadores de alta temperatura. Mediciones de gelatinización de almidón arrojan los siguientes resultados:

-----		Maltosa (mg/g )
7 hr	60°C	62
12 hr	60°C	64
21 hr	65°C	66
7 hr	75°C	64
12 hr	75°C	62
Producto final secado en equipos con temperatura superior a 85°C		66

Estos resultados son buenos y se encuentran dentro de los límites aceptables, los cuales indican claramente la no gelatini-

zación.

El cambio de la calidad puede explicarse debido a un reforzamiento de la estructura del gluten por la influencia del tiempo de calor. La comprobación de esta teoría se verifica por los resultados de las pruebas de cocimiento con amasado desnaturalizado extruido a alta temperatura en un extrusor en el cual el fortalecimiento del gluten fué dañado.

A pesar del secado a alta temperatura, el producto final fué viscoso. Es de suma importancia producir una primera calidad en un extrusor con un gluten compacto y fuerte.

En la industria pastera, la expresión secado a alta temperatura se usa hoy para las siguientes condiciones:

- a.- Control bacteriano durante el proceso de secado.
- b.- Cambio en la calidad de cocimiento al producto final.
- c.- Cambio de color del producto final.

El proceso a altas temperaturas (HT) se introduce por G. Pavan hace muchos años para procesamiento de pasta. En la actualidad, las industrias pueden contar con estos metodos de producción de pasta por sus mejoras nutricionales, propiedades orgánicas e higiénicas tanto como las ventajas económicas y de producción del sistema.

La mayor diferencia entre la tecnología Pavan y otras tecnologías de secado a altas temperaturas es concentrada en la aplicación de altas temperaturas en la fase inicial del proceso de secado [13]. La mayor ventaja de esta técnica es como sigue:

- 1.- La corta duración HT para evitar la considerable reducción de los efectos de la reacción de Maillard.
- 2.- La alta humedad relativa del medio ambiente, con la alta

temperatura se aplicó para producir: un proceso de insolubilización de las proteínas y formen un compacto entrelazado. Este entrelazado en estas condiciones es insoluble en las soluciones acuosas salinas; los gránulos de almidón son atrapados de esta forma y la actividad enzimática en las mismas condiciones es detenida o reducida durante la primer fase del proceso de secado.

3.- El alto contenido de humedad de la pasta, mientras se aplica la temperatura mas alta de procesamiento (cerca de 70°C en el rototermo) permite:

- Un comportamiento plástico del producto que ayuda a fijar la estructura del compacto entrelazado.

- Una efectiva destrucción de microorganismos.

#### DESCENSO DE LA HUMEDAD

La humedad del producto va desde cerca de 30% en la salida del troquel hasta cerca de 12.5% prescrito por las leyes italianas. En el paso de presecado, la humedad desciende desde 30% hasta 17%, siguiendo un comportamiento lineal. En este paso la temperatura esta en su punto mas alto. El final del diagrama (Fig.III.1) corresponde al proceso de estabilización del producto con temperaturas decrecientes.

Se debe notar (Tabla III.1) que las temperaturas máximas en el primer piso es hasta 65°C, así es como se permite la pasteurización final del producto. Sin embargo no es tan alta como para causar daños serios a las características nutricionales. La humedad relativa del medio ambiente es de 85%. El secado final se muestra en el diagrama desde el primero y segundo pisos (en el diseño de los equipos de secado, el problema

de espacio se ha resuelto creando túneles de secado de varios pisos y, mediante un sistema de elevadores, transportar la pasta de piso a piso), donde por medio de fases alternadas de secado y temperatura, se permite una eliminación segura de la humedad sobrante.

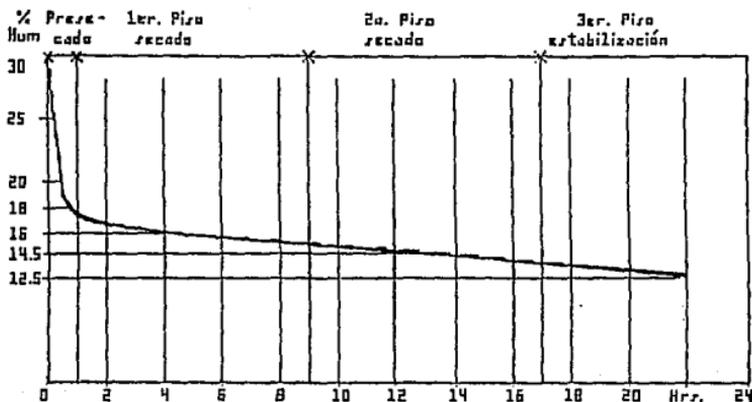


Fig. III.1 Diagrama de secado para pasta larga vs humedad del producto (%)

TABLA III.1 CICLOS DE SECADO

FIGURA	ANASADO PRESECADO			PRESECADO			ROTOTERMO			SECADO FINAL		
	TEMP. MAX. (°C)	HUM. REL. MAX. (%)	TIEMPO (MIN)	TEMP. MAX. (°C)	HUM. REL. MAX. (%)	TIEMPO (MIN)	TEMP. MAX. (°C)	HUM. REL. MAX. (%)	TIEMPO (MIN)	TEMP. MAX. (°C)	HUM. REL. MAX. (%)	TIEMPO (MIN)
VERMICELLI	75	n.c.	3	90	70	35	/	/	/	58	85	450
TALLARIN	80	n.c.	4	84	80	33	/	/	/	68	81	450
SPAGUETTI	/	/	/	86	87	50	72	85	10	65	86	600
MACARRON	/	/	/	70	74	50	70	80	10	65	86	600

n.c. = no controlado

La estabilización final, termina casi a las 8 horas, asegurando un producto fuerte y flexible para empacarse inmediatamente. Los procesos de alta temperatura, alcanzan eficientemente sus propósitos para los cortes largos de pasta, y también de secado de pastas cortas.

Durante la primera hora, hay un rápido decrecimiento lineal de humedad y mas lento en la parte final; las ventajas en condiciones de operación del secado HT son las siguientes:

- 1.- Un proceso de duración corta.
- 2.- Una alta humedad del medio ambiente
- 3.- Una alta humedad de la pasta (alto contenido de humedad de la pasta)
- 4.- Un tratamiento con alta temperatura

Con un tratamiento de HT en intervalos cortos. En una hora, el producto desciende de 30% a 17% de contenido de humedad. Las ventajas organolépticas e higiénicas ofrecidas en cortes de pasta larga son también encontradas en cortes de pasta corta. El proceso de secado es realizado en el primer piso a temperatura y humedades altas, para permitir la pasteurización final del

producto. Sin embargo, los efectos no favorables de las características nutricionales del producto también se eliminan. Los pasos de secado y temperación (etapa de control de humedad relativa por medio de extractores) se alternan para permitir la eliminación homogénea del sobrante del contenido de humedad. La estabilización que se alcanza en la capa superior se efectúa en el tercer piso, asegurando un producto que se puede empacar inmediatamente.

Se pueden obtener algunas conclusiones de lo reportado. Los procesos de secado de pastas a altas temperaturas ofrecen las siguientes ventajas:

1.- Desde el punto de vista del costo del proceso:

- Economía del túnel requerido
- Reducción del tiempo de proceso
- Optimización de energía

2.- Desde el punto de vista de calidad gastronómica:

- Mayor consistencia en el cocimiento
- Mayor firmeza del producto

3.- Desde el punto de vista de calidad microbiológica:

- Se alcanza mayor pasteurización del producto
- Se eliminan los peligros hacia la salud del consumidor

Los procesos de alta temperatura ofrecen la ventaja de encontrar perfectamente las condiciones de operación que se han hecho hasta ahora garantizando la mejor calidad del producto.

Los nuevos procesos de secado a alta temperatura debe reunir los siguientes criterios:

a.- Los procesos deben perfeccionar las condiciones de

control de tiempo, temperatura y humedad, resultando un mejoramiento de la calidad del producto.

b.- Los nuevos procesos deben prevenir los aspectos negativos de la alta temperatura, como primera instancia, la declinación de la calidad biológica de proteína debido al bloqueo de los aminoácidos esenciales, particularmente la lisina.

El secado a alta temperatura es considerablemente mejor. Esto ha sido afirmado no solo por Brainbati sino también por investigadores de laboratorios de universidades prestigiadas. La producción de pasta secada a alta temperatura, ha disminuido el estrellamiento, mejora la calidad de cocimiento y el color, comparada con pasta con el mismo espesor, misma materia prima y procesado en un secador convencional. Se puede concluir que es posible obtener buena calidad de pasta con sémola que tiene gluten débil.

Durante la investigación del problema de estrellamiento de pasta, particularmente con el microscopio electrónico, se detectó que debido a la absorción de agua, los gránulos de almidón se hinchan y ocurre la gelatinización durante el cocimiento.

Si el retículo de la proteína no es suficientemente tenaz (como es en el gluten por baja calidad de sémola) el hinchamiento del almidón romperá la estructura proteínica, dispersando el almidón en la fase de agua, proceso que se llama batido.

En el secado a alta temperatura, la pasta permanece en un ambiente de alta temperatura por un período de tiempo relativamente largo, resultando una coagulación parcial del gluten, como un proceso de cocimiento de huevos fritos.

Durante el proceso de cocimiento de la pasta en líneas de alta temperatura, no exhibe estrellamiento, sino el batido dado por la gelatinización del almidón que es firmemente soportado por la estructura proteínica.

Sobre esto se puede ilustrar examinando la sémola eliminando el almidón, sin cocerse y la pasta ya cocida en secadores convencionales y secadores a altas temperaturas bajo un microscopio electrónico.

La duración del tratamiento a alta temperatura es importante. El tratamiento de alta temperatura por un periodo corto de tiempo no induce la transformación antes mencionada y por el otro lado, en el tratamiento por periodos largos, resultan fenómenos negativos como la reducción del color de la pasta causada por una reacción de oscurecimiento de tipo Maillard.

Es interesante notar que durante el secado a alta temperatura, la velocidad de evaporación de agua de la pasta, aumenta notablemente sin peligro de estrellamiento.

Es una línea de alta temperatura para pasta corta el tiempo de secado es aproximadamente 5 a 6 horas, similarmente el tiempo de secado para spaghetti es aproximadamente de 11 a 12 horas.

La reducción en el tiempo de secado cuando se compara con el de secadores convencionales ofrece varias ventajas como la posibilidad de producir por un corto periodo de tiempo y además requiere menos espacio para el secado.

De acuerdo a varios estudios, la Salmonela y los Stafilococos son eliminados a 60°C (140°F). Estos pueden ser fácilmente eliminados por tratamiento de pasta a 70°C.

Con este proceso se ha observado que la cuenta bacteriana total durante el proceso esta dentro de niveles aceptables, y despues de un mes de empackado el producto, la cuenta se reduce a cero.

Estos resultados son de gran valor, debido al hecho de que los ejemplos donde despues de 4 a 5 dias de continua produccion, que es cuando la formacion de "nidos" de infeccion puede ser importantes, no existen, resulta mejor si la materia prima esta microbiologicamente limpia.

Algunos estudios quieren reportan entre los efectos de la tecnica del secado a alta temperatura, donde las altas temperaturas son aplicadas en el inicio de la fase de secado y otras son solamente aplicadas al final de la fase de secado.

El secado a altas temperaturas aplicado directamente al inicio de la fase de presecado representa mayor confianza para los pasteros en México, por la experiencia y reporte de otros autores.

#### C).- Secador a muy alta temperatura

En los últimos años la evolución de la tecnología en el secado de pastas [19] ha tomado un nuevo significado, con el incremento en la temperatura de secado de 70-80°C a 100°C.

Es tambien interesante comparar el diagrama de secado presentado al final de 1980 con los diagramas actuales, donde hay una drástica reducción de tiempo.

Las razones de la evolución tecnológica y la subsecuente decisión de producir pasta a muy alta temperatura son:

- Alta calidad en producto final con la misma materia prima
- Reducción de costos de operación

Otros elementos importantes en la evolución tecnológica en la producción de pasta son los controles electrónicos en el proceso de secado (computarizado).

THT: CALIDAD DEL PRODUCTO

Los diagramas de secado para pasta corta y larga con aplicación de alta temperatura en la etapa de presecado estan representados en los diagramas (Fig.III.2,III.3,III.4,III.5).

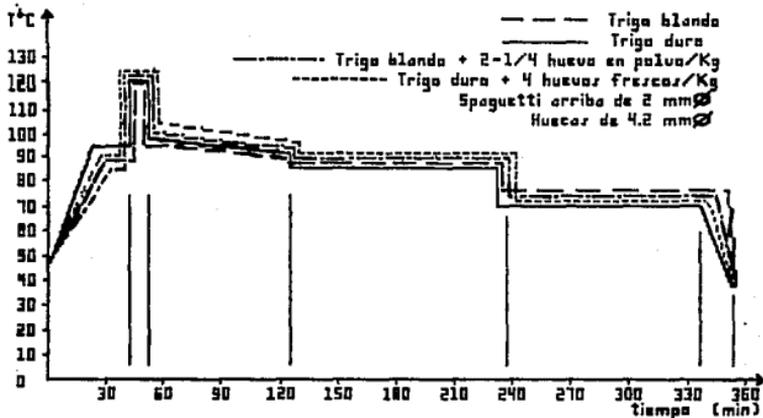


Fig.III.2 Diagrama de temperatura de secado con tecnología THT para línea de producción de pasta larga, con una producción de 850 Kg/Hr.

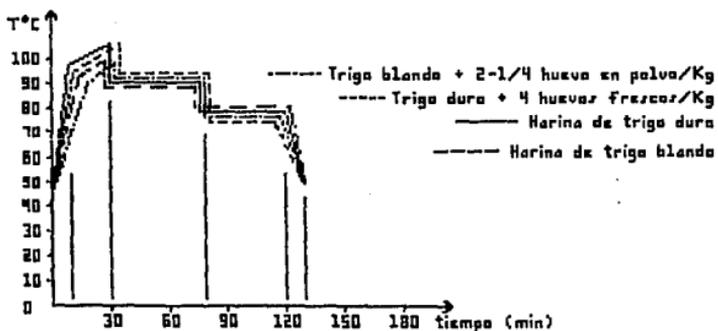


Fig. III.3 Diagrama de temperatura de secado con tecnología THT para línea de producción de pasta corta, con una producción de 750 Kg/Hr.

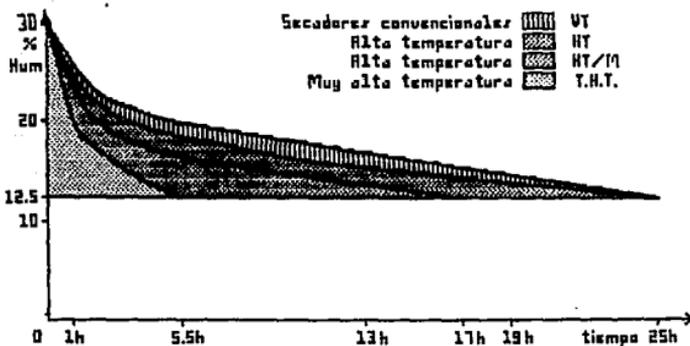


Fig. III.4 Línea de pasta larga. Comparación de diagramas de secado: Humedad de producto vs Tiempo de secado.

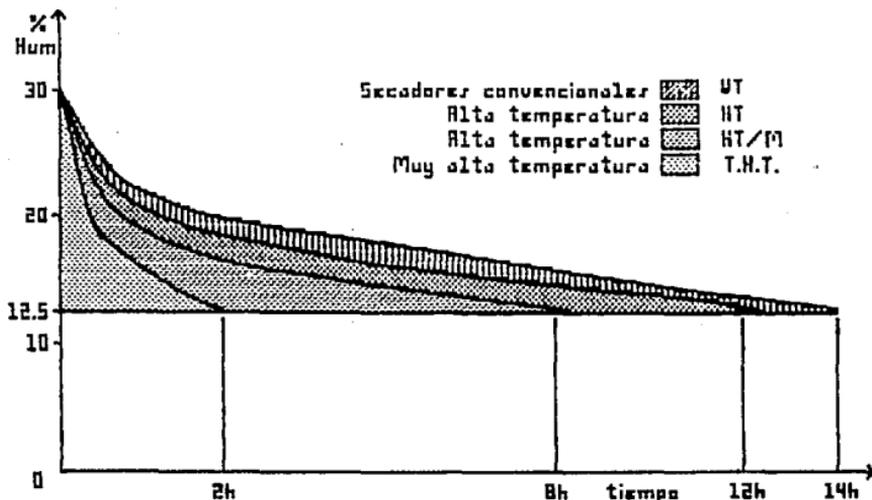


Fig. III.5 Línea de pasta corta. Comparación de diagramas de secado: Humedad del producto vs Tiempo de secado.

La ventaja del diagrama de secado es que puede aplicarse a pasta hecha de sémola de trigo duro, blando o pasta con huevo, sin reducción en la capacidad de producción y obtener resultados para todo tipo de pasta, solo con ligeros cambios en los parámetros en la etapa de presecado.

Hay notable mejoramiento en la calidad del producto como muestra la tabla III.2.

TABLA III.2

Elementos de evaluación	Resultados
Color	Mejorado
Análisis microbiológico	Negativo
Actividad enzimática	Negativo
Consistencia	Mejorada
Espesor	Reducido

Los resultados coinciden con los resultados aportados por otros investigadores. Dexter y Matsuo encontraron que la actividad enzimática se reduce a cero y la pigmentación natural se preserva.

Pagani, Resmini, Fiorino y Dalbon encontraron que no hay diferencias sustanciales en el grado de gelatinización después del tratamiento a muy alta temperatura, por lo que se puede obtener pasta con huevo libre de elementos patógenos.

La confirmación de la opinión de los investigadores y los veinte años de experiencia, se ha observado un mejoramiento en la calidad de la pasta en la fase de cocimiento como se observa en la tabla III.3.

TABLA III.3 COMPARACION EN PRUEBAS DE COCIMIENTO ENTRE THT Y HT

	PARAMETROS	PASTA	LARGA	PASTA	CORTA	PASTA	HUEVO
		T.H.T.	H.T.	T.H.T.	H.T.	T.H.T.	H.T.
PASTA SIN COCER	COLOR	AMARILLO	AMARILLO	AMARILLO	AMARILLO	AMARILLO	AMARILLO
	APARIENCIA	PAJA BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA	BUENA
PASTA COCIDA	% INCR. PESO	154	170	117	125	120	123
	% INCR. VOL.	195	215	157	164	168	168
	COLOR	AMARILLO	AMARILLO	AM.BRILL	AM.BRILL	AM.BRILL	AM.BRILL
	SEDIMENTOS	9	9	5	7	9	11
	OLOR	BUENA	BUENA	BUENA	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR
	PEGAJOSIDAD	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR
	FIRMEZA	BUENA	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR
ELASTICIDAD	BUENA	ESTANDAR	ESTANDAR	ESTANDAR	ALTA	ALTA	
APARIENCIA	BUENA	ESTANDAR	BUENA	BUENA	BUENA	ESTANDAR	

## THT- CONSIDERACIONES ECONOMICAS

Para realizar diferentes diagramas de secado, se deben considerar las características de ingeniería de planta.

Las líneas de THT ocupan menos espacio y se construyen con mejor calidad de material, los balances térmicos son comparables a las líneas de HT y mejoramiento para sanidad y limpieza.

Examinando la metamorfosis de la cual la estructura de las líneas de proceso ha tomado a partir de 1950, hasta ahora con sistemas de THT (Fig. III.6 y III.7).

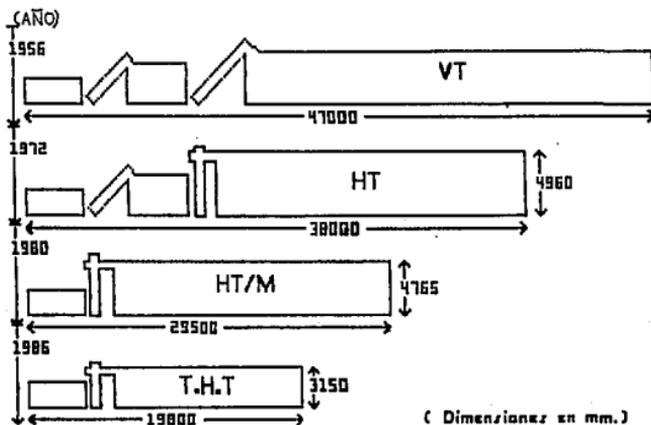


Fig.III.6 Comparación en longitud de líneas de pasta corta con diferentes tecnologías referido a 1000 Kg/Hr.

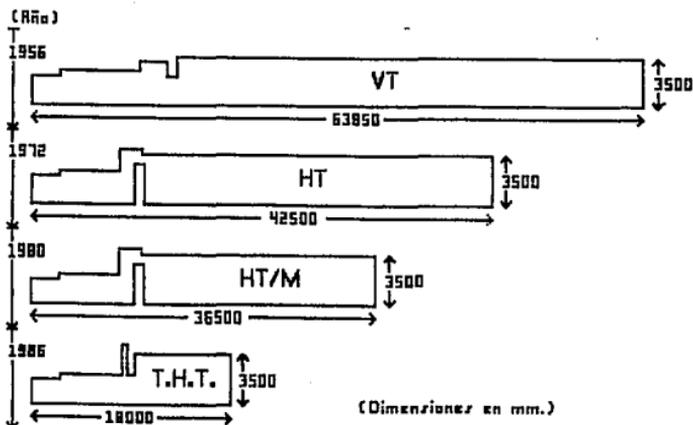


Fig.III.7 Comparación en longitud de líneas de pasta larga con diferentes tecnologías referido a 1000 Kg/Hr.

Considerando el incremento en capacidad obtenido con THT en pasta corta comparados con líneas fabricadas anteriormente con la misma capacidad, el incremento en producción se debe a la disminución de espacio, limpieza y costos de mantenimiento. Además de la utilización de ordenadores electrónicos.

- Confiabilidad
- Precisión en la operación
- Precisión en el diagrama
- Durabilidad

#### THT- INOVACIONES TECNICAS

Hemos visto que los diagramas de secado para pasta larga y corta se mantienen en zonas donde la temperatura no excede los 100°C.

El propósito de la tecnología Pavan es mejorar lo siguiente:

- Calidad en el producto terminado
- Reducción en el tiempo de secado
- Confiabilidad en los materiales.

Lo mas importante en prioridad es:

- Materiales de construcción y unidades de movimiento.
- La adopción de nuevos sistemas de sellado dentro de los secadores para muy alta temperatura y humedad.
- Adopción de nuevos materiales y eliminar las pérdidas térmicas.
- Creación de sistemas de control para calor y humedad y mejorar una regulación mas homogénea.

Cada innovación no ha modificado la tecnología estándar de mantener los secadores subdivididos y separados, donde en cada una de las áreas la ventilación forzada alterna con sus áreas.

Especial atención debe darse a la aplicación de minicomputadoras para entender y controlar mejor los procesos de producción.

La reducción de tiempo de secado conduce a:

- Una fuerte reducción de posibles errores especialmente cuando se planea salirse del diagrama de secado.
- Una drástica reducción del tiempo disponible para corregir errores.
- Una gran necesidad de familiarizarse con la técnica y tecnología de cada uno de los fenómenos ocurridos en cada etapa para recordar y controlar.

Los sistemas computarizados pueden memorizar los mejores

diagramas de procesos para los diferentes tipos de pastas y flujo de materiales, aplicar el control en variables críticas y señalar inmediatamente posibles irregularidades.

A través del control remoto en un monitor se registran y memorizan las fases de control y poder intervenir a través de una PC.

#### THT-INOVACIONES TECNOLOGICAS

Recientemente se fabricó la primera línea de 1000 kg/hr, llamada Rotalinox, para pasta larga y la Rolls-inox, para pasta corta. Las soluciones de ingeniería a los requerimientos tecnológicos se señalan a continuación:

REQUERIMIENTO TECNOLOGICO	SOLUCION DE INGENIERIA
<b>Presecado</b>	
1. Una apropiada y buena distribución de la hidratación.	Sistema Turbo Spray
2. Contraste de la acción enzimática, mucho mas favorecida por las condiciones en la amasadora.	Tanque Vacuum
3. Formación de la proteína matriz por la compresión progresiva sin rompimiento.	Tornillo de compresión a corte mínimo
4. Alta presión pero mínima fricción a la salida del molde.	Moldes de teflón
<b>Secado</b>	
5. Fortaleza en la red de proteína	Diagrama T.H.T.
6. Estabilidad de los componentes del almidón ante la interrupción inmediata del proceso enzimático y por las fases de transición de la cristalización.	T.H.T. en presecado y estabilización incrementando temperatura
7. Color natural de la pasta preservado cuando la lipoxidasa cese su actividad.	T.H.T. en presecado

- |   |  |
|---|--|
| 8. Preservación del contenido de la lisina disponible.                                | T.H.T. en presecado                                    |
| 9. Toda actividad microbiológica en pasta con huevo sea destruida inmediatamente.     | T.H.T. en presecado                                    |
| 10. Reducción dimencional, mejoramiento sanitario, economía en el consumo de energía. | Diagrama T.H.T. - Estudio de mas materiales apropiados |
- 

El diseño de la amasadora y el sinfin ofrecen condiciones extremadamente sanitarias al mantener limpio el flujo de amasado al autolimpiarse.

Muchos estudios en la ultraestructura con microscopios electrónicos han demostrado como la proteína matriz es formada durante la fase de extrusión.

Otros autores mantienen el hecho de que durante esta fase interaccionan proteína y almidón.

La formación de la red proteínica necesaria para la calidad de la pasta depende de la calidad de trabajo llevado en la prensa.

Los laboratorios de la compañía Mapinpianti [28] han trabajado en el hecho de hacer pasar amasado en una extrusión fría, causando disminución en la calidad de la pasta.

Esto prueba que la red proteínica es muy delicada y el proceso de extrusión debe ser una tecnología suave.

En este proceso, la masa de pasta extruida de la prensa, se lleva dentro de un flujo de agua caliente y aquí se hincha el almidón y viene la gelatinización y al mismo tiempo la coagulación de la proteína.

Una vez rehidratada la pasta, presenta todas las

características de la pasta típica "al diente" y denota una estabilización completa.

En los últimos 5 años, las inovaciones reales estan siendo la aparición en el mercado de secadores de pasta operando a muy alta temperatura en comparación con los métodos convencionales. La compañía francesa Alsthom Atlantique, ofrece con estas líneas Bassano, la posibilidad de secar pasta corta a muy alta temperatura en 1 hora 15 minutos a 2 horas.

Despues de un periodo de experimentación con líneas piloto, semi-industriales de capacidad de 80 a 100 kg/hr, los secadores fueron probados a gran escala por una compañía francesa, quienes desde un principio mostraron gran interes en este desarrollo. Desde entonces, la Bassano se adueñó de la técnica de secado para pastas cortas.

Poco tiempo despues, líneas con capacidad de 600 a 1000 kg/hr empezaron a operar y ahora con la producción de unidades con una capacidad nominal de 1500 kg/hr. Por lo que se puede decir que el secado de pasta corta a muy altas temperaturas y corto tiempo, ha empezado a nivel industrial realmente.

Para el caso de pasta larga (como spaguetti), donde el secado es mas critico, por dos años se ha estado conduciendo una extensiva experimentación en un laboratorio piloto de investigación en Nantes.

Estos estudios proporcionan diagramas de secado de pasta larga a muy alta temperatura y en una primera etapa empiezan a ensamblar y en poco tiempo probablemente estará operando para spaguetti con capacidad de 600 kg/hr.

## II.-DESCRIPCION GENERAL DE UN EQUIPO COMERCIAL DE ALTA TEMPERATURA

### A.- GENERALIDADES

El equipo a describir es una máquina de tecnología y fabricación italiana la cual fué instalada en México en 1987, en colaboración con técnicos mexicanos e italianos.

Este equipo esta diseñado para la producción de pasta para sopa de tipo spaguetti.

A continuación se describen las generalidades y requerimientos para la realización del proceso:

-Formato de producción: Spaguetti diámetro 1.5 mm.

-Producción nominal: 1200 Kg/hr.

-Duración del proceso: 16 horas.

