

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

INGENIERÍA QUÍMICA

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE SECADO DE LÍNEA DE PASTA CORTA.”

DESARROLLADO POR:

MORALES HERNANDEZ HERIBERTO ALEJANDRO

13270801

ASESOR ACADÉMICO:

ING. FARRERA ALCAZAR ROCIO.

ASESOR INDUSTRIAL:

ING. JOSE JARAMILLO SERRATO

Tuxtla Gutiérrez, Chis. A 17 de enero del 2018



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ.

RESUMEN.

La presente residencia profesional realiza una evaluación sobre el proceso de secado de línea de pasta corta en la empresa LA ITALIANA, correspondiente al grupo industrial INGENIERIA Y ADMINISTRACION DE PUEBLA S.A. DE C.V. donde se realizó el estudio detalladamente. La evaluación fue realizada a través de dos puntos importantes de la línea: la humedad de salida de la pasta al finalizar el proceso y la eficiencia del proceso correspondiente a productividad.

Con la evaluación finalizada se realizaron las recomendaciones correspondientes para aumentar la eficiencia de la línea de proceso y cambios a las curvas de secado de cada pasta producida.

DATOS DEL DOCUMENTO.

AUTOR: MORALES HERNANDEZ HERIBERTO ALEJANDRO.

CARRERA: INGENIERÍA QUÍMICA.

TIPO DE DOCUMENTO: INFORME TÉCNICO DE RESIDENCIA PROFESIONAL.

PALABRAS CLAVES: HUMEDAD DE EQUILIBRIO, HUMEDAD LIGADA, HUMEDAD DESLIGADA.

TÍTULO: EVALUACION DEL PROCESO DE SECADO DE LINEA DE PASTA CORTA

ASESOR INTERNO: ING. FARRERA ALCAZAR ROCIO

ASESOR EXTERNO: ING. JARAMILLO SERRATO JOSE



INDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
2	JUSTIFICACIÓN	6
3	OBJETIVOS.	6
3.1	OBJETIVO GENERAL.	6
3.2	OBJETIVO ESPECIFICOS	6
4	CARACTERIZACIÓN DEL AREA DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO.	7
4.1	HISTORIA.	7
4.2	MISION.	7
4.3	VISION.	7
4.4	LOCALIZACION.	7
4.5	ORGANIGRAMA.	8
5	PROBLEMAS A RESOLVER	9
6	FUNDAMENTO TEORICO.	10
6.1	SECADO.	10
6.2	HUMERDAD DE EQUILIBRIO.	10
6.3	HUMEDAD LIGADA.	10
6.4	HUMEDAD DESLIGADA	10
6.5	PASTAS.	10
6.6	CLASIFICACION DE PASTAS.	11
6.7	ORIGEN DE LAS PASTAS.	12
6.8	MATERIAS PRIMAS.	12
6.9	EL TRIGO.	12
6.10	ESTRUCTURA DEL GRANO DE TRIGO.	13
6.11	HARINA DE TRIGO.	15
6.12	CARACTERISTICAS DE LA HARINA DE TRIGO.	16
6.13	PROTEINAS.	17
6.14	PROTEINAS QUE NO FORMAN GLUTEN.	17
6.15	PROTEINAS FORMADORAS DE GLUTEN.	18
6.16	EL GLUTEN.	18
6.17	IMPORTANCIA DE PROTEINAS EN LAS PASTAS.	22
6.18	ALMIDON.	23



6.19	IMPORTANCIA DE ALMIDON EN LAS PASTAS.	25
6.20	LIPIDOS.	26
6.21	ENZIMAS.	27
6.22	AGUA.	27
7	PROCESO GENERAL DE PRODUCCION DE PASTAS	29
7.1	TRANSPORTE DE HARINA.	29
7.2	DESCARGA DE HARINA EN PIPA.	29
7.3	DIAGRAMA DE FLUJO. PROCESO DE DESCARGA DE SEMOLA EN PIPA.	31
7.4	PRENSADO.	33
7.5	DOSIFICACION DE HARINA.	33
7.6	MEZCLADO Y AMASADO.	33
7.7	COMPRESION Y MOLDEADO.	34
7.8	CORTE.	34
7.9	SECADO DE PASTAS.	34
7.10	ENFRIAMIENTO	36
8	PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.	37
9	RESULTADOS.	39
10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	53
11	FUENTES DE INFORMACION	55
11.1	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.	55
11.2	PAGINAS WEB.	57
12	ANEXOS.	57
12.1	PROCEDIMIENTO DE PARO Y ARRANQUE DE PRODUCCIÓN POR CAMBIO DE FORMATO EN LA LÍNEA D.	58
12.2	DISTRIBUCION DE ARE EN SILOS.	64

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad dada la importancia que constituye el potencial industrial para un país, la mayoría de las empresas e industrias se están reestructurando y están haciendo grandes esfuerzos a fin de operar con mayor efectividad en un mundo creciente competitivo. De esta manera se dirige hacia la reducción de costos a través del perfeccionamiento del proceso productivo.

En nuestro país, donde gran parte del potencial industrial está constituido por pequeñas y medianas empresas, se hace inminente la necesidad de optimizar sus procesos productivos para lograr el desarrollo y las metas previstas. Por desgracia se encuentran con un sin número de obstáculos.

Para la optimización de todo proceso productivo se requiere mantener un estricto y adecuado control sobre los mismos para así poder tomar acciones que conduzcan a la realización de los objetivos planteados de cada empresa.

En este documento se muestra uno de los principales problemas que se tiene dentro de la empresa grupo industrial "LA ITALIANA" S.A. de C.V., el objetivo de este trabajo, es dar a conocer el estudio sobre la evaluación del proceso de producción de pasta corta a partir de sémola de trigo, analizando las etapas de todo el proceso, el comportamiento de su curva de secado para estandarizar el proceso y la eficiencia que se alcanza.

La pasta es una preparación hecha con base en harina y agua. La harina que se utiliza en la elaboración de la pasta se prepara con sémola, un producto que se obtiene del endospermo de un tipo de trigo llamado durum. Este grano de trigo contiene una gran proporción de gluten, la proteína del trigo responsable de brindar elasticidad a la pasta. Gracias a que la sémola de trigo contiene proteína, la masa se mantiene unida durante todo el proceso de preparación, durante el amasado, secado y cocción. Cuando una masa está hecha con base en sémola de trigo duro absorbe menos agua y seca con facilidad.

Hoy en día las pastas son uno de los alimentos que alcanzan un 100% de penetración en los hogares Mexicanos en donde el consumo es de 2.9 kilos per cápita, mientras que el mayor consumidor a nivel mundial es Italia con 29 kilos per cápita. Además la industria Mexicana produce 330,000 toneladas anuales donde el 80% es para el consumo interno y exporta el otro 20% exporta anualmente, principalmente a Estados Unidos, Centroamérica, Sudamérica y África.



2 JUSTIFICACIÓN

Debido a los problemas derivados en producto terminado sobre la calidad de los fideos producidos en el proceso respecto a su humedad absoluta final se lleva a cabo el proyecto en el cual se pretende definir la receta de curva de secado de cada fideo, así como estandarizar el % de humedad y eficiencia de producción para su respectiva evaluación.

Por lo anterior, el siguiente proyecto estará destinado a evaluar la eficiencia del proceso, para dar alternativas que aumenten la eficiencia de la línea.

3 OBJETIVOS.

3.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluación del proceso de producción de pasta corta a partir de sémola de trigo en la empresa LA ITALIANA S.A. DE C.V

3.2 OBJETIVO ESPECIFICOS

1. Definir receta de curva de secado de pasta corta.
2. Estandarizar el % de humedad absoluta en pasta corta.
3. Medir capacidad del proceso y eficiencia de la línea de pasta corta.
4. Desarrollar procedimiento de arranque de línea de producción de pasta corta.

4 CARACTERIZACIÓN DEL AREA DONDE SE DESARROLLÓ EL PROYECTO.

4.1 HISTORIA.

Inicia con una pequeña fábrica fundada en la ciudad de Puebla, México, en el año de 1920, por una familia de inmigrantes italianos, ofreciendo en cada uno de sus productos los secretos de la tradición europea para la elaboración de pastas.

Pensando siempre en satisfacer las necesidades y gustos de sus consumidores, utiliza tecnología de punta en los procesos industriales, dando como resultado la preferencia de la marca a nivel nacional e internacional.

Gracias al éxito de “LA ITALIANA, FABRICA DE PASTAS” se logra la fundación de otras compañías que actualmente forman parte del grupo: MOLINO HARINERO SAN BLAS®, GALLETAS GISA®, ITALGRANI® y TRANSPORTES ALIANO.

Actualmente cuenta con una gran capacidad productiva, instalada en extensas superficies de terreno en los estados de Puebla y Guanajuato.

GRUPO INDUSTRIAL LA ITALIANA distribuye sus productos a lo largo y ancho del país, exportando también a mercados internacionales; generando más de 2,000 empleos permanentes.

4.2 MISION.

Elaborar productos de excelente calidad, manteniendo la tradición, prestigio e innovación en nuestros productos y procesos.

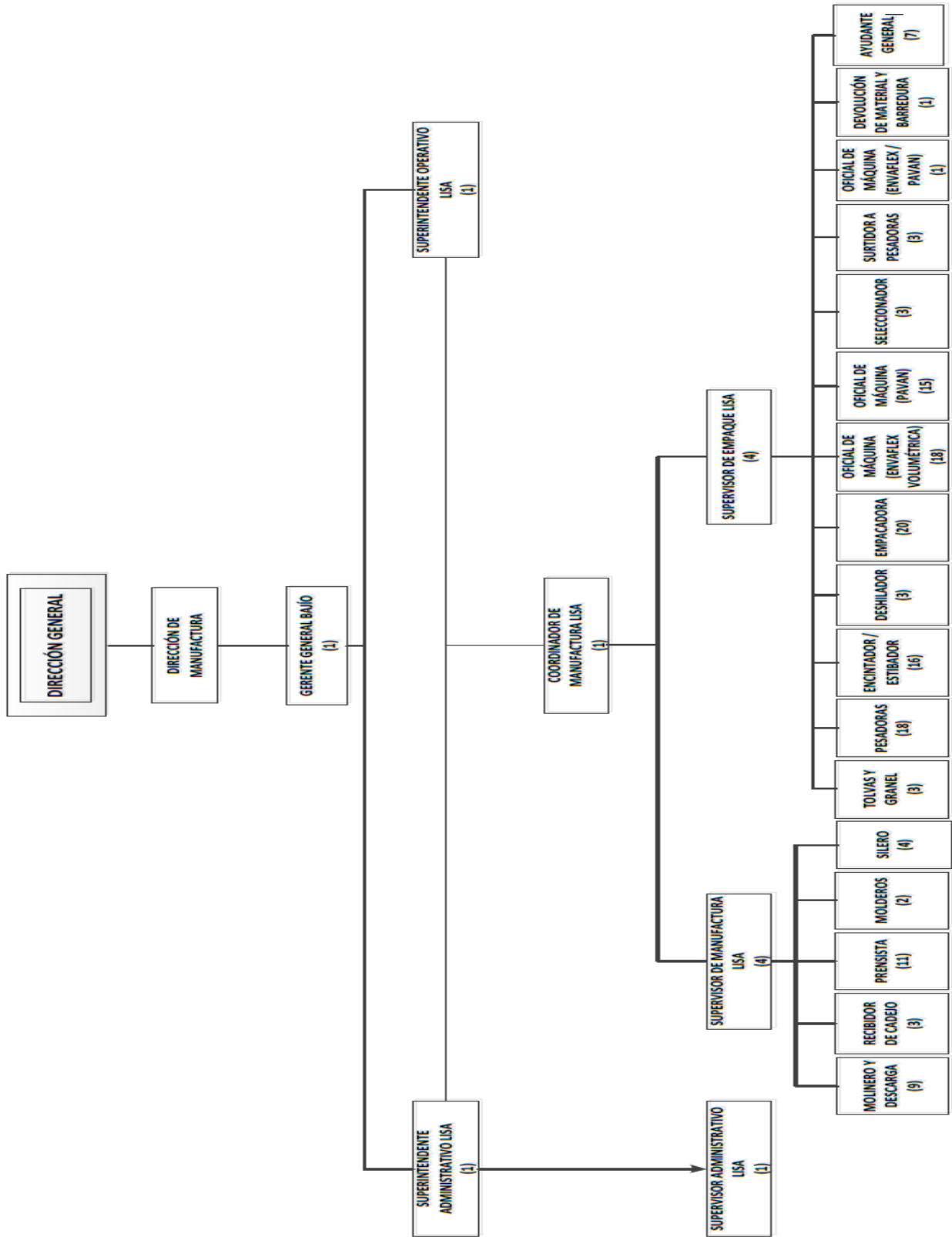
4.3 VISION.

Transmitir la pasión con la que hacemos nuestros productos a todos nuestros consumidores para que puedan disfrutar de deliciosos platillos, mediante nuestra presencia en un mercado globalizado y la preferencia de los mismos hacia nuestra marca, cuidando siempre la excelencia en el trato hacia el cliente, nuestros empleados y proveedores.

4.4 LOCALIZACION.

Blvrd Paseo Solidaridad 13181, La Pradera, Terracota, 36630 Irapuato, Gto.

4.5 ORGANIGRAMA.





5 PROBLEMAS A RESOLVER

La empresa grupo industrial la ITALIANA cuenta con 4 líneas de producción denominadas A, B, C y D, de las cuales están en funcionamiento 3, y la única que se encarga de producir la pasta corta es la línea "D", las líneas cuentan con sistemas semi-automáticos por lo cual el funcionamiento y los parámetros de la línea dependen de las condiciones de trabajo de cada supervisor de producción y forma de preparación de masa de cada uno de los prestistas que son parte fundamental del proceso.

El problema encontrado en la línea D al analizar el comportamiento de las curvas de secado de cada una de los formatos producidos muestran desviaciones con respecto a la curva de secado ideal que maneja la empresa con base en el proceso de producción, por ello se busca establecer las condiciones óptimas de trabajo de las líneas para poder optimizar el proceso.

6 FUNDAMENTO TEORICO.

6.1 SECADO.

El secado de sólidos se define de distintas maneras, según el enfoque que se desee adoptar. Así, el secado se puede definir como un proceso en que hay intercambio simultáneo de calor y masa, entre el aire del ambiente de secado y el sólido. Dos procesos ocurren simultáneamente cuando un sólido húmedo es sometido a un secado térmico.

1. Hay transferencia de energía (calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie.
2. Hay transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido.

Para que el secado se ejecute, la humedad debe ganar calor de sus alrededores y de esta manera poder evaporarse, para ser liberado por un gas transportador. La acumulación de vapor sobre la superficie de secado incluye en la velocidad de secado y el manejo adecuado de estas condiciones es determinante para lograr un proceso satisfactorio (Montoya-Arango & Jimenez-Arias, 2006).

6.2 HUMEDAD DE EQUILIBRIO.

El aire que penetra a un secador casi nunca está completamente seco; para aire con una humedad definida, el contenido de humedad del sólido saliente del secador no puede ser menor que la humedad de equilibrio correspondiente a la humedad del aire entrante. La porción de agua que no puede eliminarse por humedad se denomina humedad de equilibrio.

El contenido de humedad de un sólido puede expresarse sobre base seca o base húmeda. En los cálculos de secado resulta más conveniente referir la humedad de un sólido en base seca, debido a que esta permanece constante a lo largo del proceso de secado.

6.3 HUMEDAD LIGADA.

Es el valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con el aire saturado.

6.4 HUMEDAD DESLIGADA

Es la diferencia entre la humedad del sólido y humedad ligada.

6.5 PASTAS.

Las pastas alimenticias son productos que se consumen en todo el mundo, que se caracterizan por ser un alimento tradicional y de gran aceptación debido a su conveniencia, palatabilidad y cualidades nutricionales (Petitot et al., 2009a). Dentro de las muchas razones que justifican la popularidad de las pastas, se destacan, entre las más importantes, su ajustado perfil nutricional, y el hecho de ser una fuente importante de carbohidratos complejos y moderada de proteínas y de algunas vitaminas. Por ejemplo, una porción de 55 g de pastas secas contiene aproximadamente 210 calorías y presenta 75 por ciento de carbohidratos. Las directrices dietéticas publicadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de América (USDA) y por Health Canada, muestran que los productos a base de granos, como lo son las pastas, deben ser una parte importante de una dieta saludable. Además las pastas son un valorado bien de consumo, y como

tal, se venden bien en buenos y malos tiempos económicos. En el caso de las pastas secas envasadas, se las puede considerar como un alimento prácticamente no perecedero, si se conservan de manera adecuada y se destacan por ser fáciles de cocinar, pudiéndose preparar una extensa variedad de platos a partir de las diferentes formas y tamaños disponibles (Marchylo & Dexter, 2001).

La producción mundial de pastas ronda los 12 millones de toneladas por año. Italia, que elabora más de 3.160.000 toneladas, es el principal país productor (26%). Luego le siguen Estados Unidos cuyos 2.000.000 de toneladas representan el 16% del total mundial, y Brasil que fabrica 1.500.000 toneladas (12%).

Las 330,000 toneladas que produce nuestro país, en su mayor parte correspondiente a pastas secas envasadas, lo ubican en el décimo puesto del ranking mundial. De acuerdo al consumo interno anual per cápita, el cual promedia los 2.9 kg, el país se sitúa en el puesto N° 38 del mundo, siendo Italia, por lejos, el mayor consumidor de pastas alimenticias con 28 kg per cápita, por año. Los principales destinos de exportación son Estados Unidos, Centroamérica, Sudamérica y África (Lezcano, 2009).

6.6 CLASIFICACION DE PASTAS.

Dependiendo del trigo usado y del proceso de elaboración se pueden distinguir dos grandes grupos: los noodles y las pastas propiamente dichas. Los noodles son generalmente elaborados a partir de trigo pan (*Triticum aestivum* L.) usando un proceso de laminado y cortado; mientras que las pastas son procesadas por extrusión usando semolina proveniente de trigo durum (*Triticum turgidum* Desf.). Las diferencias entre las materias primas y el procedimiento de elaboración resultan en dos productos fácilmente distinguibles en apariencia y textura. Mientras que las pastas presentan una textura densa y firme con acentuado color amarillo, los noodles son generalmente más blandos y elásticos con una apariencia que varía entre blanco, blanco cremoso a amarillo suave (Fu et al., 2006).

Según el contenido de agua, las pastas también pueden diferenciarse en pastas secas y pastas frescas. Las primeras se caracterizan por haber sido sometidas a un proceso de secado con posterioridad a su moldeo y cuyo contenido de agua no debe ser superior a 12,5% en peso (si bien el CAA establece un máximo de 14% en peso, industrialmente se trabaja con un menor contenido de agua para asegurar la inocuidad del producto). En cambio, en las pastas frescas el contenido de agua no debe ser superior a 35% peso/peso, a excepción de los ñoquis en donde se admite hasta el 55% peso/peso (CAA, 2009/10a). Además se pueden encontrar pastas frescas elaboradas con diferentes rellenos en base a carnes, verduras, papas, quesos, ricota o sesos y que de acuerdo a sus características, pueden denominarse cappelletti, ravioli, panzotti, sorrentino, tortelletti y agnolotti entre otras.

6.7 ORIGEN DE LAS PASTAS.

Más allá de la difundida versión histórica que señala que Marco Polo introdujo las pastas en Europa desde China, el origen de las pastas se remonta a 1200 años a. C. en Egipto, en donde se encontró un bajo relieve de una especie de panadería en la cual se hacían rollos de masa, que se cortaban y se cocinaban. A partir de allí la pasta se extendió desde Palestina hacia el Asia Menor y luego a Grecia y Europa.

En la Edad Media las pastas estaban definitivamente incluidas en la dieta de los sicilianos, propagándose luego hacia el norte de Italia. Inicialmente la pasta era laminada, cortada en tiras y comercializada como pasta fresca. Posteriormente se descubrió que el clima de la costa de Italia era ideal para el secado y así la pasta seca se hizo rápidamente muy popular debido a su estabilidad durante el almacenamiento. La mecanización de la fabricación de las pastas comenzó durante los siglos XVIII y XIX con la invención de prensas hidráulicas y amasadoras. Los gabinetes de secado aparecieron en el siglo XX y la elaboración de las pastas siguió siendo un proceso por lotes hasta la década de 1930 cuando se introdujo la extrusión continua (Marchylo et al., 2004).

Indiscutiblemente, desde tiempos muy tempranos las pastas pertenecen a los italianos y en la actualidad son consideradas como un producto típicamente italiano, asociación en gran medida justificada por el hecho de que Italia es el principal productor, consumidor y exportador de pastas alimenticias del mundo (Marchylo & Dexter, 2001).

6.8 MATERIAS PRIMAS.

Se han realizado muchos trabajos científicos para tratar de entender los parámetros que influyen en el procesamiento de las pastas y en la calidad final del producto. La correcta elección de las materias primas y de las variables del procesamiento son las únicas medidas que pueden tomarse para garantizar la obtención de una pasta, que cocida al dente, sea firme, elástica, no presente una superficie pegajosa y que la pérdida por cocción sea poca o ninguna (Brunnel et al., 2010).

6.9 EL TRIGO.

Con el término “trigo” (*Triticum spp*) se designa a un conjunto de especies, tanto cultivadas como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*. La palabra «trigo» proviene del vocablo latino *triticum*, que significa ‘quebrado’, ‘triturado’ o ‘trillado’, haciendo referencia a la actividad que se debe realizar para separar el grano de trigo de la cascarilla que lo recubre (Gómez Pallarés et al., 2007).

Existen muchos tipos de trigo, pero los más importantes comercialmente son tres. El trigo común o pan (*Triticum aestivum* L. subsp. *aestivum*, también llamado *triticum vulgare*) es el más ampliamente cultivado y produce harinas de calidad superior para elaborar productos leudados; el trigo club (*Triticum aestivum* L. subsp. *compactum* (Host) Mackey) posee granos blandos y con bajo contenido de proteína, por lo que produce harinas aptas para elaborar ciertos tipos de bizcochuelos

y galletitas donde se necesita un gluten débil; y el trigo duro (*Triticum turgidum* L. subsp. *durum* (Desf.) Husn.)

El *Triticum aestivum* o trigo pan se caracteriza por presentar un grano de forma elíptica, más o menos redondeado, de color rojizo-amarillento, grisáceo o combinaciones de estos colores, de aspecto opaco, fractura almidonosa, no quebradizo; de gluten húmedo elástico y extensible; con buen o muy buen valor panadero y con un peso de 30-40 g los 1000 granos; mientras que, el *Triticum durum* (Candeal y Taganrock) o trigo fideos, presenta un grano de forma elíptica sensiblemente alargado, de color ámbar claro, aspecto traslúcido, fractura vítrea y gran friabilidad, con gluten húmedo, corto y duro no apto para panificación con un peso de 50-60 g los 1000 granos.

6.10 ESTRUCTURA DEL GRANO DE TRIGO.

Los granos de trigo son carióspsides, de forma ovalada con sus extremos redondeados. Están formados por tres partes principales: el salvado, o parte externa, el germen o embrión y el endospermo, que es la parte más interna del grano. El germen sobresale en uno de los extremos y en el otro hay un mechón de pelos finos, el resto del grano se denomina endospermo, el cual es un depósito de alimentos para el embrión y representa el 82% del peso del grano (Figura 1.2).

A lo largo de la cara ventral del grano hay una depresión (surco), una invaginación de la aleurona y de todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente pigmentada. El pericarpio y la testa, juntamente con la capa de aleurona, conforman el salvado de trigo. El salvado está formado por numerosas capas ricas en vitaminas, minerales y con un alto contenido de proteínas. La capa de aleurona se localiza entre el salvado y el endospermo. El germen es la parte donde se inicia el origen de una nueva planta. El germen de trigo es una de las fuentes más ricas en vitaminas del grupo B y E, y contiene proteínas, grasas y minerales. El endospermo está constituido principalmente por almidón, proteínas y, en menor medida, celulosas, y presenta un bajo contenido de vitaminas y minerales. La harina blanca está formada predominantemente por el endospermo (Gómez Pallarés et al., 2007).

La textura del endospermo puede ser vítrea (cristalina, córnea, acerada) o harinosa (almidonosa, yesosa). El carácter vítreo de los granos suele estar relacionado con un alto contenido proteico, mientras que el carácter harinoso suele asociarse con rendimientos más elevados.

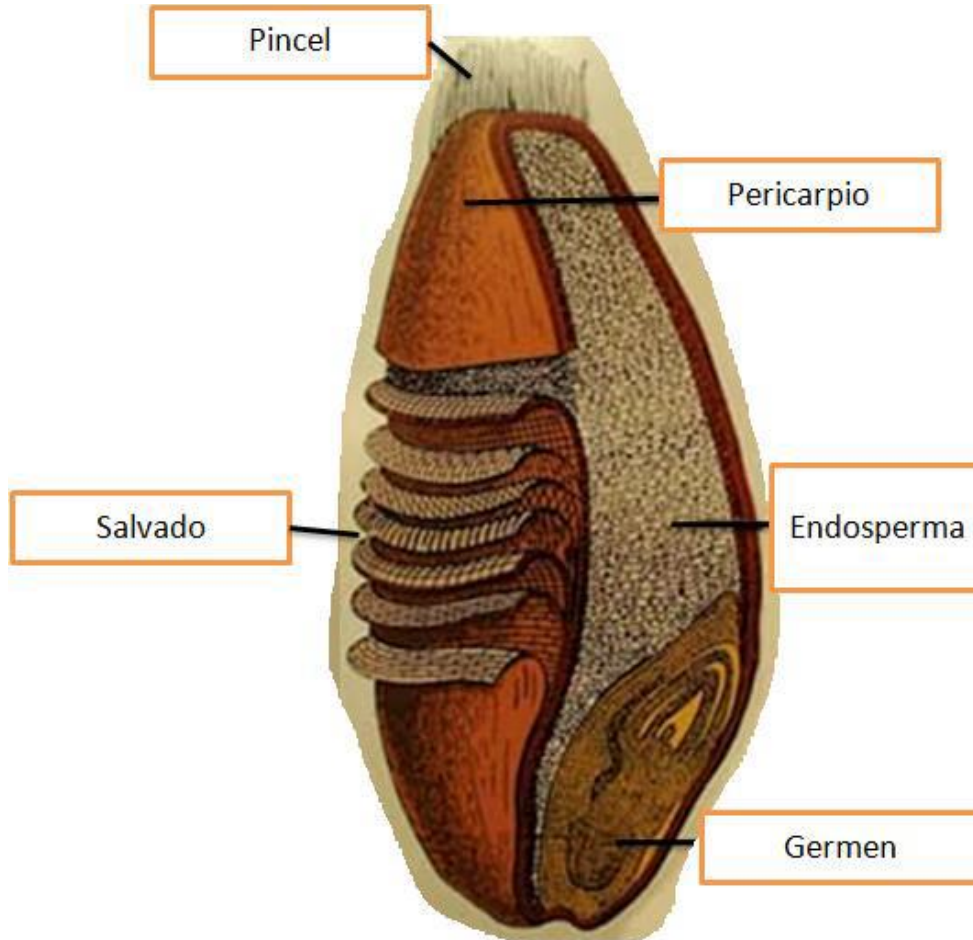


Figura – Estructura del grano de trigo.

Los granos vítreos son translúcidos y aparecen brillantes al observarlos, al contrario de los harinosos que son opacos y más oscuros bajo una fuente de luz. Esta opacidad de los granos harinosos es simplemente un efecto óptico, ocasionado por las diminutas vacuolas o fisuras llenas de aire que se encuentran en el interior de las células del endospermo o entre éstas. Estas fisuras forman superficies reflectantes internas que impiden la transmisión de la luz y dan al endospermo una apariencia blanca, que no tienen los granos vítreos en los cuales las células están totalmente llenas de una matriz formada por almidón-proteína. En los granos vítreos la luz se difracta en la interfase aire-grano, pero luego viaja a través del grano sin sufrir ninguna difracción. Debido a la presencia de estos espacios los granos harinosos son menos densos que los vítreos. A través de microscopía electrónica se ha observado que en los granos de *T. durum* existe una fuerte adherencia entre la proteína y el almidón. Los trigos duros producen una harina con mayor granulometría (sémola o semolina), que está formada por partículas de forma regular, que son, en su mayoría son células enteras del endospermo. Por el contrario, los trigos blandos proporcionan una harina muy fina formada por fragmentos irregulares de las células del endospermo y partículas planas que se adhieren unas a otras. La dureza, por otra parte, incide sobre la facilidad con que el endospermo se separa del salvado. En los trigos duros esta separación es más limpia y las células del endospermo permanecen intactas, sin embargo en los trigos blandos las células periféricas del

endospermo tienden a fragmentarse y mientras unas se separan otras quedan unidas al salvado (Gómez Pallarés et al., 2007).

La composición del trigo puede variar según la zona y el año de cosecha. En la Tabla I.1 se presenta el rango de variación de los principales componentes en la composición química del grano de trigo (Matz, 1999).

Componentes	Composición Química, g/100 g*
Agua	8,0 - 18,0
Proteínas	7,0 - 18,0
Lípidos	1,5 - 2,0
Almidón	60,0 - 68,0
Fibra Cruda	2,0 - 2,5
Cenizas	1,5 - 2,0

*Valores mínimos y máximos de cada componente en porcentaje

El principal criterio de calidad del grano de trigo para elaborar harina para pastas es la dureza del grano, el contenido de proteínas, la fuerza del gluten y las propiedades de pasting del almidón (Fu, 2008).

6.11 HARINA DE TRIGO.

La harina de trigo blanca proviene del endosperma del grano. Dado el repliegue (surco) que presenta el grano de trigo, es imposible eliminar las capas externas por simple abrasión y por ello, es que se opera por sucesivas trituraciones, llamadas molturación, tamizados y cernidos. De esta manera se separan diversas fracciones correspondientes a los tegumentos y capas de aleurona (salvado), el germen y el endosperma (Cheftel & Cheftel, 1992).

La composición química del grano varía durante el proceso de molienda y la modificación más importante que se produce es una pérdida considerable de elementos nutritivos, especialmente de sales minerales y vitaminas. A partir del año 2002 rige en Argentina la ley 25.630, la cual obliga a que la harina de trigo destinada al consumo humano debe ser adicionada con determinadas cantidades de hierro, ácido fólico, tiamina, riboflavina y niacina. Además la eliminación de las capas más externas del grano provoca una pérdida prácticamente completa de las fibras presentes en el grano y una disminución del contenido de proteínas, lo que genera en consecuencia un aumento proporcional de la concentración del almidón.

La harina del endosperma representa aproximadamente el 70% del peso del grano y contiene la totalidad del almidón y gran parte de las proteínas del grano, en particular las glutelinas y las prolaminas, que se caracterizan por sus propiedades únicas de formar una masa viscoelástica al ser mezcladas con agua y darles energía a través del amasado. Estas proteínas pueden absorber prácticamente dos veces su peso en agua y constituir una red deformable, elástica y extensible

capaz de retener CO₂ durante la fermentación y posterior cocción. Por lo tanto, la calidad de la harina de trigo está determinada principalmente por la estructura molecular de las proteínas presentes, y de ellas dependen las interacciones que se establecen durante el amasado, que no solo se dan entre las proteínas y el agua para formar la red de gluten sino también interacciones con otros componentes presentes en la harina: almidón, polisacáridos no almidonosos (arabinosanos, arabinogalactanos) y lípidos (neutros y polares: fosfo y glicolípidos) (Carr et al., 1992; Bettge & Morris, 2000; Lee et al., 2001).

La composición de una harina es aproximadamente un 75% de almidón, 10% de proteínas, 1% de lípidos, 0,3% de fibras y 0,5% de cenizas (Yúfera, 1998).

6.12 CARACTERÍSTICAS DE LA HARINA DE TRIGO.

Considerando que la harina es la responsable del 95-98% de los sólidos en las pastas secas, su importancia en la elaboración de éstas es elemental.

La apariencia de la harina de trigo utilizada para la elaboración de pastas evaluada por microscopía electrónica de barrido, difiere cuantitativamente de la apariencia de la sémola de trigo durum (Figura I.3). Mientras que la primera presenta una amplia gama de tamaños de partículas que incluye gránulos de almidón individuales y pequeños fragmentos proteicos, con los gránulos de almidón claramente visibles en la superficie de partículas más grandes; en la sémola se observan pocas partículas pequeñas, mostrando un aspecto mucho más compacto, en donde los gránulos de almidón están completamente encerrados en una matriz amorfa de proteínas (Dexter et al., 1979; Heneen & Brismar, 2003).

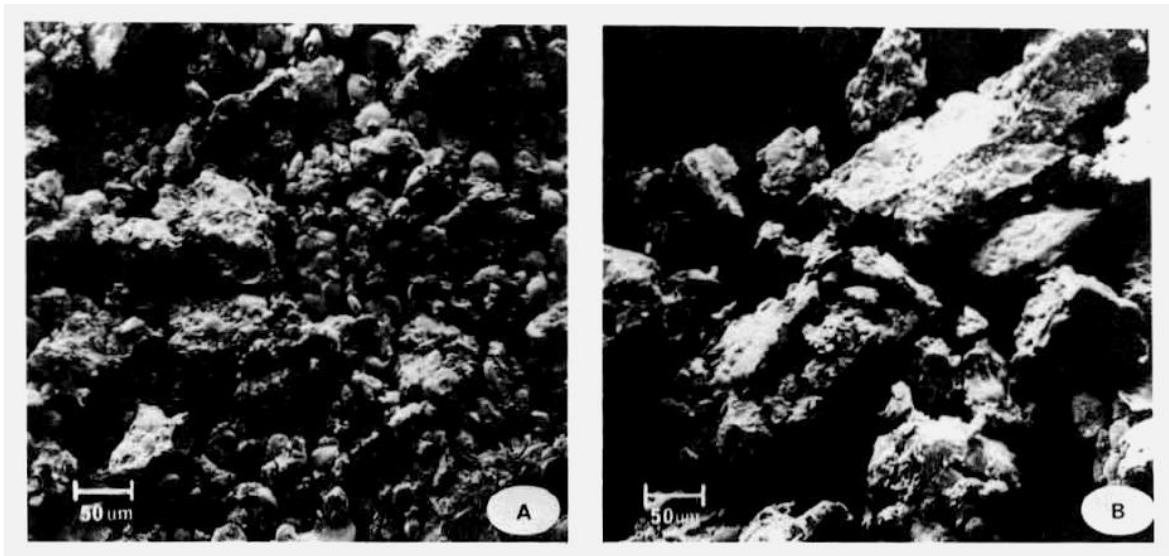


Figura I.3 - Microscopía electrónica de barrido: (A) harina de trigo pan, (B) sémola de trigo duro (Dexter et al., 1979).

Un tamaño de partícula de la harina relativamente pequeño favorece la hidratación durante el amasado y el óptimo desarrollo de un gluten uniforme durante el laminado; de manera tal que, menos del 15% de una harina típica para pastas debe quedar retenido en un tamiz de 100 μm . Además la distribución del tamaño de partícula debe ser uniforme, ya que las partículas pequeñas se hidratan mucho más rápido que las más grandes, generando corpúsculos de masa de diferentes tamaños, lo que da lugar a manchas (húmedas o secas) en la lámina de masa. Por otro lado, una harina con un tamaño de partícula demasiado pequeño, puede estar indicando una alta cantidad de almidón dañado, que debido a su competencia por el agua con el gluten durante el amasado, debe ser evitado (Fu, 2008).

6.13 PROTEINAS.

Osborne, en 1907 clasificó a las proteínas de los cereales de acuerdo a su solubilidad en cuatro tipos: albúminas, solubles en agua; globulinas, insolubles en agua y solubles en soluciones salinas diluidas; prolaminas, insolubles en agua y en soluciones salinas y solubles en alcohol al 70% y glutelinas, insolubles en los solventes anteriormente mencionados y solubles en ácidos diluidos. Estas últimas también pueden ser solubilizadas en bases diluidas y detergentes. A los dos primeros grupos pertenecen las proteínas metabólicamente activas que se ubican en el citoplasma celular. Las gliadinas y gluteninas comprenden las proteínas de almacenamiento, las cuales conforman la mayoría de las proteínas presentes en el gluten. Aunque en trigo se usan los términos gliadinas y gluteninas, Osborne sugirió los nombres genéricos, prolaminas y glutelinas, para las fracciones equivalentes de otros cereales.

Asimismo, las proteínas de los granos de trigo se pueden dividir, más allá de la solubilidad que tengan en los distintos solventes, en base a su funcionalidad, clasificándose de este modo en dos grandes grupos: las proteínas que forman gluten y las que no lo forman. Las primeras se denominan proteínas de almacenamiento y constituyen alrededor del 80-85% del total de proteínas. Entre las proteínas no formadoras de gluten, que representan el 15-20% del contenido total de proteínas, se encuentran la mayoría de las enzimas.

6.14 PROTEINAS QUE NO FORMAN GLUTEN.

Las proteínas que no forman gluten son solubles en soluciones salinas diluidas por lo tanto corresponden a las albúminas y globulinas del fraccionamiento de Osborne. Son proteínas monoméricas, metabólicamente activas y estructurales, que se ubican en las capas más externas del grano de trigo. Su función en la panificación aún no está clara (Veraverbeke & Delcour, 2002). Estas proteínas poseen un buen balance de aminoácidos, contienen proporciones relativamente altas de lisina, triptofano y metionina; tres aminoácidos que se encuentran en baja proporción en la mayoría de los cereales. La fracción de albúminas y globulinas incluye las proteínas solubles en cloroformo - metanol (CM-proteínas), enzimas, albúminas de alta masa molecular (HMW-albúminas), proteínas "triples" y otras proteínas que no son de almacenamiento. Las CM-proteínas poseen masas moleculares entre 11.000-13.000 Da y una composición de aminoácidos única con

altos valores de lisina y aminoácidos no polares. Las proteínas “triples” o “triticins” son proteínas menores del endosperma depositadas en cuerpos proteicos que aparecen en las electroforesis en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE) en condiciones no reductoras como un triplete de bandas de alto peso molecular (HMW). En presencia de mercaptoetanol o ditioneitol se obtienen cuatro subunidades de 58.000, 52.000, 23.000 y 22.000 de masa molecular (Singh et al., 1991). Mediante el fraccionamiento de las albúminas de harina de trigo por SDS-PAGE aparecen numerosos componentes proteicos. La mayoría de estas proteínas se pueden dividir en dos grupos: HMW-albúminas, y LMW-albúminas con un peso molecular aproximado de 60.000 y de 14.000 – 16.000 Da, respectivamente (Pogna et al., 1994).

6.15 PROTEINAS FORMADORAS DE GLUTEN.

Las proteínas formadoras de gluten se denominan también proteínas de almacenamiento (Kasarda et al., 1976), representan entre un 80-85% del total de las proteínas del trigo y sirven como fuente de nitrógeno durante la germinación de la semilla (Ng & Bushuk, 1987; Larroque et al., 2000). Se encuentran en el endosperma del grano de trigo maduro donde forman una matriz continua alrededor de los gránulos de almidón. Las proteínas del gluten son insolubles en agua o en soluciones salinas diluidas y pueden ser divididas en dos grupos de acuerdo a su funcionalidad: las gliadinas monoméricas y las gluteninas poliméricas (extraíbles o no extraíbles). La composición de aminoácidos de las gliadinas y de las gluteninas es similar, se caracterizan por tener altas concentraciones de glutamina (un tercio o más del residuo total de aminoácidos) y de prolina (una séptima parte o más del residuo total de aminoácidos). Se considera en general que las gliadinas son las responsables de la viscosidad del gluten, mientras que las gluteninas son las encargadas de conferirle fuerza y elasticidad (Hoseney, 1994b).