-Dimensiones de la máquina. (Fig.III.8)

-Materia Prima: Sémola (trigo duro)

Triticum durum. Conocido como trigo cristalino, duro y constituye la materia prima ideal para la fabricación de pastas alimenticias. Sin embargo, comunmente se utilizan mezclas de trigos cristalinos y suaves.

Como clase, los trigos durum presentan un endospermo duro y correoso, razón por la cual facilita la elaboración de la sémola.

En la fabricación de pastas, los únicos ingredientes que se requieren son: sémola y agua.

Normalmente se añaden de 26 a 30 partes de agua, a una temperatura aproximada de 38 °C, por cada cien partes de sémola.

Temperaturas ligeramente mayores favorecen el proceso de mezclado y reducen el tiempo de amasado.

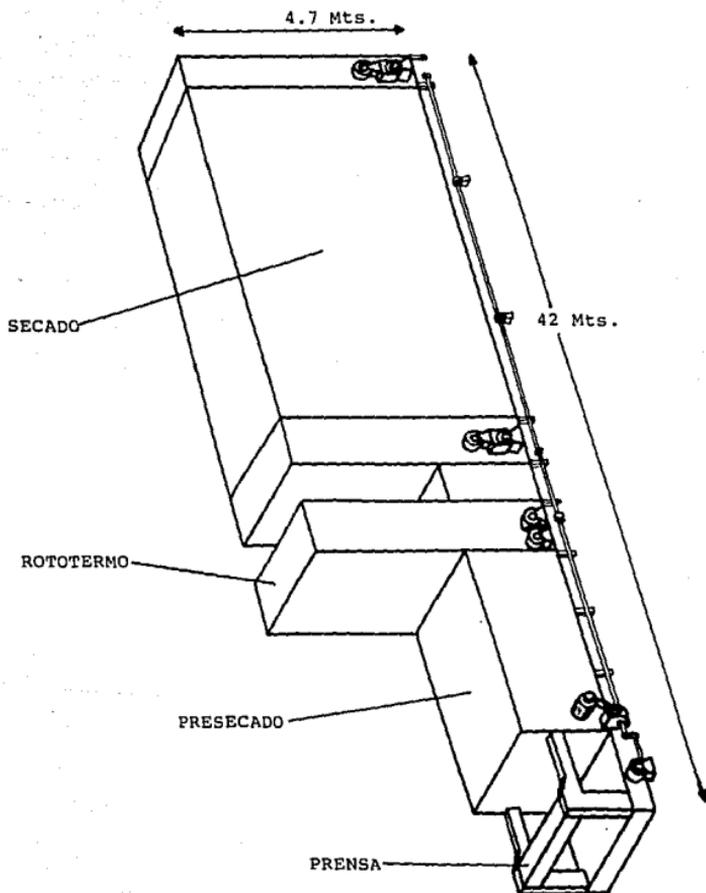


Fig. III.8 Línea de producción de pasta larga.

**-Etapas técnicas del proceso:**

- 1)Mezclado: es la primera etapa en la cual se lleva a cabo la mezcla de agua y sémola.
- 2)Amasado: es el proceso donde agua y harina logran una homogenización en la mezcla.
- 3)Extrusión y moldeado: es el proceso donde por medio de un sinfín extrusor se ejerce presión sobre la masa, haciendola pasar por el molde de formato spaguetti.
- 4)Extendedora: es la etapa donde el spaguetti se prepara para poder ser transportado a través del secado.
- 5)Presecado: es la primer etapa en el secado, la cual técnicamente tiene por objetivo eliminar la humedad interna del spaguetti.
- 6)Rototermo: el objetivo de esta etapa del proceso es lograr una efectiva destrucción térmica de microorganismos y un comportamiento plástico del producto que ayuda a fijar la estructura del compacto entrelazado (proceso de insolubilización de las proteínas), favoreciendo así la orientación uniforme de la estructura filiforme del gluten propio.
- 7)Secado: es la etapa mas lenta en la cual se elimina la humedad restante de la pasta hasta obtener una humedad adecuada al final del proceso.
- 8)Enfriador: es la última etapa del proceso en la cual se enfria la pasta antes de salir a la intemperie evitando un choque térmico del producto terminado.
- 9)Cortadora: es la etapa de acondicionamiento de la pasta en la cual el spaguetti es cortado a las dimensiones requeridas para ser enviado a la zona de empaque.

## B.- PRENSA

La prensa es la parte inicial del proceso la cual se describirá por cada una de las partes que la componen: (Fig.III.9).

### B.1.-Dosificador:

Este equipo tiene por objetivo la dosificación de las materias primas (agua y harina) en las cantidades y porcentajes previstos para la producción. (Fig.III.10).

El dosificador esta constituido por un dosificador de harina (10A) y un dosificador de agua (10B). Estos dosificadores funcionan en sincronización a fases alternadas de carga-descarga e interdependientes entre ellos.

La dosificación de harina, establecida con base en la producción, es fija, por lo que la relación de mezcla agua y harina se realiza variando unicamente la cantidad de agua y, la cantidad de mezcla necesaria alimentada a la máquina se puede variar regulando la velocidad del motor (10C) que mueve el programador de electroválvulas de carga-descarga (10D) y el rotor de alimentación de harina, ya que el programador acciona tanto las electroválvulas de alimentación de harina (10E) como las electroválvulas de alimentación de agua (10F), por lo que al regular la cantidad de agua necesaria a la cantidad de harina ya fija, no cambia, al aumentar o disminuir la velocidad del dosificador.

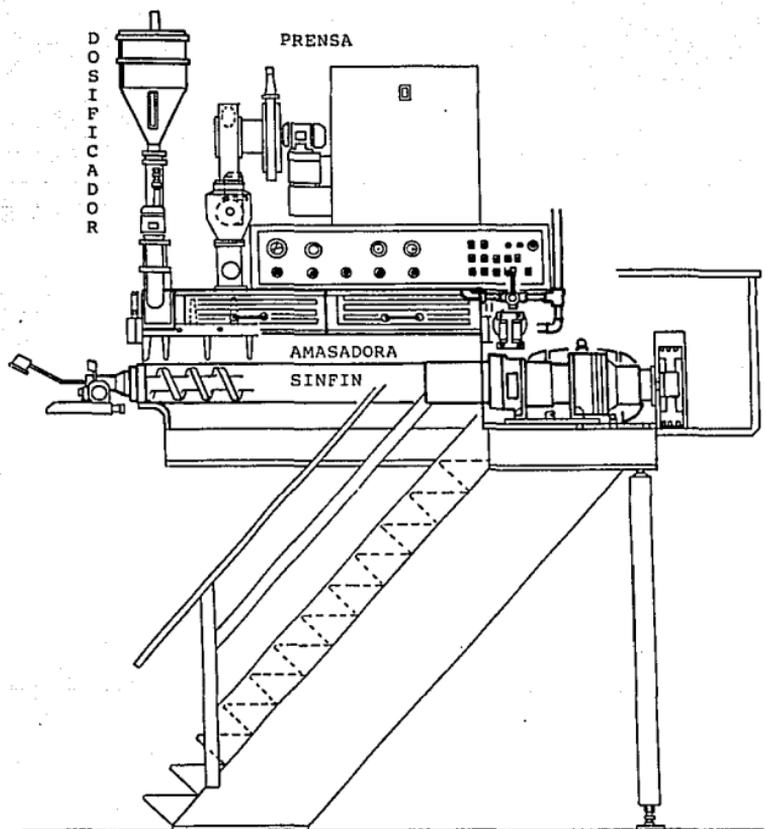


Fig.III.9 Prensa

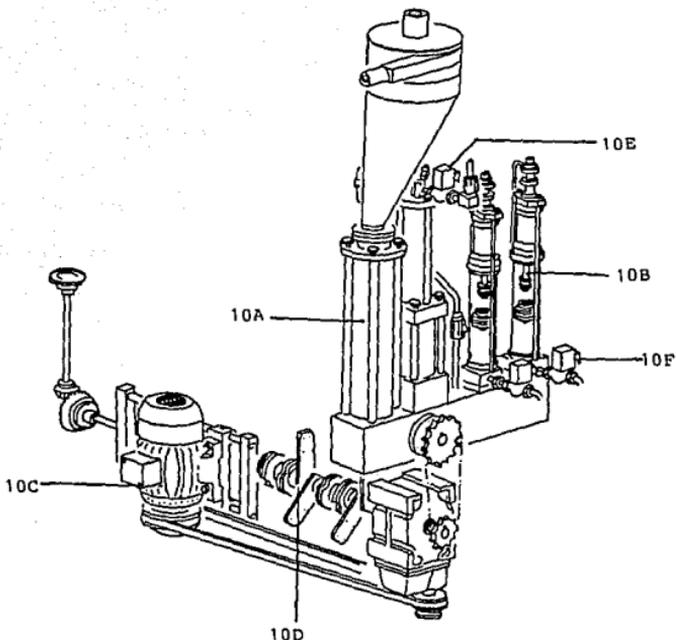


Fig.III.10 Dosificador

Dosificador de harina: (Fig.III.11) Este dosificador incluye una celda de dosificación (11A) y un pulmón de alimentación-acumulación (11B), la carga y descarga de la celda de dosificación se realizan por la acción aspirante del sistema de vacío (11C) y están determinadas por el funcionamiento combinado de las electroválvulas aspirante (11D), atmosférica (11E) y secuencia del rotor (11F). La dosificación está controlada por un sensor electrónico que detecta el nivel necesario de harina (11G).

A continuación se describen las dos etapas de funcionamiento del dosificador de harina:

1a.Etapa.-La electroválvula (11D) de carga se energiza y por medio del vacío al cual se encuentra conectada la amasadora, aspira la harina haciendo coincidir la posición del rotor de tal forma que pase la harina del pulmón de acumulación (11B) a la celda de dosificación (11A). El sensor (detecta la presencia de harina) de nivel de la harina detecta cuando la celda de dosificación se encuentra llena desenergizando la electroválvula (11D) (FIG. III.12)

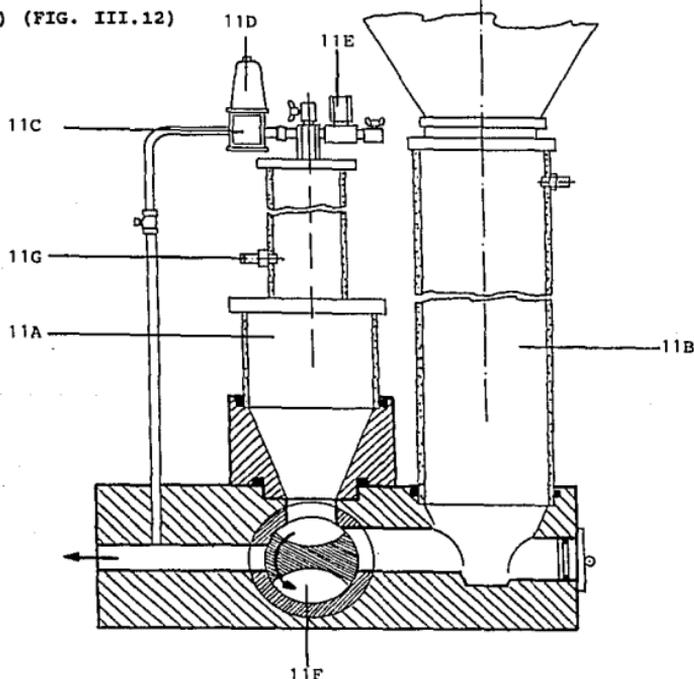
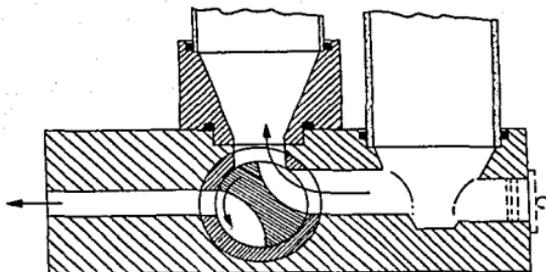


Fig.III.11 Dosificador de harina



**Fig.III.12 Entrada de harina**

2a.Etapa.-La electroválvula atmosférica (10E) se energiza permitiendo descargar la harina en la máquina, haciendo coincidir la posición del rotor de tal forma que la harina entre a la amasadora (FIG. III.13).

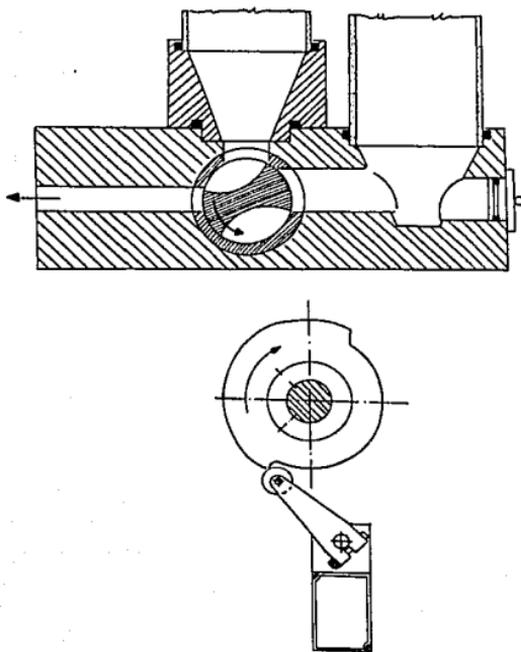


Fig.III.13 Descarga de harina

Dosificador de agua:(Fig.III.14) Este dosificador consta de un tanque de expansión colocado en la prensa y de un controlador de temperatura de agua la cual es regulable en una mezcladora termoestática (mezcla de agua fría y caliente) y se controla en el termómetro instalado en el tablero de control de la prensa (ésta es la temperatura del agua de amasado).

La dosificación se realiza en un tubo de vidrio (14A) con escala volumétrica, equipado con un pistón de parada a posición regulable (14B) y de un pistón movable a retención (14C).

Los ciclos de carga y descarga del agua están determinados por la abertura alternada de las electroválvulas (14D) carga y (14E) descarga montadas en la base y mandadas por el programador (14D) en sincronización con el dosificador de sémola. Un sensor electrónico (14F) montado externamente al tubo de dosificación capta la realización completa de la dosificación.

A continuación se describen las dos etapas de funcionamiento del dosificador de agua:

1a. Etapa.- La electroválvula de carga se energiza (14B) permitiendo el paso del agua, impulsando el pistón movable hasta ser detenido por el pistón de parada y de esta manera al subir o bajar el pistón de parada, se puede determinar la cantidad de agua necesaria.

2a. Etapa.- Una vez lleno el vaso dosificador, se energiza la electroválvula (14E), permitiendo la entrada del agua a la amasadora ayudado por la acción del vacío.

Condiciones de operación del dosificador de agua y harina:

-Volumen de harina: 840 Kg/hr

-Volumen de agua: 360 Kg/hr

-Producción: 1200 Kg/hr

-Temperatura de agua de amasado: 47.5°C

B.2.- Turbo Spray:

Es una turbina especial de elevada velocidad, donde las materias primas (harina y agua) dosificadas previamente, entran en contacto (FIG. III.15).

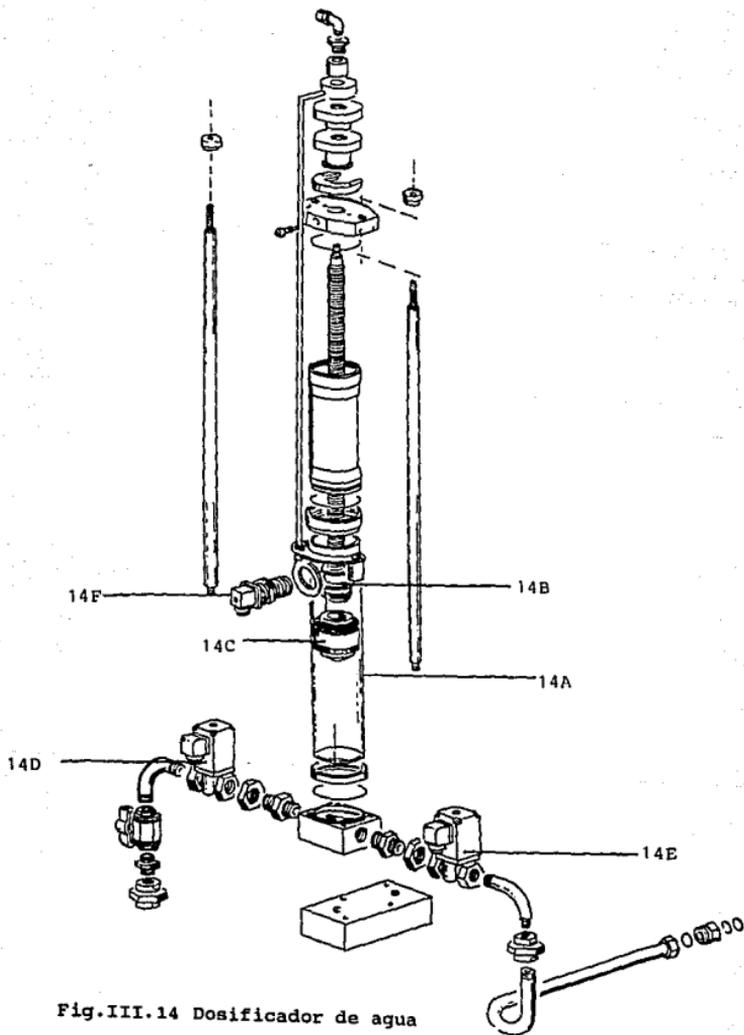


Fig.III.14 Dosificador de agua

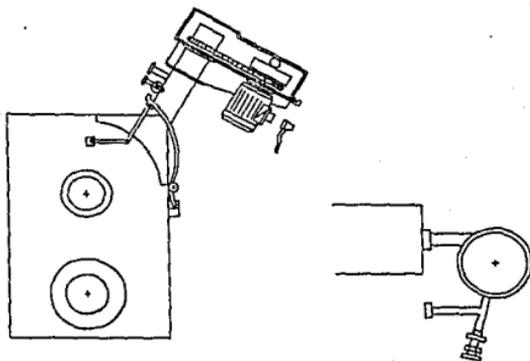


Fig.III.15 Turbo Spray

El Turbo Spray esta constituido principalmente por un cilindro vertical de pequenas dimensiones, donde rueda, movido por un motor eléctrico, un rotor con protuberancias en forma de helice (Fig.III.16).

El cilindro esta abierto y comunica inferiormente con la tolva amasadora, superiormente esta comunicado al dosificador por dos conductos tangenciales: uno para las harinas y otro para líquidos (agua). Durante el funcionamiento , las materias primas llegan desde el dosificador al turbo spray aspiradas por el vacio. Bajo la turbo-acción del rotor, son pulverizadas, favoreciendo la completa hidratación de cada partícula de harina y proyectadas en la tolva amasadora en un rapidísimo flujo de granulos mojados; la elevada turbulencia impide la formación de grumos y el estado de las materias primas tras este tratamiento

hace que el amasado sea mas breve y mejor . Para obtener el mejor efecto, las materias primas deben llegar al turbo spray al mismo tiempo y en un flujo lo mas distribuido y prolongado posible.

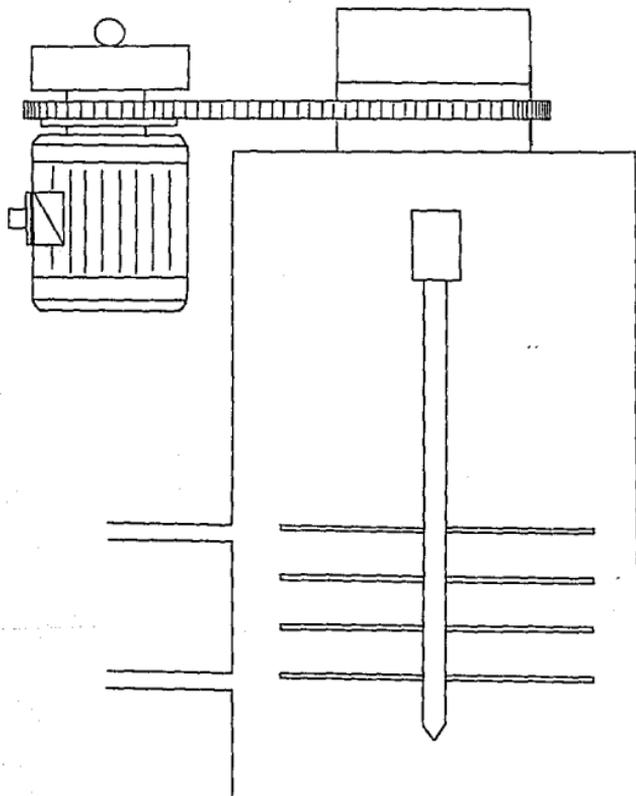


Fig.III.16 Flecha del Turbo Spray

### B.3.-Amasadora:

Es una tolva de forma cilíndrica encerrada en la parte frontal por dos robustas paredes. En la parte inicial esta alojado el turbo spray comunicante, en la parte final esta la boca de carga del tornillo de compresión (Fig.III.17). Esta tolva tiene un eje rotante en la parte central (17A) el cual lleva palas dispuestas en forma de hélice y tangentes a la tolva cilíndrica.

La amasadora esta cerrada herméticamente por una tapa en material acrílico transparente, dispuesta en forma que permita visualmente supervisar el amasado (mezcla agua-harina).

El amasado se efectua bajo vacio. El producto que llega desde el turbo spray por la acción de las palas viene amasado y transportado hacia el tornillo de compresión. La alimentación de amasado y tiempo de amasado deben completar y uniformar la absorción de las harinas y permitir la transformación de las proteínas contenidas (gliadina y glutenina) en un complejo coloidal (gluten) que tras la extrusión formara el reticulo proteico que contiene el almidón.

La fase de amasado es la mas importante para la calidad del producto final: tiempos reducidos no permiten completar el proceso, tiempos demasiado largos y excesivas manipulaciones destruyen la consistencia del gluten y disminuyen sus cualidades. La acción del vacio (ver sistema de vacio FIG.III.18) es muy importante puesto que permitiendo amasar en un sistema de líquidos que evaporan durante el proceso y eliminando las moléculas de aire entre los componentes, favorece la absorción y mejora mucho la calidad y el color del producto terminado.

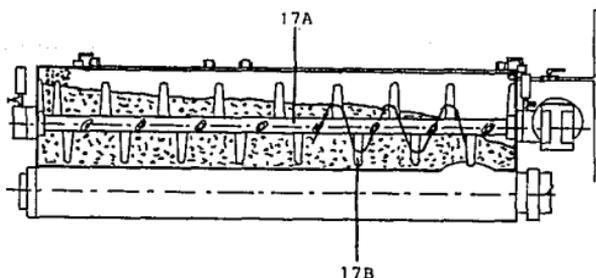
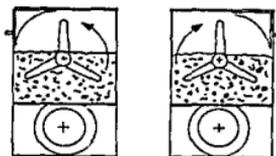


Fig.III.17 Amasadora

Normalmente un amasado bien regulado ocupa por lo menos dos tercios de la sección media de la tolva con movimiento decreciente hacia la boca de descarga (17B), las palas determinan el movimiento. Las palas están normalmente bloqueadas en posición ortogonal respecto al eje de la amasadora y realizan la acción de corte y de adelantamiento del amasado.

Orientando oportunamente las palas, se obtiene la aceleración o la moderación del movimiento del amasado.

El nivel del amasado se regula variando la capacidad del dosificador, normalmente una máquina bien regulada no hay que ajustar con frecuencia.

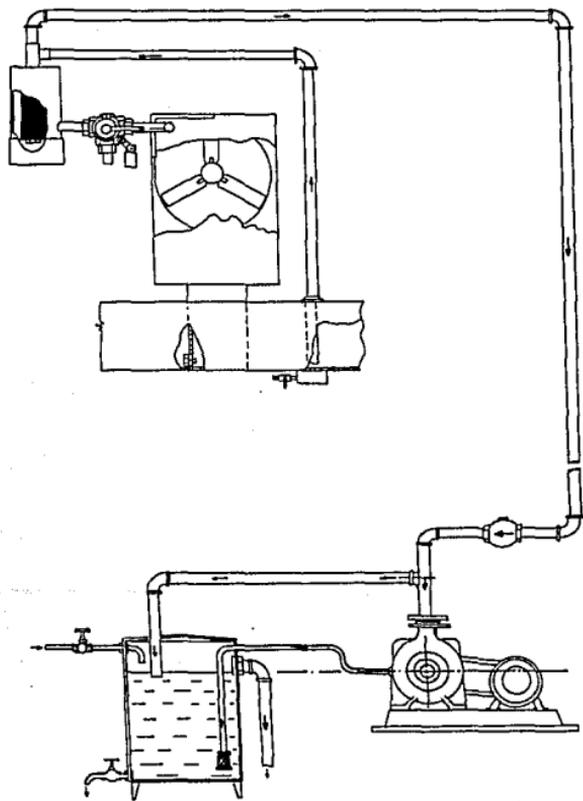


Fig.III.18 Sistema de vacío

#### B.4.-Extrusor (Sinfin):

En la prensa, el extrusor realiza al mismo tiempo dos operaciones: una tecnológica de acumulación y compactación del amasado que llega continuamente desde la amasadora y una mecánica de compresión del mismo en el cabezal desde donde saldrá a través del molde en la forma deseada. La presión que se ejerce medida en el cabezal es normalmente entre 100 y 140 atmósferas y varía según las materias primas y el formato de pasta producido.

El grupo extrusor (FIG.III.19) tiene un cilindro (dispuesto inferiormente) en eje con la amasadora con la que comunica por medio de la boca de carga (19A), en su interior rueda el tornillo de compresión movido por un grupo motor-reductor armado posteriormente (19B). Anteriormente el cilindro sostiene el cabezal que se abre a bisagra y que está bloqueado por medio de tornillos regulados. En el interior del cilindro está equipado de una camisa donde se han hecho unas rayas longitudinales para la "guía" del producto. La temperatura del extrusor se mantiene por medio de otra camisa externa (FIG.III.20) con circulación forzada de agua de enfriamiento (20A). El tornillo de compresión es un núcleo cónico, creciente hacia la alimentación de amasado, que reduce una espiral tras otra el volumen disponible de amasado. El perfil de escurrimiento (deslizamiento) del extrusor es cromado a espesor y perfectamente liso de forma que el frotamiento sea mínimo.

Frontalmente el tornillo de compresión lleva un mezclado de flujos cruzados que determina la mezcla del amasado más fluido y caliente procedente desde el núcleo con aquel más frío que llega desde la periferia del tornillo.