6.16 EL GLUTEN.

Las propiedades de la harina de trigo para formar una masa cohesiva que puede ser horneada para producir pan o para formar pastas son derivadas de las proteínas presentes en el gluten. Las propiedades reológicas de la masa son gobernadas por la estructura del gluten y las interacciones que se establecen entre las proteínas que lo componen, particularmente entre los polímeros de gluteninas unidos por enlaces disulfuro (Lindsay & Skerritt, 1999).

El gluten es definido como un gel formado por las proteínas de almacenamiento del grano de trigo cuando se trabaja mecánicamente una mezcla de harina y agua. Se puede obtener lavando una masa con agua para eliminar el almidón y los componentes solubles. El gluten está formado por un 80% de proteínas y un 8% de lípidos, en base seca, con un resto de hidratos de carbono y cenizas (Hoseney, 1994b), aunque dicha composición varía con el método de extracción.

Las proteínas que integran el gluten se encuentran localizadas en cuerpos proteicos en el endospermo del grano. Durante el amasado se produce la ruptura de estos cuerpos y su hidratación, formando así una red tridimensional continua en la cual se encuentra embebido el

almidón. Las interacciones de tipo covalentes y no covalentes entre los polipéptidos más grandes que forman la masa producen una matriz elástica y extensible. El gluten es una mezcla compleja de proteínas que varían en su proporción, estructura y propiedades.

A pesar de los numerosos estudios realizados sobre la estructura de las proteínas del gluten y la base molecular existente, su rol en el procesamiento del pan aún no ha sido totalmente esclarecido (Shewry et al., 2001). Como se mencionó anteriormente, las subunidades de glutenina de alto peso molecular están presentes en forma de polímeros. La importancia de tales polímeros en determinar la viscoelasticidad del gluten ha sido apreciada durante muchos años, aunque su tamaño, complejidad y baja solubilidad limita el estudio detallado. La importancia de los puentes disulfuro en estabilizar estos polímeros ha sido extensamente demostrada. Hay evidencia de la formación de puentes disulfuro intermoleculares entre gluteninas de alto peso molecular, y de estas con LMW-GS (Shewry & Thatham, 1997; Kasarda, 1999). Los enlaces disulfuro son entonces considerados esenciales para la viscoelasticidad del gluten.

La composición de aminoácidos de las proteínas del gluten muestra que aproximadamente la mitad de los constituyentes son glutamina y prolina, por lo que se supone que hay gran cantidad de puentes de hidrógeno en el sistema. Otro aporte importante son las interacciones hidrofóbicas, ya que aproximadamente el 35% de los aminoácidos poseen cadenas laterales de naturaleza hidrofóbica (Hoseney, 1994b).

En la Figura 1.6 se presenta un esquema de la estructura del gluten (Shewry et al., 2001) en el cual las gluteninas de alto peso molecular forman la columna vertebral del polímero, estas HMW-GS se encuentran unidas entre sí a través de puentes disulfuro intermoleculares ubicados en los extremos. Esta columna vertebral de gluteninas de alto peso molecular sirve de base para que se unan a ella las subunidades de bajo peso molecular (LMW-GS) mediante puentes disulfuro formando puntos de ramificación. Las gliadinas, consideradas como las principales responsables de la viscosidad del gluten, interactúan principalmente con los polímeros de gluteninas mediante interacciones no covalentes.

En el dominio central de las HMW-GS ocurren fuertes interacciones puentes de hidrógeno probablemente entre las amidas de los residuos de glutamina. Estas interacciones son muy importantes porque contribuyen a la viscoelasticidad de la masa (Ewart, 1989; Jeffrey & Saenger, 1994; Belton, 1999).

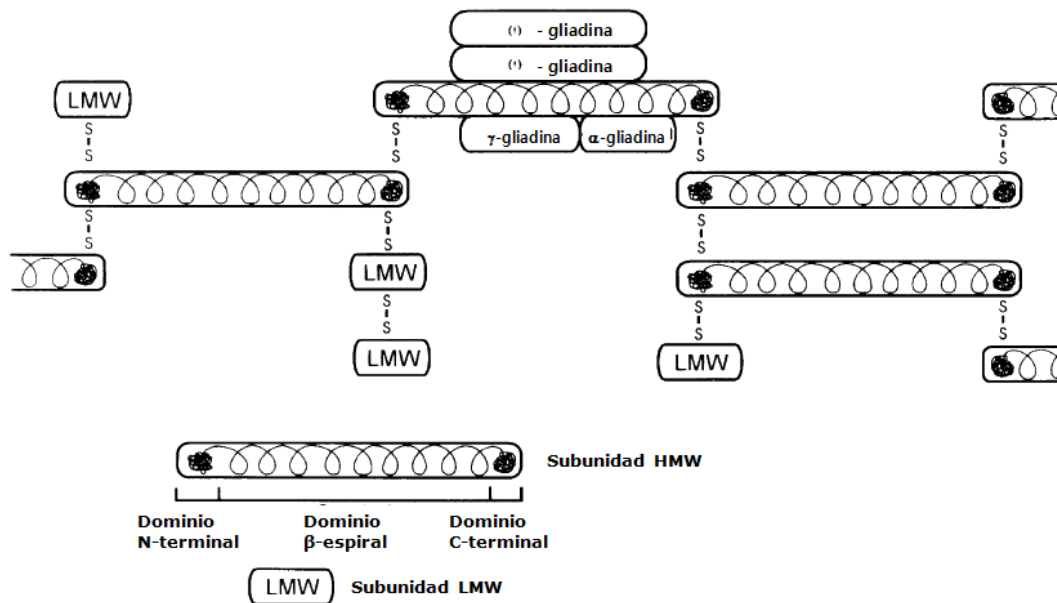
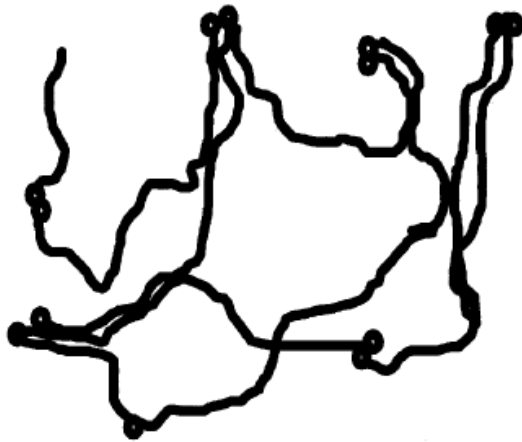
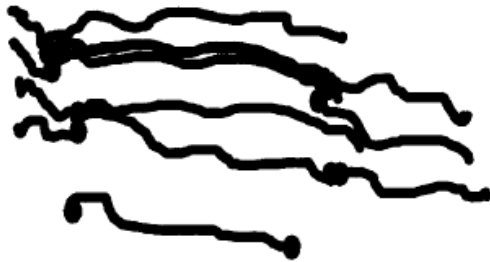


Figura I.6 - Un modelo estructural para el gluten de trigo en el que las subunidades HMW ligadas por uniones disulfuro proporcionan una columna vertebral, la cual interacciona con otras proteínas del gluten por enlaces disulfuro (subunidades LMW) y por interacciones no-covalentes (gliadinas) (Sherry et al., 2001).

Popineau et al. (1994) demostraron que en el gluten las cadenas de los polímeros de gluteninas forman estructuras β -sheet alineadas en una red extendida de puentes de hidrógeno. Posteriormente, Shewry et al. (2001) propusieron un modelo para explicar la elasticidad del gluten (Figura I.7), basado en una estructura de bucles y colas, loop and trains, regiones donde existen interacciones polímero-solvente y regiones con interacciones polímero-polímero, respectivamente. En este modelo las proteínas del gluten están estabilizadas por interacciones no covalentes entre moléculas paralelas. HMW-GS inicialmente presentan una conformación en forma de bucle (loop) que son estiradas durante la extensión del gluten para formar polímeros alineados en los cuales la formación de altas proporciones de estructuras β -sheet se encuentra favorecida. Por esta razón tales polímeros son altamente resistentes a la extensión.



Disposición de las subunidades HMW en la matriz de la masa antes de la extensión. ● representa las regiones de uniones disulfuro



Disposición de las subunidades después de la extensión. Se destaca la deformación en la región del bucle.

Figura- Modelo para el arreglo de las subunidades HMW en la matriz de la masa antes (arriba) y después (abajo) de extensión (Sherry et al., 2001).

El estiramiento de los polímeros produce primero la deformación de los bucles (loops) y posteriormente de las colas (trains), a la vez que se rompen las interacciones no covalentes. Durante la extensión, los puentes disulfuro se rompen y se restablecen derivando en una red alineada en dirección a la extensión. Sin embargo, puede producirse la restauración del equilibrio de bucles y colas espontáneamente, resultando en la relajación de la estructura del polímero.

Estos modelos estructurales fueron extensamente relacionados con la viscoelasticidad del gluten y con la estabilidad de los polímeros (Belton, 2005; Wellner et al., 2005). Wellner et al. (2005) postularon que en algunos casos la extensión no resultaría en alineamientos favorables y por lo que la relajación de las conformaciones de los bucles (β -turn) sería más rápida dependiendo del tamaño del polímero.

Mediante microscopía atómica se demostró que las moléculas de HMW-GS se alinean para formar un gran polímero ramificado previamente a la formación de puentes disulfuro, sugiriendo en parte que la habilidad de formar puentes disulfuro está direccionada por las interacciones no covalentes (Humphris et al., 2000). Anteriormente, Pezolet et al. (1992) ya habían sugerido que la elasticidad del gluten resulta de interacciones intermoleculares que involucran estructuras β -sheet. Sin embargo, Belton et al. (1995) postularon que los puentes disulfuro pueden incrementar la probabilidad de la formación de interacciones intermoleculares. Más tarde, Shewry et al. (2003)

observaron que el número y el patrón de puentes disulfuro en los polímeros de gluteninas del trigo afectan la fuerza de la masa. Por lo tanto, estructuras β -sheet y puentes disulfuro contribuyen a la estabilización de los polímeros como fue propuesto por Belton (2005).

6.17 IMPORTANCIA DE PROTEÍNAS EN LAS PASTAS.

La habilidad única de la harina de trigo de formar una masa cohesiva, elástica y extensible es debido a las proteínas de gluten presentes en la harina. Tanto la cantidad como la calidad son importantes en la elaboración de las pastas (Hoseney, 1994a), considerando que las propiedades reológicas de las masas son dominadas por las proteínas (De Noni & Pagani, 2010). Altas concentraciones de proteínas (10-14%), con capacidad de formar una red fuerte de gluten, produce pastas de textura elástica y chiclosa. Harinas con muy baja concentración de proteínas originan pastas con pobre tolerancia a la cocción y se vuelven blandas y pegajosas. De modo que un correcto rango del contenido de proteínas es importante para las características de textura (Ross et al., 1997; Park & Baik, 2004; Zhao & Seib, 2005).

Además, las pastas que van a ser sometidas a un proceso de secado requieren un mayor contenido de proteínas que las pastas frescas, ya que las primeras deben soportar el proceso sin romperse (Fu, 2008). A decir verdad, la calidad de las pastas secas no solo está relacionada con el contenido de proteínas sino también con la fuerza del gluten del trigo (D'Egidio et al., 1990; Malcomson et al., 1993; Rao et al., 2001).

En la evaluación de la calidad de las proteínas de la sémolas o harinas destinadas a la elaboración de pastas se deben considerar las fracciones individuales de las proteínas (Edwards et al., 2003; Sissons et al., 2005). Las gluteninas y las gliadinas son responsables de un buen comportamiento durante la cocción de las pastas, ya que tanto la tenacidad como la elasticidad de la red de proteínas son debidas a las agregaciones proteína/proteína y subunidad/subunidad. Además, otras características químicas de las proteínas, tales como el número de grupos sulfhidrilo, o el contenido relativo de gluteninas de bajo peso molecular, parecen estar relacionados con la calidad de las pastas. Por lo tanto, para evaluar la calidad del trigo destinado a la elaboración de pastas, deben considerarse otros parámetros adicionales, tales como la relación glutenina/gliadina, la presencia de fracciones proteicas específicas, la hidrofobicidad superficial y las propiedades funcionales del gluten y de la masa (De Noni & Pagani, 2010).

A diferencia de los ensayos para la elaboración de pan, los análisis químicos y reológicos usados para controlar el comportamiento de las proteínas, algunas veces no son confiables para predecir el comportamiento en la elaboración de las pastas. Se han hecho considerables esfuerzos para evaluar cuáles ensayos pueden predecir mejor la calidad de las pastas cocidas (De Noni & Pagani, 2010).

En realidad, la evaluación de los componentes de la sémola o harina usada para la elaboración de pastas, puede ayudar a rechazar materias primas de mala calidad, pero raramente permite identificar las de buena calidad. En otras palabras, una harina con un gluten de buena calidad (evaluado en el laboratorio), no necesariamente significa una pasta de buena calidad,

especialmente cuando ésta se seca a bajas temperaturas (D'Egidio et al., 1990). En efecto, un almidón de mala calidad puede suprimir el efecto positivo de un gluten de buena calidad (De Noni & Pagani, 2010)

6.18 ALMIDON.

Los granos de cereales almacenan energía en forma de almidón. El almidón se acumula en gránulos que se sintetizan dentro de los amiloplastos. Los gránulos de almidón en la harina de trigo y de otros cereales muestran una distribución de tamaño bimodal, los gránulos más pequeños (tipo-B) son esféricos con un diámetro menor a $10\ \mu\text{m}$, en tanto que los grandes (tipo-A) son lenticulares con un diámetro cercano a $20\ \mu\text{m}$ (Figura I.8). El interior de los gránulos está formado por regiones cristalinas y amorfas alternadas, por lo que el almidón es descrito como un polímero semicristalino o parcialmente cristalino (Eliasson & Gudmundsson, 1996).

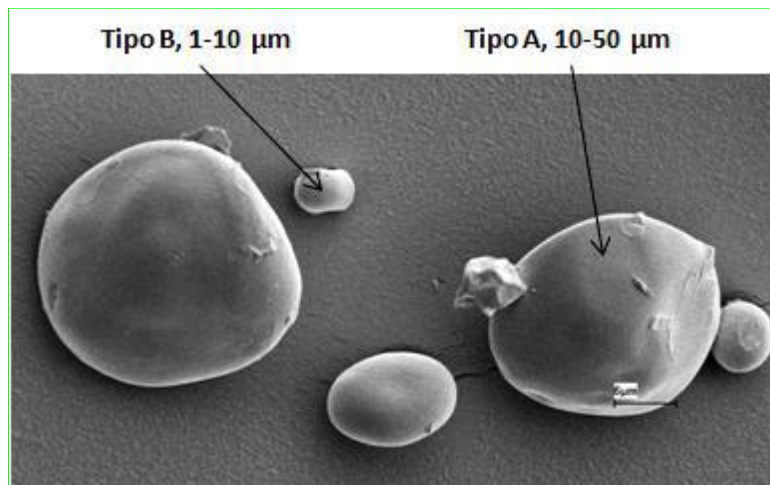


Figura - Microscopía electrónica de barrido de gránulos de almidón de trigo (barra de escala: $5\ \mu\text{m}$).

El almidón, componente mayoritario de la harina de trigo, es una macromolécula que está compuesta por dos fracciones: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es definida como una molécula esencialmente lineal, compuesta por 500-6000 unidades de glucosa unidas por enlaces α -(1-4), con escasos puntos de ramificación formados por enlaces α -(1-6) (Shibanuma et al., 1994); y la amilopectina está formada por una cadena central similar a la de la amilosa pero posee ramificaciones con enlaces α -(1-6) cada 9 a 20 unidades de D-glucosa (Whilster & Daniel, 1984). El enlace α -1,4 imparte a la molécula un giro natural, con lo que la conformación de las cadenas es helicoidal (Greenwood, 1976). Dentro del gránulo se puede diferenciar una zona con cierto grado de cristalinidad debido a regiones ordenadas de cadenas de amilopectina y una zona amorfa compuesta principalmente por las regiones ramificadas de la amilopectina y las cadenas de amilosa (Figura I.9).

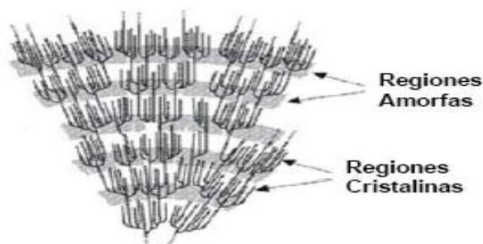


Figura - Regiones amorfas y cristalinas del almidón.

Cuando los gránulos de almidón son sometidos a tratamientos térmicos, debido a su estado nativo parcialmente cristalino, experimentan distintas transiciones de fase, llamadas gelatinización y retrogradación (Belitz & Grosch, 1999). Como consecuencia de la combinación de calor, humedad y tiempo durante la cocción, los gránulos de almidón se hinchan y gelatinizan (Figura I.10A). La gelatinización es la destrucción irreversible del orden molecular de los gránulos de almidón (Atwell et al., 1988). Para que ocurra este fenómeno es necesario un nivel mínimo de agua y una determinada temperatura. Durante la gelatinización, una pequeña cantidad de almidón, principalmente amilosa, es liberada en la región inter-granular lo que conduce a un aumento de la viscosidad (Figura I.10B). Además se produce el desorden de las regiones cristalinas dentro de los gránulos. Típicamente, el almidón se hidrata a temperaturas que van desde 40 a 120 °C, dependiendo del origen del almidón y del contenido de amilosa (Haralampu, 2000). Parte de la amilosa solubilizada forma complejos de inclusión con los lípidos polares de la harina de trigo. La calorimetría diferencial de barrido (DSC) se usa generalmente para estudiar la gelatinización y la retrogradación del almidón. La temperatura de transición y la entalpía de gelatinización determinadas por DSC pueden relacionarse con características de los gránulos de almidón como por ejemplo el grado de cristalinidad (Krueger et al., 1987). Altas temperaturas de transición han sido propuestas como resultado de un alto grado de cristalinidad, indicando estabilidad estructural y resistencia de los gránulos a la gelatinización (Barichelo et al., 1990).

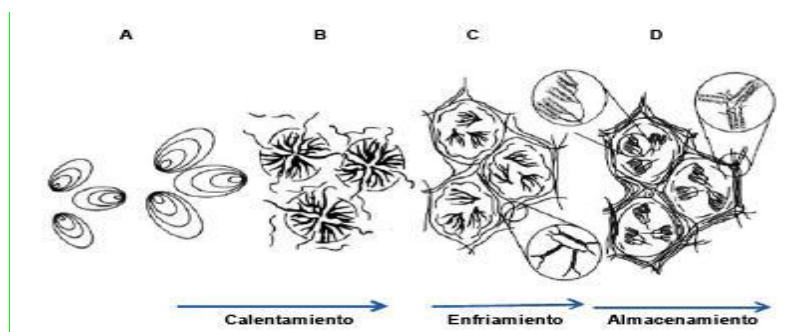


Figura I.10- (A) Hinchamiento de los gránulos de almidón a medida que absorben agua. (B) Gelatinización durante el calentamiento, ruptura de los gránulos de almidón y liberación de moléculas de amilosa. (C) Retrogradación de la amilosa durante el enfriamiento, formación de la red de amilosa. (D) Retrogradación de la amilopectina durante el almacenamiento, ordenamiento de las moléculas de amilopectina (Goesaert et al., 2005).

Durante el enfriamiento las moléculas de almidón se reasocian dando lugar a un estado más ordenado o cristalino, proceso llamado retrogradación (Atwell et al., 1988), en donde se forman estructuras compactas. La amilosa gelificada forma una red continua rodeando los gránulos de almidón hinchados y deformes (Figura I.10C), (Eliasson & Larsson, 1993a). Estas estructuras son térmicamente muy estables y solamente pueden ser rehidratadas a 80-150 °C, dependiendo del grado y la naturaleza de la retrogradación (Haralampu, 2000). Durante la retrogradación, la amilosa lixiviada a la solución como un polímero enrollado, se reorganiza como dobles hélices estabilizadas por medio de uniones puente hidrógeno. En las hebras individuales, las hélices contienen seis unidades de glucosa por vuelta, que al retrogradar, se empaquetan en una única celda hexagonal (Figura I.11) (Haralampu, 2000). La retrogradación de la amilopectina ocurre a una velocidad mucho menor que la amilosa.