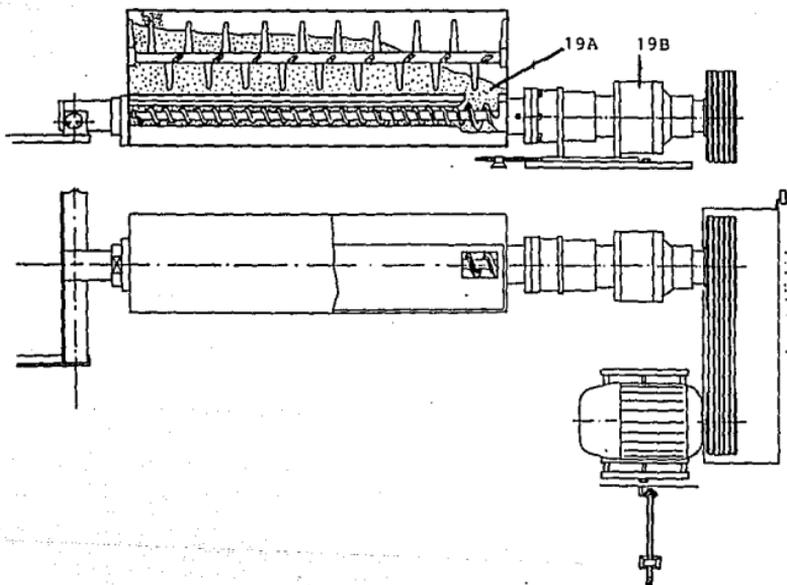


Fig.III.19 Extruder

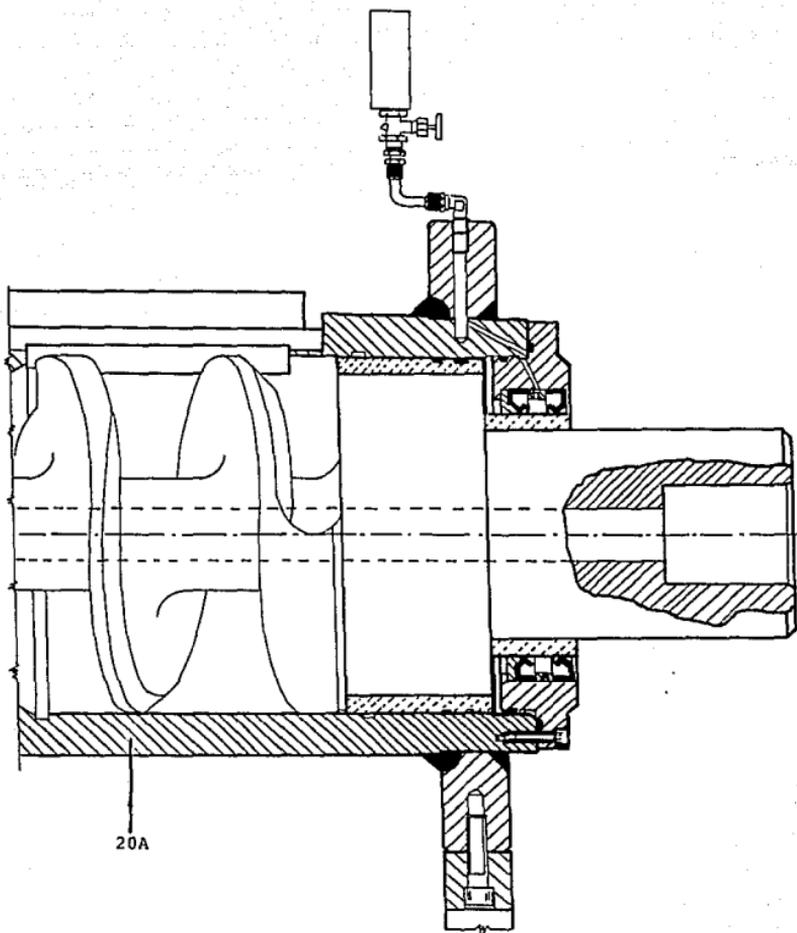


Fig.III.20 Enfriamiento del extrusor

#### B.5.-Cabezal Rectangular:

Los cabezales para la producción de pastas largas, han sido diseñados y realizados de forma que reciban el amasado desde el extrusor y que distribuyan el mismo uniformemente en el molde (desde donde saldrá con la forma deseada) con mínimas obstrucciones para evitar descomposiciones y fricciones del producto sobre si mismo, manteniendo entera la estructura del gluten, lo cual es muy importante para la calidad del producto terminado.

El cabezal esta fijo sobre la parte frontal del cilindro (FIG.III.21), se abre a bisagra (21A) y esta bloqueado a la prensa por medio de tornillos de seguridad (21B).

Las dimensiones son en base a la producción (largo de 1.2 a 2.5 m.).

El cabezal esta equipado de un circuito de pre-calentamiento interno, usado exclusivamente cuando comienza la producción o tras largos paros; esta equipado ademas de un termómetro para el control de la temperatura (21C).

Durante el normal funcionamiento, la temperatura del cabezal se automantiene a una temperatura idonea de 50 'C. El molde se acopla al cabezal por medio de tornillos (21D) a una estafa de enganche y llevando arriba de este un filtro de latón cromado (21E). La presión que ejerce el amasado sobre el cabezal, se controla en el manómetro que se encuentra en la parte central del cabezal (21F), el cual refleja en forma directa la calidad del amasado, siendo mayor la presión con amasado duro (bajo % de humedad) y disminuyendo la presión con amasado flojo (alto % de humedad).

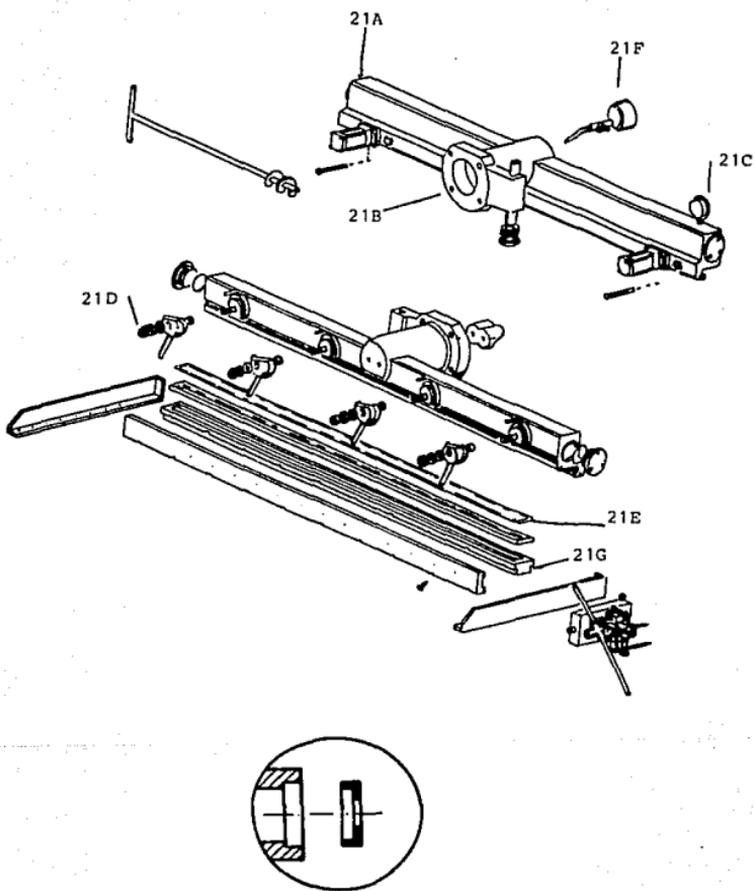


Fig.III.21 Cabezal

Filtro.- El filtro consiste en una malla de latón cromado y tiene la función de no permitir el paso de objetos extraños o porciones de amasados secos que obstruyan el correcto flujo del amasado en el cabezal (FIG. III.22).

Molde.- El molde (21G) esta construido de bronce, el cual permite una conductividad térmica a todo lo largo del molde, logrando así mantener una temperatura constante en el cabezal en el momento de la extrusión y lograr así un mejor flujo del amasado a través del molde; los orificios del molde donde se forman las tiras de spagueti, determinan el diámetro de este y la textura de la pasta, por lo que estos orificios estan constituidos de arillos de teflón virgen en cada uno de ellos (pastillas del molde) y lograr de esta manera una mejor calidad en el terminado de la pasta al momento de la extrusión.

La pasta, a la salida del molde, se tiende sobre transportadores ("cañas") (FIG.III.23) que, montados sobre cadenas, les conducen a través de las etapas de secado, las cuales son: Extendedor, Presecado, Rototermo, Secado, y Enfriador. A continuación se describen cada una de ellas.

#### C.-EXTENDEDOR.

El extendedor es el primer equipo de la línea pasta larga, colocado debajo de la prensa con cabezas rectangulares y acoplado en eje con el pre-secado e inferiormente con el retorno de las cañas. Su estructura esta compuesta por: un grupo cortador superior, un grupo rebatidor, un grupo cortador inferior, un grupo banda triturador y transporte neumático de recuperación de recorte, un grupo de transporte de cañas, un grupo de acople-empuje presecado y un grupo de ventilación.

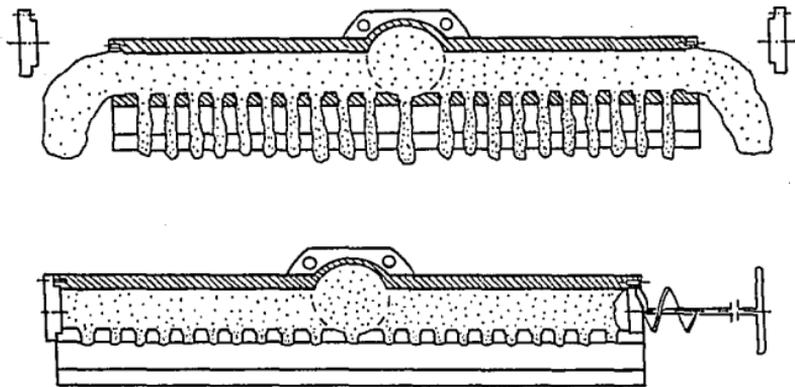


Fig.III.22 Flujo de amasado

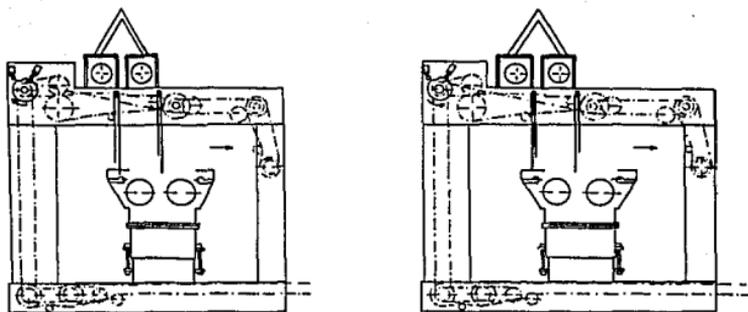


Fig.III.23 Transportación del spaguetti

El movimiento se da por un único reductor alimentado por el eje de tracción general, el movimiento de cortadoras superior e inferior son motoreductores propios, y el retorno de cañas, instalado en la parte inferior, es independiente.

La pasta, a la salida del molde y antes de que sea tendida sobre la caña, recibe una primera ventilación con aire a temperatura ambiente que favorece la formación de una capa superficial que evita que la pasta se pegue.

El grupo de ventilación (FIG.III.24) esta compuesto por una pareja de ventiladores centrifugos (24A) que soplan sobre una batería a circulación de agua caliente (24B) instalada horizontalmente sobre el extendedor; el aire sale calentado por la batería, ventilando uniformemente y desde arriba hacia abajo las cañas de pasta que transitan abajo.

El funcionamiento de este equipo se describe a continuación (FIG.III.25):

Con una frecuencia constante, las cañas vacías procedentes del retorno de cañas (25A), son transportadas en la parte superior del extendedor por un ascensor de cadenas (25B). Aquí son trasladadas sobre las cadenas extendedoras y de adelantamiento sinusoidales (25C); cada caña se traslada rápidamente debajo de las cizallas superiores (25D), en posición de comienzo de extensión y después adelantan a velocidad en base a las velocidades de moldeado.

Las cortinas de pasta, bajando desde el molde, se separan y ventilan por medio de un difusor-repartidor, pasa cada una entre una cizalla rotativa en la parte inferior (25E) y la contra

cuchilla correspondiente cortando la parte inferior de las canas que avanzan despacio sobre las cadenas extendedoras y mantienen un corte parejo de la pasta en las canas.

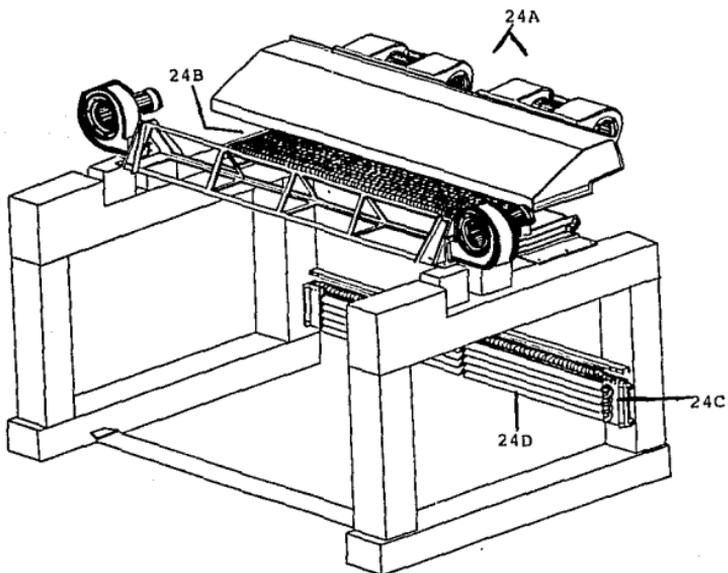


Fig.III.24 Ventilación en extendedora

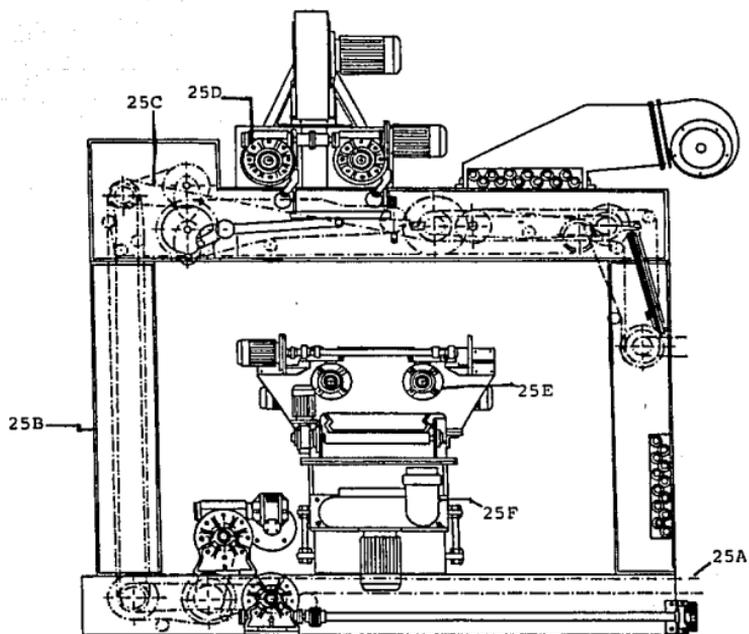


Fig. III.25 Extendedora

Quando la pasta ha alcanzado en todo su largo las cizallas inferiores, los rodillos rebatidores (FIG.III.26A) la doblan hacia atras, sobre las canas que mientras se han adelantado.

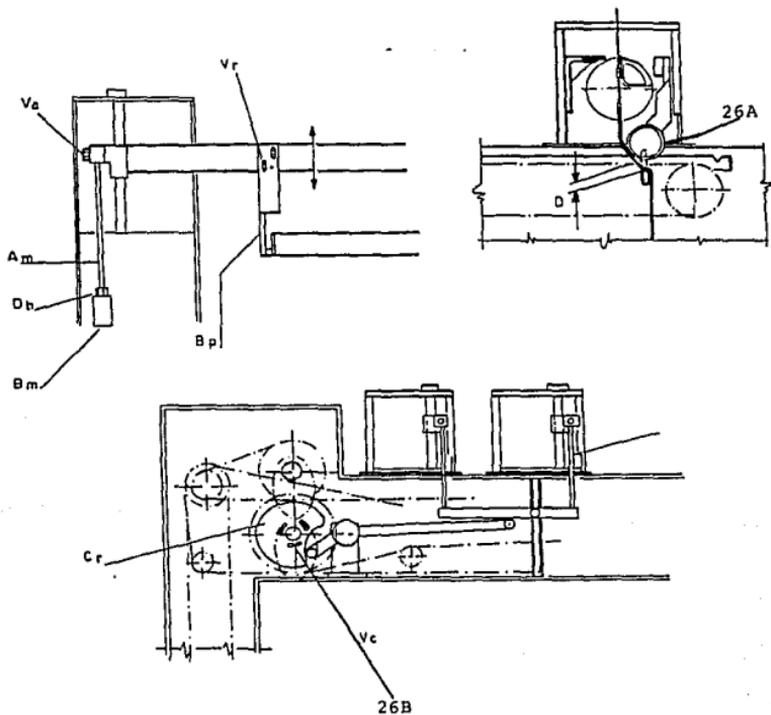


Fig.III.26 Mecanismo de extendedora

Cuando la pasta, ulteriormente moldeada, alcanza un largo igual a la que ya se encuentra extendida, se ponen en marcha las cizallas superiores que con una sola rotación, cortan uniformemente las dos cortinas de pasta en todo su ancho.

Las cañas cargadas de pasta se depositan una tras otra en una sede en eje con una cizalla inferior alineando ulteriormente las dos cortinas de pasta; un trasladador las deposita después, cerca una de otra, sobre una pareja de cadenas con adelantamiento constante donde son ventiladas energicamente con aire caliente, de forma que puedan recibir el calor apropiado y de forma que puedan tener la consistencia superficial necesaria para que no se pequen durante la primera fase de presecado.

Las cañas las recoge después un descensor que las transporta sobre las cadenas del presecado que adelantan en fase (26b). Todos los dispositivos de transporte de las cañas y los ventiladores funcionan en fase entre ellos y con toda la línea.

#### C.1.-Recuperador de recorte:

Las prensas destinadas a la producción de pasta larga troquelada, están equipadas de un dispositivo neumático de recuperación de los recortes que sirve para reciclar, volviendo a introducir en la amasadora bajo-vacio, los recortes de pasta fresca procedentes del extendedor (FIG. III.25F).

El grupo recuperador de recorte está compuesto de:

Una válvula a tazas rotativa de transporte: alojada sobre la amasadora con boca de descarga comunicante; la boca de carga está dividida herméticamente de la descarga (por retención de vacío) por medio del acoplamiento de la cofia en bronce en el rotor a tazas.

### C.2.-Desmenuzador de recorte:

Los recortes de pasta cortados por las cizallas, son recogidos en una cinta transportadora que los conduce durante la producción normal a un desmenuzador, montado en bloque con el grupo cizalla; desde aquí son aspirados después e introducidos otra vez en la amasadora de la prensa por un sistema neumático.

Los recortes aspirados por el ventilador a través del conducto por efecto de la repentina reducción de velocidad efectuada por la curva, precipitan en la válvula rotatoria y por medio de esta se trasladan en la amasadora.

### D.- PRESECADO

La primera fase del secado de la pasta tendida sobre las canas es el presecado. Esta fase dura aproximadamente 1 hora y durante este tiempo, la pasta pierde el 60-70% del agua de amasado y su humedad del 30% pasa al 17-18%; las canas de pasta son espaciadas y transportadas por medio de una pareja de cadenas oportunamente moldeadas que adelantan en fase con el resto de la línea movida por la tracción general (FIG.III.27).

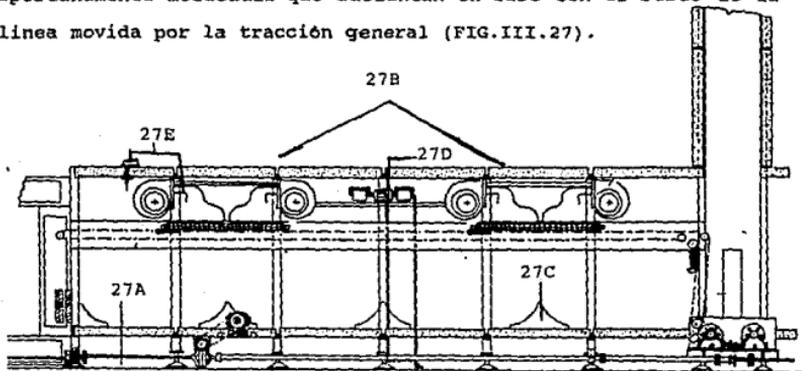


Fig.III.27 Presecado

El calor necesario lo suministran dos unidades termoventilantes (27B) y cuatro deflectores (27C) puestos en el fondo, que orientan la circulación del aire; la humedad en exceso se extrae por medio de aspiradores centrifugos (27D), los termoreguladores electrónicos regulan y controlan automáticamente la temperatura y la humedad interna. Estos termoreguladores reciben señales por sondas oportunamente dispuestas (27E) y determinan el funcionamiento de las electroválvulas hidráulicas y de los aspiradores de aire húmedo de forma que en el presecado haya aire constante con temperaturas y porcentajes de humedad deseados; la línea cuenta con aislamiento termo-acústico en forma de paneles de acero inoxidable con poliuretano expansivo de alta densidad.

El presecado es la primera fase del secado de la pasta y desde el inicio del proceso la pasta viene preparada para esta fase que es fundamental, ventilandola con aire abajo del molde mismo y despues tendida sobre cañas, inmediatamente antes de la entrada del presecado. Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este tratamiento es dar una suficiente consistencia superficial a los hilos de pasta de forma que estos no se peguen entre si y sobre las cañas ademas de suministrar a la pasta aquel calor necesario para evitar un choque térmico entrando en el ambiente caliente-humedo del presecado.

Durante el presecado, la pasta pierde el 60-70% de agua y es importante que sea extraida en forma uniforme desde el interior hacia la superficie, que deberá ser porosa en los hilos de pasta y esto se obtiene haciendo adelantar la pasta en un ambiente

húmedo y poco a poco siempre mas caliente, donde las temperaturas varían según el formato de pasta, del tipo de materias primas, de las condiciones ambientales, de la producción de la prensa. Van desde un mínimo de 40 'C a la entrada hasta un máximo de 70-80 'C a la descarga. La humedad del aire se encuentra en valores de 70%. El calor suministrado por baterías de agua caliente, se transmite a la pasta por medio de ventiladores centrifugos cuyas corrientes de aire pasan sobre la pasta alternativamente desde arriba hacia abajo y desde abajo hacia arriba (FIG.III.28). El aire demasiado húmedo viene sustituido con aire caliente húmedo en forma completamente automática.

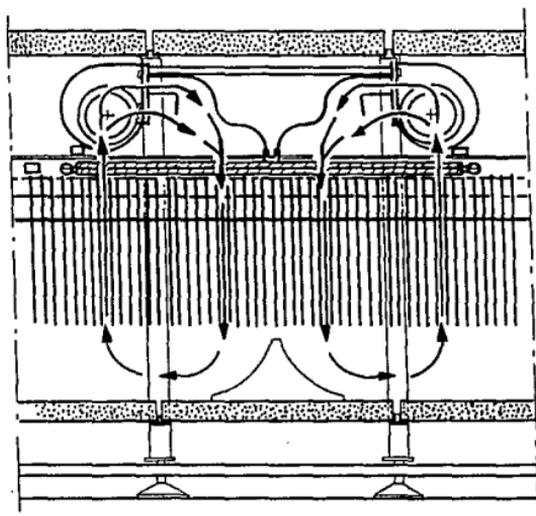


Fig.III.28 Flujo de aire en presecado

El presecado es una etapa con un solo piso y las cañas adelantan con movimiento continuo apoyados sobre guías y empujadas por una pareja de cadenas que mantienen el espacio entre cañas.

Como ya se ha mencionado, el calor necesario para el secado se suministra por unidades termoventiladoras montadas por encima de la pasta. Son dos las unidades instaladas.

Cada unidad incluye: (FIG.III.29).

1) Un radiador de agua caliente montado en posición horizontal (29A).

2) Cuatro ventiladores centrífugos con alta capacidad de aire y elevada presión (29B).

Los ventiladores están montados por parejas contrapuestas y generan corrientes de aire dentro de la cámara que se encuentra sobre los radiadores. El aire a presión es distribuido por deflectores y atraviesa uniformemente los radiadores y ventila la pasta que se encuentra debajo en todo su largo, desde arriba hacia abajo; donde los deflectores inferiores la desvían posteriormente, de manera que aspirado por los ventiladores, vuelva a atravesar la pasta en sentido contrario (FIG.III.28).

Se forman así dos flujos de aire contrapuestos que disipan el calor de los radiadores y lo transmiten a la pasta, haciendo evaporar antes y absorbiendo después el agua contenida en la misma.

La eventual dirección del aire a lo largo del presecado se obtiene desplazando los deflectores inferiores.

El aire con excesiva humedad relativa se extrae aspirando desde la parte superior por medio de extractores.

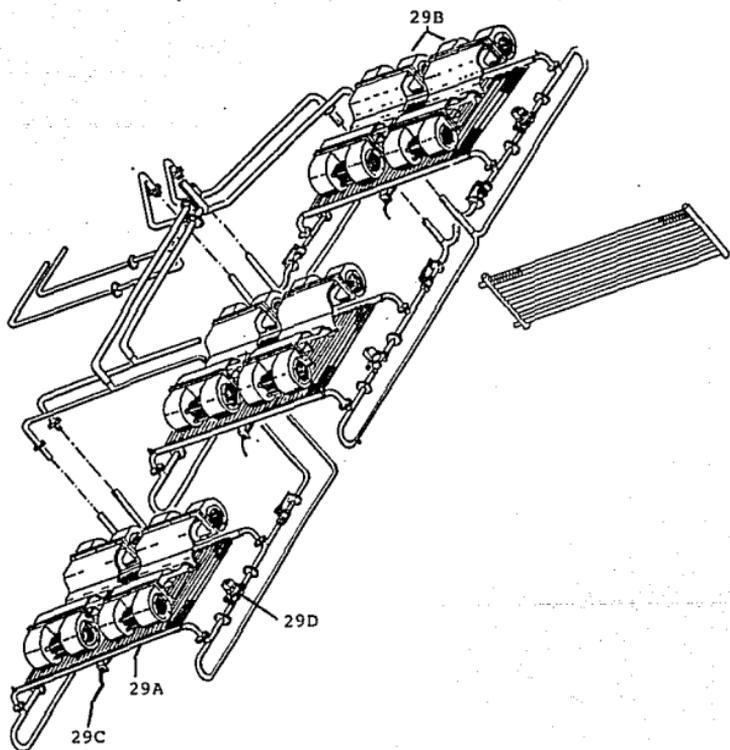


Fig.III.29 Unidad de termoventiladores en presecado

3) Cada grupo termoventilador esta equipado de una sonda que analiza el aire al final del ciclo (en el momento que este ha cedido el calor y absorbido la humedad) (29C).

Los termoreguladores recogen los datos regulando la función de apertura y cierre de electroválvulas que regulan el flujo de agua caliente en los radiadores (29D).

#### Control de Humedad.

En el presecado, el mantenimiento de la humedad en el porcentaje adecuado y por lo tanto la eliminación del agua en exceso, liberada por la pasta, se efectua con el sistema de recambio de aire. Este recambio esta constituido por extractores centrifugos instalados entre dos sucesivas unidades termoventiladores en las cámaras que estan sobre la pasta.

Su funcionamiento esta regulado por una sonda de control de humedad instalada en la primer zona del presecado, en la zona de entrada de la pasta (27E). El aire húmedo se descarga a traves de canales hacia el exterior de la nave de máquinas.

El aire "seco" de recambio entra en el presecado desde la boca de carga atravesando la pasta.

Esta colocada una rejilla con radiador que permite el flujo de aire atraves de la parte inferior de la boca de carga (24C), y el aire puede ser precalentado por medio del radiador, regulando manualmente por medio de una válvula, el flujo de agua caliente.

La precalefacción del equipo puede ser regulada variando el flujo de agua por medio de las válvulas de interceptación manuales.

En caso de necesitar mas o menos entrada de aire de recambio en el presecado, se puede lograr regulando la bateria-cierre

(24D) de entrada al inicio del presecado. En esta etapa del proceso es muy importante regular el flujo del aire y humedad relativa.

En el caso del aire, se recomienda que haya una ligera corriente de aire hacia el rototermo y esto se obtiene desplazando los deflectores inferiores del presecado.

El flujo de aire debe atravesar siempre la pasta para evitar corrientes de aire en la parte superior de la pasta lo cual es perjudicial, por lo que se colocan deflectores pequeños entre la parte superior de la pasta y los ventiladores.

La instalación térmica incluye: la red de alimentación, las baterías de las unidades termoventiladores y una batería inferior de pre-calefacción de aire emitido.

Esta batería esta conectada independientemente a la red principal y la capacidad de agua caliente se regula actuando sobre las válvulas manuales.

Las baterías de las unidades termoventiladores estan instaladas horizontalmente; y la alimentación de cada batería es independiente y doble (una derecha y una izquierda) regulada por una pareja de electroválvulas solenoide (una por cada lado).

Cada pareja de electroválvulas se acciona por un termoregulador que regula la temperatura de la zona de presecado correspondiente a cada batería.

Durante el funcionamiento, cada batería es alimentada constantemente por agua caliente y por lo tanto un aporte de calor en base a la necesidad tecnológica; y las electroválvulas son excitadas y abiertas.