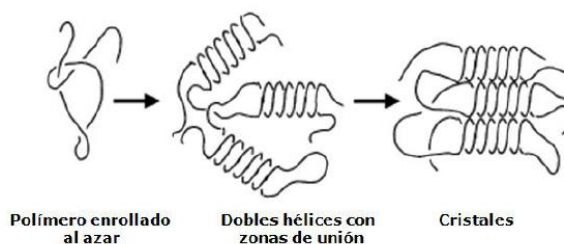


Figura I.11 - Esquema de retrogradación de la amilosa (Haralampu, 2000).

Una fracción significativa de los gránulos de almidón (alrededor del 8%) es dañado durante la molienda. Este daño mecánico de los gránulos generalmente afecta las propiedades del almidón (Hoseney, 1994c). En presencia de agua, el almidón dañado puede hincharse y gelatinizar a temperatura ambiente, es decir que pierde la birrefringencia óptica, la cristalinidad, forma un gel traslúcido y los glucanos solubles son lixiviados a la fase acuosa. Los parámetros de gelatinización (temperatura y entalpía determinadas por medio de la calorimetría diferencial de barrido, DSC) del almidón dañado presentan valores más bajos que el almidón no dañado, siendo este cambio más pronunciado en los trigos duros que en los trigos bandos. El almidón dañado es hidrolizado rápidamente por amilasas, por lo tanto son sustratos de las amilasas durante la fermentación (Eliasson, 2003). Además el almidón dañado absorbe dos veces su peso de agua en contraste con el almidón no dañado, el cual solo absorbe el 40% de su peso. Esta elevada capacidad de absorción de agua implica que el almidón dañado puede ser responsable de aproximadamente el 16% de la absorción total de agua de la harina, un valor similar al de la propia proteína. De hecho la contribución que hace el almidón dañado a la absorción de agua se ha convertido en un elemento esencial de las especificaciones de la harina (Cauvain & Young, 2001).

6.19 IMPORTANCIA DE ALMIDON EN LAS PASTAS.

El rol del almidón en las propiedades reológicas de la masa para la elaboración de las pastas, es muchas veces subestimado con respecto al rol del gluten. Sin embargo, las características de la superficie de los gránulos de almidón puede afectar el comportamiento viscoelástico de la masa, dado que éstas determinan el tipo de interacción proteína-almidón (De Noni & Pagani, 2010). De acuerdo a Fu (2008), las pastas elaboradas con harinas que presentan un almidón con alta

capacidad de hinchamiento resultan con una textura más blanda que aquellas elaboradas con almidones con baja capacidad de hinchamiento.

Generalmente los gránulos de almidón absorben agua lentamente durante el amasado por estar envueltos por una gruesa capa de proteína-fosfolípidos, que limita el hinchamiento y la gelatinización en esta etapa, en donde la temperatura no supera los 50 °C. Consecuentemente, un almidón con buenas propiedades para la elaboración de pastas es aquel que tiene alta temperatura de gelatinización, que demore su hinchamiento y su solubilización de manera de reducir la interferencia con la reticulación de las proteínas. La presencia del gluten en sí incrementa la temperatura de gelatinización del almidón (De Noni & Pagani, 2010). El mismo efecto se ha inferido con una gran proporción de gránulos de almidón de tamaño pequeño (5-10 μm) (Soh et al., 2006) y con una alta relación amilosa/amilopeptina. La amilopeptina es considerada como el componente del almidón con mayor responsabilidad en la pegajosidad y el agrupamiento de las pastas (De Noni & Pagani, 2010).

Además, tanto la rotura mecánica de los gránulos (almidón dañado) que ocurre durante la molienda y la acción enzimática de la α -amilasa, sin duda deben ser consideradas como modificaciones negativas del almidón (Matsuo et al., 1982), desde que éstas promueven la solubilización del almidón durante la cocción de la pasta (De Noni & Pagani, 2010). Un incremento en el almidón dañado además afecta negativamente el color de las pastas, provoca una mayor pérdida por cocción y genera un hinchamiento excesivo de la superficie (Hatcher et al., 2002).

6.20 LIPIDOS.

Los lípidos de la harina de trigo constituyen un grupo heterogéneo de compuestos con diferentes estructuras químicas y composición. Se pueden encontrar libres o unidos a algún constituyente de la harina, principalmente almidón y proteínas. Los lípidos asociados al almidón comprenden en gran parte liso-fosfolípidos que forman complejos de inclusión con la amilosa durante la gelatinización del almidón, sin embargo estos complejos también se encuentran en el almidón nativo del cereal (Morrison et al., 1993). Esta fracción de lípidos se encuentra dentro de los gránulos de almidón y solo queda disponible cuando se alcanzan las condiciones de gelatinización durante la cocción. La fracción de lípidos no asociados al almidón está constituida por cantidades similares de lípidos polares y no polares. Parte de ésta fracción corresponde a lípidos que se encuentran libres y parte asociados principalmente a proteínas. Los lípidos que se encuentran libres son polares, principalmente glico y fosfolípidos, mientras que los que se encuentran asociados son lípidos no polares, mayormente triglicéridos (Chung, 1986; Eliasson & Larsson, 1993b).

En el patrón de ácidos grasos de los lípidos de la harina de trigo se encuentran el ácido linoleico y en menor cantidad el ácido palmítico y el ácido oleico (Eliasson & Larsson, 1993b).

Durante el desarrollo de la masa, los lípidos que se encuentran libres se asocian a las proteínas del gluten mediante interacciones específicas y modifican las propiedades reológicas de la masa. En particular, los lípidos polares (especialmente los glicolípidos) pueden promover tanto interacciones hidrofóbicas como hidrofílicas entre el gluten y el almidón (Matsuo et al., 1986). Estas interacciones

pueden mejorar la calidad de las pastas cocidas, favoreciendo la estabilidad tanto de la red de proteínas como del almidón (De Noni & Pagani, 2010).

6.21 ENZIMAS.

Además del gluten, entre las proteínas presentes en el grano de trigo se destacan, por su importancia funcional, las enzimas. Todas las reacciones que conforman el metabolismo de los vegetales son catalizadas por este tipo de proteínas. En el grano intacto, seco y no germinado la actividad enzimática total es muy baja, pero cambia drásticamente cuando comienza la germinación. Las enzimas que han recibido mayor atención son las que digieren el almidón. Las principales enzimas hidrolíticas que actúan sobre los hidratos de carbono presentes en los cereales son α y β -amilasas, enzimas desramificantes, celulasas, β -glucosidasas y glucosidasas (Gómez Pallarés et al., 2007).

El trigo contiene también un gran número de enzimas proteolíticas, tanto endopeptidasas como exopeptidasas. Otro grupo importante de enzimas son las lipasas, esterasas y fosfatasas; las dos primeras se diferencian en su capacidad para hidrolizar ésteres carboxílicos a partir de moléculas insolubles o solubles en agua, respectivamente; mientras que las fosfatasas actúan sobre ésteres del ácido fosfórico. También están presentes en el grano de trigo las fitasas, que catalizan la hidrólisis del ácido fítico a inositol y ortofosfato libre; las lipooxigenasas, que aceleran la peroxidación de ciertos ácidos grasos insaturados por el oxígeno y las polifenoloxidasas, que oxidan los fenoles a quinonas (Gómez Pallarés et al., 2007).

A pesar que la harina contiene sólo pequeñas cantidades de enzimas, su presencia puede afectar la calidad de la pasta. Cantidades excesivas de α -amilasa facilitan la rotura de la estructura de la pasta. Asimismo, la polifenoloxidasa también afecta la calidad de las pastas blanqueando los pigmentos amarillos de caroteno (Hoseney, 1994a).

6.22 AGUA.

El agua es la segunda materia prima más importante después de la harina para la elaboración de las pastas y tiene un efecto significativo sobre la calidad del producto final. El agua proporciona el medio necesario para todas las reacciones fisicoquímicas y bioquímicas que subyacen a la transformación de las materias primas en producto terminado. Sin el agua las proteínas del gluten en la harina no pueden manifestar sus propiedades viscoelásticas. Los ingredientes hidrosolubles son usualmente disueltos en el agua antes del amasado. El agua requerida para la elaboración de las pastas se optimiza con el objetivo de tener suficiente cantidad como para hidratar la harina y permitir el desarrollo de una lámina de masa uniforme, pero no demasiada, como para que la masa formada cause problemas en su manipulación y extrusado o laminado debido su pegajosidad. El nivel de absorción de agua para la elaboración de las pastas en general está alrededor de 30-38%, basado en el peso de la harina (Fu, 2008).



Además de los requerimientos básicos sanitarios fundamentales, el agua empleada en la elaboración de pastas debe presentar ciertas especificaciones para asegurar una buena calidad del producto final. El agua varía en dureza, alcalinidad y pH, lo que afecta la hidratación de la harina, las propiedades de la lámina de masa, la gelatinización del almidón y la textura del producto terminado. Dependiendo de la cantidad y el tipo de sales minerales presentes en el agua, ésta puede ser dura, blanda, salina o alcalina. En general el agua presenta un pH entre 5,8 y 8,6. Aguas excesivamente duras son indeseables debido a que retardan la hidratación de las partículas de harina porque aumentan demasiado la fuerza y la tenacidad de las proteínas del gluten. Los iones en el agua también tienen un impacto significativo en la gelatinización del almidón durante la cocción de las pastas. Por otro lado, aguas demasiado blandas también son objetables debido a que carecen de los minerales que ayudan al fortalecimiento del gluten, lo que resultan en masas blandas, y pegajosas. Un agua de dureza baja a media es considerada como la más adecuada para la elaboración de las pastas (Fu, 2008).

7 PROCESO GENERAL DE PRODUCCION DE PASTAS

7.1 TRANSPORTE DE HARINA.

Las harinas que intervienen en la fabricación de la pasta se encuentran depositadas en 8 silos que LA ITALIANA S.A. DE C.V. tiene para tal fin, los cuales están distribuidos de la siguiente manera.

SILO	MATERIA PRIMA	UBICACIÓN	CAPACIDAD
1	Harina Blanca	Interna	17,600.0 Kg
2	Pasta Molida	Interna	17,600.0 Kg
3	Sémola de Primera	Interna	17,600.0 Kg
4	Sémola Entera	Interna	17,600.0 Kg
5	Sémola de Primera	Interna	17,600.0 Kg
6	Sémola Entera	Interna	17,600.0 Kg
7	Sémola de Primera	Externa	60,000.0 Kg
8	Sémola Entera	Externa	60,000.0 Kg

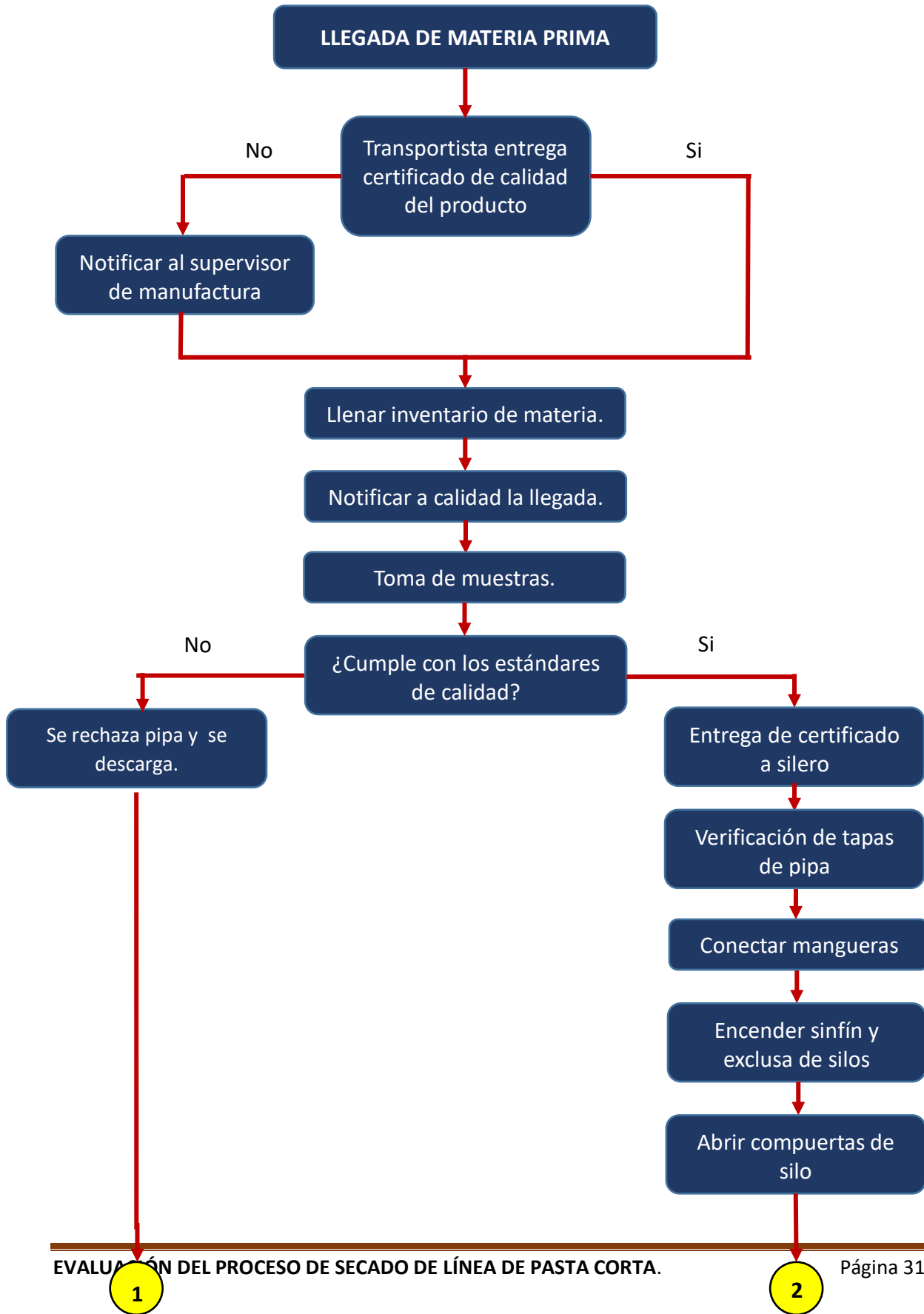
El transporte de la harina depositada en estos silos se realiza mediante pipas o sacos, estos llegan a la empresa inmediatamente se realiza una previa inspección física y toma de muestras para el departamento de calidad para su liberación y descarga a los silos de almacenamiento.

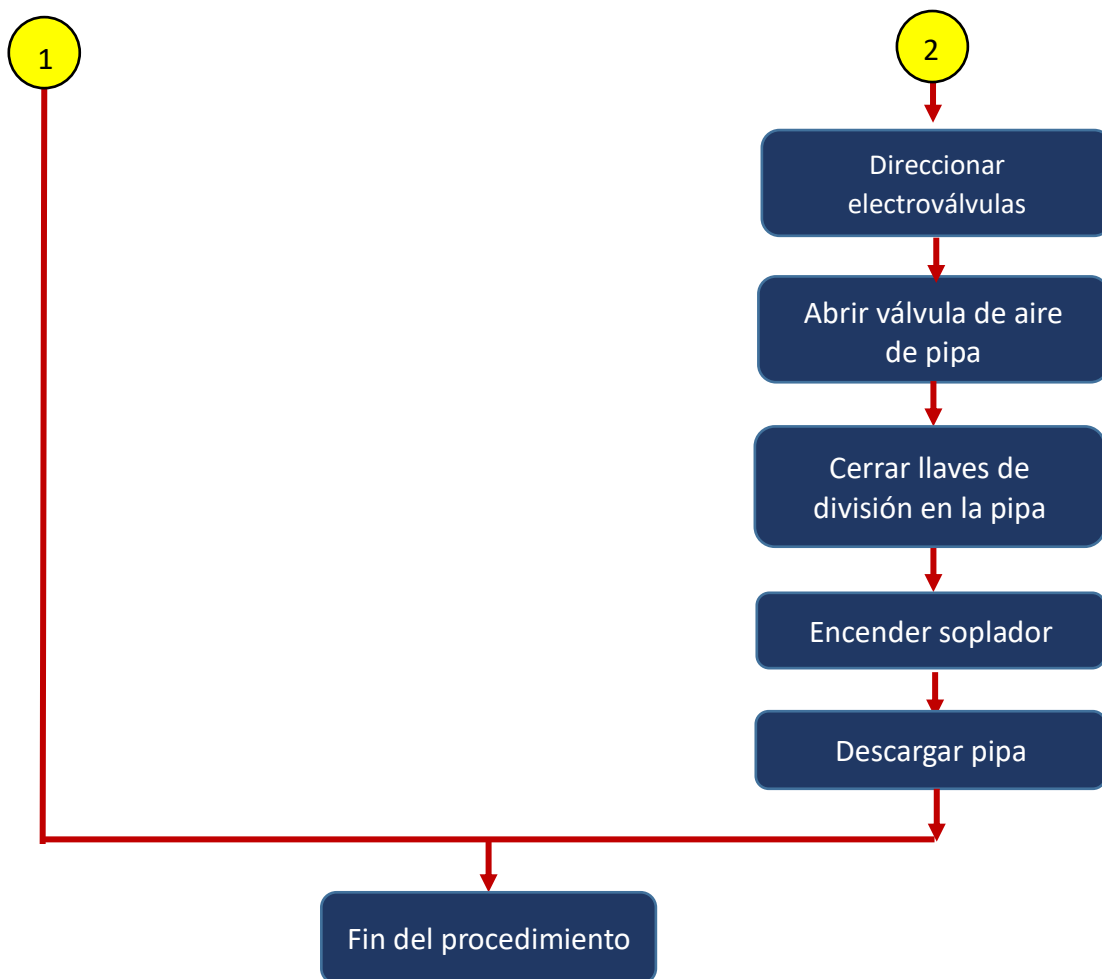
7.2 DESCARGA DE HARINA EN PIPA.

1. La pipa llega y se estaciona en la parte exterior de los silos, quedando la parte trasera de la pipa frente a las tuberías de descarga.
2. El silero recibe la pipa, realiza una inspección exterior del transporte y anota la hora de ingreso, y el número de pipa ingresada en el formato de **Inventario de Materia**.
3. El silero hace recolección de muestras de la pipa para entregarlas al departamento de calidad para conocer las condiciones de la materia prima y si es apta para el proceso.

4. Si los resultados de calidad son positivos, el departamento de calidad entrega un certificado al silero donde la sémola es aceptada y se comienza el proceso de descarga de la sémola. Si no cumple con los criterios de calidad la materia prima es rechazada y la pipa no se descarga.
5. Cuando la pipa ha sido aceptada, el silero sube a la superficie de la pipa para verificar que las tapas se encuentren correctamente selladas por las palomas para que no existan afectaciones en el proceso de descarga (en ciertas ocasiones el silero coloca costales vacíos entre el sello y la tapa de la pipa para que no existan fugas de presión).
6. Se revisa las mangueras de descarga y se conecta a la pipa, la manguera metálica para el flujo de aire y la manguera plástica para la descarga de sémola.
7. Si la descargar ira dirigida a uno de los silos internos (Silo 1, 2, 3, 4, 5 y 6) se encienden el tornillo sinfín y la exclusiva de la parte superior de los silos internos, también abrir la compuerta del o de los silos al cual se descargara la pipa y la compuerta del recuperador de polvos el cual debe estar encendido y funcionando correctamente antes de iniciar la descarga.
8. El silero cambia las electroválvulas 2 y 3 a la opción de descarga de pipas para que al encender el soplador la dirección de la sémola se dirija directamente a la parte superior de los silos internos.
9. Antes de encender el soplador la llave de aire de pipa debe estar abierta y las llaves de la división de sémola cerrada para evitar un mal funcionamiento y que la pipa se empache.
10. El último paso para empezar a descargar es, encender el soplador que trabaja a una presión de 20-25 kg/cm² el cual introduce aire dentro de la pipa y provoca que la sémola salga expulsada por las tuberías hasta llegar al silo donde se llenara.
11. La descarga tarda aproximadamente de 2:30 a 3:00 horas y cada división de 30 a 35 min, en ese lapso de tiempo el silero debe de abrir la válvula de otra división y cerrar la división que se ha descargado.