Cuando en una zona del presecado, la temperatura resulta inferior a la establecida en el termoregulador, esto determina la apertura de la pareja de electroválvulas y el consiguiente aumento de potencia de agua y el aporte de calor en la batería correspondiente a aquella zona, por lo que con este sistema se garantiza una notable constancia de las temperaturas.

#### E.-ROTOTERMO

Una vez terminada la fase de presecado la pasta entra en el rototermo. (Fig.III.30)

Esta etapa del proceso realiza dos funciones esenciales:

- 1) Separa el presecado de la fase de secado, a través de un sistema llamado laberinto de recorridos el cual se explicará más adelante.
- 2) Da a la pasta un aporte de calor por medio de planchas radiantes.

En la primer operación, se intenta llevar la pasta a través del rototermo con el mínimo de flujo externo de aire.

En la segunda operación, se lleva a cabo una acción de revenimiento de la pasta, esto es gracias a la elevada temperatura y humedad presentes en el interior del equipo, preparandola en las mejores condiciones a la fase siguiente de secado.

La cantidad de cañas que ocupa el rototermo son 20 y el proceso es de 10 minutos. El porcentaje de humedad de la pasta disminuye el 0.5% a la salida y la pasta alcanza una temperatura de 70-75°C, una consistencia derecha, flexible y de color un poco rojizo.

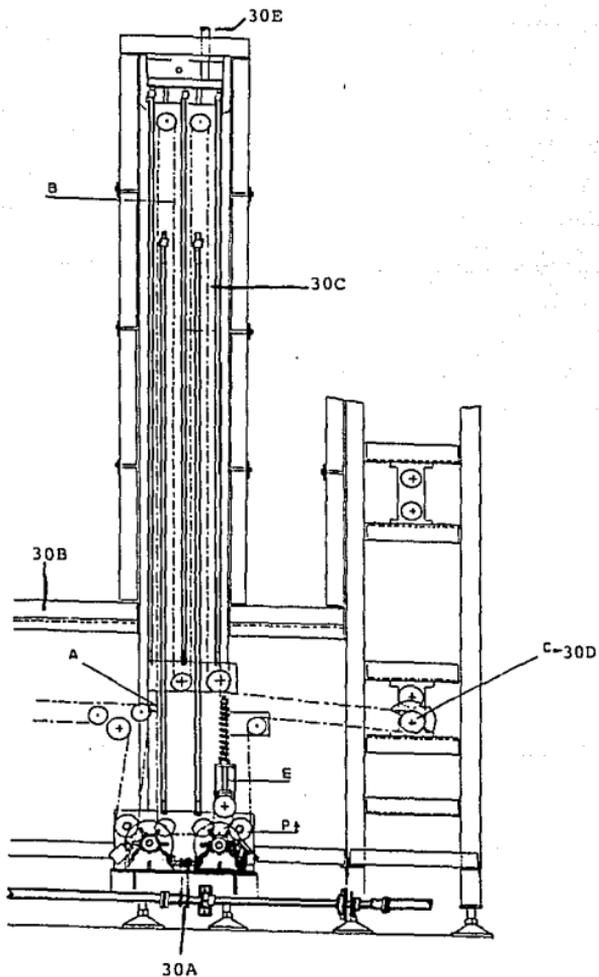


Fig.III.30 Rototermo

El movimiento lo suministra un reductor alimentado por el eje de tracción general y esta sincronizado con el resto de la línea (30A); las cañas de pasta recogidas por la descarga del presecado, son transportadas a través del rototermo a través de planchas radiantes y posteriormente son depositadas sobre las cadenas del primer piso en la etapa de secado.

El aislamiento está asegurado por paneles de revestimiento. En el rototermo, las cañas viajan a través de las planchas térmicas (Fig.III.31A) transportadas por una pareja de cadenas equipadas de ganchos de transporte (30B). Las cadenas se mueven con movimiento continuo en sincronización con el resto de la línea; con secuencia periódica, recogen las cañas a la descarga del presecado y las transportan a través de los espacios entre plancha y plancha (30C) en un recorrido vertical alternado (un tramo en salida y uno en bajada) y las depositan sobre las cadenas del primer piso de secado (30D).

#### Control de Temperatura.

La temperatura de operación del rototermo es de 70-80°C, la cual se releva por medio de una sonda termosensible, montada en la parte alta del rototermo (30E) y se controla directamente en el tablero indicador electrónico, accionando una válvula solenoide (31B) permitiendo la entrada de agua caliente a las planchas y cerrando en el caso de alcanzar la temperatura indicada.

#### Instalación térmica.

En el rototermo, la pasta se calienta por irradiación por medio de una batería de 5 planchas radiantes a circulación de agua caliente. Las planchas están dispuestas en vertical

alternativamente desviadas (2 inferiores y 3 superiores) formando un laberinto (FIG III.31).

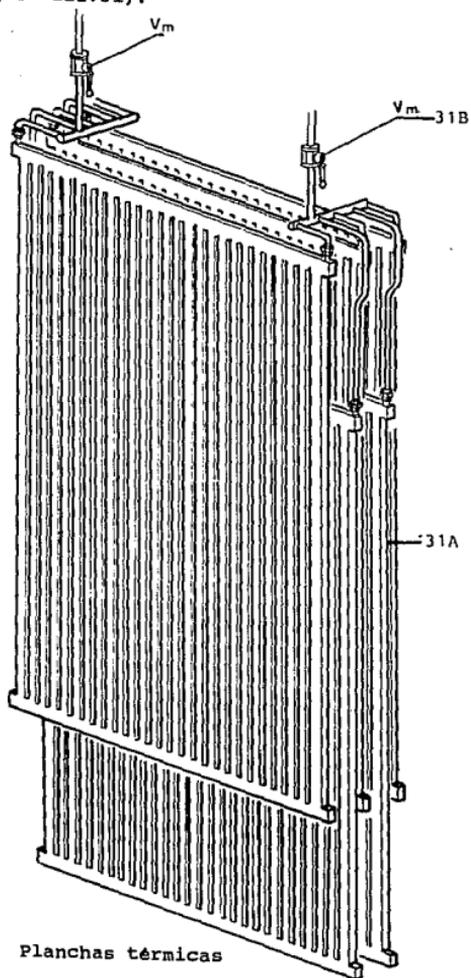


Fig.III.31 Planchas térmicas

La temperatura interna del aparato deberá mantenerse en valores de 70-80°C. Con temperaturas inferiores disminuye el efecto tecnológico, con temperaturas superiores, se corre el riesgo de estropear los formatos de pasta mas delicados.

#### F.-SECADO

En la galería de secado (Fig.III.32), se realiza la tercer fase del proceso de secado de la pasta (la primera, como ya hemos visto, se realiza en el presecado).

La pasta se seca lentamente en condiciones climáticas idóneas, constantemente controladas y su porcentaje de humedad pasa del 17-18% inicial hasta aproximadamente 12.5%.

El sistema de altas temperaturas usado en esta linea, somete la pasta a fases sucesivas de suministración de calor, seguidas por otras de evaporación natural.

Las galerías tienen 3 pisos en serie, térmicamente independientes y sobrepuestos; de ancho y de largo adecuados a la producción por hora.

El movimiento lo transmite el eje de transmisión general, en fase con: extendedor, presecado, rototermo y enfriador.

Las canas se transportan a lo largo de los pisos por parejas de cadenas con alces. La estructura es de perfiles de acero en modulares.

El suministro de calor y la separación de la humedad excedente del aire, se obtienen por medio de unidades termoventiladoras oportunamente dispuestas.

Los pisos de secado estan divididos entre ellos y del ambiente externo por medio de paneles termoaislantes.

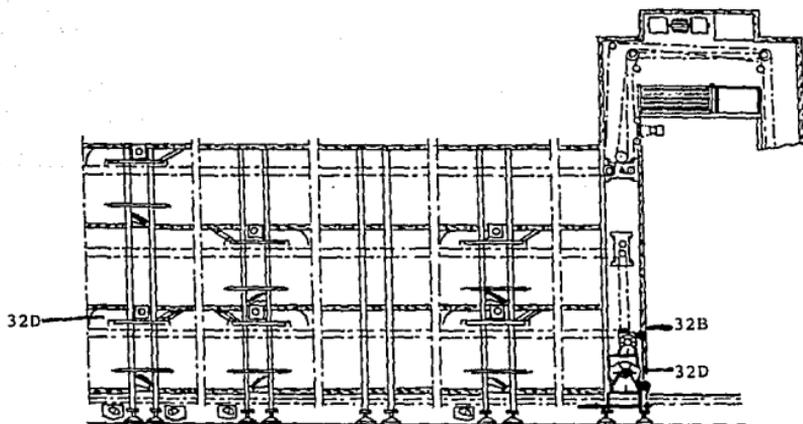
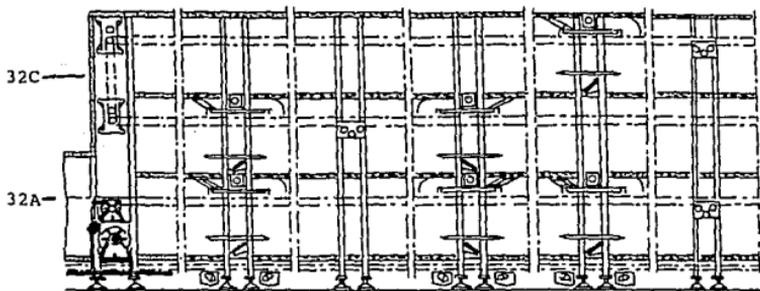


Fig.III.32 Secado

#### Transporte:

Las cañas de pasta que llegan desde el rototermo (32A), son trasladadas y transportadas a lo largo del primer piso de secado, regularmente espaciadas por una pareja de cadenas con eslabones y alces; las cadenas adelantan con movimiento continuo corriendo sobre guías de acero.

Al final del primer piso, las cañas son elevadas paso a paso por una pareja de levas y cargadas en un ascensor a cadenas que las levanta y las translada en la pareja de cadenas que corre a lo largo del segundo piso (32D).

Al final del segundo piso, las cañas son elevadas y trasladadas sobre las cadenas de transporte al tercer piso por medio de un grupo ascensor-cañas igual al que hemos descrito anteriormente (32C).

En el tercer piso las cadenas y alces viajan en el sentido del primer piso. A lo largo de los tres pisos, están colocadas las centrales de ventilación (32D) en número y posición adecuadas; las cañas de pasta en movimiento las encuentran paso a paso recibiendo una uniforme y energética ventilación con aire a temperatura y porcentaje de humedad oportunamente regulados.

A la salida del tercer piso, las cañas son transportadas a través del enfriador y enviadas al aparato de acumulación por medio de cadenas, alces y levas que guían los traslados.

#### Movimiento:

En el proceso de secado, mediante las cadenas de transporte de los pisos, los ascensores, las levas y los dispositivos de translación, las cañas viajan (o ruedan) con movimiento continuo en sincronización entre ellos, con los equipos anteriores

(extendedor, presecado y rototermo) y con el enfriador final.

Los grupos de transmisión están colocados en las extremidades del equipo y comprendidos en dos cabezales: uno de "carga" puesto en el lado del rototermo y uno de "descarga" puesto en el lado del enfriador. En el lado interno de los cabezales, asoman los piñones de tracción de cadenas de movimiento de los pisos, los ascensores, las cañas y los dispositivos de traslación de cañas; en el lado externo están instaladas las cadenas y los engranajes de transmisión y los reductores (32E).

Cada cabezal tiene dos reductores: uno de tracción de las cadenas de transporte de los pisos, uno rápido para el movimiento de ascensores. Las cadenas de transporte de los pisos reciben el movimiento de los dos cabezales. Los reductores reciben el movimiento del eje de transmisión general.

La velocidad de movimiento de la galería es variable conforme a la de los otros aparatos, actuando en el sistema de variación del grupo de tracción general.

#### Centrales de Ventilación:

Las centrales de ventilación instaladas en el proceso de secado desarrollan una doble función:

a) Suministrar a la masa de pasta que adelantan, el calor necesario al secado.

b) Regenerar el aire substrayendo la humedad en exceso recibida por la pasta.

Las centrales están dispuestas espaciadas sobre los tres pisos en número y potencialidad adecuados a la producción por hora.

La pasta en movimiento, esta sometida a fases sucesivas de suministro de calor, seguidas por otras de descanso y evaporación natural.

Cada central de ventilación incluye:

1) Dos ventiladores tangenciales (según el ancho de la línea) instalados por encima de la pasta y adecuados para generar un flujo de aire (33A), vehículo necesario para:

-Substraer el calor de la batería de calefacción y suministrarlo a la pasta.

-Absorber el agua evaporada por la pasta, librandola despues bajo la acción condensante de las baterías de enfriamiento.

Los ventiladores suministran una cantidad de aire equitativamente distribuida a buenas presiones de ejercicio, características esenciales para obtener el total y uniforme secado de la masa de pasta que adelanta.

El funcionamiento de los ventiladores es interdependiente con el movimiento de la línea y, la detención de la línea, detiene también automáticamente los ventiladores.

2) Una batería de calefacción a circulación de agua caliente instalada por encima de la pasta (33B).

La circulación del agua la intercepta una electroválvula (33C) accionada por un termoregulador, en base a la temperatura detectada a través de la correspondiente sonda seca (33D). El termoregulador determina la abertura o el cierre de la electroválvula y mantiene la temperatura de la zona controlada en los valores establecidos por el operador.

Cada central de ventilación se regula y se controla de forma independiente.

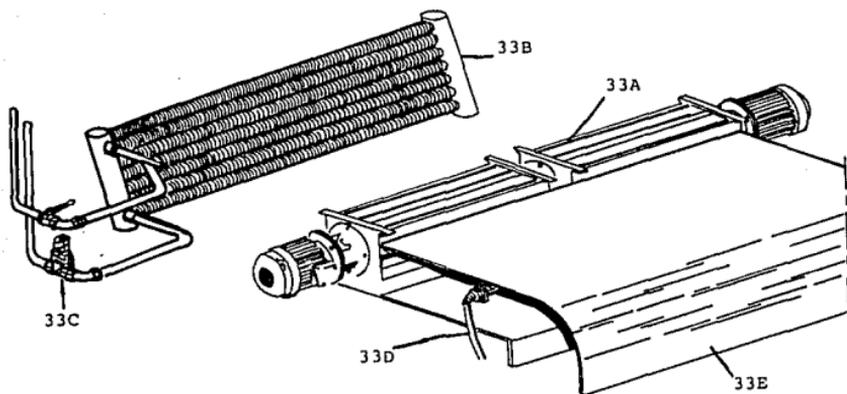


Fig.III.33 Unidad de termoventiladores en Secado

3) Una unidad de condensación (FIG.III.34) constituida por:

a) Una batería a circulación de agua fria (34A) instalada por debajo de la pasta. Su circuito interno esta dividido en dos secciones: I.-llamado de minima (34B) y II.- llamado primario (34C), alimentados por un único colector de envío y con dos colectores de retorno independientes; todos los elementos son de acero inoxidable, las aletas de radiadores son de cobre.

El circuito de alimentación es del tipo abierto, y los dos colectores de retorno descargan el agua en una tolva de acumulación (34E) funcionando como balanza; la descarga de la sección "de minima" se parcializa por medio de una válvula manual (34F), la descarga de la sección "primario" la intercepta una electroválvula (34G) y se parcializa por medio de una válvula manual (34H).

La temperatura del agua de alimentación de enfriamiento debe ser de 20-22 'C.

b) Una tolva de acumulación y eliminación de los condensados, integrada en el panel debajo de la batería. Los condensados acumulados por la batería son transportados a través de un conducto en la balanza (34I).

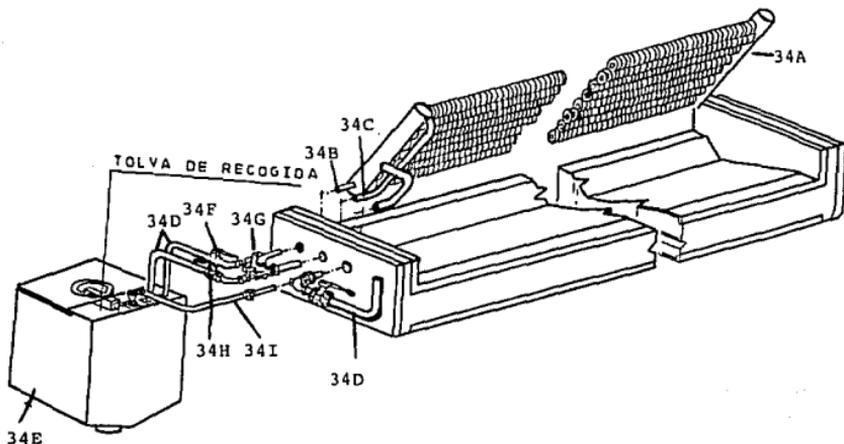


Fig.III.34 Unidad de condensación

c) Una balanza con tolvas adecuadas para pesar los condensados extraídos y regulación automática del sistema (FIG.III.35). La balanza esta constituida por un cuerpo (35A) que contiene un dispositivo con dos tolvas (35B) para la acumulación de los condensados.

Cada tolva contiene como máximo 1 Kg. de condensado y se ajusta por medio de los dispositivos (35C).

Durante el funcionamiento las tolvas, se posicionan y recogen alternativamente los condensados en llegada; cuando el contenido en la tolva, que se encuentra en posición de carga, alcanza el peso establecido con anterioridad, el dispositivo (35B) se vuelca descargando los condensados acumulados y posiciona para la carga la segunda tolva. Cuando también la segunda tolva ha acumulado la cantidad de condensados establecida, el dispositivo vuelve a volcarse y así sigue; rodando, el dispositivo a tolvas excita un sensor (35D), conectado al aparato eléctrico de mando acoplado.

Dicho aparato instalado en el cuadro eléctrico incluye además:

-Un timer-generador de impulsos electrónicos donde se establece el número de ciclos de pesadas (No. de tolvas de condensados producidos) deseadas durante una hora.

-Un dispositivo eléctrico de mando electroválvula interceptadora de la sección "primario" de la batería de condensación.

-Un indicador luminoso de alarma por falta de pesada.

-Una unidad de control (para todas las unidades) que incluye: un dispositivo para establecer el tiempo de control de las pesadas, un dispositivo para establecer el número de pesadas previstas durante el tiempo fijado, un cuentaminutos parcial con indicador que se para cuando termina el tiempo, un contador de pesadas parcial con indicador y parada cuando termina el tiempo, un indicador luminoso de fin tiempo, un indicador luminoso del número de pesadas regulares, un totalizador de pesadas con

indicador.

-Un selector para la conexión alternada de las centrales que se quieren controlar.

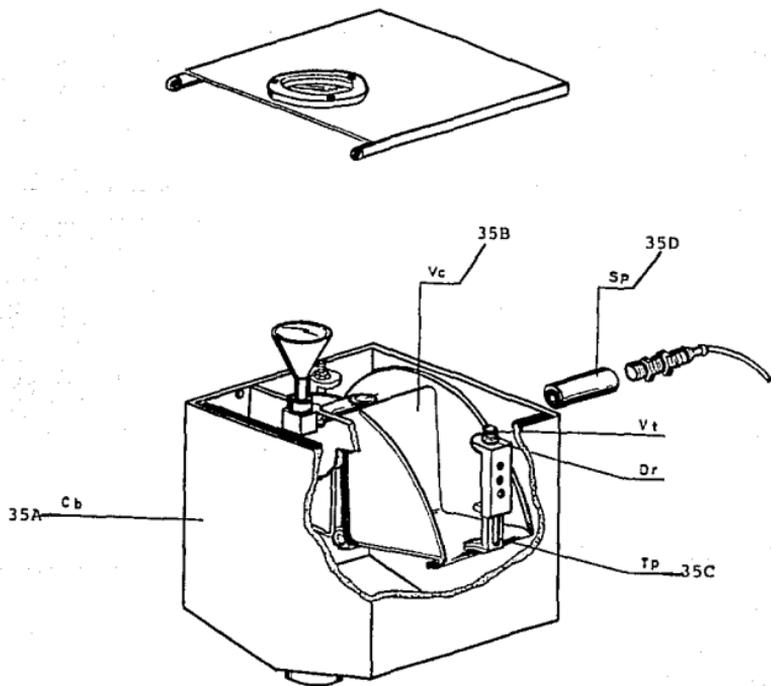


Fig.III.35 Tolva de condensados

d) El flujo de aire en la central de ventilación se guía, a zona, por una serie de deflectores y divisorios. (FIG. III.36).

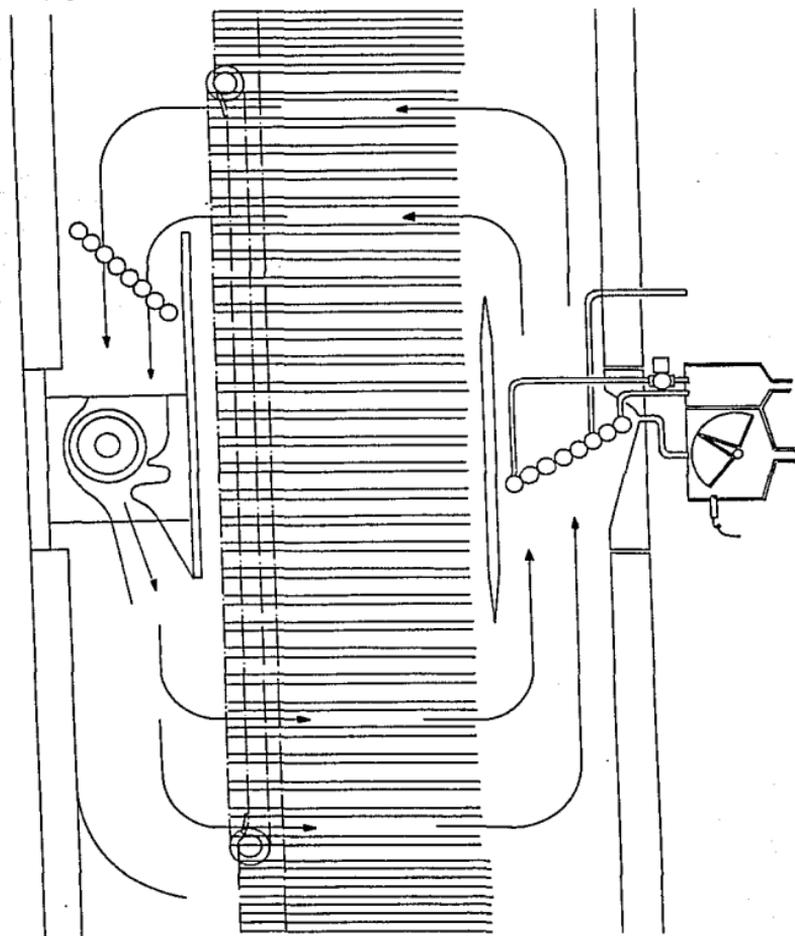


Fig.III.36 Flujo de aire en Secado

#### Uso y Funcionamiento del Sistema:

A) En base al diagrama de secado previsto por un determinado formato de pasta, se puede calcular la cantidad/hora (Kgs.) de condensados que se tienen que extraer en cada central de ventilación.

B) Por cada central por la relación entre peso/hora de condensados deseada y peso correspondiente a cada pesada, se determina el número de pesadas/hora.

C) Por medio del teclado, en el timer-generador de impulsos se puede regular el número de ciclos de pesadas deseadas en una hora.

D) Se puede regular en la unidad de control el tiempo de relevación deseado y el número de pesadas previstas durante este tiempo.

E) Durante las primeras fases de producción, se debe parcializar la circulación del agua en la sección "de mínima", de la batería condensadora, de forma que la cantidad de condensados producida en un ciclo de pesadas, sea seguramente inferior a la prevista. La regulación exacta se realiza normalmente por grados y una vez alcanzada, no necesita más intervenciones.

F) Posteriormente se acciona el sistema de condensación automático a través de los apósitos interruptores (en cada central).

El timer-generador de impulsos, regulará los ciclos de pesada, al principio de cada ciclo la electroválvula de la sección "primario" de la batería se excita, abriendo la circulación de agua fría y provocando la condensación del aire.

Cuando los condensados en la tolva de la balanza alcanzan el peso previsto, el dispositivo se vuelca y la circulación del agua fría, se bloquea (electroválvula cerrada).

Parcializando la potencia de agua a través de la válvula manual, se extiende el tiempo de trabajo de la electroválvula aún quedando dentro de un ciclo de pesada. Se obtiene así un mayor control en la extracción de los condensados.

En caso de que la pesada no se complete dentro de un ciclo, se encenderá un indicador luminoso de alarma.

La unidad de control permite al operador comprobar alternativamente el funcionamiento de las distintas unidades de condensación.

Se puede seleccionar en el apóposito conmutador la unidad que se quiere controlar y establecer el tiempo de control y el número de pesadas previstas durante este tiempo. El dispositivo se parará al vencer el tiempo previsto, señalado por el indicador colocado al lado del cuenta-minutos.

Si el número de pesadas establecidas y leídas en el indicador es igual, se encenderá la señal al lado del indicador mismo; indica esto un funcionamiento correcto. Si se lee un número de pesadas inferior a las que se han establecido el indicador no se enciende, esto indica una insuficiente capacidad condensante de la batería y por lo tanto se debe aumentar la cantidad de agua. El indicador del totalizador indica el número total de pesadas efectuadas, durante los tiempos de control, de las distintas centrales.

Ejemplo:

-Cantidad de condensados/hora previstos en la central:24 Kg.

-Ajuste balanzas / 0.5 Kg. / tolva.

-Número de ciclos/hora a establecerse, en el timer-generator de impulsos  $24/0.5 = 48$ .

Cerciorarse durante las primeras fases de producción y periódicamente, que la pesada de condensados se complete dentro de un ciclo: el indicador de alarma rojo no se enciende.

Relevación % Humedad:

El porcentaje de humedad del aire en cada piso de secado, lo detecta un termoregulador por medio de una sonda capacitiva.

Dicho termoregulador esta conectado con las unidades de condensación del piso y bloquea el funcionamiento hasta que el porcentaje de humedad del aire en el piso no llegue al nivel mínimo regulado.

Este sistema es muy útil al principio, en las interrupciones y al final de producción, puesto que impide automáticamente desecar demasiado y estropear las cabezas y las colas de producción.

Unidades de condensación instaladas en el tercer piso, no tienen balanzas puesto que estas están previstas solamente en caso de corrección del proceso de secado, y, en caso de utilización, está previsto el control directo del producto por parte del operador.

Instalación Térmica:

La instalación térmica de la galería de secado incluye:

-Las baterías de calefacción de las centrales de ventilación.

-La instalación anticondensadora que está constituida por

una serie de serpentinae que calienta las estructuras metálicas del aparato externas, previniendo la formación de condensados.

#### G.-ENFRIADOR

El enfriador es el elemento final del proceso de secado donde la pasta procedente del secado, a la temperatura del secado, se enfría rápidamente y se lleva a temperatura ambiente.

Este tratamiento deja la pasta completamente estabilizada, robusta e inalterable a las condiciones ambientales.

El enfriador esta constituido por una galería de un piso, de dimensiones reducidas, colocado al final del tercer piso de secado, en posición elevada.

#### Carga - Transporte de Cañas - Descarga:

Al final del tercer piso de secado, las cañas son pre-elevadas una a una y cargadas en un ascensor a cadenas que las levanta y traslada en la pareja de cadenas, que las transporta a lo largo del enfriador; las cadenas del enfriador, tienen eslabones y alces que las mantienen regularmente espaciadas.

A la salida del enfriador, las cañas son recogidas por el descensor de carga de los pisos de acumulación.

El movimiento del descensor es independiente y con funcionamiento discontinuo. El arranque se da por una pareja de microinterruptores, colocados al final de las cadenas de transporte en el enfriador y accionados por las cañas en llegada.

#### Grupo Hidrico - Ventilación:

El sistema de enfriamiento (FIG.III.37) esta constituido por:

A) Una par de radiadores de circulación de agua fria (37A) instalada verticalmente en la base del aparato. Todos los elementos son de acero inoxidable.