7.3 DIAGRAMA DE FLUJO. PROCESO DE DESCARGA DE SEMOLA EN PIPA.





7.4 PRENSADO.

El proceso de prensado consta de varias etapas:

7.5 DOSIFICACION DE HARINA.

Se realiza por medio de un dosificador, el cual consta de dos sensores o sondas, una de alto nivel y otra de bajo nivel, que indica la detención o requerimiento de harina para el amasado respectivamente.

7.6 MEZCLADO Y AMASADO.

El principal objetivo del amasado es distribuir los ingredientes uniformemente e hidratar las partículas de harina. En la elaboración del pan, el alto contenido de humedad (~50%), y el prolongado amasado y trabajo de la masa, permite un desarrollo completo del gluten cuyas propiedades funcionales están bastante explotadas y determinan la estructura global del producto. En la elaboración de las pastas, el amasado se realiza con un nivel de humedad mucho más bajo (~30%) y por corto tiempo, por lo tanto, el desarrollo del gluten es solo parcial en esta fase (De Noni & Pagani, 2010).

Más allá de los diferentes mecanismos de las amasadoras, el amasado también está influenciado por la calidad de la harina, la cantidad de agua agregada, la presencia/ausencia y cantidad de ciertos ingredientes, la temperatura y humedad del ambiente donde se realiza. Las harinas con alto contenido de proteínas se hidratan relativamente rápido y fácilmente forman partículas de masa de gran tamaño, requiriendo menos tiempo de amasado.

Durante esta etapa la superficie de los gránulos de almidón también comienza a hidratarse, aunque sin que ocurra ningún cambio aparente en su organización interna nativa (De Noni & Pagani, 2010). Si la harina presenta gránulos de almidón dañados, éstos tienen una mayor capacidad de absorción y competirán con el gluten por la limitada cantidad de agua en la masa. Las harinas con alto contenido de almidón dañado requieren mayor absorción de agua y tiempos de amasado más largos (Fu, 2008).

La última etapa de amasado se lleva a cabo en una amasadora de vacío, cuya función, como su nombre lo indica, es ejecutar la operación de amasado bajo un alto grado de vacío, ya que así se evita que ocurran cambios que afecten al producto durante el proceso, y al final de mismo, por ejemplo:

- A. Oxidación de los pigmentos xantófilos, que son los responsables del aspecto amarillo y atractivo de la pasta.
- B. Formación de puntos blancos
- C. Formación de una masa muy seca durante el amasado de la misma.

7.7 COMPRESION Y MOLDEADO.

Inmediatamente después del amasado al vacío la pasta pasa por un tornillo sinfín que comprime el empaste, ocurre la fase de compresión y expulsión de la pasta, donde esta se transforma en una sustancia termoplástica y viscoelástica que al final es descargada a través de los moldes donde saldrán los diferentes formatos.

La zona de compresión es muy importante y su función es recibir el material, homogenizarlo y obligarlo a pasar a través del molde a presión constante. Los extrusores diseñados para fabricar la pasta son para productos con un alto contenido de humedad.

Cuando comienza la etapa de moldeado, el empaste pasa por el filtro del cabezal, premolde, filtro y molde. En los moldes la masa adquiere una determinada forma.

Es indispensable que las pastas alimenticias sean presentadas en su forma más perfecta. Un formato de pasta no está garantizado solamente por la forma o por el diámetro de los surcos, si no que reviste particular importancia en las especificaciones de espesor para los fines de cocimiento o en referencia a la región donde el formato está particularmente exigido.

7.8 CORTE.

Como su nombre lo indica, en esta etapa se corta la pasta a través de cuchillas, de acuerdo al tamaño previamente estipulado.

7.9 SECADO DE PASTAS.

La vida útil de las pastas puede ser significativamente prolongada si se asegura su estabilidad microbiológica y bioquímica. La forma más efectiva de alcanzar esta meta es secar las pastas hasta un contenido de humedad en el cual el crecimiento microbiológico sea imposible. Las hebras de pastas de 2-4 m de largo son colgadas en cañas pudiendo ser llevadas a una cámara de secado, o bien colocadas dentro de un túnel de secado en el cual las cañas pasan a través de diferentes secciones con ambientes controlados (Calvelo, 2008).

Las propiedades físicas más significativas en el secado de la pasta son la humedad y la temperatura del aire y la humedad y temperatura del producto. La humedad de la superficie de la pasta pasa a vapor y el cual es removido por el aire circundante. La fuerza motora para que se produzca esta remoción de humedad es la diferencia de la presión parcial de vapor de agua de la pasta respecto a la del aire. Se genera un gradiente del contenido de humedad dentro de la hebra de pasta, de modo que la humedad va a difundir, como líquido, desde el centro hacia la superficie, a lo largo de ese gradiente. En el frente de evaporación remanente, la velocidad de secado va a estar limitada primariamente por la difusión de la humedad dentro de la hebra (Fu, 2008).

Un adecuado proceso de secado generalmente involucra múltiples etapas para minimizar cambios estructurales indeseables. Una práctica muy común es un proceso de tres etapas principales: pre-secado, secado y enfriamiento. La primera etapa toma hasta el 15% del total del tiempo de secado y es de primordial importancia para reducir el contenido de humedad de la pasta desde 32 - 38% p/p a menos de 28%. Su principal función es secar la superficie de la pasta rápidamente después de haber sido cortada, para prevenir que las hebras se peguen entre sí y evitar que sufran un sobre estiramiento (Calvelo, 2008). Las condiciones para que esta compleja fase de migración y

redistribución se produzca, es por ejemplo una cámara de presecado con alta humedad y alta temperatura (75 °C) (Professional Pasta, L1N06P044).

Se puede decir que la pasta puede encontrarse en dos estados: plástico o elástico. Cuando la pasta sale del extrusor o de la laminadora, se dice que está en estado plástico. Un cuerpo en estado plástico puede deformarse bajo la acción de fuerzas externas sin generar ninguna tensión particular en su interior, pudiendo aún permanecer con la forma adquirida como resultado de las fuerzas a las que fue sometido. Esta propiedad puede apreciarse claramente cuando la pasta en estado plástico se deforma por la acción del disco del extrusor o de la laminadora, manteniendo la forma adquirida aún después que ha cesado la fuerza a la que fue sometida. En este estado plástico, la pasta puede soportar un intenso secado sin sufrir tensiones internas que puedan ocasionarle daño, pudiendo aun mantener la deformación dada por el disco del extrusor o los rodillos cortantes, a pesar de la contracción que sufre debido a la extracción de agua (Professional Pasta, L1N06P044).

Esta primera transferencia de agua se produce a costa del almidón, el que durante la preparación de la masa absorbe 1/5 más de agua que el gluten. Luego, por ósmosis, el agua migra desde el gluten al almidón. Dado que el gluten es elástico, éste tiende a seguir las partículas de agua, desplazándose desde la parte más interna del producto, donde éste está más concentrado (debido que allí se encuentra el mayor contenido de humedad) hacia la superficie. La redistribución del gluten, que sucede cuando la pasta presenta un contenido de humedad aproximado de 26% p/p, mejora la capacidad de cocción y disminuye la pegajosidad del producto. La conservación de la capilaridad del producto es esencial para la redistribución de las partículas de agua durante la siguiente fase del proceso (Professional Pasta, L1N06P044). Debido a su naturaleza higroscópica, la sal tiene un significativo efecto sobre la velocidad de difusión de la humedad durante el secado (Fu, 2008).

A la fase de pre-secado le sucede una primera fase de secado, a una humedad y temperatura relativamente alta (por ejemplo 75-85% HR, 30-40 °C). En la segunda fase de secado, se aplica temperaturas más altas y aire seco (por ejemplo 40-50 °C, 55-60% HR) para

completar la etapa de secado. La velocidad de la etapa de secado es inevitablemente menor que la de pre-secado, debido a que la estructura del producto se ha vuelto más rígida, su capilaridad ha disminuido, y por ende la migración de las partículas remanentes de agua desde el interior hacia el exterior es más lenta. El secado toma aproximadamente 6-8 veces más que el tiempo requerido por el pre-secado (Professional Pasta, L1N06P044).

A medida que el proceso de secado progresa y disminuye la humedad del producto hasta valores cercanos a 22-18% p/p, el estado de la pasta cambia de plástico a elástico. Un cuerpo elástico sujeto a fuerzas de deformación va a tender a mantener su forma original hasta que la fuerza sea removida. Más allá de la deformación causada, la fuerza deformante puede generar tensiones internas en el producto. Si estas tensiones están comprendidas dentro del límite de elasticidad específico, podrán ser absorbidas precisamente por la propia elasticidad del producto, mientras que si estas tensiones exceden esos límites, el producto resultará inevitablemente dañado (Professional Pasta, L1N06P044).

Para evitar un exceso de tensión dentro del producto, durante todo el proceso de secado, se deben intercalar etapas de revenido, es decir períodos con mínima circulación de aire y alta humedad para

darle tiempo a la difusión del agua desde el interior hacia la superficie de la pasta. En la fase final, el producto es gradualmente enfriado, mientras que se continúa secando. El principal problema aquí es bajar lentamente la temperatura para evitar tensiones internas de la pasta (Calvelo, 2008)

Un secado inapropiado puede dañar la estructura de la pasta, causando sobre-elongación, grietas, deformación y división de las hebras (Figura I.12), con los problemas en la manipulación y el envasado que estos defectos generan. Además las propiedades de cocción y de textura pueden ser severamente afectadas. Si se procura secar demasiado rápido, se va a crear una gran diferencia de humedad entre la superficie y el núcleo de los fideos. Al perder la humedad, la pasta se encoge y la superficie seca tiende a contraerse sobre el núcleo húmedo. Mientras que la superficie de la pasta va a estar bajo tensión, el centro va a estar bajo compresión, pudiendo ocasionar una deformación permanente de la hebra de pasta al liberar esa tensión (Fu, 2008).

Existen diversas tecnologías de secado: el secado a baja temperatura (LT) ($<60\text{ }^{\circ}\text{C}$), el secado a alta temperatura (HT) ($60\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 90\text{ }^{\circ}\text{C}$) y el secado a muy alta temperatura (VHT) ($T > 90\text{ }^{\circ}\text{C}$). A su vez, la aplicación de altas temperaturas puede realizarse bajo dos condiciones: alta temperatura-alta humedad (HT-HM) ($70\text{-}75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $20\text{-}25\%$ H), o alta temperatura-baja humedad (HT-LM) ($70\text{-}75\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\sim 18\%$ H). En general la aplicación de altas temperaturas reduce los tiempos de secado y por ende aumenta la capacidad de proceso; además mejora la calidad microbiológica, el comportamiento durante la cocción y favorece el color amarillo. Sin embargo las altas temperaturas también generan una pérdida del valor nutricional por la disminución de la lisina disponible (reacción de Maillard) y aumentan desfavorablemente el color rojizo de la pasta (Calvelo, 2008).

Cuando las pastas se secan a LT ($<60\text{ }^{\circ}\text{C}$), se observa una menor organización de la red de proteínas, sin modificaciones de la estructura interna de los gránulos de almidón. Cuando la pasta es sometida a un proceso de secado HT-LM, prácticamente ocurre una completa coagulación de las proteínas promoviendo la formación de una red de proteínas definitiva y se suceden cambios conformacionales en la estructura fina de los gránulos de almidón. Cuando el gluten es pobre en calidad y cantidad, los gránulos de almidón pueden hincharse de manera anormal durante el secado a HT-HM provocando rupturas en la estructura fibrilar de las proteínas y en consecuencia, resultando en un efecto perjudicial sobre la calidad de la pasta (De Noni & Pagani, 2010).

7.10 ENFRIAMIENTO

Se realiza en un enfriador, cuya función es proporcionar a la pasta la temperatura adecuada es entre los 30° y 40° que permita su perfecto empaquetamiento.

8 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.

Las actividades a realizar fueron las siguientes:

1. Definir receta de curva de secado de pasta corta.
2. Estandarizar el % de humedad absoluta en pasta corta.
3. Medir capacidad del proceso y eficiencia de la línea de pasta corta.

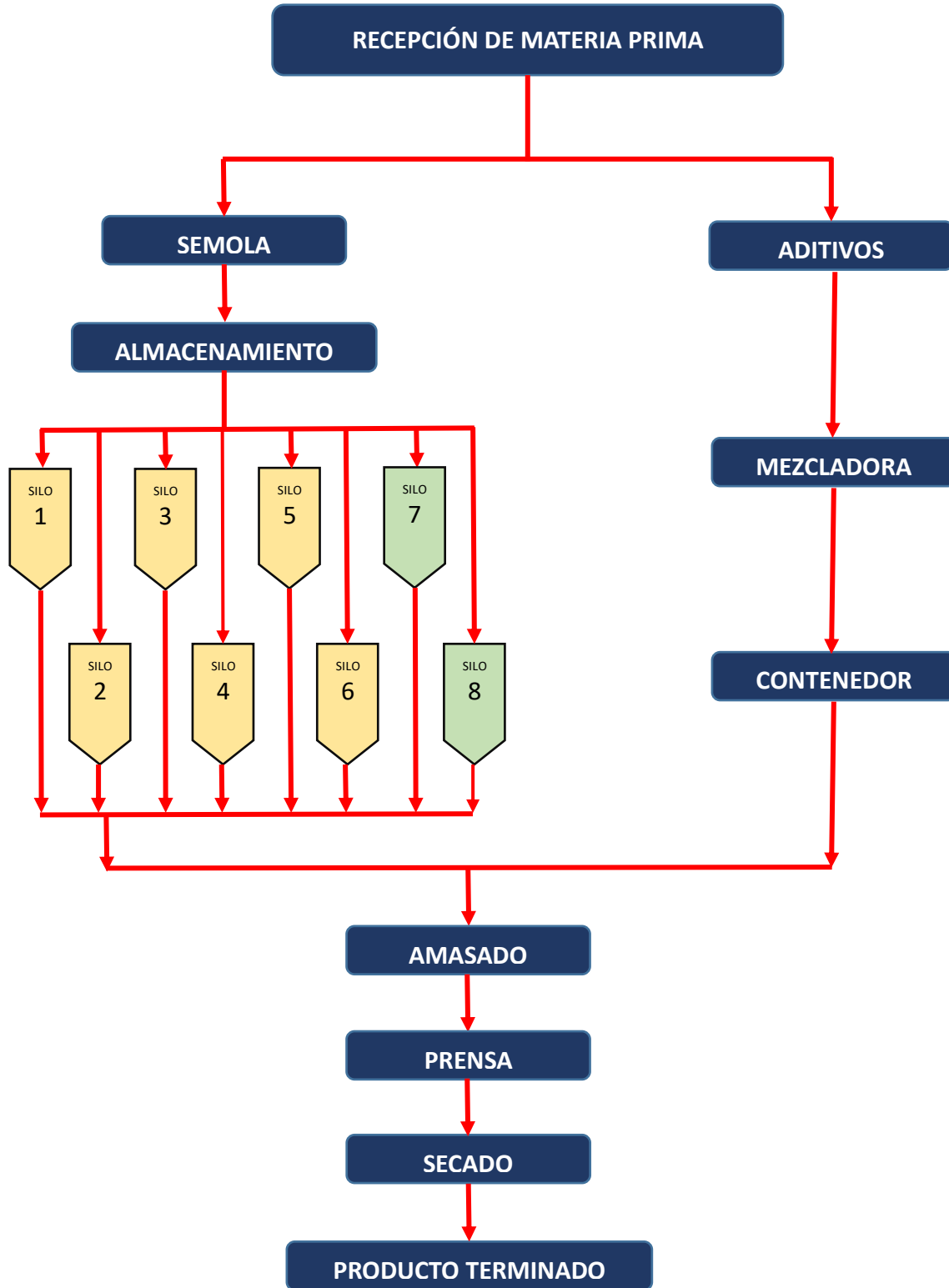
La receta de curva de secado de pasta son las condiciones óptimas o ideales que el proceso de secado de pasta debe llevarse a cabo para que el producto salga con un porcentaje de humedad aceptable para su venta y consumo según las normas de calidad. Como primer punto se analiza la línea completa de producción de pasta corta para poder identificar las zonas donde se pueden tomar muestras representativas para el estudio de tal efecto de realizar pruebas de humedad. Las muestras son sacadas de cada zona importante del proceso que consta de 4 etapas:

- Prensa
- Presecado
- Secado
- Enfriamiento

Todas las muestras son tomadas 4 veces en un lapso de 8 horas, en las zonas más importantes del proceso de secado, para después triturarlas en el molino y monitorear el porcentaje de humedad en el Pfeuffer para así tener una base de datos y estandarizar el % de humedad real de cada zona del secado de pasta.

El otro punto de suma importancia se lleva a cabo para medir la capacidad y eficiencia de producción de la línea en sus diferentes formatos producidos. El periodo de la residencia es muy corto para tener un resultado real se acudió también al estudio de bitácoras de producción y tiempos muertos del mes de enero a agosto, después de esa fecha se inicia la toma de muestras de pasta a la salida de prensa donde se tomaron la producción de pasta de cada salida durante 30 seg. Para después multiplicarlos por 120 para tener un dato de lo que se producía en una hora, y descontar los tiempos muertos para saber la eficiencia de producción de la planta.

DIAGRAMA DE PROCESO DE PRODUCCION DE PASTA.



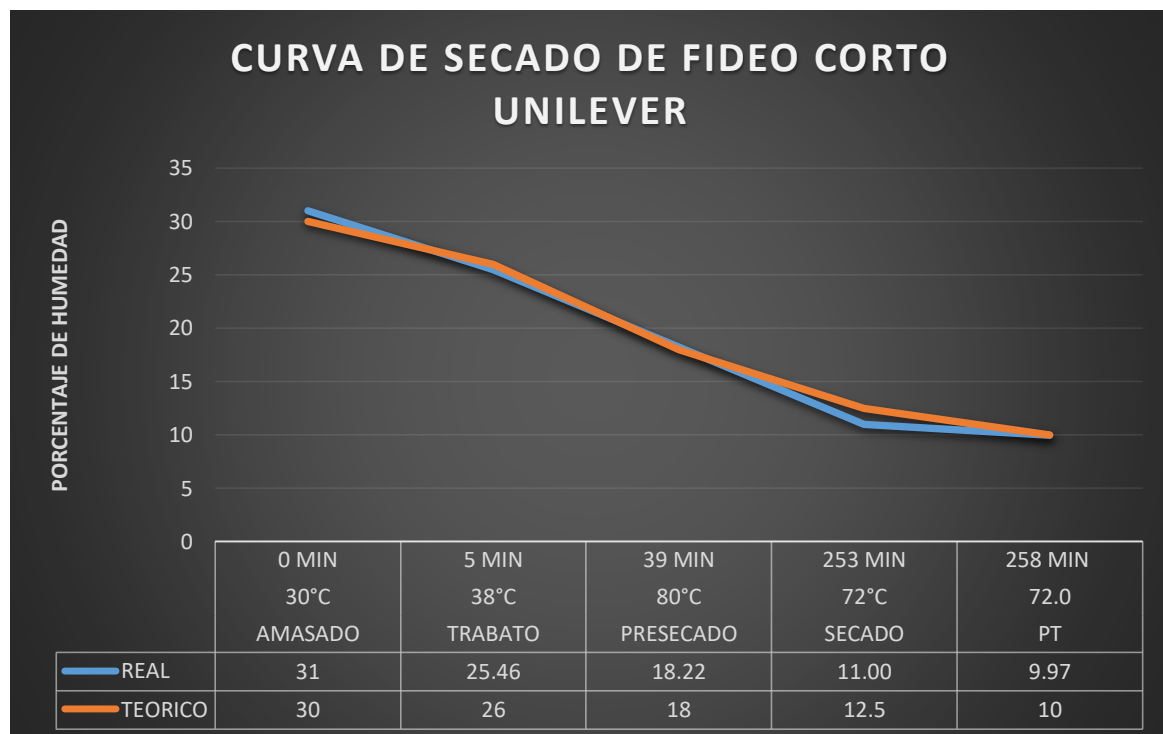
9 RESULTADOS.

A continuación se muestran las humedades seteadas de las etapas de producción de la línea D con las cuales se realizó la comparación en las curvas de secado de las humedades obtenidas durante el desarrollo del proyecto.

Las curvas de secado fueron hechas por formato.

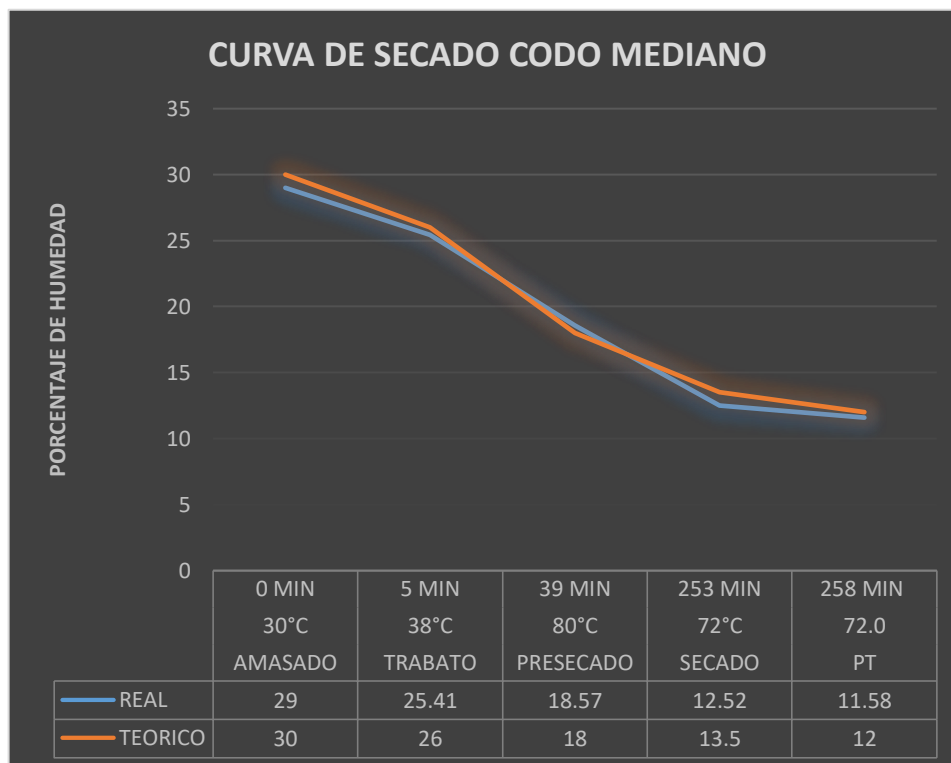
1.- FIDEO CORTÓ UNILEVER

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	31	AMASADO	30°C	0 MIN
26	25.46	TRABATO	38°C	5 MIN
18	18.22	PRESECADO	80°C	39 MIN
12.5	11.00	SECADO	72°C	253 MIN
10	9.97	PT	72.0	258 MIN



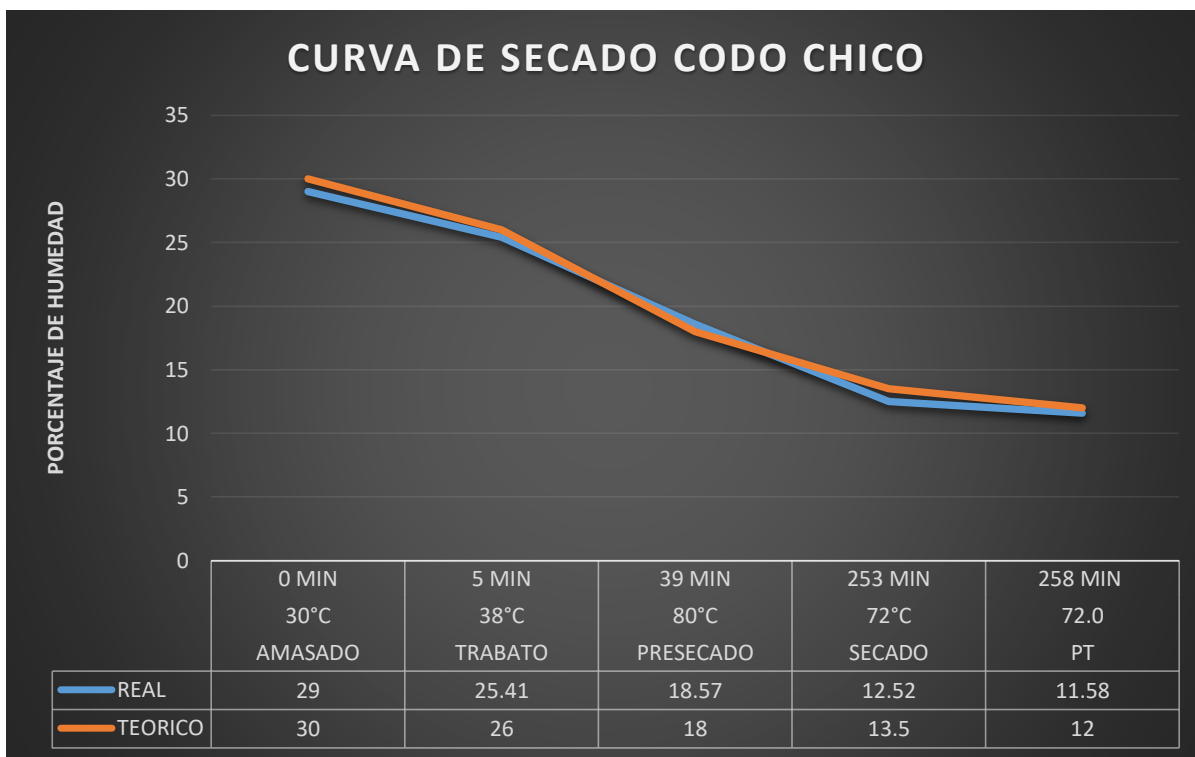
2.-CODO MEDIANO.

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	29	AMASADO	30°C	0 MIN
26	25.41	TRABATO	38°C	5 MIN
18	18.57	PRESECADO	80°C	39 MIN
13.5	12.52	SECADO	72°C	253 MIN
12	11.58	PT	72.0	258 MIN



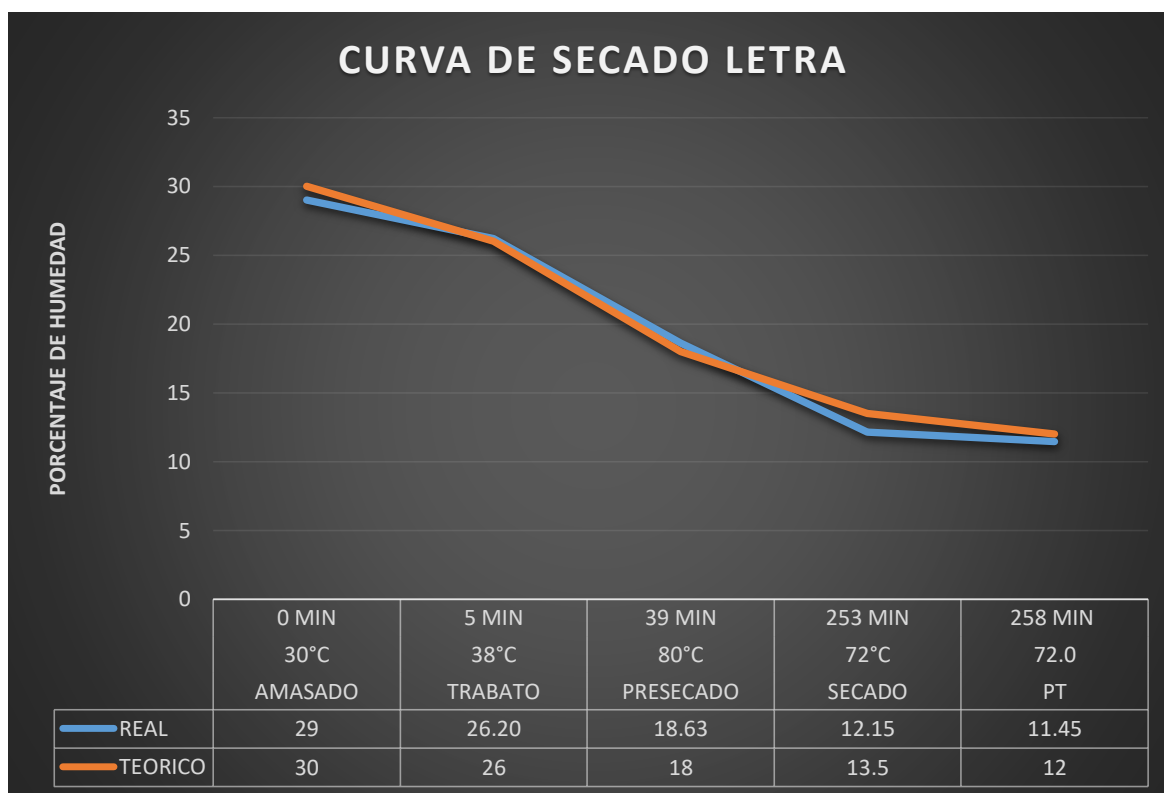
3.- CODO CHICO

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	29	AMASADO	30°C	0 MIN
26	26.20	TRABATO	38°C	5 MIN
18	18.63	PRESECADO	80°C	39 MIN
13.5	12.15	SECADO	72°C	253 MIN
12	11.45	PT	72.0	258 MIN



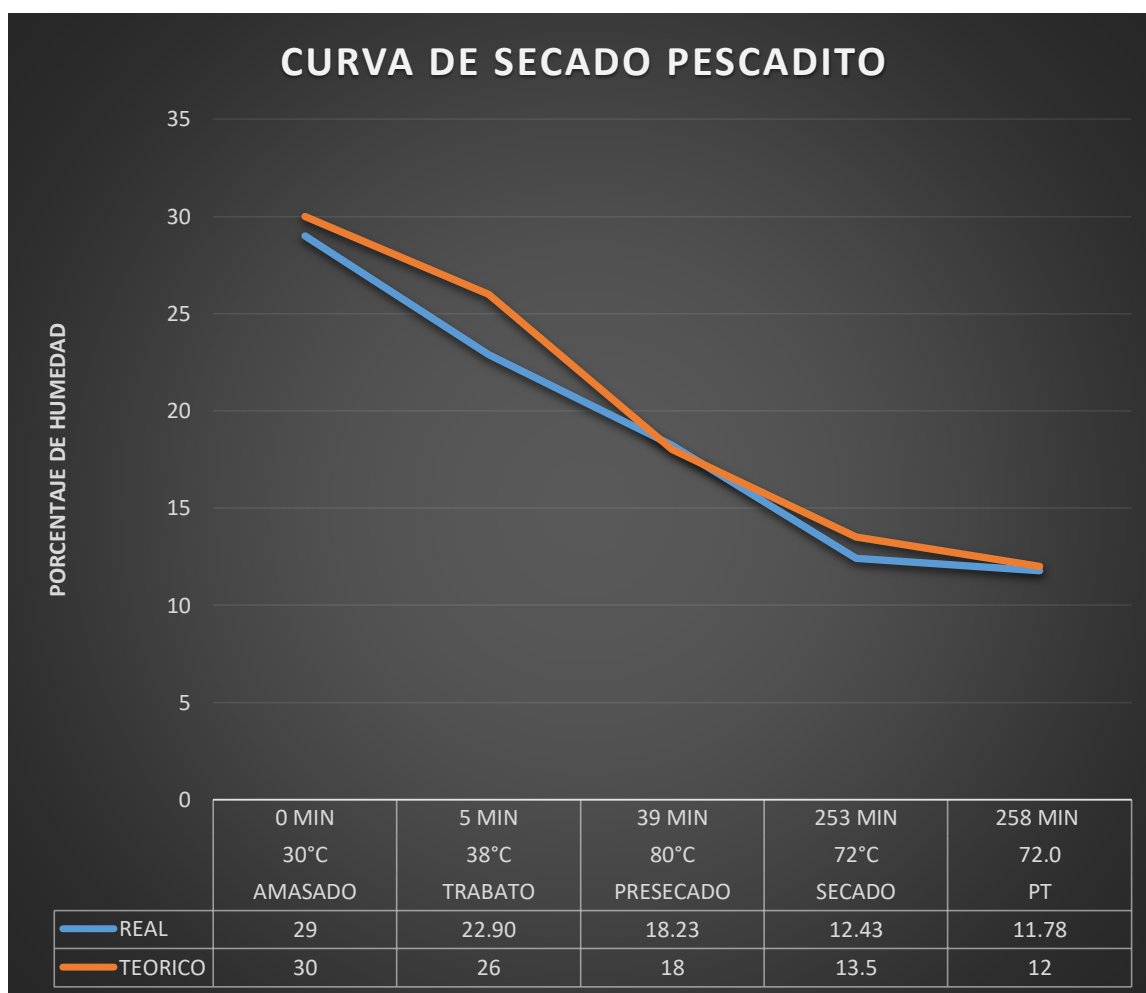
4.-LETRA

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	29	AMASADO	30°C	0 MIN
26	25.43	TRABATO	38°C	5 MIN
18	19.14	PRESECADO	80°C	39 MIN
13.5	14.17	SECADO	72°C	253 MIN
12	11.75	PT	72.0	258 MIN



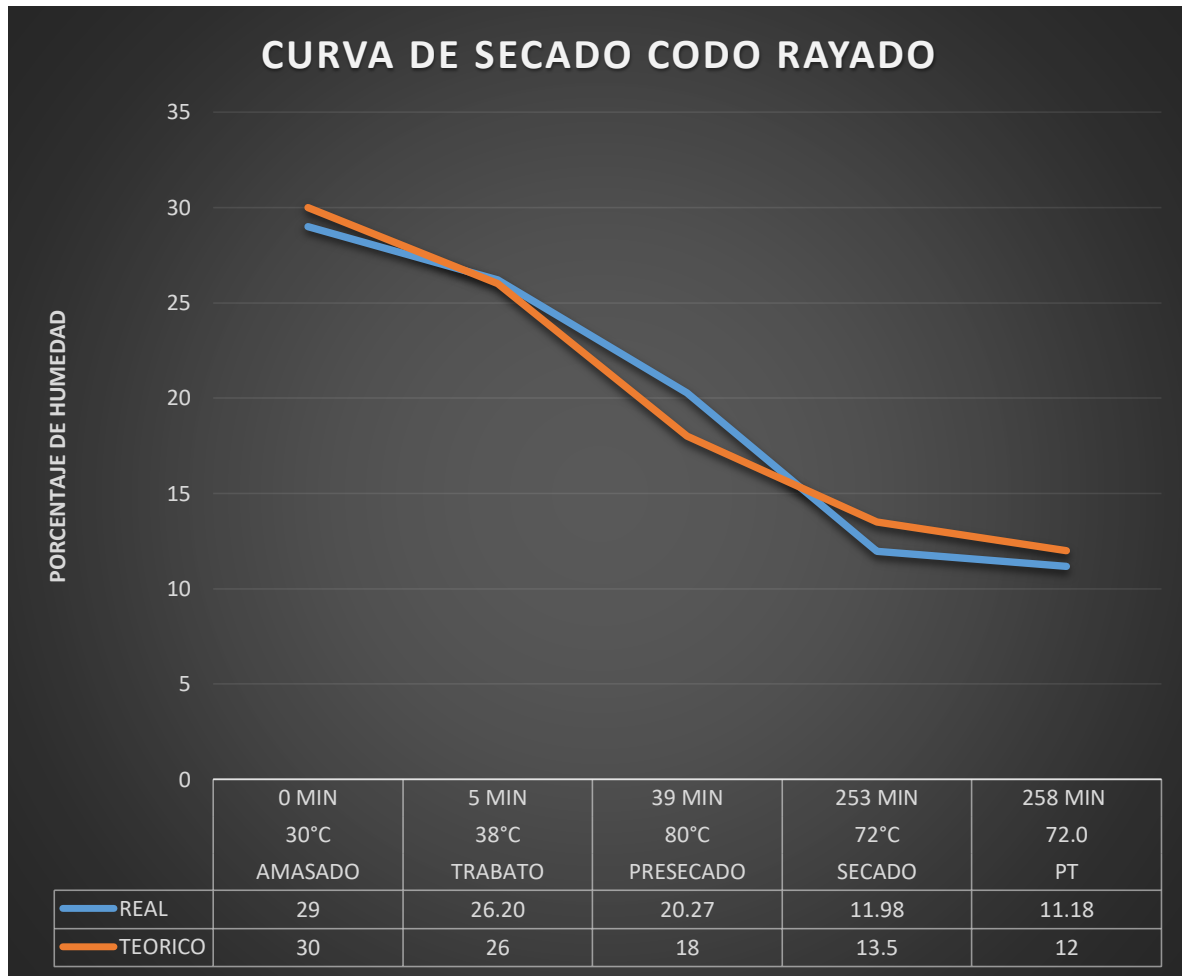
5.- PESCADITO

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	29	AMASADO	30°C	0 MIN
26	22.90	TRABATO	38°C	5 MIN
18	18.23	PRESECADO	80°C	39 MIN
13.5	12.43	SECADO	72°C	253 MIN
12	11.78	PT	72.0	258 MIN



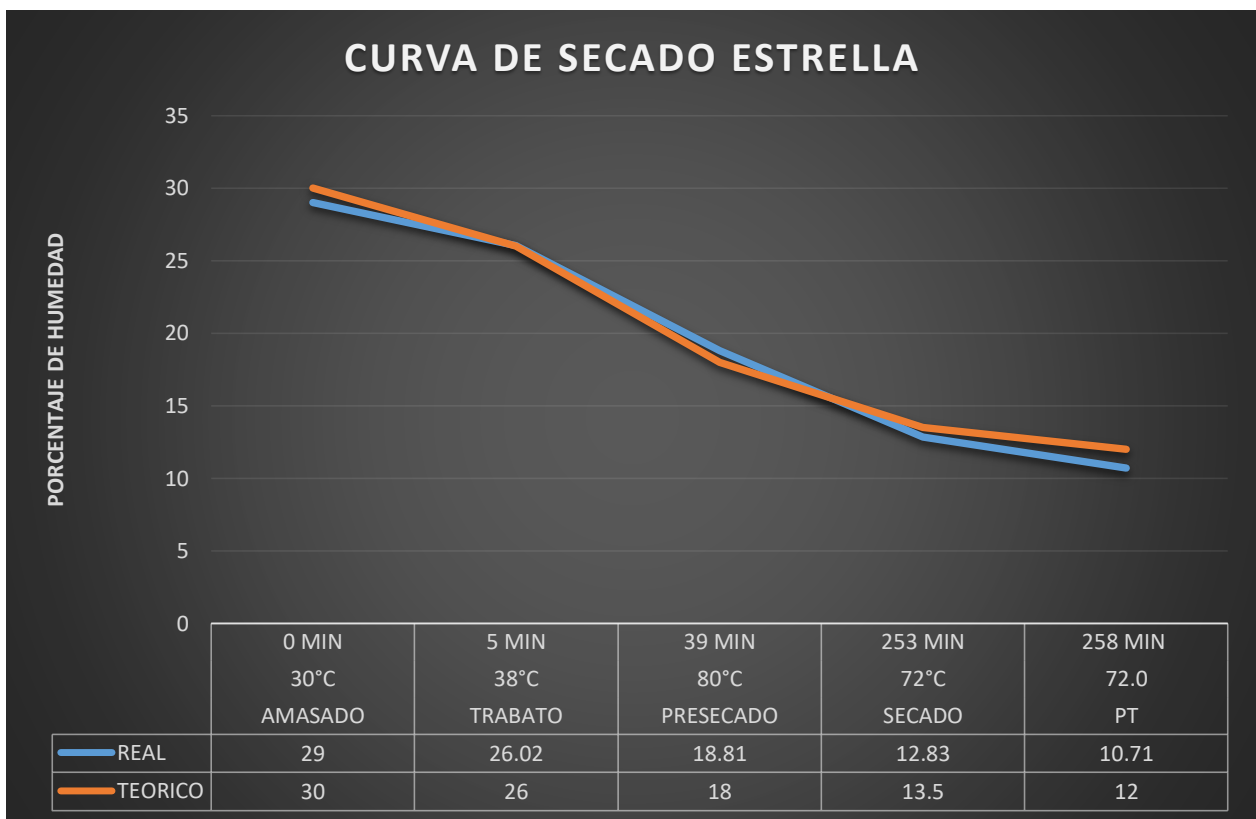
6.-CODO RAYADO

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	29	AMASADO	30°C	0 MIN
26	26.20	TRABATO	38°C	5 MIN
18	20.27	PRESECADO	80°C	39 MIN
13.5	11.98	SECADO	72°C	253 MIN
12	11.18	PT	72.0	258 MIN