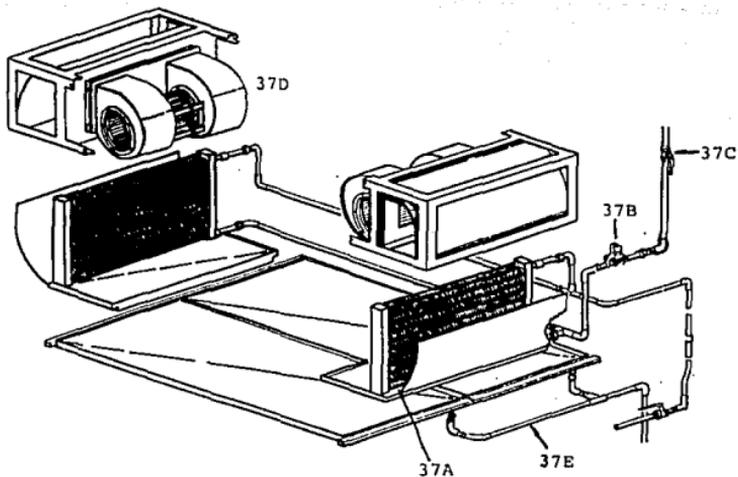


Fig.III.37 Sistema de enfriamiento

La temperatura del agua de de enfriamiento prevista debe ser de 20-22°C; su circulación esta interceptada por electroválvulas (37B) accionadas por los interruptores y parcializadas por medio de válvulas manuales (37C).

El agua a la salida de las baterías puede ser reciclada refrigerandola o usada para otros fines.

B) Una pareja de ventiladores centrifugos (37D) instalados en posición opuesta, por encima de la pasta, aptos para generar los flujos de aire frio que se suministran a la pasta.

C) Una serie de deflectores que guian el flujo de aire.

D) Un sistema de tolvas y correspondientes tuberías de recolección y eliminación de los condensados, liberada por el aire atravesando las baterías (37E).

#### Uso del Enfriador:

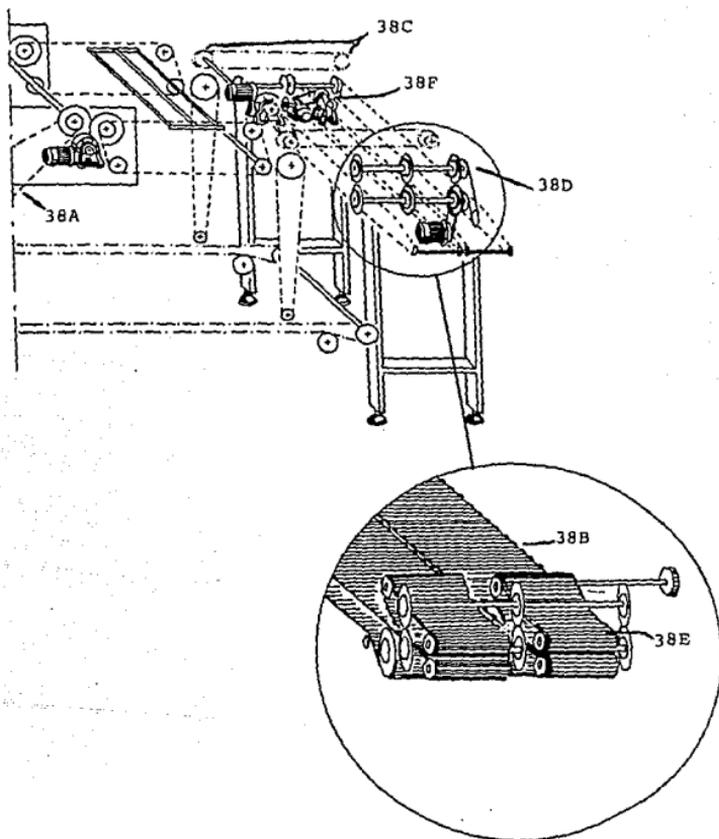
El enfriador entra en función a la llegada de las primeras cañas de pasta.

La circulación del agua fria entra en función a través de un interruptor puesto en el tablero eléctrico que acciona las electroválvulas de interceptación.

La temperatura interna se detecta por un termoregulador por medio de una sonda. Durante el funcionamiento, por la comparación entre la temperatura leida y la prevista, el operador podrá regular oportunamente la circulación del agua fria en las baterías.

#### H.-DESFILADORA

La tarea de la desfiladora es de recibir las cañas de pasta desde el enfriador, dividir las cañas de la pasta colocando la pasta en posición de carga en los tapetes de la sierra.



Fug.III.38 Desfiladora

Las camas de pasta, procedentes del enfriador, son recogidas por una pareja de cadenas (FIG.III.38A) y depositadas en el dispositivo desfilador a movimiento alternado.

Este dispositivo, en el recorrido de ida, transporta y coloca la caña de pasta en posición horizontal sobre los tapetes de la sierra (38B). Mientras, en el recorrido de retorno, empuja la caña en sentido opuesto de forma que la pasta salga de la caña.

La pasta es sostenida por los lados de las cabezas y de las puntas por dos soportes giratorios (38C); y además, una barandilla móvil le impide retroceder durante el desfilado y se abre, accionada por un pistón neumático, cuando pasa la caña vacía.

Las cañas vacías las recoge un descensor de cadenas que las transporta una a una en el retorno de cañas para que sean recicladas.

Tras el desfilado de la caña, los dos soportes giratorios ruedan y dejan caer la pasta sobre dos tapetes de la sierra (38B), volviendo después en posición para recibir una nueva caña.

Dos emparejadores colocan de forma alineada la pasta sobre los tapetes. En el momento de la carga, los tapetes están parados y entran sucesivamente en movimiento transportando la pasta tendida, contra los discos de corte (38D).

Cada tapete está formado por una serie de tubos mantenidos y transportados por una pareja de cadenas; la pasta apoyada encima es transportada y se le impide al mismo tiempo que se desplace.

A la altura de los discos cortadores, la pasta se mantiene prensada por una segunda pareja de tapetes (38E) parecidos a los primeros que impiden que la pasta se mueva.

La altura de estos segundos tapetes es regulable según el formato de pasta que se quiera cortar.

La velocidad de los tapetes se regula actuando en el volante de regulación (38F) del motovariador de tracción con polea expansible. Todos los movimientos de la desfiladora y de los tapetes están en sincronización entre ellos con el enfriador.

La parada en fase de la desfiladora está determinada por un microinterruptor accionado por el programador; si se quisiera recoger la pasta no envasada, la cadencia de desfilado estará determinada por la velocidad de descarga de la acumulación regulable en el tablero eléctrico. Los discos cortan la pasta en dos partes uniformándola con la longitud apta para el envasado, eliminando las curvas y las puntas ( la parte inferior y superior de la caña).

Las curvas y las puntas cortadas las recoge un transportador neumático de aspiración o son transportadas por el departamento de molienda. Dichas curvas y puntas vuelven a ser molidas y remitidas en la producción.

CAPITULO IV  
TEORIAS DE SECADO DE LA PASTA

**I.-TEORIAS DE SECADO**

En 1945 L.A. Shwstr de nacionalidad rusa, publicó un artículo titulado "Drying Macaroni. En este artículo él expuso que el incremento de la temperatura de 40°C a 60°C reduce el tiempo de secado de 20 horas a 10 horas. Para ese tiempo Charles M. Hoskins [22] expuso que ese artículo al parecer trataba sobre productos de pasta corta, donde, para el tiempo de la publicación de ese artículo ya existían tesis desarrolladas en laboratorios de secado a 65°C, mostraban que la pasta larga (spaguetti) puede ser secada en 10 horas 30 min. sin estrellarse.

El artículo publicado por M. Hoskins, tenía por objetivo principal, mostrar en forma sintetizada y fácilmente comprensible, los conocimientos actualizados en esa época en lo que respecta al secado de pastas en general.

**HUMEDAD DE EQUILIBRIO EN PASTAS**

Si se coloca un producto de pasta en un área en la que este circulando aire a una temperatura y humedad constantes; aquella tomará o perderá humedad hasta alcanzar un peso constante. El % de humedad en ese momento se llama humedad en equilibrio. La curva de humedad en equilibrio al final (Fig.IV.1) se basa en los resultados de 52 corridas de secado realizadas en un secador experimental pequeño, con spaguetti. La curva fué el promedio de los resultados para temperaturas entre 90 y 165°F. Los datos fueron distribuidos dentro de un rango considerable de humedad relativa, de tal forma que hubiera valores altos y bajos dentro de la curva.

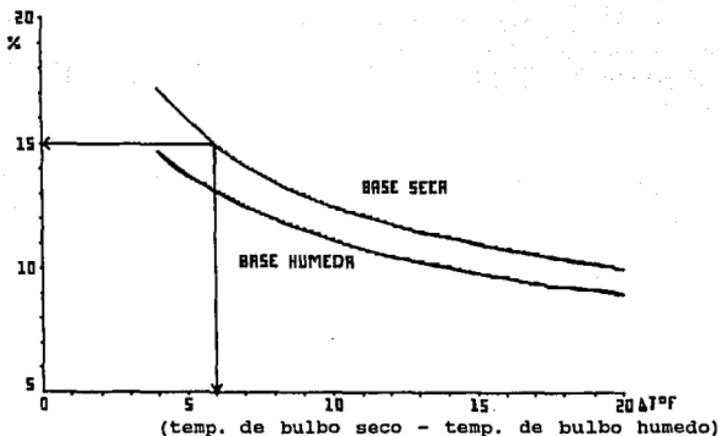


Fig.IV.1 Contenido de humedad de equilibrio

No se encontró una tendencia para la temperatura, por lo que se promediaron todas las cifras en vez de tratar de elaborar curvas separadas para cada temperatura. Las cifras son mas bajas que las humedades de equilibrio determinadas previamente por otros investigadores. La distribución de estos datos puede deberse a las diferencias de humedad de equilibrio causadas por el contenido de proteínas o al tratamiento del producto durante el proceso de secado. Hay dos curvas en la gráfica, una denominada base seca y otra base húmeda.

## CAPACIDADES DE SECADO

Las capacidades de secado a una humedad constante puede calcularse por medio de la fórmula:  $\log Fo/F = KAT$  Ec. IV.1

donde:

F = % de humedad libre = M - Me

M = % humedad en pasta (BS)

Me = % de humedad de equilibrio (BS)

K = Constante experimental que es 0.0406

A = Area de superficie de la pasta, pies /lb de sólido seco

T = Tiempo en horas

Fo = Humedad libre al tiempo cero

As = Area superficial  $\pi D L = \text{pie}^2$

Vol = Volumen cilindro hueco  $\text{pie}^3 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) L$

$\rho$  = Densidad lb/pie<sup>3</sup> m = Masa, lbs. L = Longitud, Pie

$$A = \frac{A_s}{m} = \frac{\pi D L}{\rho \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) L} = \frac{4 D}{\rho (D^2 - d^2)}$$

$$A = 0.61 D / (D^2 - d^2) \quad \text{Ec IV.2}$$

D = diámetro exterior (plg)

d = diámetro interior (plg)

Por lo tanto para espagueti de  $d = 0$ , la ecuación se reduce a:  $A = 0.61 / D$ .

Sustituyendo en la Ec. IV.1:

$$\log Fo/F = 0.0406 \times \frac{0.61 D}{D^2 - d^2} \times T$$

obteniendose:

$$\log Fo/F = \frac{0.0248 D}{D^2 - d^2} \times T \quad \text{Ec. IV.3}$$

de esta última, podemos derivar:

$$t_o = 12.1 \left( \frac{D^2 - d^2}{D} \right) D$$

Ec. IV.4

donde:

$t_o$  = tiempo requerido en horas para reducir la humedad libre a la mitad de su valor inicial.

D y d = diámetro exterior e interior.

Ejemplo:

Trazar una curva de secado para un espagueti de diámetro 0.072" con una cantidad inicial de humedad del 30% (BS), secado en una temperatura de bulbo seco de 100°F y 94°F de temperatura de bulbo húmedo ( $\Delta T = 6$  °F )

Solución: En la gráfica encontramos que la humedad equilibrio es 15% (BS) a un  $\Delta T$  de 6°F.

$$F_o = 30 - 15 = 15$$

$$t_o = 12.1 \left( \frac{0.072^2 - 0^2}{0.072} \right) / 0.072 = 12.1 \times 0.072 = 0.87$$

Así, cada 0.87 horas la humedad libre se reduce a la mitad.

TABLA IV.1 RELACION DE HUMEDAD Y TIEMPO

Tiempo (Hrs.)	F = Humedad libre ( % )	M = Humedad en pasta ( % )
0	15.0	30.0
0.87	7.5	22.5
1.74	3.75	18.75
2.61	1.88	16.88
3.48	0.94	15.94
4.35	0.47	15.47
5.22	0.24	15.23

Para poder expresar la teoría de secado, debemos revisar los mecanismos para la transferencia de agua en el amasado y entender

como a muy alta temperatura se puede lograr una reducción de tiempo de secado.

#### MECANISMOS PARA TRANSFERENCIA DE AGUA

El secado de pasta involucra dos fenómenos principalmente [28]:

1.- La velocidad de la evaporación, la cual depende de la presión de vapor y a la disponibilidad de agua en la periferia del amasado.

2.- La difusión del agua dentro del amasado, la cual varía apreciablemente, de acuerdo a la temperatura y humedad.

Durante el secado debe hacerse una distinción esencialmente entre:

-Una primera etapa con una velocidad constante de secado, durante la cual la superficie es saturada con agua libre. El agua que viene del centro del producto es suficiente para saturar la superficie con agua. Con pasta como con muchos productos biológicos, esta etapa es difícil de detectar.

-Una segunda etapa con una progresiva disminución de la velocidad de secado, en la cual la difusión del agua no logra saturar la superficie.

Es durante esta etapa que el excesivo nivel de humedad en la pasta, provoque accidentes de secado de tipo estrellamiento.

J. Andrieu and A. A. Stamatopoulos (Université des Sciences et techniques du Languedoc), quienes investigaron la cinética de secado en pasta, la cual fué objeto de una reciente publicación, han demostrado que el proceso es totalmente controlado por la difusión del agua interna de la pasta y dieron una solución a la ecuación de Fick para un cilindro (spaguetti) puede escribirse de

la siguiente forma:

$$\frac{N - N_e}{N_0 - N_e} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4}{B_n^2} e^{-B_n^2 Dt / r^2} \quad \text{Ec. IV.5}$$

donde:

t = Tiempo ( min.)

N = Humedad de pasta ( agua/solidos)

N<sub>0</sub> = Humedad inicial de pasta

N<sub>e</sub> = Humedad de equilibrio en la pasta, en términos de condiciones de secado.

D = Difusividad o coeficiente de difusión

r = Radio del cilindro

B<sub>n</sub> = "n" orden de solución de la ecuación de Bessel's  
J<sub>0</sub>(B<sub>n</sub>)=0.

Estos autores han demostrado que la solución se da rápidamente si solamente se considera el primer término de la serie (desviación menor del 6%).

Por lo tanto, toman como dato B<sub>1</sub>=2.4048, y se deduce la siguiente ecuación:

$$\ln [(N - N_e)/(N_0 - N_e)] = (- 5.78 D/r^2)t + c \quad \text{Ec. IV.6}$$

Al trazar las curvas  $\ln(N-N_e)/(N_0-N_e) = f(t)$ , la pendiente hará posible la determinación de la difusividad o coeficiente de difusión D.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

Spaguetti de diferentes diámetros fué extruido y puesto en secadores piloto y sometido a diferentes condiciones de ambiente: temperatura de bulbo seco ( $Dt$ ) y humedad relativa ( $RH$ ) las cuales ha sido predeterminadas para medir el contenido de humedad de la pasta con respecto al tiempo. Se obtuvieron varias curvas dos de ellas estan en la figura IV.2.

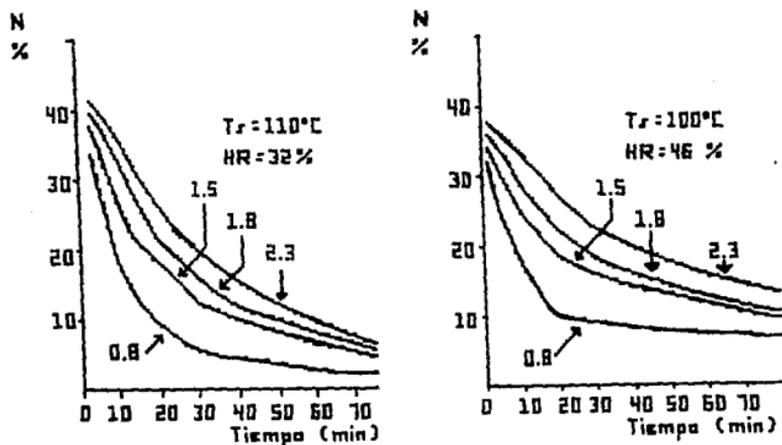


Fig. IV.2 Evolución de la humedad en diferentes diámetros de spaguetti.

Un sistema de curvas en términos de  $\ln[(N - N_e)/(N_0 - N_e)]$  fué tratada subsecuentemente para un mismo diámetro de spaguetti, dos de estas curvas son mostradas en la fig. IV.3.

Como se puede observar durante el proceso de secado bajo condiciones predeterminadas, que la pendiente a lo largo de la curva cambia por lo menos dos veces, correspondiente a dos o

tres valores de difusividad lo cual refleja un cambio en el comportamiento de la pasta.

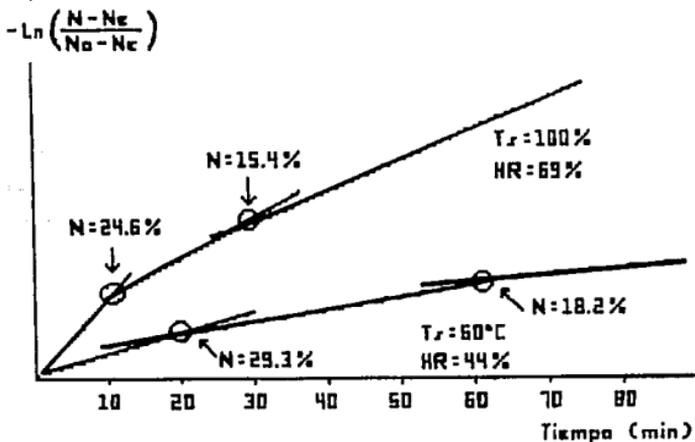


Fig. IV.3 Curvas en términos de  $\ln[(N - N_e)/(N_0 - N_e)]$

Se puede apreciar que la velocidad de difusión disminuye debido a cambios en el comportamiento, y que cuando la temperatura aumenta, este cambio en el comportamiento ocurre en un contenido de baja humedad de la pasta, durante la última etapa del proceso de secado.

La curva de la fig. IV.4 muestra la gráfica entre el contenido de humedad en el cual ocurre el primer cambio respecto a diferentes temperaturas del aire de secado.

Mientras estos trabajos de investigación son aún muy parciales, la tendencia observada parece ser de una naturaleza capaz de explicar lo ocurrido en los procesos de secado.

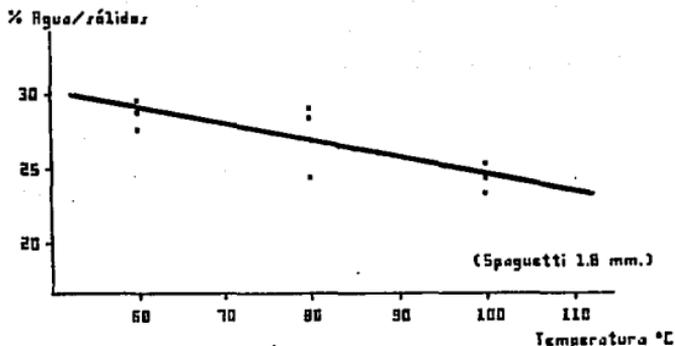


Fig. IV.4 Humedad en el cambio de comportamiento agua-sólido en relación a la temperatura de bulbo seco

Comunmente la distinción convencional es entre dos fases:

-Presecado en el trayecto en el cual el amasado es pseudo-plástico.

Este estado pseudo-plástico desaparece cuando la pasta alcanza un nivel de humedad de 21 a 25% para una temperatura convencional en el rango de 60 °C.

-La fase de secado aparece cuando el amasado toma el estado de un producto elástico-rígido.

Durante esta fase la fuerza inducida por la migración de agua y variaciones de volumen puede provocar estrellamientos irreversibles, creando deformaciones.

-Usando muy altas temperaturas durante el secado, se imparte una gran plasticidad al amasado, mas que a una temperatura convencional.

La fase de secado cambia, y así se tiene un amasado pseudo-plástico por largo tiempo durante la fase de desecación.

Ademas, en la fase de secado con temperaturas mas altas de 100°C, el amasado se trata con una humedad relativa baja en aire y rica en contenido térmico a presión atmosférica. Lo cual, teóricamente, es tambien propicio para una aceleración del fenómeno de secado.

Los diagramas de secado presentados en la fig. IV.5, deben ser considerados solo como un ejemplo. Otra combinación debe ser usada para condiciones pseudo-plásticas de pasta durante gran parte del secado.

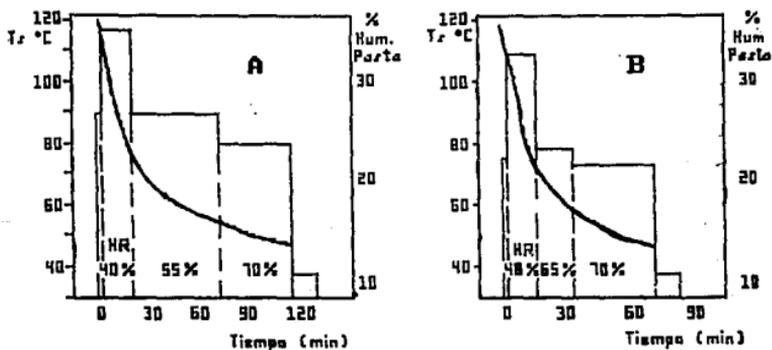


Fig. IV.5 Diagramas de secado. A.- Macarrón pequeño  
B.- Pasta con huevo

Las variaciones de temperatura y humedad son las principales causantes de accidentes en el secado. Adicionalmente, en los últimos secadores, la temperatura y humedad son controlados a los requerimientos de isotermas de equilibrio de la pasta. El tiempo es seleccionado hasta que la humedad de la pasta logre una fase asintótica y se alcance una estabilización perfecta.

La mas importante innovación en los últimos cinco años en la industria pastera ha sido la aplicación de alta temperatura para el proceso de secado.

Muchos fenómenos fisicoquímicos explican porque la reducción de tiempo de secado es posible y porque la calidad de la pasta se mejora.

Actualmente existen trabajos de investigación interesados en esa dirección.

Recientemente los investigadores Paul Earle y M. C. Rogers de la universidad de Minnesota, Minneapolis, publicaron un artículo [20] sobre los estudios realizados en un equipo de laboratorio y aplicando la teoría de secado a un proceso de secado de spaghetti, obtuvieron resultados en los diferentes periodos de secado durante el proceso.

Los factores que afectan el secado de sólidos húmedos han sido discutidos por varios investigadores. Sherwood considera que la operación de secado se lleva a cabo en tres etapas:

a) Un primer periodo de secado o de velocidad constante,

$$dw/Ad_0 = K_g H.$$

donde:

dw = Diferencial de peso en lbs.

- A = Area de superficie de secado, pies<sup>2</sup>
- d0 = Diferencial de tiempo, Hr.
- Kg = Coeficiente de difusión lb H2O / (Hr)(pie<sup>2</sup>)
- H = Hw - Ha = diferencial de humedad
- Hw = Humedad saturada ( temperatura de bulbo húmedo )
- Ha = Humedad, lbs H2O / lb aire seco.

aquí, la principal resistencia a la remoción de humedad se encuentra en la superficie del material en donde se esta llevando a cabo la evaporación.

b) un segundo periodo, de disminución de velocidad, durante el cual la velocidad del movimiento de la humedad hacia la superficie del material es el factor determinante y la velocidad de secado, dw/dA0, es proporcional a la humedad libre, F, en el material.

c) Un tercer periodo, durante el cual la velocidad del movimiento de la humedad es tan baja que la evaporación tiene lugar no en la superficie del material sino que en algún lugar del interior.

En el caso de ciertos materiales, de los cuales la pasta es uno de ellos, parecería razonable que éste último periodo de secado podria estar influenciado en alto grado por el "agua ligada" que tiene el material que está secandose. Puesto que la calidad de la pasta se ve seriamente afectada por las condiciones bajo las cuales se lleva a cabo el secado, es deseable asegurarse de que las condiciones de operación se encuentren dentro de sus velocidades de secado.

El trabajo realizado por los investigadores Paul Earle y M.

C. Rogers tenia por objetivo la determinación de las velocidades de secado usadas ahora comercialmente y la determinación de las velocidades que se deberian esperar bajo distintas condiciones. Se seleccionaron hojas planas de pasta como el primer material de trabajo debido a la conveniencia de la medición precisa de las áreas.

Las hojas planas no son enteramente satisfactorias porque éstas probablemente no han sido sometidas a una presión de trabajo tan grande como la que hubieran recibido en una prensa de extrusión. Por esta razón también se llevaron a cabo pruebas en productos comerciales, spaghetti y macarrones.

El equipo que utilizaron para las pruebas fue un secador de humedad controlada (Fig.IV.6), proporcionando una completa recirculación del aire.

Se equipó con una cámara de rocío, calentadores de aire de resistencia eléctrica y de vapor, humidificador y balanza de registro automático.

La pasta se colgó sobre tres cañas de 3/4 de pulgada de madera barnizada.

Para la realización de esta investigación fué necesaria la determinación de la curva de contenido de humedad de equilibrio para la pasta que fué determinada a una temperatura de bulbo seco de 100°F.

Se encontró una constante de velocidad de secado en el periodo de secado al secar las hojas de pasta a una velocidad del aire de 95 pies por minuto, pero aparentemente este periodo es tan corto bajo velocidades mas altas que no se observó experimentalmente.

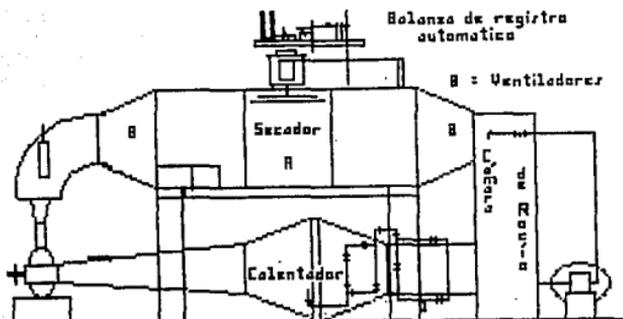


Fig. IV.6 Secador de humedad controlada

Los datos fueron representados por: velocidad de secado =  $\text{Kg}(\text{Hw}-\text{Ha}) \text{ da}$ ; en donde el valor de  $\text{Kg}$  fue de  $2.58 \text{ lb. H}_2\text{O}/\text{pie}^2 \text{ hr.}$

El punto crítico de humedad se encuentra entre 14 y 16 % de agua libre a esta velocidad de aire.

El periodo de disminución de velocidad para hojas de pasta, parece estar dividido en dos partes. La primer parte tiene una disminución de velocidad ( en forma lineal ) respecto al contenido de humedad libre.

La segunda parte tiene una velocidad constante de aproximadamente  $0.0013 \text{ lb}/\text{hr pie}^2$ .

En base a una prueba sobre pasta corta al que se le había dado un secado preliminar quedando con una humedad del 32% (base seca), la velocidad de secado al inicio es menor a 0.03 lbs. por hora por pie cuadrado. Los datos reportados por Hoskins indican velocidades descendientes de 0.002 a 0.007 libras por hora por pie cuadrado mientras la pasta es secada de 32 a 15% de humedad (base seca).

Las muestras que se utilizaron para el desarrollo del estudio fueron tomadas de las amasadoras de una planta local, y la pasta fué enrollada hasta un espesor deseado.

Se desenrolló la masa, se acondicionó al tamaño deseado y se colocó sobre varillas de madera usadas como soportes.

Se realizó un secado previo (aereado) durante aproximadamente 10 min y despues se colocó en el secador, que había estado operando a la humedad deseada durante varias horas. Se pesó el material y se registraron las lecturas de los termómetros de bulbo seco y bulbo húmedo a intervalos.

Cuando se utilizó el registro automático de peso, el rodillo fué cubierto con papel ahumado, se marcó el punto de inicio y la escala se balanceó usando pequeñas pesas.