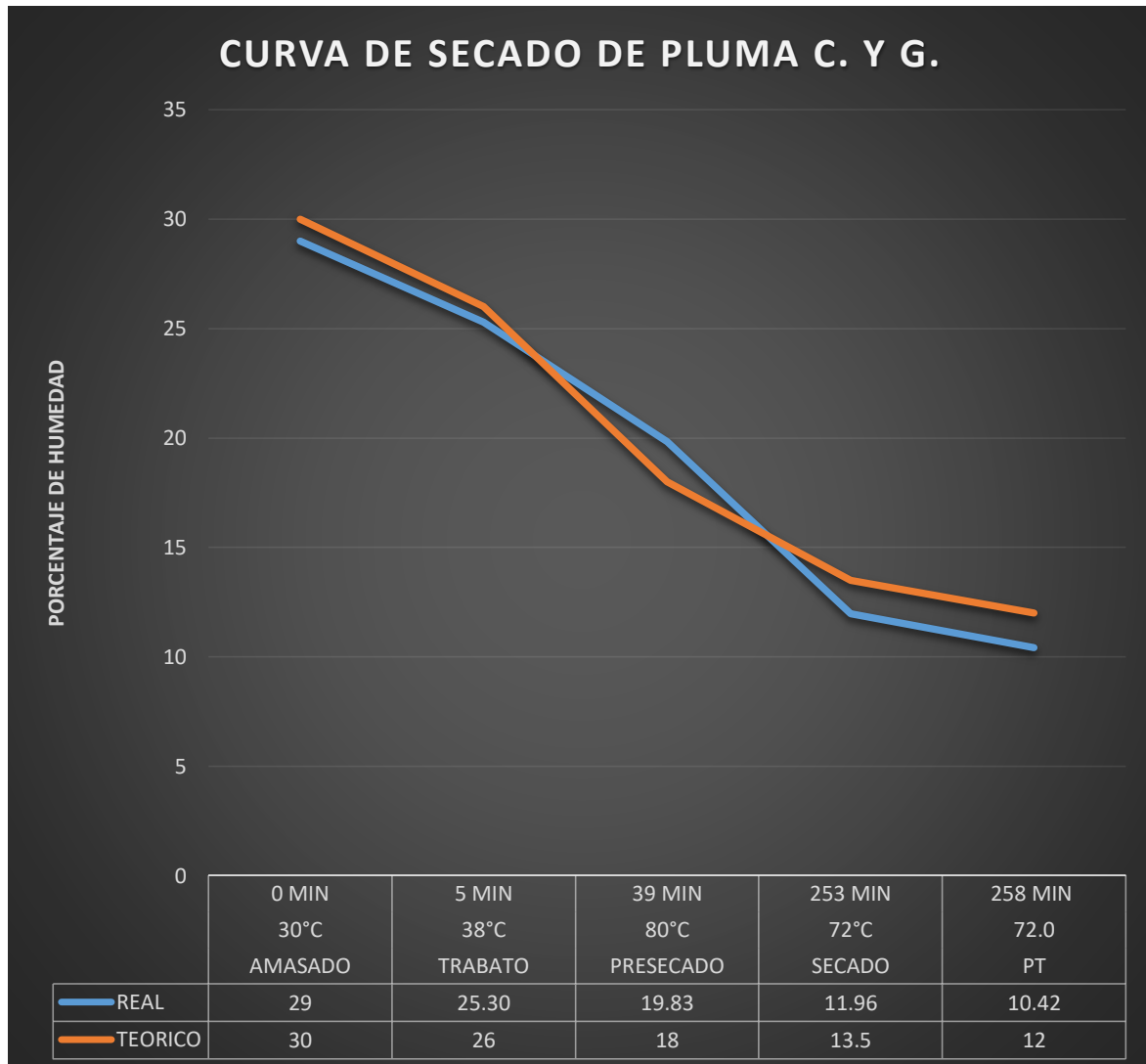
7.-ESTRELLA

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	29	AMASADO	30°C	0 MIN
26	26.02	TRABATO	38°C	5 MIN
18	18.81	PRESECADO	80°C	39 MIN
13.5	12.83	SECADO	72°C	253 MIN
12	10.71	PT	72.0	258 MIN



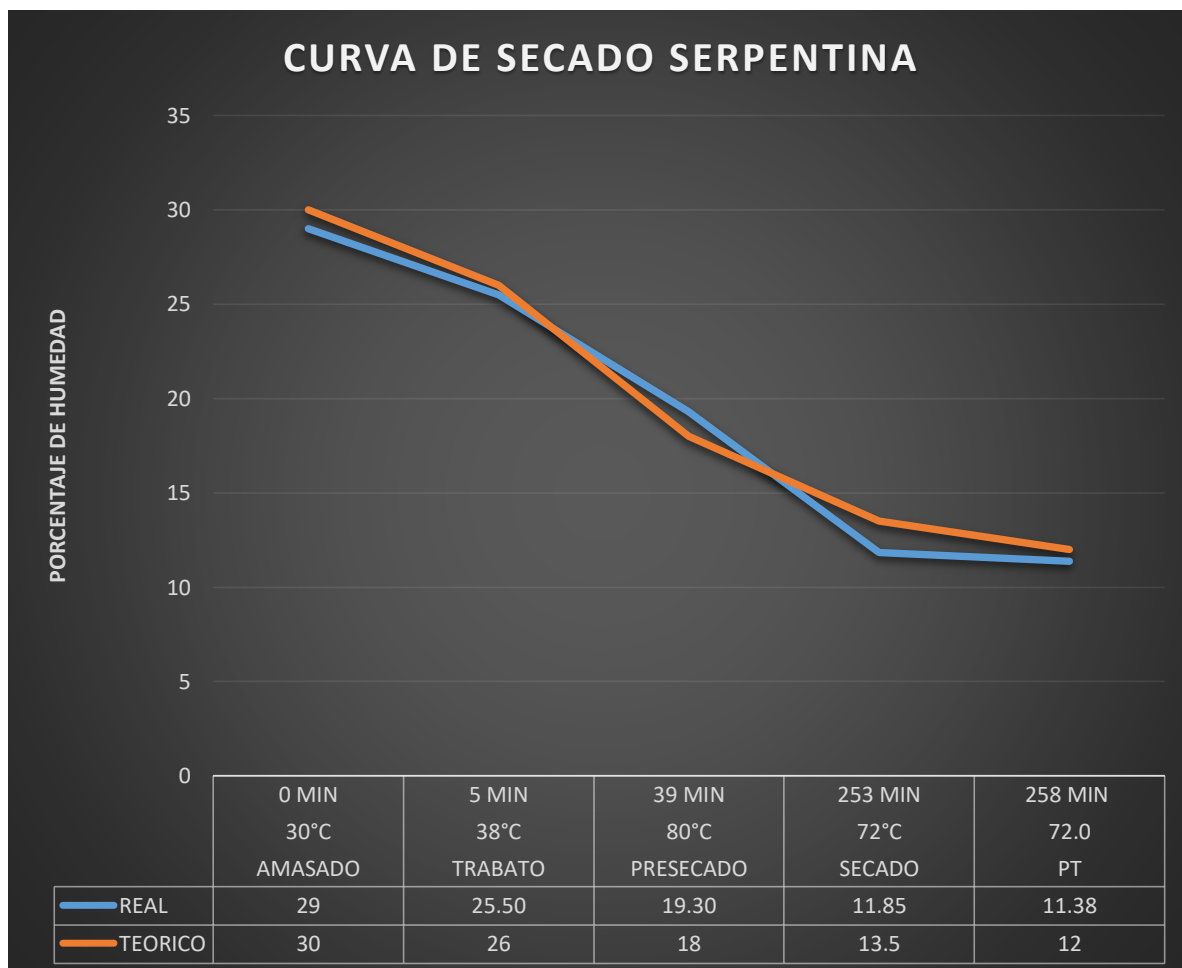
8.-PLUMA CHICA Y GRANDE

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	29	AMASADO	30°C	0 MIN
26	25.30	TRABATO	38°C	5 MIN
18	19.83	PRESECADO	80°C	39 MIN
13.5	11.96	SECADO	72°C	253 MIN
12	10.42	PT	72.0	258 MIN



9.-SERPENTINA.

% HUMEDAD TEORICO	% HUMEDAD REAL	LUGAR	TEMPERATURA	TIEMPO TRANSCURRIDO
30	29	AMASADO	30°C	0 MIN
26	25.50	TRABATO	38°C	5 MIN
18	19.30	PRESECADO	80°C	39 MIN
13.5	11.85	SECADO	72°C	253 MIN
12	11.38	PT	72.0	258 MIN

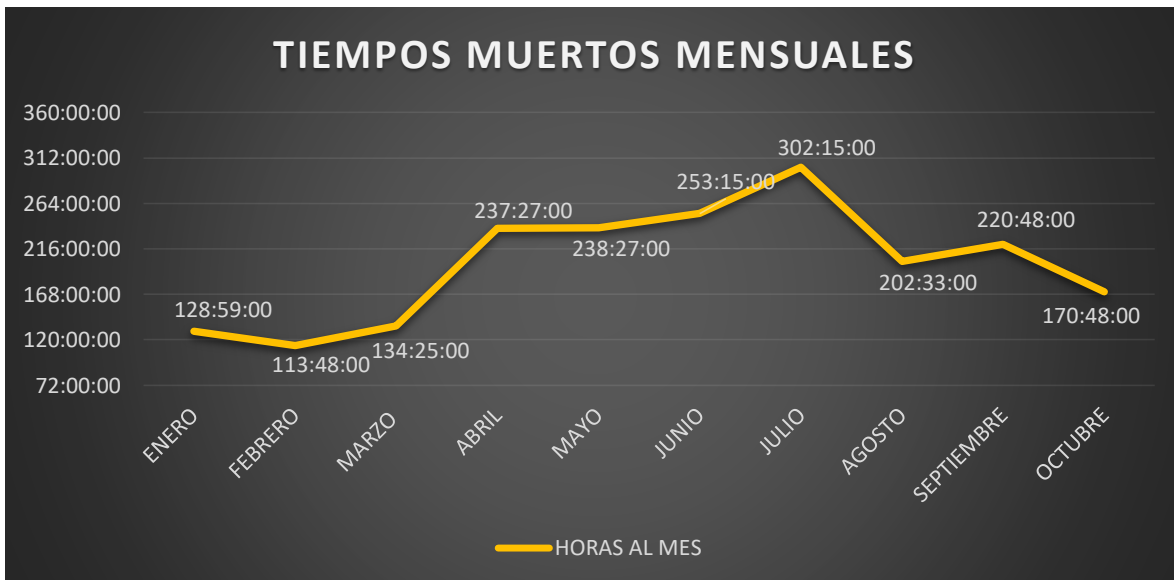


La eficiencia y capacidad de producción se obtuvo mediante el promedio de producción de cada turno durante el transcurso del año tomando en cuenta los tiempos muertos significativamente.

1.-TIEMPOS MUERTOS

MES	FORMATO	PRODUCCION	MANTENIMIENTO	PROGRAMADO	TOTAL AL MES
ENERO	13:54:00	8:34:00	35:01:00	71:30:00	128:59:00
FEBRERO	17:51:00	8:15:00	17:45:00	69:57:00	113:48:00
MARZO	24:06:00	2:30:00	21:23:00	86:26:00	134:25:00
ABRIL	15:02:00	1:20:00	16:59:00	204:06:00	237:27:00
MAYO	18:07:00	0:26:00	73:47:00	146:07:00	238:27:00
JUNIO	18:18:00	1:46:00	55:47:00	177:24:00	253:15:00
JULIO	21:45:00	3:12:00	35:01:00	242:17:00	302:15:00
AGOSTO	17:46:00	3:07:00	42:21:00	139:19:00	202:33:00
SEPTIEMBRE	24:12:00	9:30:00	25:32:00	161:34:00	220:48:00
OCTUBRE	21:10:00	2:53:00	68:37:00	78:08:00	170:48:00

MOTIVO	TOTA EN HORAS
FORMATO	192:11:00
PRODUCCION	41:33:00
MANTENIMIENTO	392:13:00
PROGRAMADO	1376:48:00
CAMBIOS DE FORMATO	298
TIEMPO MUERTO TOTAL	2002:45:00



TIEMPOS MUERTOS POR CAMBIO DE FORMATO

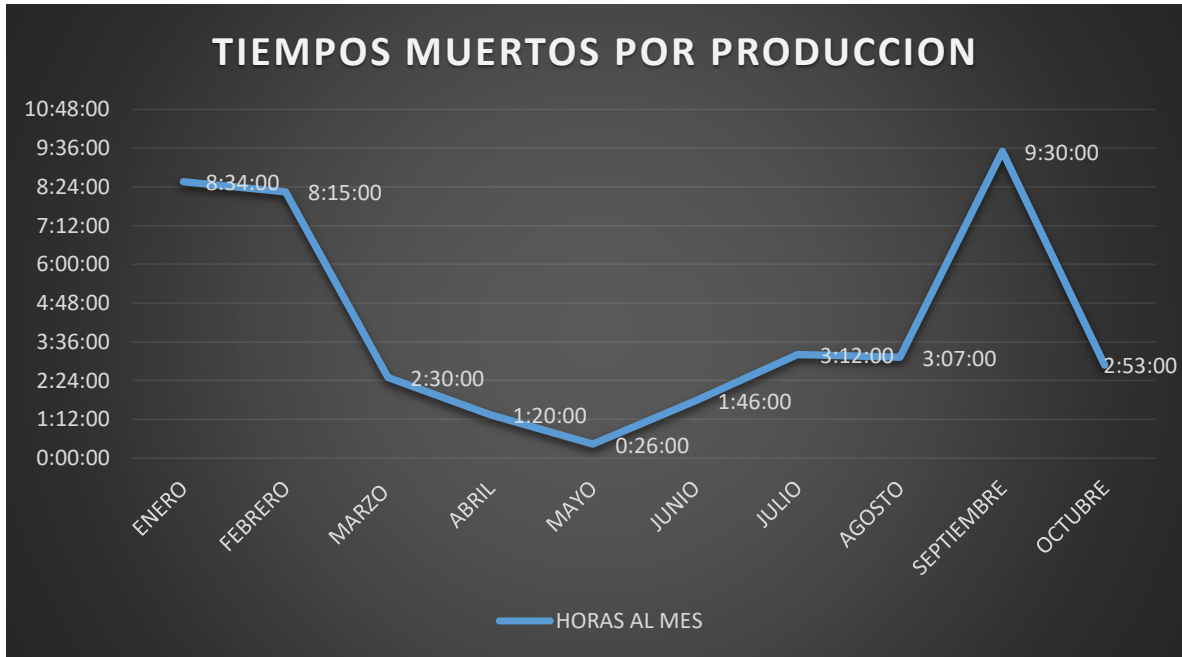


TIEMPOS MUERTOS POR MATENIMIENTO



TIEMPOS MUERTOS POR PROGRAMACION



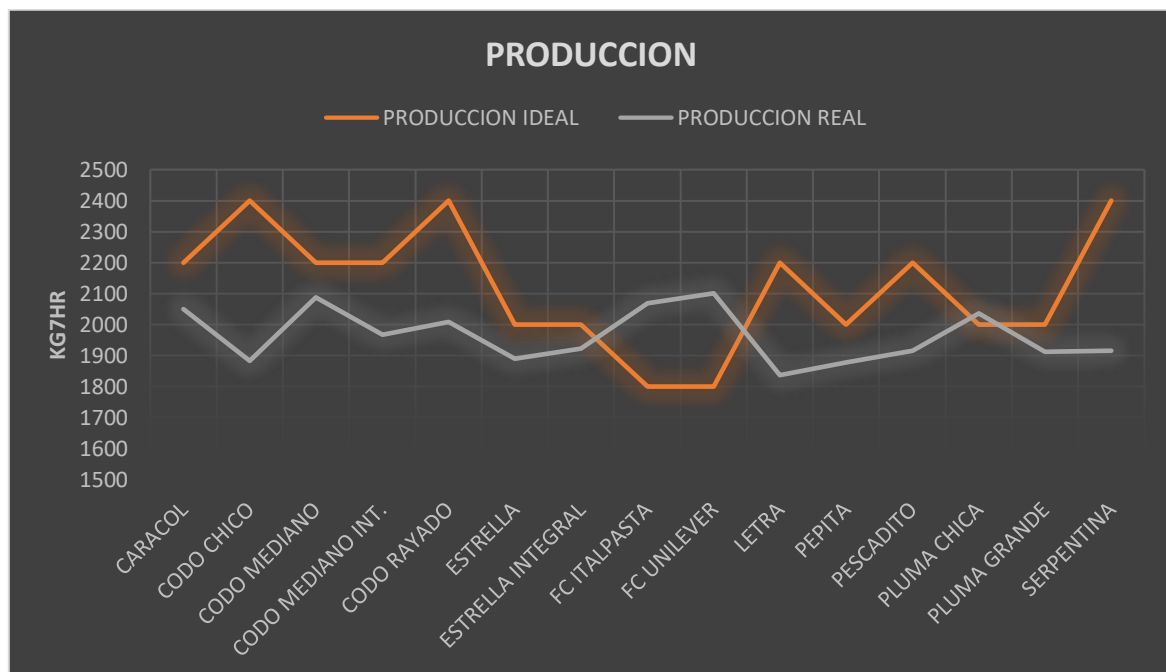


2.-CAPACIDAD Y EFICIENCIA DE PRODUCCION.

Esto se llevó a cabo con el estudio de todos los formatos producidos durante el transcurso del año y las horas trabajadas.