Se tomaron lecturas de temperatura a intervalos irregulares para checar la operación de los controles.

Se analizó el material ya seco para determinar contenido de humedad por el Método Oficial de Estufa de Aire. Las tablas IV.2 y IV.3 muestran resúmenes de datos sobre los diversos materiales de pasta.

TABLA IV.2 SUMARIO DE DATOS DE LA PRUEBA DE SECADO DE MACARRON

Corrida	Material	Temp. bulbo seco °F	Humedad relativa %	Velocidad del aire Pie/min	Espesor plg.	Area Pie	Peso inicial gr.	Peso final gr.
1	Macarron plano	100	67	95	0.098	25.0	2800	2019
2			75	95	0.07	18.6	1381	988
3			60.5	95	0.065	22.0	2057	1457
4			43	95	...	19.5	1774	1233
5			80	150	...	16.38	1626	1180
6			86	150	0.075	15.61	2328	1655
7			90	150	...	16.79	2526	1739
8	Pasta plana con huevo	100	82	...	0.068	25.8	3247	2310
9			70	...	0.031	28.05	1290	920
10			81.5	...	0.098	15.19	2861	2058
11	Macarron plano acido	...	39	95	0.031	15.8	518	384
12	Macarron codo	108	37	...	...	171.0	2122	1604
13	Espeguetti	100	73	95	...	34.8	3100	2107
14			70	95	...	35.3	2879	2153
15			70	220	0.078	25.5	1701	1340

TABLA IV.3 PERDIDA EN PESO DESPUES DEL SECADO DE PRODUCTOS DE MACARRON, DEL CONJUNTO ORIGINAL DE DATOS

Corrida No	-----perdida en peso despues, gramos-----													
	100 min	200 min	300 min	400 min	500 min	600 min	700 min	800 min	900 min	1000 min	1100 min	1200 min	1300 min	1400 min
1	120	225	315	363	400	420	438	454	465	473	480	484	...	...
2	59	110	142	164	182	189	199.5	203	207	209	211	...	...	...
3	120	212	276	313	336	352	363	370	375	378	381	384.6	...	...
4	192	302	332	358	378	...	...	...	...	...	...	...	...	...
5	81	133	162	188	207	218	224	227	230	233	237	242	248	251
6	57	121	177	224	262	291	312	333	351	363	369	372	372	...
7	58	117	143	161	170	176	...	...	...	...	...	...	...	...
8	54	114	165	214	260	306	...	...	...	427	451	469	...	...
9	105	165	194	210	220	225	228	230	232	...	...	...	...	...
10	66	113	166	203	237	283	...	...	...	466	460	464	...	...
11	58	82	88	93	93.5	...	...	...	...	...	...	...	...	...
12	274	310	330	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
13	85	166	239	287	332	378	410	425	438	...	...	...	...	...
14	133	229	289	320	341	358	373	391	415	419	428	438	...	...
15	100	140	153	...	169	172	...	175	177	177	177	...	...	...

## HUMEDAD DE EQUILIBRIO

En el estudio de las velocidades de secado, es necesario conocer la humedad de equilibrio con el fin de determinar el contenido de humedad libre del material que se esta secando. El contenido de humedad de equilibrio del material usado en esta investigación fué determinado secando una muestra de pasta en una corriente de aire hasta alcanzar el equilibrio. Los datos se presentan en forma de gráfica en la Fig. IV.7. Otros investigadores han obtenido curvas similares. Atkinson obtuvo datos a temperatura ambiente, 75°F (23.9°C) y Binnington y Geddes presentaron una curva obtenida de una corrida a 90°F (32.2°C) llevada a cabo en un secador similar al que se uso en este estudio.

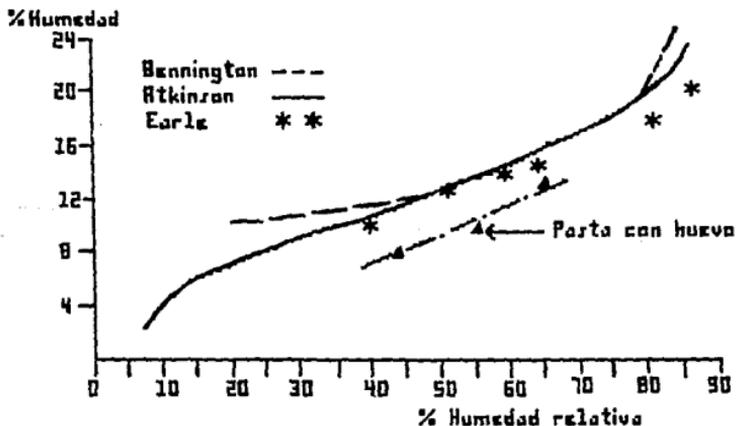


Fig. IV.7 Contenido de humedad de equilibrio en macarrón.

Los datos de las tres fuentes concuerdan en la mitad de la curva. Los datos de Atkinson fueron obtenidos en pasta seca que fué rehumidificada y la curva es un promedio de los contenidos de la humedad de equilibrio en el secado y la recuperación de la humedad de equilibrio. Los datos de Binnington y Geddes fueron obtenidos de una muestra elaborada en un molino experimental a pequeña escala. Es posible que las humedades registradas fueran ligeramente erróneas debido a que la velocidad del aire sobre el termómetro de bulbo húmedo en los experimentos de Binnington y Geddes era muy baja y los datos obtenidos en esta investigación fueron el resultado obtenido en el secado; mientras que los datos de Atkinson eran el promedio de la humedad de equilibrio en el secado y la recuperación de la humedad de equilibrio. Esto podría explicar la diferencia en la posición entre la curva de Atkinson y la obtenida por los autores Paul Earle y M. C. Rogers.

#### PERIODO DE VELOCIDAD CONSTANTE DE SECADO

Los datos de las corridas 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10 y 11 fueron usados para calcular los coeficientes de difusión (Tabla IV.4). El valor promedio de "kg" para las hojas de pastas a una velocidad de aire de 95 pies por minuto fué de  $2.58 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2 \text{ Hr}}$  por unidad diferencial de humedad; en donde "Hw" es la humedad de saturación a la temperatura de bulbo húmedo y "Ha" es la humedad de la corriente de aire. El valor de "Kg" para hojas de fideos de huevo fué 2.65. La primera parte de la corrida 7 se llevó a cabo con aire estático, dando un valor de "kg" igual a 1,225. Los datos reportados por Hoskins indican un valor de "kg" de  $5.9 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2 \text{ Hr}}$  por unidad diferencial de humedad. No se dieron datos

sobre la velocidad del aire usada en esta prueba, pero una estimación basadas en pruebas de plantas locales, indica un valor probable de 300 a 450 pies por minuto.

TABLA IV.4 COEFICIENTE DE DIFUSION SUPERFICIAL

Corrida	Hw - Ha	Velocidad	kg'	Material
2	0.0021	0.00464	2.205	Macarron plano
3	0.0024	0.00735	3.06	
1	0.0024	0.00634	2.64	
5	0.0036	0.00900	2.50	
4	0.0046	0.0112	2.44	
10	0.0015	0.0435	2.96	Pasta plana
9	0.0023	0.0054	2.34	Pasta plana
11	0.0040	0.0049	1.225	Macarron plano
Hoskins	0.0077	0.054	5.90	Macarron, alta velocidad de aire.

#### PERIODO DE DISMINUCION DE VELOCIDAD

El periodo de disminución de velocidad para el secado de pastas, usando una velocidad de aire de 95 pies por minuto, debe dividirse en dos partes (Figs.IV.8 y IV.9). En general la primera parte de la curva de disminución de la velocidad es lineal con respecto al contenido de humedad libre.

En el punto C (Fig.IV.8), la velocidad se vuelve constante a aproximadamente  $0.0013 \frac{\text{lb}}{\text{pie}^2 \text{ Hr}}$ .

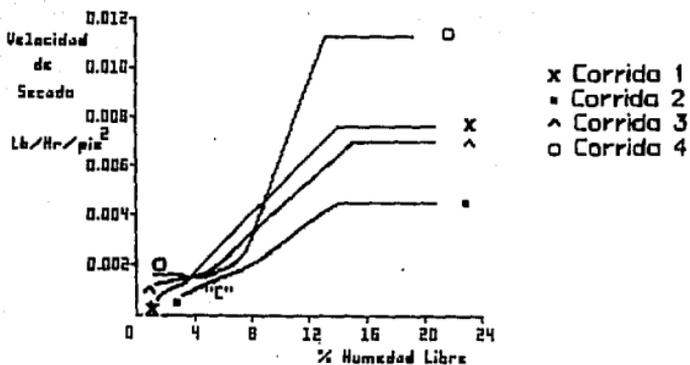


Fig. IV.8 Curvas de velocidad de secado para macarrón a una velocidad de aire de 95 pies/ min.

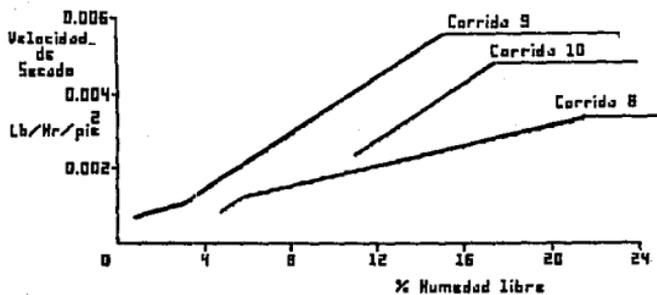


Fig. IV.9 Curvas de velocidad de secado para pastas con huevo

Los valores de "K" obtenidos para la ecuación Velocidad de secado =  $1/K \ln F_0/F$  se presentan en la tabla IV.5 y en forma de gráfica en la Fig.IV.10.

#### SECADO A HUMEDADES ELEVADAS

Las corridas 5, 6 y 7 se llevaron a cabo a humedades elevadas en hojas de pasta colgadas en 6 varillas, puesto que la pasta a altas humedades no soportó su propio peso sin el secado preliminar.

Las humedades relativas en las tres pruebas fueron 80, 86, y 90% respectivamente.

La velocidad de secado para estas pruebas se encuentra en forma de gráfica en la Fig.IV.11.

Los valores de "K" se presentan en la tabla IV.5 y en forma de gráfica en la Fig.IV.9.

#### SECANDO PASTA ACIDA

La corrida 11 se llevó a cabo con una pasta de 0.031 pulgadas de espesor que había sido enrollada el día anterior.

Posiblemente ocurrió alguna acción bacteriana o fermentación antes de que este material fuera secado. La velocidad de secado (Fig.IV.12) es menor de lo que se esperaba bajo condiciones similares usando masa fresca. El material se secó de una forma muy irregular y algunas áreas de la hoja se secaron antes que otras.

La curva de velocidad de secado para esta prueba fué cóncava hacia arriba en el periodo de disminución de la velocidad.

TABLA IV.5 VALORES DE COEFICIENTE DE SECADO "K"

Material	Corrida No.	Humedad Relativa, %	K 1/Hr.
Macarron plano	2	75	0.198
	3	68.5	0.307
	1	67	0.190
	4	43	0.344
	5	80	0.153
	6	86	0.1375
	7	90	0.0443
Espaguetti	13	73	0.073
	14	70	0.143
	15	70	0.220
Pasta con huevo	10	81.5	0.080
	8	80	0.078
	9	70	0.461

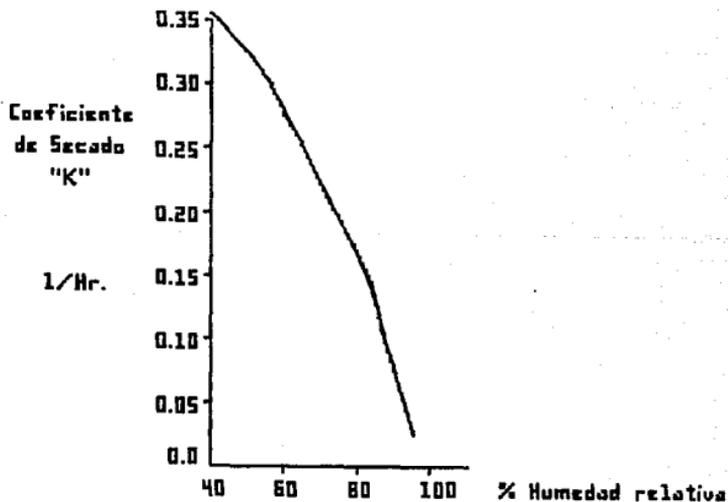


Fig. IV.10 Variación del coeficiente de secado con respecto a la humedad relativa

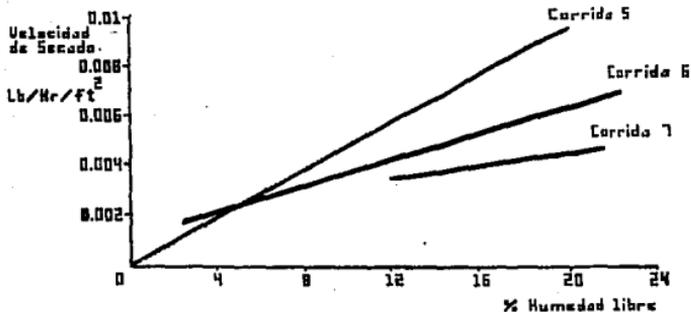


Fig. IV.11 Curvas de velocidad de secado para macarrón a una velocidad de aire de 150 pies/min.

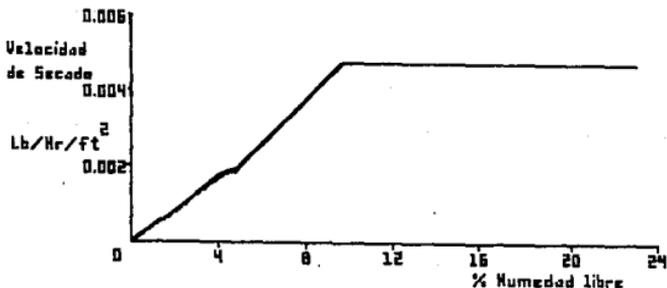


Fig. IV.12 Curva de velocidad de secado para macarrón ácido

## SECADO DE PRODUCTOS COMERCIALES DE PASTA

En la corrida 12 se introdujo aire hacia arriba a través de una cama de 11 pulgadas de pasta corta contenida en una cámara de fierro galvanizado de 6 pulgadas de diámetro con un piso falso de pantalla de cobre. La cámara de secado estaba localizada directamente arriba del ventilador. La velocidad de aire utilizada fué ligeramente inferior a la velocidad que sostendría a la pasta en el aire. La pasta era producto de baja calidad que había sido secada a un 24.2% de humedad y había sudado antes de ser secadas en el secador del laboratorio. Las condiciones de secado en esta prueba eran mucho mas severas de las que se hubieran utilizado para elaborar un producto comercial e indican un límite superior de velocidad de secado aún cuando no se considere la calidad del producto. La humedad relativa de entrada promedió 37% y la humedad a la salida del secador varió de un 50 a un 40%. Las velocidades de secado (Fig.IV.13) se encuentran en el periodo de disminución de la velocidad y la velocidad final parece empezar a controlarse a una humedad de 14 a 15%, base seca. La velocidad de secado fué aproximadamente 10 veces la usada por Hoskins para pastas largas; y el producto obtenido era muy quebradizo y tenía numerosas resquebrajaduras hacia ambos lados y alrededor de la circunferencia de la pasta. Las resquebrajaduras fueron visibles despues de los 230 minutos de secado. La pasta fué secada de un 32 a un 11.9% de humedad (base seca) en 4.5 horas. El periodo total de secado fué de cinco horas. La velocidad de secado, aún cuando la pasta haya recibido un secado preliminar, debe ser menos severa de lo que se muestra en la Fig IV.13. Al calcular las velocidades de secado para este

material, el área de superficie se estimó calculando el área exterior en piezas individuales. Las corridas 13 y 14 fueron hechas con spaguetti sólido con una velocidad de aire de 95 pies por minuto y humedades de 73 y 70% respectivamente. La corrida 14 se llevó a cabo con material que había recibido un corto secado en la planta, seguido de un periodo de sudado. La Fig.IV.14 muestra que no se obtuvo periodo de velocidad constante. Cerca del equilibrio, las velocidades de secado son, en general, mas bajas para spaguetti que para hojas planas que no hablan sido sometidas a altas presiones. Las condiciones de la corrida 15 fueron duplicado de la corrida 14 excepto que la velocidad del aire fué elevada de 95 a 220 pies por minuto. Las velocidades de secado para ambas se grafican en la Fig.IV.14. Ambas corridas se encuentran completamente en el periodo de disminución de la velocidad. Los valores de "K" se muestran en la tabla IV.5.

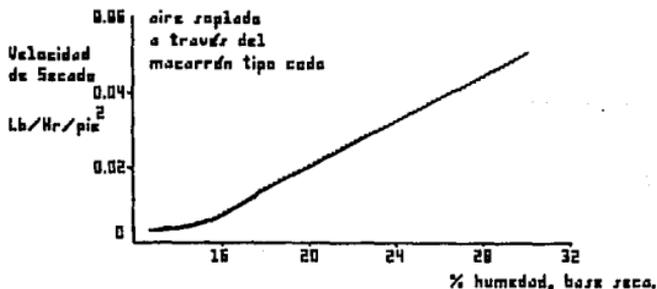


Fig. IV.13 Curva de velocidad de secado para macarrón tipo codo

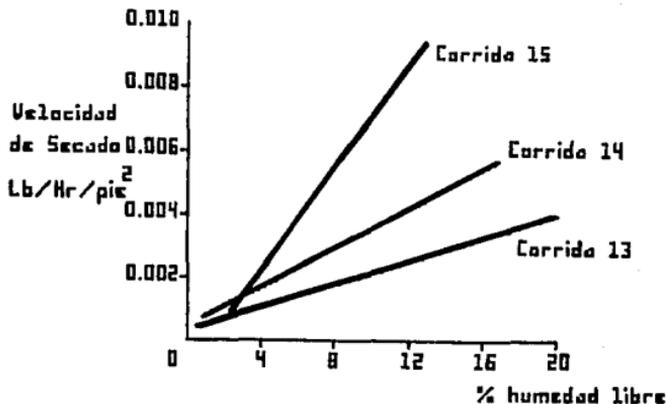


Fig. IV.14 Curva de velocidad de secado para spaguetti

#### PRUEBAS EN EQUIPO COMERCIAL

Las pruebas 17, 18 y 19 fueron realizadas en un secador con transportador de 4 pasos calentado a una temperatura promedio de  $106^{\circ}\text{F}$ , una humedad de 0.0265 libras de agua por libra de aire seco y a un promedio de velocidad de aire de 250 pies por minuto. La distribución de humedad en pasta corta se muestra en la Fig.IV.15 y las velocidades de secado basadas en el Área exterior se dan en la Fig.IV.16.

La corrida 6 se llevo a cabo en el equipo descrito previamente cuando se operó bajo las condiciones usuales de planta. Las velocidades de secado se muestran en la Fig.IV.17.

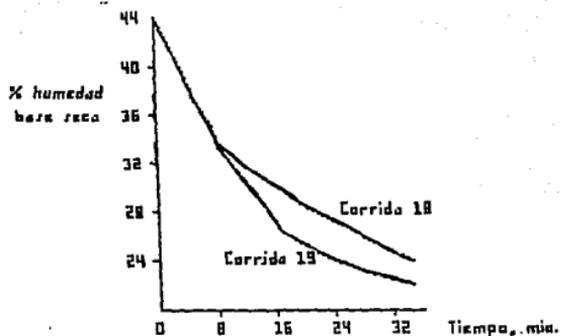


Fig. IV.15 Contenido de agua en macarrón tipo codo en un secado preliminar

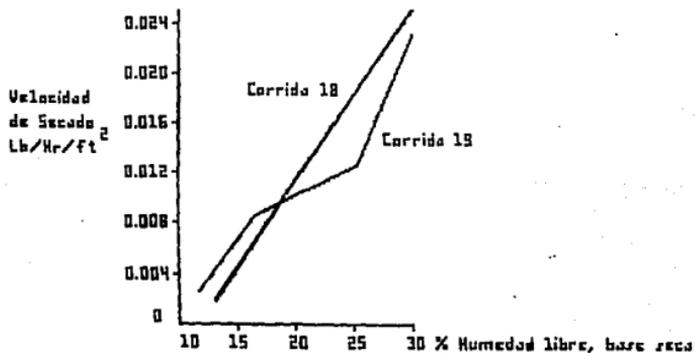


Fig. IV.16 Velocidad de secado para macarrón tipo codo en un secado preliminar

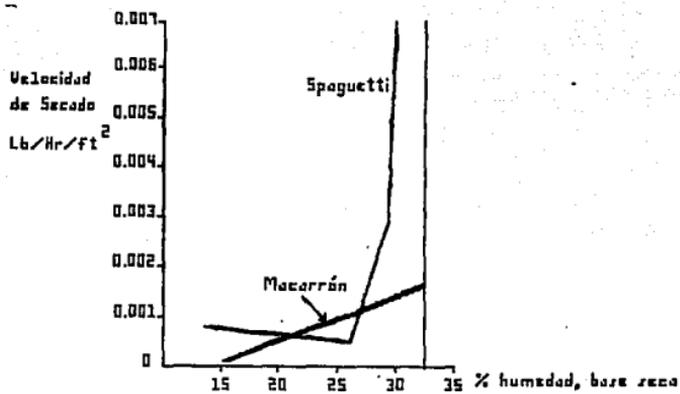


Fig. IV.17 Velocidad de secado comercial en secado secundario

## II.-ASPECTOS BASICOS EN LOS EQUIPOS DE SECADO

A continuación se describe una reseña histórica del procedimiento de elaboración de las pastas, la conformación de los equipos y los conceptos técnicos y empiricos utilizados para la definición de las condiciones de operación durante el secado, dichos conceptos son importantes mencionar, ya que, muchos de ellos actualmente conforman las bases teóricas aplicadas a los secadores mas modernos en la actualidad.

Los macarrones abarcan todas las formas del producto, pero al mismo tiempo la palabra "macarrones" se usa específicamente para designar un artículo de la línea y que tiene una forma tubular, un diámetro de 1/4 de pulgada y una longitud de unas pulgadas hasta varios pies. Los macarrones y spaguettis son las formas mas comunes.[25]

Para el mejor entendimiento del proceso, es necesario recalcar que el macarrón es una mezcla de sémola y agua, mezclada y amasada hasta una masa coherente bajo presión de 3000 a 5000 lb/pulgada cuadrada.

La sémola contiene originalmente cerca de 14% de humedad y se adiciona 26% de agua en el mezclado. Propiamente el macarrón seco contiene cerca de 10%, el resto de la humedad (30%) debe ser removida en cada uno de tal manera que el macarron no pierda su forma y se endurezca consistente en su estructura y retenga su color ámbar encendido.

Cuando el producto se somete a aire seco y caliente, la velocidad de intercambio de humedad entre el macarrón y el aire es tan grande que tiende a romperse. Si la velocidad de secado es alta y continua, se perderá su forma y se desintegrará. Por otro

lado, si la velocidad de secado es lenta, el macarrón se agriará o se desmoronará.

Una ráfaga de aire seco caliente que pasa sobre una superficie húmeda, adsorbe la humedad de la superficie. El aire que adsorbió toda la humedad no altera la humedad final. El principal problema es exponer la superficie del macarrón a aire de humedad tal que permita un intercambio de humedad entre la superficie del macarrón y el aire a una velocidad no mayor que la de difusión de la humedad desde el interior de la masa del producto hasta la superficie. Cuando la superficie se expone al aire seco los pequeños círculos infinitesimales transfieren humedad al aire y adsorben humedad de la capa debajo de ellos.

El proceso ocurre hasta que la estructura se seca, a condición de que las capas exteriores no se sequen a una velocidad que les cause dureza antes de que la humedad de la masa interior sea transferida.

La resequedad superficial causada por una alta velocidad de secado que haga que el exterior se endurezca y reseque antes que el interior llegue al mismo estado de secado, provoca una tendencia de contracción en las capas externas para conformar el interior plástico, con el resultado de que cuando el interior finalmente llega a estar seco y duro nuevamente se contrae y causa que la estructura de la superficie exterior se rompa porque no tiene resistencia. Debido a estos problemas, en un principio se optaba por hacer un cuarto cerrado para "sudar" la pasta hasta que la humedad interna fuera absorbida por la superficie sin ocasionar estrellamiento o quebrado excesivo.

Las pruebas normalmente empezaban con un contenido de humedad de 40% en la pasta, el 11% se perdía en las operaciones de mezclado y amasado. Para producir pastas largas como macarrones, spaguetis y fideos, el secado se realizaba en barras sobre las cuales se colgaba la pasta y eran transportadas sobre anaqueles a un cuarto de ventilación donde se sometían a calor, se circula aire a alta velocidad por un tiempo de 20 minutos y durante los cuales se perdían otros 5 - 6% de humedad en el peso total. En el periodo final de ventilación, el macarrón todavía esta suave pero es muy fragil.

Posteriormente se llevaba hasta una charola de secado desde el cuarto de ventilación en el cual no se circula aire por 1 a 2 horas, durante las cuales la humedad se distribuye uniformemente a través de la masa del macarrón y la orilla de nuevo se hace plástica. Esta operación comunmente se denomina "sudado". Este sudado puede apresurarse por saturación del aire en la cámara de sudado a alta temperatura. Cuando el sudado se realiza en aire saturado no hay alteración de peso, lo cual indica que la difusión es uniforme y no se cede humedad al aire. Un sistema eficiente de secado involucraba equipo mecánico que consistia de una cámara de humidificación con serpentines de vapor para el calentamiento del aire y un gran ventilador para producir circulación. El aire se introducía dentro del compartimiento de secado por boquillas de 6 pulgadas de diámetro, difundido a 20 pulgadas y proyectado hacia el compartimiento a 3 pies abajo del techo. Este aire se descargaba a alta velocidad sobre los bastidores de secado. El aire se retornaba pasando por la pasta hacia el humidificador. La base del humidificador era un tanque

de metal el cual se carga hasta una profundidad de un pie. El agua de este tanque, mediante una bomba centrífuga, se pasaba a través de boquillas las cuales provocan la formación de un fino rocío. Esta agua se conservaba a temperatura uniforme de casi 90°F por un regulador de vapor de descarga dentro del tanque. Después de pasar a través del rocío, el aire se forzaba a pasar mediante un ventilador de circulación, por los serpentines de vapor, donde la temperatura se llevaba hasta tener una humedad relativa deseada. Este era el sistema eyector de carga y no es muy común que se use pero es el sistema de control mejor desarrollado en un principio y es el que mejor sirve para ilustrar las condiciones de secado.

Un concepto fundamental para la construcción del equipo de secado se basa en las propiedades del aire. La condición básica es que una vez que se realiza el secado por la evaporización del agua en el aire y una vez que se determinan condiciones del aire, es posible determinar una velocidad de transferencia de humedad desde la pasta hacia el aire.

En los días de verano existe la inquietud de que la pasta no alcanzará a secarse con la suficiente velocidad para protegerla de agriarse o enmohecerse. En invierno los cuartos se protegen de ráfagas de viento frío con gran cuidado. Fuera de la temperatura y humedad definidas, el control de la pasta debe sujetarse a periodos alternados de ventilación y sudado.

Hay cuatro factores que influyen para trabajar en el proceso de secado: las condiciones del aire, temperatura, velocidad de circulación de aire y la velocidad de difusión de humedad en el

producto a secarse.

Las condiciones del aire se determinan mejor por lecturas psicométricas con termómetros de bulbo húmedo y bulbo seco. El termómetro de bulbo seco registra la temperatura del aire como comunmente se expresa y el termómetro de bulbo húmedo indica un estado estacionario, alcanzado por una pequeña cantidad de líquido que se evapora en una gran cantidad de una mezcla vapor-gas no saturada. En condiciones apropiadamente controladas dicha temperatura puede utilizarse para medir la humedad de la mezcla. Con este propósito un termómetro cuyo bulbo se ha cubierto con un material fibroso humedecido en el líquido, se sumerge en una corriente de la mezcla gaseosa que se esta moviendo rápidamente. La temperatura que indica este termómetro alcanzará finalmente un valor inferior a la temperatura de bulbo seco del gas si éste último no esta saturado; sabiendo esto, la humedad se calcula una vez conocido ese valor.

La temperatura incrementa la velocidad de secado cuando los otros factores son inalterados. Para propósitos de discusión se considera que la velocidad inicial de evaporación de la humedad es practicamente igual que la velocidad de evaporación de una superficie líquida libre. Este movimiento de moléculas de agua crea una presión definida. Esta presión con un volumen de agua es una presión de vapor. Las moléculas cercanas a la superficie se suman al movimiento adquiriendo una tendencia a salir del volumen del líquido y pasar a la forma de vapor. Si la presión de vapor de la humedad en el aire es menor que la presión de vapor de la humedad en el macarrón, la humedad abandonará la superficie del macarrón. La velocidad de evaporación varía directamente con la

diferencia en la presión de vapor y la presión de vapor varía con la temperatura siendo evidente que la temperatura tenderá a aumentar la velocidad de evaporación. Si no hay circulación de aire se aplicará calor por encima del macarrón para suplir el calor necesario para evaporación de la humedad hasta llegar a un equilibrio. Consecuentemente es necesaria la circulación de aire en un secador. Si el calor que suple es constante y el vapor de agua se transporta lejos por aire que sale de la superficie, la velocidad de evaporación se incrementará con la velocidad del aire.

En la discusión no se considera que la evaporación se llevó a cabo desde una superficie de humedad libre, ya que el secado de macarrón es mas complejo. La velocidad de evaporación se limita por la velocidad de difusión, que es la velocidad a la cual la humedad fluirá desde el interior hasta la superficie de la pasta. Hay una velocidad de difusión para cada temperatura y en las etapas de secado, se debe mantener un balance entre los factores de humedad, temperatura y la velocidad del aire hasta que la superficie no se seque mas rápido que la velocidad de difusión de la humedad desde el interior hasta la superficie.

Se ha empleado actualmente un sistema de secado en el cual los cuatro factores que tienen influencia sobre el secado se pueden controlar totalmente.

La sección transversal de la masa del producto comparada con la superficie expuesta al aire tiene una decidida relación con la velocidad de secado. Debido a su fabricación, los tallarines no son tan densos como los macarrones y porque la relación de área

de superficie a peso es mas grande que la del macarrón, se secará mas rápidamente.

#### Sistemas de entrada y extracción de aire

La humedad se elimina en un secador debido a que se introduce aire seco y se extrae aire húmedo, [22]. Si los extractores de entrada y extracción de aire estan apagadas en un secador, la humedad aumentará. Lo mismo sucederá si la planta esta cerrada herméticamente y no es posible la entrada o extracción de aire. Si el aire de un secador se extrae hacia la planta, la humedad se elevará y entonces el aire húmedo deberá eliminarse del aire general por medio de extractores.

Bajo estas condiciones, el aire en el secador tendrá una humedad mas alta que el aire que rodea al secador. Si el aire extraído se lleva a traves de ductos directamente del secador hacia afuera del edificio, la cantidad de extracción tendrá que ser mucho menor debido a la elevada humedad del aire que esta siendo extraído. Esto es de gran importancia en climas frios porque se debe calentar un volúmen de aire de las condiciones externas a las condiciones de la planta por volúmen idéntico de aire extraído de la planta. A pesar de que el aire que sale del secador estará un poco mas caliente que el aire de la planta, habrá una reducción en la cantidad de extracción necesaria, por lo que el consumo de combustible disminuira considerablemente. El ahorro de combustible debido a la extracción directa por ductos deberá equilibrarse contra el costo de la instalación de los ductos.

Cualquier cantidad de aire que sea sacada de la planta debe remplazarse por aire del exterior; en la mayoria de las plantas

la entrada de aire es a través de puertas, ventanas y rendijas. Esto causa problemas con frecuencia porque el aire entra por donde no se desea. Por lo tanto, es recomendable que el aire entre a través de unidades consistentes de uno o mas ventiladores y serpentines de calentamiento para llevar el aire a temperatura ambiente.

El sistema de extracción ideal para el manejo de pastas consiste en un ventilador de extracción conectado directamente a los secadores por medio de tubería y una unidad de entrada en el área general. La cantidad de extracción de los secadores debe ser controlada por controladores de humedad en los propios secadores, de tal forma que los reguladores en el ducto de extracción hacia un secador individual, se cierren siempre que la humedad baje demasiado. La humedad en el área puede controlarse colocando un regulador de desviación en la salida de extracción para que regrese el aire hacia el área que rodea a los secadores o hacia alguna otra parte de la planta en la que se pueda usar el calor y la humedad proveniente de los secadores.

Este regulador deberá estar coordinado con un regulador similar en la unidad de entrada para que la cantidad de aire de entrada sea aproximadamente igual a la cantidad de aire extraído. Estos reguladores pueden controlarse con un medidor de humedad o con un bulbo húmedo, dependiendo de las condiciones del área.

Puesto que la unidad de entrada no estará suministrando aire todo el tiempo, este se puede recircular a través de la misma y utilizarse para calentar el área.

Así, la unidad de entrada es un medio para controlar tanto

la humedad como la temperatura en el área. Los sistemas de entrada y extracción de aire diseñados adecuadamente deben lograr los siguientes resultados:

- 1.- Eliminar de la planta la humedad dada por los secadores.
- 2.- Controlar la humedad en el área que rodea a los secadores.
- 3.- Controlar la humedad en el área que rodea a las prensas.
- 4.- Proporcionar capacidad adicional a otras áreas en la planta que puedan usar aire húmedo y caliente durante el verano.
- 5.- Introducir aire fresco y templado durante el verano.
- 6.- Equilibrar la presión en la planta, suministrando aire para reemplazar el aire extraído, de tal forma que no haya ráfagas de aire en la planta cuando se abra una puerta.

El tamaño de los ventiladores de extracción que requieren los secadores operados a alta temperatura es mucho menor que el tamaño usado en los secadores de baja temperatura. Así mismo las fugas en los secadores tienen más efecto a altas temperaturas que a bajas temperaturas.

A una presión manométrica de 100 lb por pulgada cuadrada, la temperatura del vapor saturado es 338°F y cada lb cede 880 BTU al condensarse. La evaporación de humedad en la pasta es lo opuesto a la condensación del vapor. Se requieren aproximadamente 1000 BTUs para evaporar una lb de agua de la pasta.

Además se tiene que suministrar vapor para reemplazar la pérdida de calor por conducción a través de las paredes del secador y el calor que sale con el aire de extracción. Se tiene como regla que la cantidad de vapor requerido por un secador de pastas es cercana a una y media veces la cantidad de humedad evaporada en el secador.

## CAPITULO V

### INFLUENCIA DEL SECADO EN LA CALIDAD DE LA PASTA

A continuación se describen los estudios hasta ahora realizados sobre el secado de pasta larga (spaguetti) en pruebas de laboratorio y la influencia que el secado tiene sobre la calidad de la pasta.[7]

#### Secado de pastas largas

Así como las materias primas seleccionadas y la transformación de las mismas (amasado) en la prensa tienen su influencia sobre la calidad del producto final, se ha examinado la influencia del diagrama del secado referente a la calidad en el producto final. Un estudio realizado por J. Manser reveló los resultados en el secado de diversas muestras tres diferentes diagramas de secado:

-Secado normal (NT) tiempo total de secado 12 hrs.

1 1/2 h., secado preliminar,  $T = 50^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$

10 1/2 h., secado final,  $T = 50^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$

( $\Delta T$  = diferencia entre la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco)

-Secado a alta temperatura (HT) tiempo total de secado, 10 h.

1 h., Secado preliminar,  $T = 30-50^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$

3 h., Secado preliminar,  $T = 65^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$

6 h., Secado final,  $T = 75^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$

-Secado a alta temperatura en el secado preliminar y secado final (VT-HT), tiempo total de secado, 10 hrs.

1 h., secado preliminar,  $T = 50-80^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T = 4^{\circ}\text{C}$

1 h., secado preliminar,  $T = 80^{\circ}\text{C}$ ,  $T = 4^{\circ}\text{C}$

8 h., secado final,  $T = 72^{\circ}\text{C}$ ,  $T = 4^{\circ}\text{C}$

Las gráficas se muestran en la Fig.V.1:

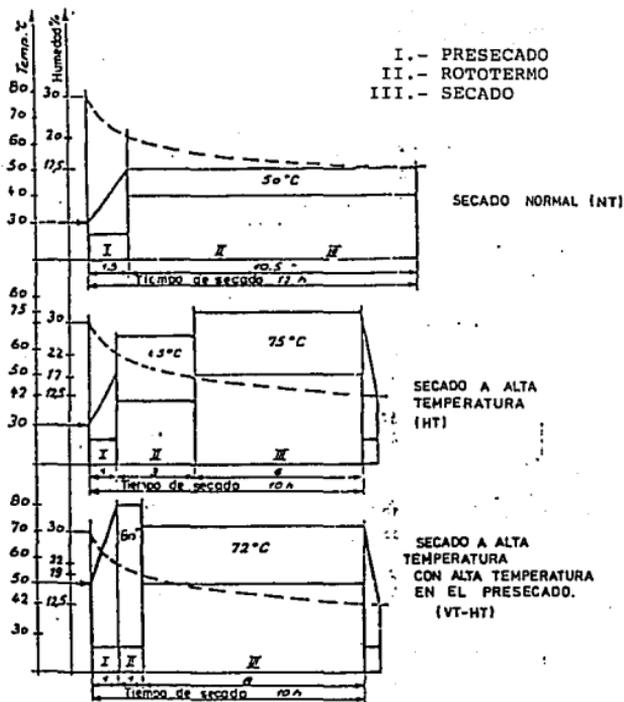


Fig. V.1 Diagramas de secado

### Valorización

Se examinará a continuación la influencia de las materias primas con referencia a las temperaturas durante la extrusión y el diagrama de secado, sobre la calidad del producto final, basandose en:

-microfotografías de la estructura proteínica de pastas prensadas frescas y sin cocer.

-microfotografías de la estructura proteínica de spaguettis secados, sin cocer.

-microfotografías de la estructura proteínica de spaguettis cocidos.

-determinación del valor de maltosa

-determinación del valor de lisina

-comparación del color en el producto final seco y del producto final cocido.

-comparación de presentación de las pastas cocidas.

-determinación de la absorción de agua durante el cocimiento

-determinación de la merma por el cocimiento (sedimentos).

### Extrusión y formación de pastas largas.

La primera evidencia notada durante la extrusión de la masa de las diferentes materias primas, fué la variación de la viscosidad con el aumento de temperatura en el cilindro y el cabezal, a una capacidad de producción constante.

Mientras mas baja la temperatura de la masa, mas alta la presión en la extrusión, mientras mas alta la temperatura de la masa, mas baja la presión en la extrusión.

Con las materias primas utilizadas, la presión de la

extrusión se modifica linealmente a la variación de temperatura, trabajando a una capacidad constante, Fig. V.2.

La velocidad del extrusor no varió manteniéndose constante a 28 rpm de la rosca de presión.

Por esto la masa a temperaturas mas altas se plastifica mas.

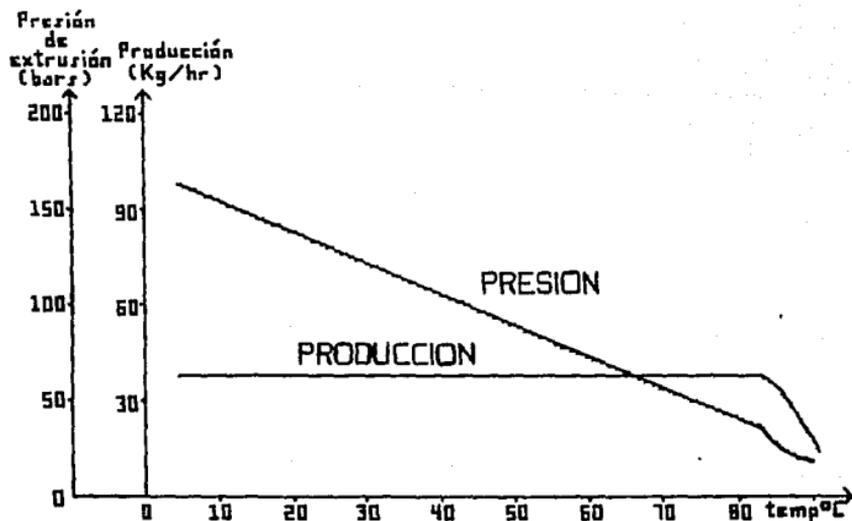


Fig. V.2 Diagrama de extrusión

Comparaciones en el harinograma

Los resultados obtenidos de la curva de harinograma (Fig.V.3.) son los siguientes:

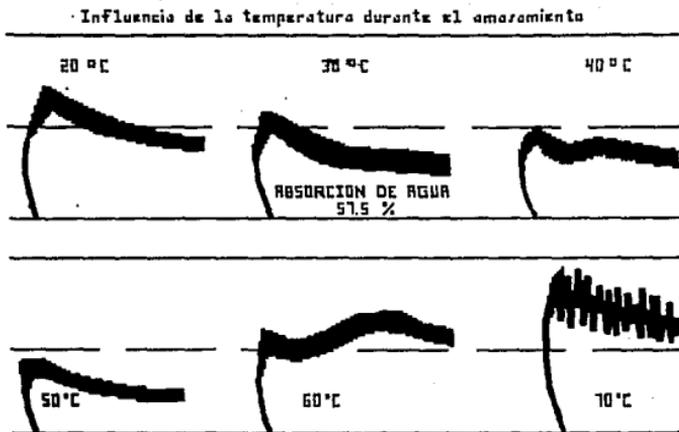


Fig. V.3 Harinograma de semolina especial de trigo duro

Se utilizó para estas pruebas semolina especial de trigo duro con una granulometría de 300 micras, en el harinograma con 30 °C muestra una curva normal.

Con un amasamiento a una temperatura de 20°C, la curva del harinograma, con la misma absorción de agua, ofrece valores harinográficos mas elevados y un tiempo mayor para la formación de la masa.

Con temperaturas de 40°C y 50°C, la curva cae respecto al diagrama normal, y el tiempo de la formación de la masa se acorta.

Con temperaturas de 60°C y 70°C, la curva se eleva nuevamente por el efecto de la gelatinización y sobre todo, por el acortamiento del gluten. Las mismas observaciones hizo el Dr. Holliger en el año de 1967.

De los spaguetis elaborados con diferentes materias primas y diferentes presiones durante la extrusión en el cabezal, se hicieron secciones de microfotografías con pastas prensadas frescas y sin cocer. Todas las microfotografías demuestran esencialmente lo siguiente: con masas extruidas a 40°C, se nota una estructura proteínica compacta; a 80°C, la estructura es destruida y entre los dos extremos se nota un "límite flotante", es decir que se nota una estructura sin límite entre proteína y almidón.

Las pruebas de extrusión, las confrontaciones de los harinogramas y las secciones de las microfotografías, han demostrado que las temperaturas de la masa durante la extrusión entre 40 y 50°C, con una humedad de 31 %, dan las condiciones ideales para la extrusión, sin destruir la estructura proteínica, indispensable para obtener buenas características de cocimiento.

Dado que en la práctica, con las prensas actuales se elaboran spaguettis con moldes de teflón, se puede considerar como óptimas las temperaturas de extrusión entre 45 - 47°C; las temperaturas aproximadas de 30°C provocan una masa dura. Spaguettis extruidos a 80°C presentan una estructura proteínica destruida.

#### Calificación visual

La observación visual de las pastas cocidas demuestra que con el aumento de la temperatura en el secado, aumenta también la intensidad del color.

Se demostró que las pastas elaboradas a altas temperaturas muestran un color sensiblemente más oscuro que las pastas elaboradas a temperaturas de secado normal, esto tiene validez, tanto para productos con un contenido alto de cenizas, así como para los productos de los normales (comerciales).

Confrontando las muestras obtenidas con el diagrama a altas temperaturas (HT) y aquellas del diagrama de altas temperaturas (VT/HT), se nota que las muestras del diagrama VT-HT tienen un color más claro. Se supone que la reacción de Maillard con productos húmedos es menor que con productos secados.

Todas las muestras se secaron perfectamente bien con los diagramas de secado pre-establecidos, independientemente del contenido de proteínas.

Las harinas de trigo blando y sobre todo las semolinas de trigo blando, requieren un secado más suave, especialmente durante el presecado. Esto significa en la práctica un mayor tiempo de secado.

Se determinaron diversos tonos de color en las materias primas y las diferencias de color en los productos secados a 50°C (NT) en comparación con el secado de alta temperatura de 75°C (HT). El secado a alta temperatura produce en todas las muestras de pastas secas un color mas intenso y oscuro.

Las semolinas gruesas dan una estructura mas compacta que las semolinas finas, este hecho se evidencia especialmente en las zonas periféricas.

Pastas alimenticias secadas a altas temperaturas muestran una estructura proteínica mas compacta que pastas secadas a temperaturas normales.

Esta conclusión indica que el reforzamiento de la estructura proteínica influye notablemente en el comportamiento de las pastas secadas con cualquiera de los dos diagramas de secado a altas temperaturas (HT y VT-HT), presentan una estructura prácticamente idéntica.

La estructura proteínica destruida, debido a la temperatura de extrusión demasiado elevada (80°C), no puede ser mejorada ni con el secado a altas temperaturas. Lo que quedó destruido durante la extrusión, quedó destruido para los siguientes pasos.

El efecto del secado a altas temperaturas de pastas elaboradas con materias primas de trigo blando, tiene mejores resultados.

El efecto de gelatinización se realiza mediante el método Beta-amilosa, tomando como resultado la siguiente relación:

$$\text{Grado de gelatinización} = \frac{\text{mg. de maltosa}}{\text{gr. Sustancia seca}}$$

Como se muestra en la Fig. V.4 el efecto de la gelatinización con respecto a la temperatura demuestra que con el secado a altas temperaturas el contenido de maltosa prácticamente no aumenta y por tal motivo, el efecto de "gelatinización" sobre el comportamiento de las pastas secadas a altas temperaturas es casi nulo.

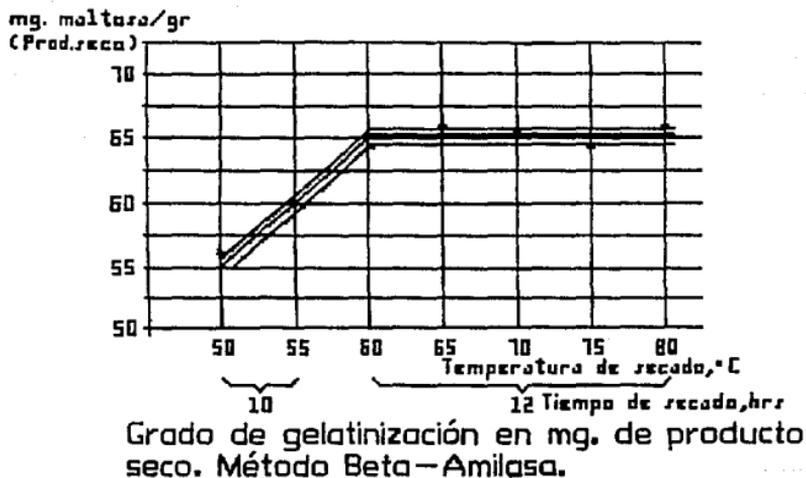


Fig. V.4 Gelatinización

### Extracción del gluten

El gluten se extrae mediante el lavado de todas las muestras de pastas extruidas abajo de 50°C, y secadas a temperaturas normales. Con el secado a altas temperaturas no es posible ninguna extracción. Tal parece que bajo la influencia de las altas temperaturas, el gluten se desnaturaliza tan rápido que no es posible extraerlo con el lavado. Con el secado a altas temperaturas, no es posible evaluar a través de lavado las características del gluten como prueba para evaluar una buena o mala extrusión, sino únicamente con las secciones de las microfotografías.

### Absorción de agua (aumento de volumen)

La absorción de agua de las diversas muestras indicó valores muy diferentes. Las pastas secadas a altas temperaturas absorben generalmente menos agua que las pastas secadas a temperaturas normales. Referente a las sémolas gruesas y semolinas reducidas, no se pudo notar diferencias en la absorción de agua. Tal parece que la reducción de las sémolas no da ningún mejoramiento o empeoramiento en los productos terminados, por lo que se refiere a la capacidad de absorción de agua.

Las mejores materias primas, por lo que se refiere a la capacidad de absorción de agua durante un cocimiento de 20 min., son las harinas bajas, seguido por las materias de trigo duro, las harinas de trigo blando y finalmente las sémolas de trigo blando.

Una menor absorción de agua no significa forzosamente una mejor aptitud. Una base para clasificar la absorción óptima del agua referente a la aptitud y el rendimiento

"deberá ser entre 220 - 240 ml." con un tiempo de cocimiento de 20 min.

Pérdidas durante el cocimiento (sedimentos)

También los valores sobre las mermas durante el cocimiento indican la influencia positiva del secado a altas temperaturas.

La harina baja de trigo blando, que respecto a la absorción de agua quedó en primer lugar, fué la que mas pérdidas tuvo durante el cocimiento. Esto se explica facilmente por los danos sufridos en la estructura del almidón.

Generalmente los spaguettis elaborados con materias primas de granulometria gruesa, clasifican encima de los productos hechos con materias primas de granulometria finas.

La temperatura mas elevada del secado para pastas con agua debe limitarse a máximo 80°C y 68°C para pastas con huevo. Especialmente para no perjudicar el color, el sabor y el bloqueo de la lisina.

Pastas elaboradas de trigo blando y en general pastas con un bajo contenido de proteínas, deben ser presecadas cuidadosamente.

La temperatura elevada en el secado puede ser aplicada también despues de un breve periodo de presecado.

El secado a altas temperaturas durante un tiempo prolongado intensifica las reacciones de obscurecimiento.

Esta serie de experimentos demuestran la influencia de las diversas materias primas, la extrusión y el secado sobre el producto final, e indican los parámetros para obtener un producto final de calidad superior.

El soporte de estos estudios se realizó a través de microfo-

tografías, las cuales no fué posible publicar por falta de ejemplares originales.

Se han realizado estudios sobre el momento mas adecuado para la aplicación de la alta temperatura, un estudio realizado por J. E. Dexter, R. R. Matsuo y B. C. Morgan [17] arroja los siguientes resultados.

Recientemente el secado de productos de pasta a temperaturas arriba de 60°C ha sido aceptado ampliamente por los fabricantes europeos de pastas. Los beneficios iniciales obtenidos del secado a alta temperatura fueron el control bacteriano en productos con huevo y ciclos de secado mas cortos que permitieron líneas de secado mas compactas para una capacidad determinada (Manser, 1978; Pavan, 1980).

Tambien se ha reportado que el color de la pasta y la calidad de cocción han sido mejorados mediante el secado a altas temperaturas, particularmente cuando se usa materia prima de baja calidad (por ejemplo: trigo suave en lugar de trigo duro).

Actualmente, los fabricantes de pasta estan siguiendo dos métodos para obtener los máximos beneficios del secado a altas temperaturas. En un método, la temperatura alta se aplica en la fase inicial (presecador) del proceso de secado, llevando a cabo el resto del ciclo a temperaturas descendientes. El otro método consiste en aplicar alta temperatura durante la fase final de secado despues de un presecado a temperaturas convencionales. Existen algunas indicaciones de que este último método puede ser mas efectivo para mejorar la calidad de cocción de la pasta. Este estudio [24] tuvo como objetivo comparar las características de calidad del spagueti producido a partir de tres muestras de

semolina mediante cada uno de los métodos anteriores para secado a altas temperaturas y mediante un método convencional de secado a bajas temperaturas. Se valoraron características del spaguetti como resistencia, color y calidad de cocción en relación a algunos de los cambios fisicoquímicos que ocurren en la semolina durante el proceso de elaboración del spaguetti.

Para este estudio se usaron tres muestras molidas de trigo duro canadiense.

Semolina I era un producto relativamente de alta extracción, molido experimentalmente de trigo de alto grado que contenía alrededor de 10% de harina pura además de semolina.

La Semolina II, obtenida de otro trigo de alto grado y la Semolina III, obtenida de un trigo germinado de bajo grado, eran productos de baja extracción obtenidos en el molino piloto del Laboratorio de Investigación de Granos que no contenían harina. Algunas características de cada semolina se listan a continuación:

TABLA V.1 CARACTERISTICAS DE LAS DIFERENTES SEMOLAS I,II,III

MUESTRA	TRIGO grado de grano (CW)	Rendim. Molienda (%)	Proteína (N x 5.7) (%)	Cenizas (%)	Pigm.* amarillo (ppm)
Semolina I	1	70	11.4	0.61	6.71
Semolina II	1	55	11.9	0.48	5.78
Semolina III	4	53	12.5	0.54	5.73

CW = CANADA WESTERN

\* = EXPRESADO EN 14% HUMEDAD

El primer ciclo de alta temperatura (alta temperatura A) (Fig. V.5B) presenta una temperatura inicial alta (75°C) durante dos horas seguidas de un descenso gradual en la temperatura durante las siguientes 5 horas a 39°C mientras que se mantiene una humedad relativa completamente constante. Las condiciones se mantuvieron a 39°C durante otras 6 horas antes del final del ciclo y se equilibró a condiciones ambientes durante la noche.

El segundo ciclo de alta temperatura (alta temperatura B) (Fig. V.5C) consta de una temperatura inicial de 41°C. Después de 30 minutos se elevó la temperatura a 55°C durante otros 30 minutos. Se elevó nuevamente la temperatura a 70°C durante las siguientes 6 horas, manteniéndose a 68°C durante otras 6 horas, enfriándose entonces rápidamente hasta 41°C. Una hora después de que se alcanzaron los 41°C se terminó el ciclo y el spagueti se equilibró a condiciones ambientales durante la noche.

La figura V.5 proporciona información detallada en cada uno de los ciclos de secado. Comparados con el ciclo de secado convencional a baja temperatura (LT) (Fig.V.5A), ambos ciclos de alta temperatura (HT) (Fig.V.5B,C) dieron como resultado una pérdida de humedad mucho más rápida en el spagueti durante las primeras etapas de secado. El contenido de humedad del spagueti al final de cada ciclo fue de alrededor del 12%, pero al equilibrarse a condiciones ambientes la humedad disminuyó a alrededor de 9%. Los dos ciclos de secado HT duraron la mitad del tiempo que el LT. En el ciclo de secado a alta temperatura A (HT-A) (Fig.V.5B) se aplicó HT (75°C) en la fase inicial del proceso de secado, con un descenso progresivo en la temperatura conforme avanza el proceso según lo recomendado por Pavan

(1979a,b;1980). En el proceso de secado a alta temperatura B (HT-B) (Fig.V.5C) las etapas preliminares del secado fueron a temperaturas convencionales (41 - 55°C) con la duración del ciclo a HT (68 - 71°C). Los ciclos de secado similares a HT-B son típicos en muchas plantas modernas de pasta en Europa.

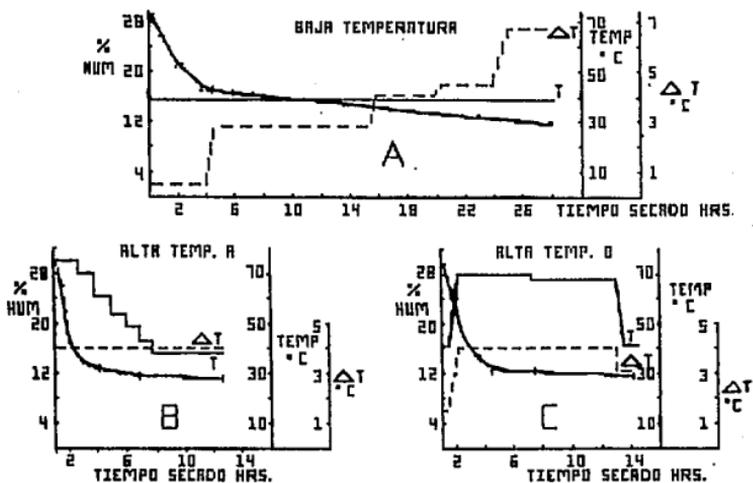


Fig. V.5 Condiciones de humedad y temperatura para cada ciclo de secado

A pesar de los dos métodos diferentes usados en los esquemas HT, sus patrones de pérdida de humedad en el spaguetti fueron virtualmente idénticos (Fig.V.5B,C). Sin embargo, mientras que la HT fue aplicada inicialmente en HT-A cuando la humedad del spaguetti era alrededor del 30%, en el HT-B la humedad del spaguetti ha descendido bastante abajo del 20% antes de alcanzar la HT. Por lo tanto, el efecto de la HT sobre las propiedades fisicoquímicas del spaguetti producido en cada ciclo de secado HT se esperaría que fuera bastante diferente.