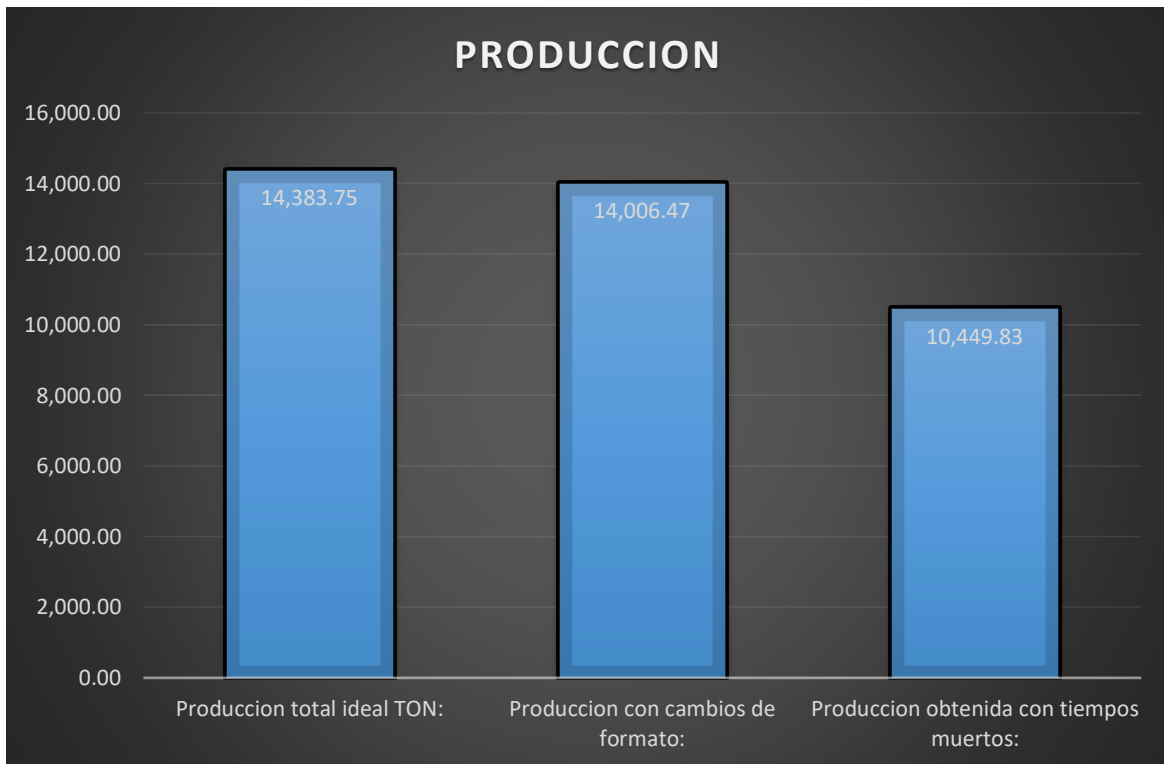
CAPACIDAD DE PRODUCCION POR HR

FORMATO	PRODUCCION EN KG/HR	
	IDEAL	REAL
CARACOL	2200	2049.39
CODO CHICO	2400	1883.44
CODO MEDIANO	2200	2088.30
CODO MEDIANO INT.	2200	1967.15
CODO RAYADO	2400	2008.37
ESTRELLA	2000	1890.53
ESTRELLA INTEGRAL	2000	1923.26
FC ITALPASTA	1800	2069.13
FC UNILEVER	1800	2100.94
LETRA	2200	1836.80
PEPITA	2000	1877.71
PESCADITO	2200	1915.87
PLUMA CHICA	2000	2036.51
PLUMA GRANDE	2000	1911.41
SERPENTINA	2400	1916.01
PROMEDIO		1964.99



EFICIENCIA DE PRODUCCION

DIAS LABORADOS	305
Turnos totales:	915.0
Horas totales:	7,320.00
Producción promedio KG/HR:	1,964.99
Cambios de formato	298
Tiempo muerto ideal por cambio de formato HRS:	149.00
Tiempo muerto real por cambio de formato HRS:	192:11:00
Deficiencia de cambio de formato:	-22%
tiempo muerto por producción y mant HRS:	433:46:00
tiempo muerto por programación HRS:	1376:48:00
Producción total ideal TON:	14,383.75
Producción con cambios de formato:	14,006.47
Producción obtenida con tiempos muertos:	10,449.83
Eficiencia de producción:	75%



10 CONCLUSION.

De acuerdo a los objetivos planteados para este proyecto se logró recabar la suficiente información para obtener un análisis que manifieste las principales causas de tener una eficiencia de producción baja.

No contar con planes armados de mantenimiento preventivo en las líneas de producción y que estos se desarrollen de forma periódica y eventual, provoca el paro de la línea por varias horas, incremento de barredura por producto que no cuenta con las características necesarias debido a que se encuentra húmedo, tiene contacto con el piso, se rezaga, etc.

Por otro lado los medidores de vacío y de presión no cuentan con un debido control en su calibración, las líneas cuentan con medidores obsoletos ya que arrojan datos erróneos que pueden marcar una diferencia en el momento de producción de la pasta para que esta cuente con la debida humedad requerida desde que sale de prensa hasta que llega al enfriador.

Las humedades relativas de la pasta dependen mucho de dos parámetros, las temperaturas y los deltas que cada una de las secciones y zonas de la línea mantiene. Desde prensa, pre-secado, secado, hasta enfriador. La falla en los equipos de medición provoca que la pasta no mantenga características específicas y que posteriormente esta sea rechazada.

Las humedades reales obtenidas mantienen diferencias significativas que provocan que la curva real no se sobreponga a la curva ideal pero el problema principal está en los expuestos anteriormente, así mismo a estos se le suma la experiencia y el razonamiento de cada uno de los supervisores debido a que ellos son los que toman las decisiones sobre los comportamientos en las especificaciones del proceso.

11 RECOMENDACIONES.

Para aumentar la eficiencia de producción se debería de considerar los siguientes puntos:

- Planes de mantenimiento preventivos a equipos principales y secundarios de la línea de proceso completa debido a que la eficiencia de producción se ve mermada con una gran pérdida de tiempo en reparaciones con un total de 392 horas y 13 minutos. Al realizarse mantenimientos preventivos en un periodo constante el tiempo de reparaciones será menor, así la eficiencia aumentaría en gran medida.
- Producir formatos de pasta por tiempos prolongados y evitar cambios de formato en forma continua, se llegan a realizar hasta 5 cambios de formatos al día en la línea de producción para cumplir con ciertos requisitos de compradores. La alternativa que se plantea es producir un formato por un lapso de 24 a 48 hora sin cambios de formato para tener una reserva almacenada para cualquier pedido, así con todos los formatos, con esta acción se disminuirá un 80 a 90 % la pérdida de tiempo por cambios de formato.



- Los paros programados corresponden al 70% de los tiempos muertos y estos son ocasionados por falta de personal de la empresa que no trabaja los fines de semana, la opción más viable para disminuir eso es contratar a empleados solamente los fines de semana o aumentar el número de obreros por turnos para rolar los días de descanso entre los diferentes turnos y no sea únicamente los días domingos. Con esta acción el tiempo de paros programados disminuirá, llevando a la empresa a tener una producción constantes todos los días de la semana.

12 FUENTES DE INFORMACION

12.1 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- American Association of Cereal Chemistry. 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 9th Ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. USA.
- Espinosa- Silva, C., & Quispe-Solano, M. A. (2013). *Manual de tecnología de cereales y leguminosas*. Perú.
- Larrosa, V., Lorenzo, G., Zaritzky, N., & Califano, A. (2015). Modelado Matemático del efecto de la temperatura y humedad del aire sobre la velocidad de secado de pastas libres de gluten.
- Montoya-Arango, J. A., & Jimenez-Arias, E. (2006). Determinación de la curva de secado al aire libre, mediante modelación matemática y experimental de la Guadua angustifolia. *Scientia et Technica año XII*.
- Saravia, L., Alia de Saravia, D., & Sánchez, B. (2007). "El diseño de secadores solares usando las curvas de secado del producto". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Abecassis J., Abbou R., Chaurand M., Morel M.H., Vernoux P. 1994. Influence of extrusion conditions on extrusion speed, temperature, and pressure in the extruder and on pasta quality. *Cereal Chemistry*, 71: 247-253.
- ADA, American Diet Association. 2004. Position of the American Dietetic Association: Functional foods. *Journal of American Dietetic Association*, 104: 814-826.
- Alvis A., Vélez C.A., Villada H.S., Rada-Mendoza M. 2008. Análisis físico-químico y morfológico de almidones de ñame, yuca y papa y determinación de la viscosidad de las pastas. *Información Tecnológica*, 19: 19-28.
- Andrews J.L., Hay R.L., Skerritt J.H., Sutton K.H. 1994. HPLC and immunoassaybased glutenin subunit analysis: screening for dough properties in wheats grown under different environmental conditions. *Journal of Cereal Science*, 20: 203–215.

- Añon M.C., Puppo M.C., Pedroza-Islas R., Oliete B., Villagómez-Zavala D. 2009. Valor nutricional y saludable de materias primas para la elaboración de productos de panificación; en Lutz M., León A.E., editores. Aspectos saludables y nutricionales de los productos de panificación. 1ra Edición. Universidad de Valparaíso-Editorial, España. Pág. 77.
- AOAC International. Official Methods of Analysis of AOAC International 1998. 16th edition, 4th revision. Vol II. Maryland. USA.
- Ávila M. 2002. Incorporación del Rapid Visco Analyzer (RVA) para la determinación de la calidad culinaria de arroz. Fundación para la Investigación Agrícola, Boletín Informativo Enero/Marzo: Año VII, N° 3.
- Baik B.K., Czuchajowska Z., Pomeranz Y. 1995. Discoloration of dough for oriental noodles. Cereal Chemistry, 72: 198-205.
- Barichelo V., Yada R.I., Coffin R.H., Stanley D.W. 1990. Low temperature sweetening in susceptible and resistant potatoes: starch structure and composition. Journal of Food Science, 55: 1054–1059.
- Barkeling B., Granfelt Y., Bjirck I., Rossner S. 1995. Effects of carbohydrates in the form of pasta and bread on food intake and satiety in man. Nutrition Research, 15: 467-476.
- Bejosano F.P., Corke H. 1998. Effect of Amaranthus and buckwheat proteins on wheat dough properties and noodle quality. Cereal Chemistry, 75: 171–176.
- Belitz H., Grosch W. 1999. Polysaccharides; en Belitz H, Grosch W. editores, Food Chemistry, second edition. Springer, Germany. Pág. 237-318.
- Belitz H., Kieffer R., Seilmeier W., Wieser H. 1986. Structure and function of gluten protein. Cereal Chemistry, 63: 336-341.
- Belton P.S. 1999. On the elasticity of wheat gluten. Journal of Cereal Science, 29: 103-107.
- Belton P.S. 2005. New approaches to study the molecular basis of the mechanical properties of gluten. Journal of Cereal Science, 41: 203–211.

- Belton P.S., Colquhoun I.J., Grant A., Wellner N., Field J.M., Shewry P.R., Tatham A.S. 1995. FTIR and NMR studies of a high-Mr subunit of glutenin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 17: 74–80.
- Berganza B.E., Moran A.W., Rodriguez M.G., Coto N.M., Santamaría M., Bressani R. 2003. Effect of variety and location on the total fat, fatty acids and squalene content of amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58: 1–6.
- Berger A., Monnard I., Dionisi F., Gumy D., Hayes K.G., Lambelet P. 2003. Cholesterol-lowering properties of amaranth flakes, crude and refined oils in hamsters. *Food Chemistry*, 81: 119–124.
- Atwell W.A. 1998. Method for reducing syruing in refrigerated dough. Patent Application WO 97/26794.
- Atwell W.A., Hood L.F., Lineback D.R., Varriano-Marston E., Zobel H.F. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World*, 33: 306–311.

12.2 PAGINAS WEB.

- Alimentos Argentinos, 2002. Cadenas Alimentarias, Pastas secas. http://www.alimentosargentinos.gov.ar/03/farina/Pastas/pastas_secas/Pastas_secas.htm consultado diciembre, 2009.
- Introduccion al secado de alimentos por aire caliente, 2016. https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true

13 ANEXOS.

13.1 PROCEDIMIENTO DE PARO Y ARRANQUE DE PRODUCCIÓN POR CAMBIO DE FORMATO EN LA LÍNEA D.

Cambio de formato o moldes.

Es el procedimiento para el cambio de moldes, es decir, cambio de forma de la pasta, este tarda aproximadamente de 25-30 minutos donde el operador realiza la siguiente serie de pasos:

1. Pulsar stop en el tablero de control.

Se detienen los sinfines para que la pasta deje de pasar por los moldes ocasionando que el nivel de pasta en la amasadora de vacío suba e inmediatamente la amasadora principal se detenga ya que esta es la que alimenta, al detenerse la amasadora los dosificadores se detienen de igual manera.

2. Retirar protector de cortadora.

Se retira la lámina protectora que se encuentra debajo de la cortadora para poder bajarlas, la función de esta es detener la caída de fideos al exterior debido a la velocidad de las cuchillas.

3. Bajar cortadoras.

La cortadora cuenta con una palanca que al bajarla, las cuchillas empiezan a bajar hasta quedar en una posición cómoda alejada de los moldes y poder manipularla, se mueven manualmente a un costado para cambiar las cuchillas adecuadas para el formato que se realizara.

4. Abertura de extractor.

El extractor es el eje central que está colocado frente a los cabezales en una posición cerrada, este se abre totalmente moviéndolo al lado derecho, para poder colocar los nuevos moldes y al cerrar el eje estos suplan a los moldes usados.

5. Subir moldes del nuevo formato.

Se elevan los moldes nuevos con la ayuda de la grúa que se encuentra a un costado de cada cabezal, esta consta de un sujetador de 3 puntos, dos fijos y uno manipulable el cual debe posicionarse de una buena manera para sujetar el molde y colocarle el seguro. Ya puesto el sujetador de la grúa se eleva cada uno de los moldes a la altura de los cabezales posicionándolos al costado derecho de cada uno de ellos en una posición frontal a los moldes que se van a suplir al cerrar el extractor.

6. Cambiar moldes viejos por nuevo formato.

Una vez posicionados los moldes a un costado derecho de cada cabezal, el eje central debe volver a su posición actual la cual es cerrada o pegada a los ejes centrales, pero al cerrarse de derecha a izquierda empuja a los nuevos moles, acomodando con cuidado cada uno de ellos, el molde que va en el cabezal izquierdo (cabezal 1) debe quedar 1 cm a la izquierda de su posición habitual y el molde del cabezal derecho (cabezal 2) entra completamente.

7. Subir cortadoras.

Se suben las cortadoras con cuidado y verificar que las cuchillas no choquen con la pared que rodea los moldes y se hacen pruebas girando las cuchillas para verificar que estas no choquen con los moldes o sufran algún desperfecto con el cambio hecho.

8. Bajar cortadoras

Se bajan de nuevo las cortadoras y se hacen los cambios respectivos de cuchillas para el nuevo formato solicitado.

9. Purgar moldes nuevos.

Se ponen en mancha sin fines y se prueban moldes, esto sirve para quitar el exceso de agua que pudieran tener los nuevos moldes y para precalentar el molde con la pasta saliente, una vez purgados los nuevos moldes se quita el excedente con las manos y la pasta se pone en rejillas de plástico al finalizar se raspan los moldes con la espátula para quitar pasta que hubiese quedado pegada a ellos

10. Cambio de cuchillas.

Se cambia las cuchillas viejas por unas nuevas de acuerdo al formato solicitado, estas se quitan con golpes de abajo para arriba golpeando la zona de soporte de la cuchilla, una vez que se quitan las cuchillas se ponen las nuevas,

11. Subir cortadoras.

Con las cuchillas nuevas puestas se suben de nuevo las cortadoras con mucha precaución asegurándose que las cuchillas no choquen con la pared que sostiene a los moldes.

12. Encender cortadoras

Se encienden cortadoras a su velocidad solicitada y se verifica viendo desde abajo que estas no tengan defecto alguno y escuchado algún golpeteo con la pared debido al giro

13. Colocar Mangueras de aire

Se colocan en cada una de las cortadoras mangueras de aire justamente atrás de cada una de ellas para que la pasta que salga cortada no se almacene debajo de las cuchillas.



14. Hacer llamado de producción.

El prensista hace el llamado de producción en el tablero apretando los botones “arranque” y “restablecer” al mismo tiempo para después presionar producción y finalizando con el de silenciar alarma.

15. Verificar corte.

El prensista verifica el tamaño y forma del corte saliente de las cuchillas si este tiene algún defecto se modifica la velocidad de cuchillas debido a que estas se encargan del tamaño del fideo requerido.

16. Verificar condiciones de proceso.

Cuando el corte sea preciso ajustar las condiciones de proceso como temperatura, delta y humedad durante las diferentes etapas del secado.



1. Sinfín de prensa.



2. Cortadores y cuchillas



3. Gancho elevador de moldes para cambio de formato.



4. Control de cuchillas.

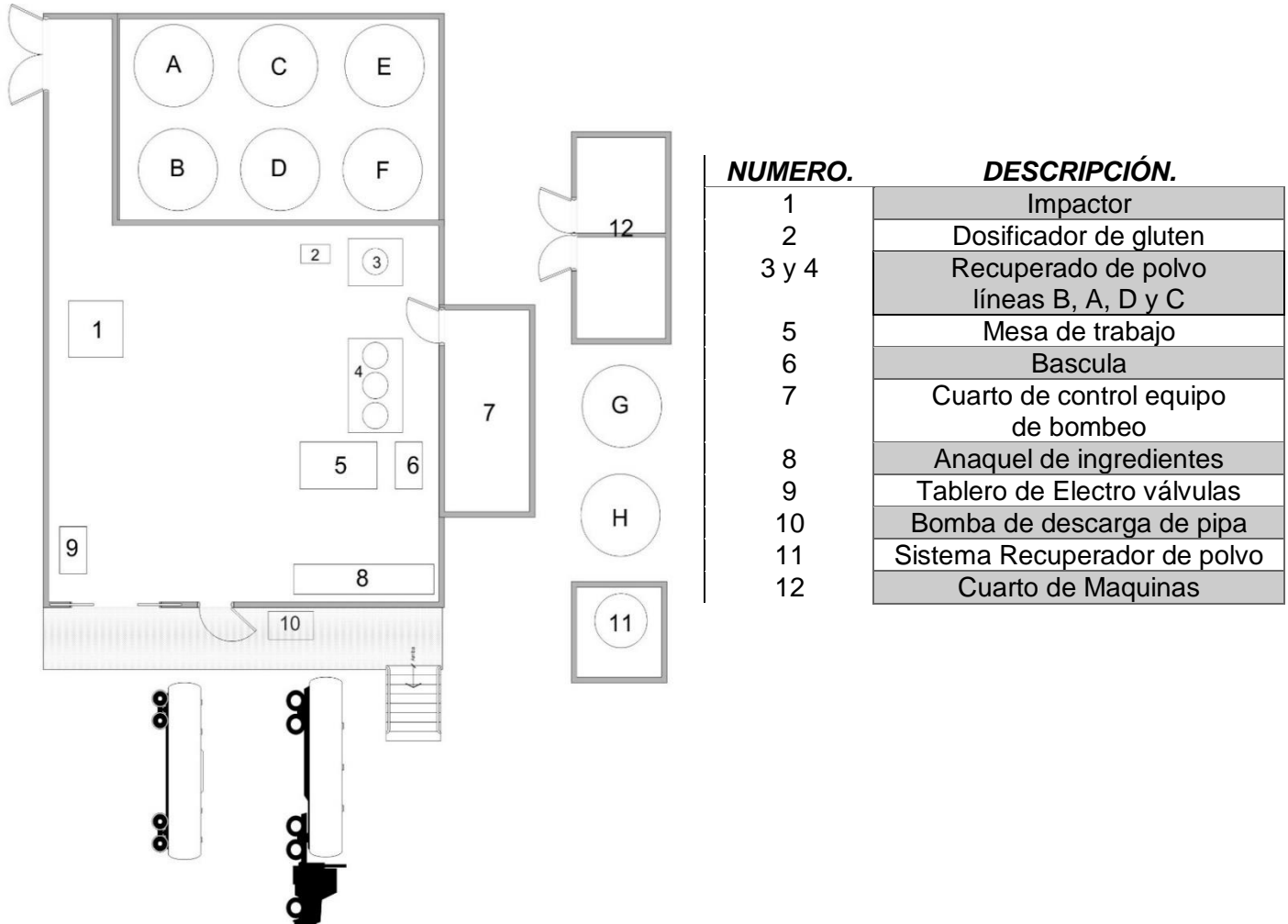


5. Control de extractor de moldes para cambio de formato.



6. Aire para cuchillas.

13.2 DISTRIBUCION DE ARE EN SILOS.



ABREVIATURA	SILO	MATERIA PRIMA	UBICACIÓN	CAPACIDAD
-------------	------	---------------	-----------	-----------

A	1	Harina Blanca	Interna	17,600.0 Kg
B	2	Pasta Molida	Interna	17,600.0 Kg
C	3	Sémola de Primera	Interna	17,600.0 Kg
D	4	Sémola Entera	Interna	17,600.0 Kg
E	5	Sémola de Primera	Interna	17,600.0 Kg
F	6	Sémola Entera	Interna	17,600.0 Kg
G	7	Sémola de Primera	Externa	60,000.0 Kg
H	8	Sémola Entera	Externa	60,000.0 Kg

Tabla 1. Capacidad de silos.