Las muestras de spaguetti producidas en los ciclos de secado HT fueron significativamente mas resistentes que las producidas por el LT para cada semolina examinada.

Por su parte, el spaguetti producido en el HT-B fué mas resistente que el producido con HT-A. El incremento observado en la resistencia de los productos HT puede ser de importancia considerable comercialmente, puesto que los productos con mayor resistencia se espera que muestren mayor resistencia a romperse o quebrarse durante el empaque y el transporte.

Las variaciones en las características de color del spaguetti, se pueden atribuir parcialmente a las características de la semolina y parcialmente a los ciclos de secado. Las cenizas de la semolina y la velocidad de extracción tienen un pronunciado efecto sobre la brillantez y la longitud de onda dominante del spaguetti (Dexter y Matsuo, 1978). Así, debido a la naturaleza de la combinación de trigo de excelente calidad y de extracción relativamente baja, el spaguetti producido a partir de la semolina II fué significativamente mas brillante y menos café

(longitud de onda dominante inferior a 577) que el spaguetti producido a partir de la semolina I y de la semolina III. La mayor opacidad y coloración café del spaguetti de semolina I se debió a su velocidad de extracción relativamente alta. En contraste, la coloración mas deficiente del spaguetti de semolina III fué resultado de la baja calidad del trigo.

TABLA V.2 EFECTO DE LAS CONDICIONES DE SECADO SOBRE EL COLOR Y RESISTENCIA DEL SPAGUETTI.

SPAGUETTI	Resist. ruptura (N/mm <sup>2</sup> )	C O L O R		
		Brillo (%)	Pureza (%)	Long.de onda dominante (nm)
<b>Semolina I</b>				
Baja temp.	33.5	48.5	58.4	577.6
Alta temp.A	35.9	47.9	64.0	577.5
Alta temp.B	36.6	47.7	59.4	577.8
<b>Semolina II</b>				
Baja temp.	33.2	52.4	59.7	576.8
Alta temp.A	34.7	51.9	61.8	576.8
Alta temp.B	39.4	51.9	60.3	576.9
<b>Semolina III</b>				
Baja temp.	37.3	47.2	58.7	577.6
Alta temp.A	40.2	46.0	60.5	577.5
Baja temp.B	42.9	46.2	60.1	577.6

Previamente se ha reportado que el spaguetti HT algunas veces muestra una tendencia hacia una coloración café indeseable debida a reacciones de tipo Maillard (Laignelet, 1977; Manser, 1978; Pavan, 1979b). La coloración café tenderá a aumentar mientras mas larga sea la longitud de onda dominante. Sin embargo, los resultados mostraron que la longitud de onda dominante no fue afectada en alto grado por ninguno de los ciclos de secado HT.

Laignelet (1977), mostró que la reacción de obscurecimiento

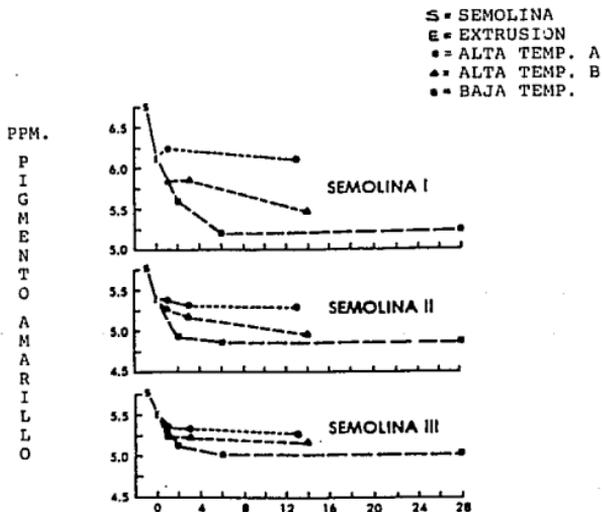
estaba relacionada con la humedad relativa así como con la temperatura, mientras que Pavan (1979b) determinó que si la temperatura se mantiene abajo de los 80°C el efecto de obscurecimiento se reduce enormemente. Por lo tanto, parece probable que la combinación de temperatura y humedad usada en HT-A y HT-B no fue la causante del obscurecimiento del spagueti. Tambien se debe senalar que una tendencia al obscurecimiento del spagueti es parcialmente debida a una variedad de caracteristicas (Matsuo e Irvine, 1967) que ha sido investigada en los programas de producción de trigo duro canadiense y americano. Por lo tanto, el hecho de que solo se haya usado semolina de trigo duro canadiense en el presente estudio puede ser la causa de ausencia de obscurecimiento observada en el HT, opuesto a lo observado en otras materias primas en reportes previos en los que ocurrió obscurecimiento durante el secado HT (Laigneler, 1977; Manser, 1978).

En los tres casos el spagueti producido por los ciclos de secado HT fueron significativamente mas opacos (menor brillo) que el spagueti correspondiente con proceso LT (Secado convencional). Sin embargo, la magnitud del efecto no fue tan grande como las variaciones en brillo resultantes de las diferencias de calidad de las muestras de las tres semolinas. Por lo tanto, cuando se usen materias primas de buena calidad, el efecto de HT sobre el brillo del spagueti no será problema.

Es de considerable interes la tendencia que el spagueti HT mostró al tener mayor intensidad de color que el spagueti LT, conforme se refleja en valores de pureza mas altos.

Esto fué particularmente cierto en el spagueti HT-A, y

parece confirmar la teoría de Pavan (1979b) de que la aplicación de HT durante las etapas iniciales del proceso de secado es la forma mas efectiva de aumentar la intensidad del color del spagueti. El examen del patrón de pérdida de pigmento durante el procesamiento para cada ciclo de secado, reveló que para HT-A virtualmente no había pérdida de pigmento mas que la experimentada durante la extrusión (Fig.V.6). Esto se presentó en contraste al LT en donde hasta un 75% de pérdida de pigmento ocurrió durante el ciclo de secado.



Tiempo de secado, hrs.

Fig. V.6 Influencia del secado sobre el pigmento amarillo

De acuerdo con un reporte previo (Matsuo et al., 1970). HT-B también exhibió una considerable pérdida de pigmento después de la extrusión. El beneficio del ciclo de secado HT-A fue particularmente notorio en el caso de la semolina I, que mostró una mayor tendencia a perder pigmentación durante el secado LT característico de los productos de extracción elevada (Dexter y Matsuo, 1978). Estudios previos han relacionado la pérdida de pigmentación durante el procesamiento del spaguetti con la actividad de la lipoxigenasa en la semolina (Irvine y Anderson, 1953; McDonald, 1979). Pavan (1979a,b) sostuvo que la inactivación de la lipoxidasa mediante el proceso HT era al menos parcialmente responsable del mejoramiento en el color del spaguetti HT. El patrón de la desnaturalización de proteínas para cada ciclo de secado, conforme se midió por solubilidad de proteína en ácido acético diluido, respaldó su teoría. Mientras que se observó un mayor descenso de solubilidad de proteína durante la primera hora de HT-A, después de la extrusión, no se observó algún efecto significativo para los otros dos ciclos. Se observó una desnaturalización significativa de proteínas para el HT-B después de la primera hora de secado, correspondiente al inicio de la temperatura alta. La magnitud de la desnaturalización de proteínas durante HT-B fue un poco menor que la observada para HT-A, probablemente debido al efecto combinado de temperatura ligeramente más baja y una humedad del spaguetti considerablemente menor cuando se aplica HT la primera vez comparado con HT-A.

Se puede esperar que haya una considerable pérdida en la

actividad de la alfa-amilasa a partir de la desnaturalización de proteínas durante el secado HT, antes mencionada (Fig.V.7). Esto fué respaldado por las viscosidades pico del amilógrafo, obtenidas para cada semolina y spaguetti.

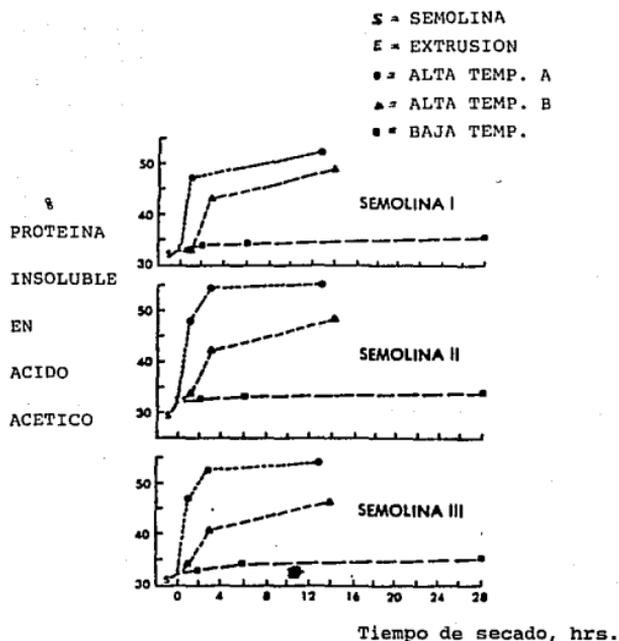


Fig. V.7 Influencia del secado sobre la proteína soluble en ácido acético

TABLA V.3 EFECTO DE LAS CONDICIONES DE SECADO SOBRE LA VISCOSIDAD PICO DEL AMILOGRAMA

	Viscosidad pico del amilograma (B.U.)		
	Semolina I	Semolina II	Semolina III
Semolina	300	590	40
Spaguetti a baja temp.	300	540	50
Spaguetti a alta temp.A	500	1000	140
Spaguetti a alta temp.B	530	890	80

B.U.=Unidades Brabender

Las viscosidades pico de las muestras de spaguetti HT fueron mayores que las del spaguetti y semolina LT correspondiente en cada caso. Sin embargo, las bajas viscosidades pico observadas para el spaguetti HT preparado a partir de semolina III, una muestra germinada, mostró que una proporción considerable de la actividad amilolítica se conservó. Cuando se llevaron a cabo amilogramas en presencia de HgCl<sub>2</sub> para eliminar la actividad amilolítica, no hubo diferencia significativa en las propiedades de amasado en ninguna de las muestras de semolina y sus spaguettis LT y HT correspondientes (no se presentan resultados). Esto confirmó que las diferencias en las viscosidades pico de los amilogramas, observadas en ausencia de HgCl<sub>2</sub>, se debieron a diferencias en la actividad amilolítica y no a la modificación de las propiedades del almidón de amasado durante el secado.

En vista del efecto de las condiciones de secado sobre la actividad amilolítica, durante el estudio se determinó el patrón de evolución de los azúcares libres durante el procesamiento del spaguetti (Fig.V.8). Los resultados indicaron que las condiciones de secado tienen muy poca influencia en los niveles de azúcares libres.

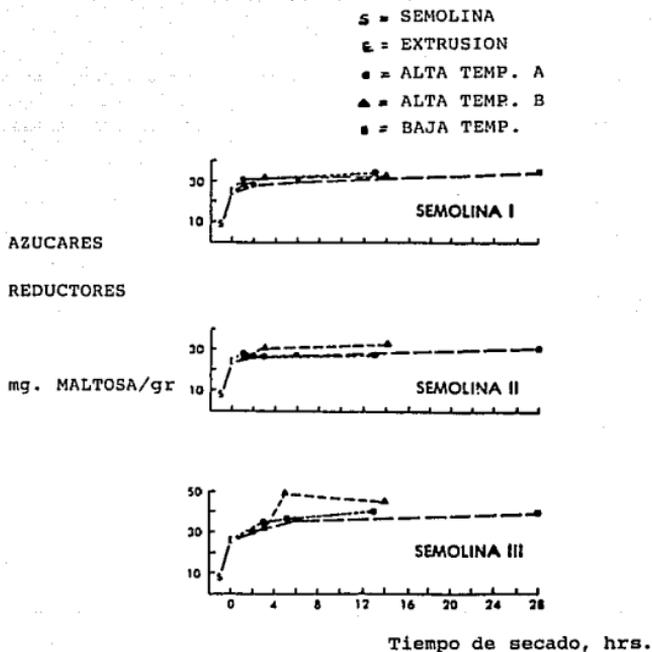


Fig. V.8 Influencia del secado sobre azúcares reductores (maltosa)

Como previamente reportaron Lintas y D'Appolonia (1973), quienes emplearon un ciclo de secado similar al de este estudio, en el ciclo de secado LT, la principal porción de los azúcares

libres presentes en el spaguetti fueron generados durante la extrusión. Esto se presento en todas las muestras, incluyendo cada spaguetti producido de la semolina germinada III, sugiriendo que todos los azúcares libres generados antes del secado podrian depender del grado de daño mecánico al almidón durante la extrusión, en vez de la cantidad de actividad amilolitica presente.

Aunque el spaguetti producido por los tres ciclos de secado a partir de la semolina germinada III poseian niveles de azúcares libres, ligeramente superiores a los spaguetts correspondientes a partir de las semolinas relativamente enteras I y II, las diferencias no fueron muy grandes.

Estos datos sugieren que la generación de azúcares libres durante el procesamiento del spaguetti no se afecta en alto grado por las condiciones de secado o por el grado de germinación.

Ni el peso ni el diámetro del spaguetti cocido fueron afectados por ninguno de los ciclos de secado HT (Tabla V.4).

Aunque se observaron algunas diferencias significativas en el peso y diámetro entre muestras tanto al tiempo óptimo de cocción como despues de una sobrecocción, no se pudo establecer una tendencia definitiva con las condiciones de secado.

Las pérdidas por cocción definitivamente fueron afectadas por las condiciones de secado. El spaguetti secado con el ciclo HT-B mostró una pérdida por cocción menor en cada caso, particularmente en el caso de la semolina I y semolina II. Esto fué consistente con una evaluación subjetiva de la pegajosidad de spaguetti cocido.

TABLA V.4 EFECTO DE LAS CONDICIONES DE SECADO EN LAS PROPIEDADES DEL SPAGUETTI COCIDO

TIEMPO DE COCCION OPTIMO (12 MIN.)

---

	PESO DESPUES COCCION (g)	PERDIDA COCCION (%)	DIAMETRO HILO (mm)	COMPRESI- BILIDAD (%)	RECUPE- RACION (%)	INDICE DE SUAVIDAD (mm/sec X 1000)
<b>Semolina I</b>						
Baja temp.	251	8.5	2.8	67	34	44
Alta temp.A	253	8	2.75	70	31	48
Alta temp.B	266	6.1	2.86	68	38	40
<b>Semolina II</b>						
Baja temp.	265	5.6	2.88	72	33	44
Alta temp.A	258	6.5	2.81	75	28	47
Alta temp.B	264	5.1	2.87	66	39	42
<b>Semolina III</b>						
Baja temp.	259	5.9	2.89	68	37	45
Alta temp.A	251	6.4	2.84	70	31	48
Alta temp.B	252	5.7	2.85	69	38	41

SOBREGOCIMIENTO (10 min)

---

	PESO DESPUES COCCION (g)	PERDIDA COCCION (%)	DIAMETRO HILO (mm)	COMPRESI- BILIDAD (%)	RECUPE- RACION (%)	INDICE DE SUAVIDAD (mm/sec X 1000)
<b>Semolina I</b>						
Baja temp.	323	11	3.18	69	45	64
Alta temp.A	327	9.6	3.05	69	31	63
Alta temp.B	330	7.8	3.08	76	42	66
<b>Semolina II</b>						
Baja temp.	336	7.7	3.17	66	45	61
Alta temp.A	325	7.9	3.13	70	39	63
Alta temp.B	332	6.6	3.16	65	51	56
<b>Semolina III</b>						
Baja temp.	325	7.8	3.16	68	51	64
Alta temp.A	315	8.4	3.15	68	44	61
Alta temp.B	319	7.6	3.15	71	58	63

En todos los casos el spagueti HT-B resultó notablemente menos pegajoso que las otras dos muestras de spagueti cocidas correspondientes. Este resultado concuerda con un reporte de Manser (1980) que declara que la HT aplicada en la etapa final, de secado da como resultado un producto menos pegajoso, particularmente cuando se usó materia prima de menor calidad.

El beneficio del ciclo de secado HT-B fué mas aparente para la semolina I. De acuerdo con un reporte previo (Matsuo y Dexter, 1980) la harina pura presente (alrededor del 10%) en la semolina I, dió como resultado una mayor pérdida por cocción para el spagueti LT. Sin embargo, para el spagueti HT-B, la pérdida de cocción se redujo a un nivel mas representativo de un producto elaborado a partir de material de alta calidad. Investigadores anteriores han reportado que el daño por germinación, no afecta la pérdida por cocción del spagueti bajo condiciones de secado convencionales (Dick et al., 1974; Donnelly, 1980). La comparación de los resultados para spaguetis preparados a partir de semolina II y semolina III, confirma esos reportes y tambien aumenta la tendencia para incluir asimismo las condiciones de secado HT.

Actualmente, aún no esta claro el porque el spagueti secado mediante el proceso HT-B muestra una pérdida por cocción menor y por lo tanto, una tendencia a ser menos pegajoso. Los niveles comparables de azúcares libres para cada serie de spagueti seca, mediante cada uno de los esquemas de secado, parecen evitar diferencias en el daño al almidón durante el secado como una causa probable. Puesto que no se detectó diferencia en la temperatura de amasado en amilogramas para el spagueti HT-B, comparado con la semolina o spagueti correspondientes secados

mediante cualquiera de los otros dos ciclos de secado (no se muestran resultados), las propiedades de gelatinización del almidón aparentemente no fueron afectadas.

Sin embargo, se debe tener en mente que el amilograma de masa aguada es un sistema muy diluido comparado con el spaguetti cocido y es posible que no refleje el comportamiento real de la gelatinización del almidón durante la cocción del spaguetti. En base al trabajo de Derby et al.(1975), el contenido de humedad del spaguetti, cuando se aplicó HT por primera vez durante HT-B (alrededor de 20%), era demasiado bajo para gelatinizar el almidón. El contenido de humedad ligeramente mayor del spaguetti cuando se aplicó HT durante HT-A (30-32%), aumentó la posibilidad de una ligera gelatinización del almidón y puede ser causante de la relativamente alta pérdida por cocción asociada con el spaguetti HT-A comparada con el spaguetti HT-B.

A ambos tiempos de cocción, el spaguetti HT-B fue significativamente mas elástico que el spaguetti HT-A según lo reflejan los valores de recuperación mayores. A un tiempo óptimo el spaguetti HT-B fue significativamente mas firme (menor índice de suavidad) que el spaguetti HT-A, aunque al sobrecocerlo no se puede establecer un efecto significativo sobre la firmeza debido a las condiciones de secado. Aunque la calidad de cocción del spaguetti HT-B, mejora el de HT-A aún fue de calidad satisfactoria, y en la mayoría de los casos no fue significativamente diferente al spaguetti LT. La calidad de cocción ligeramente inferior del spaguetti HT-A comparada con el spaguetti HT-B, concuerda con estudios anteriores (Dexter et

al.,1980) y con reportes de otros investigadores (Laignelet,1977;Manser,1980). Se ha especulado que esto se puede deber a la desnaturalización prematura del gluten y posiblemente a un poco de gelatinización del almidón (Manser,1980) causada por la combinación de spaguetti con humedad relativamente mas alta y HT durante las etapas iniciales del ciclo HT-A en comparación con el HT-B.

Ambos ciclos de secado HT desarrollados para el presente estudio parecen ofrecer ventajas definitivas sobre el esquema de secado LT. El tiempo de secado se redujo enormemente en ambos ciclos de secado HT. HT-A produce un spaguetti con una intensidad de color significativamente mejor que el spaguetti LT; mientras que el proceso HT-B produce un spaguetti con resistencia y calidad de cocción mejoradas sin sacrificar la calidad del color. Estos resultados justifican definitivamente el reciente interés mostrado comercialmente por el secado HT, y muestra porque el secado HT se esta convirtiendo en un pre-requisito ampliamente aceptado para la producción de productos de pasta de alta calidad.

### CONCLUSIONES

- 1.- Resumiendo los valores diversos que han aportado una clasificación en función de materias primas, se puede afirmar que los valores se obtienen definitivamente con una extrusión a 40 °C y con un secado a altas temperaturas.
- 2.- El secado a temperaturas altas influye en los productos terminados en un mayor o menor grado, dependiendo de las materias primas y las temperaturas de la extrusión.
- 3.- Actualmente el mejor método para comprender los fenómenos durante el procesamiento de la pasta es el estudio de la extrusión final de la pasta.
- 4.- Los cambios conformacionales y las interacciones mutuas de almidón-proteína de la pasta durante el procesamiento y la cocción, se define como un sistema limitado de agua - almidón - proteína, en una competencia del almidón y la proteína por el agua.
- 5.- En caso de producir pasta con mezclas de sémola-harina, el trigo que produce pasta con mayor calidad es el trigo duro rojo de primavera.
- 6.- Los secadores de alta temperatura con respecto a secadores convencionales han demostrado mejores resultados en calidad, espacio, economía y versatilidad en la aplicación de diferentes materias primas.
- 7.- La velocidad de secado en la pasta durante la etapa de velocidad decreciente es gobernada por la difusión.
- 8.- Es posible producir pastas alimenticias con harinas de granulometría gruesa y fina. Sin embargo la óptima, es la harina

de granulometría gruesa y lo mas homogénea posible, ya que la mezcla de diferentes granulometrías (gruesa y fina) no es recomendable.

9.- La realización de curvas de equilibrio y secado para un equipo de secado de pastas alimenticias, es un apoyo importante para la definición de condiciones de operación, siempre y cuando exista un sistema eficiente de controles de temperatura y humedad en el secado, lo cual implica un sellado efectivo en toda la línea de producción, acondicionamiento del aire externo e instrumentos de control muy exactos.

10.- Actualmente en la industria de pastas alimenticias, es importante e imprescindible en la mayoría de los casos, la instalación de un laboratorio de análisis para la materia prima y producto terminado como un apoyo importante durante todo el proceso.

11.- Definitivamente la mejor materia prima para producir pastas alimenticias es la que tiene mejor calidad y cantidad de gluten y una mejor distribución en los interespacios de los gránulos (trigo durum).

12.- Actualmente es difícil aplicar una teoría de secado, al proceso de elaboración de pastas, considerando el estado actual de la mayoría de los equipos de producción del país, ya que no cuentan con un sistema de control confiable. Sin embargo, el conocimiento de las bases teóricas y el desarrollo experimental que existe actualmente, proporcionan un conocimiento imprescindible, que propicia el establecimiento de un mejor mantenimiento a los sistemas de aislamiento y control. Siendo estos las bases para iniciar un desarrollo teórico y

experimental, que en un momento dado, puede definir con mejores bases el comportamiento real del proceso y eliminar el control empirico que actualmente existe.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- FARADI H. Y FAUBION J. M. "Fundamentals of dough rheology. The American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota. 1986
- 2.- FARADI H. "Rheology of Wheat Products". The American Association of Cereal Chemist, Inc. St Paul Minnesota. 1987.
- 3.- CHOPIN M., "Alveographe Chopin", Sociedad Tripette y Renaud, 1987.
- 4.-POMERANZ Y. "Wheat Chemistry and Technology". 2a Ed. American Association of Cereal Chemist 1978.
- 5.- KENT N.L., Tegnología de los Cereales. Acribia. 1991.
- 6.- VASILJEVIC S. y BAWASIK O.J. Department of Cereal Chemistry and Food Technology. Fargo North Dakota 1980.
- 7.-MANSER J. "Parámetros Optimos para la Elaboración de Pasta Alimenticia". Buhler - Miay.
- 8.- DEXTER J. E., "Amino Acid Composition of Spaguetti, Effect of During Conditions on Total and Available Lysine", Journal of Food Science, No. 225, 49, 1984.
- 9.- WYLANDAR y D'APPOLONIA B.L, "Influence of During Temperature and Farina Blending on Spaghetti Quality", Department of Cereal Chemistry and Food Technology, No. 3 Vol. 5a, 1982.
- 10.- DEXTER J.E. y MATSUO R.R., "Spaghetti Stickness: Some Factors Influencing Stickness and Relationship to Other Cooking Quality Characteristics", Journal of Food Science, Vol. 48, 1983.
- 11.-GRZYBOWSKI R.A. y DONELLY B.J., "Starch Gelatinitation in Cooked Spaghetti", Journal of Food Science, No. 5, Vol. 42, 1977.

- 12.- MIAG B., "High Temperature During of Pasta Products", The Macaroni Journal, 1983.
- 13.-PAVAN M., "High Temperature Drying Improves Pasta Quality", Food Engineering INTL, 1980.
- 14.-DONELLY B., "Reutilización de Pasta para Fabricar Spaghetti", J. Agric Food Chem, No.4, Vol. 28, 1980.
- 15.-JOHNSON J. A. y Chiano b.y., " Gelatinitation of Starch in Extruded Products", American Association of Cereal Chemists, 1977.
- 16.- RESMINI P. y PAGANI M.A., " Ultraestructure Studies of Pasta" Food Microestructure, No.98, Vol. 2, 1983.
- 17.- DEXTER J.E. y MORGAN B.C., "High Temperature Drying : Effect on Spaghetti Properties", Journal of Food Science, Vol. 46, 1981.
- 18.- STEVENST D.J., "Size Reduction Problems and Processes in Flour - Milling" The Chemical Engineer, 1977.
- 19.-PAVAN G. DAPOHO N. "New Tecnological Developments in the Production of Dry Pasta Goods", Articulo, Detmold, 1986.
- 20.-PAUL L. E. y ROGERS M. C., "Drying Macaroni", Industrial Engineering Chemistry, No.5, Vol. 33, 1980.
- 21.- FURUYA E. M. y WARTHESEN J. J., "Influence of Initial Riboflavin Content on Retention in Pasta During Photogradation and Cooking", Journal of Food Science, Vol. 48, 1984.
- 22.- HOSKINS C. M., "Basic Drying and Humidity Control", Pishcheraga Promyshlennost, Vol. 2, 1945.
- 23.- DEXTER J. E. y MATSUO R. "Effect of Semolina Extraction Rate on Semolina Characteristics and Spaghetti Quality ", The American Association of Cereal Chemists, 1978.

- 24.-DEXTER J. E. y MORGAN B. C., "Essiccazione ad Alta Temperatura: Influenza Sulle Caratteristiche Degli Spaghetti", *Tecnica Molitoria*, 1982.
- 25.- HOSKINS G.C., "Scince Dispels Mystery from Macaroni Drying", *Food Industries*, 1932.
- 26.-FLORES VELAZQUEZ V, "Normalización de Metodos para Evaluación de Calidad de Cocción de Pasta larga". Tesis Profesional, FES-C, UNAM, 1985.
- 27.- VILLAREAL ESQUEN V. M., "Desarrollo del Proceso de Elaboración de una Pasta Alimenticia a Base de Sémola de Trigo y Aislado Proteico de Soya", Tesis Profesional, Universidad Autónoma de Guadalajara, 1989.
- 28.-MERCIER CH., "Pasta and Extrusion Cooked Foods", Elsevier Applied Science Publishers, Italy, 1985.
- 29.-TREYBAL R. E., "Operaciones de Transferencia de Masa", 2a. Edición, McGraw-Hill, México, 1980.
- 30.- FOUST S. A., "Principios de Operaciones Unitarias", 2a. Ed. McGraw-Hill, México, 1985.
- 31.- BADUI S.D., "Química de los Alimentos", 1a Edición, Alhambra S.A., México D.F., 1981.
- 32.-SANTOS MORENO A., "Bioquímica de Cereales y sus Productos", Universidad Autónoma de Chapingo, Industrias Agrícolas, Chapingo México, 1980.
- 33.- PRACTICAS DE LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CEREALES, "Universidad Autónoma del Estado de México", Edo. de México, 1985.