

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Diseño de una línea de producción de pasta corta con sabores a  
especias, chile habanero y vainilla

Mynor Alejandro Méndez Díaz

Guatemala  
2007



Diseño de una línea de producción de pasta corta con sabores a especias, chile habanero y vainilla

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

Diseño de una línea de producción de pasta corta con sabores a  
especias, chile habanero y vainilla

Trabajo de investigación presentado por Mynor Alejandro Méndez Díaz para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Química

Guatemala  
2007

Vo. Bo.:

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Gamaliel Zambrano

Tribunal

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Gamaliel Zambrano

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Julio Paredes

(f) \_\_\_\_\_  
Ing. Allan Cifuentes

## PREFACIO

Este proyecto surge con la identificación de la necesidad que tiene una empresa guatemalteca por crecer e innovar, atraer nuevos clientes y conservar los que ya tiene, desarrollarse en un mercado ampliamente competitivo, en donde ya no se encuentra sola, sino que ahora compite con grandes empresas multinacionales.

Al buscar en los anaqueles en un supermercado, me di cuenta que básicamente todas las marcas de pasta ofrecen los mismos productos, coditos, espaguetis, tornillos, macarrones, etc. algunos intentan llamar la atención del consumidor con pasta coloridas, y una marca lo hace con productos de “sabores”, por lo que decidí comprarlos y probar, sin embargo, quedo decepcionado, ya que la pasta al prepararla queda como todas las demás, sin sabor alguno y el color original se pierde. Entonces decidí que debo hacer algo para cubrir esa necesidad que se encuentra insatisfecha en el mercado, de ahí surge la idea de la creación de un producto innovador, que realmente tenga sabor y así ganar la fidelidad de los clientes actuales y atraer nuevos.

La primera etapa consistió en contactar a proveedores de sabores, sin embargo me topé con la dificultad de que ninguno de mis potenciales proveedores había experimentado aplicar sus sabores a la pasta y someterlos al proceso que lleva la misma. Entonces tuve que empezar a experimentar y formular con lo que tenía: sabores no adecuados para el proceso, que era posible no resistieran altas temperaturas por largos períodos y se deterioraran, para obtener finalmente un producto con propiedades contrarias a lo esperado. Sin embargo, después de mucho experimentar y muchos sabores que se probaron, llegué a obtener tres que cumplían con las características exigidas, soportar altas temperaturas por largos periodos, ser solubles en agua, pero que después de la cocción permanecieran en la pasta y no en el agua de cocción y que además el cliente pudiera percibir la diferencia en la pasta y que le gustara.

La idea puede parecer muy atractiva, sin embargo como cualquier otro producto debe venderse y generar ganancias, por lo que tuve que introducirme en un área hasta ese momento desconocidas para mí, el mercadeo. Todo Ingeniero Químico sabe que no conoce de todos los temas, pero también sabe dónde buscar información y aprender, por lo que una vez me había *empapado* en el tema, pude pasar a la etapa del contacto con el cliente; realice varios grupos de enfoque para tratar de medir si el producto que se desarrolla se puede vender, y me tope con un gran problema, el mercado actual no concibe la idea de que la pasta pueda ser dulce, por lo que es necesario romper ese paradigma. Esto lo conseguí después de

desarrollada la formulación y haber realizado pruebas en planta piloto, dando de probar la pasta a los clientes internos y midiendo su nivel de satisfacción.

El siguiente paso fue el diseño de una nueva línea de producción, y mucha gente me pregunto que por qué no utilizaba las líneas ya existentes, y la respuesta es sencilla, primero la capacidad de las líneas ya no es suficiente para la demanda actual y segundo, la tecnología con que se trabaja no permite la alimentación de los aditivos por lo que se requiere de una nueva línea dedica a la producción de la pasta con sabor, la mayor dificultad presentada durante esta etapa fue la falta de experiencia en el diseño y selección de equipo.

Por último, estudie los aspectos económicos del desarrollo del producto, con la finalidad de determinar si es posible o no llevarlo al mercado y obtener frutos de la inversión. Esta etapa fue más sencilla, todos los proveedores se mostraron muy atentos para enviar sus cotizaciones de equipo, materia prima y material de empaque, lo cual facilito la estimación de los costos de producción, además de que se tiene la suerte de que la empresa cuenta con una exigencia mínima de ventas para que un producto se continúe comercializando, por lo que fue fácil determinar el nivel de ingresos que se podrían tener.

Aprovecho este espacio para agradecer a todas las personas que colaboraron conmigo en la realización de este trabajo de gradación: Primero a Dios, gracias por sus infinitas bendiciones, gracias por poner en mi camino mucha gente que no dudó en tenderme la mano, gracias por todo. A toda mi familia, mis papás, mis hermanos, mis abuelitas, mis abuelos<sup>†</sup>, mis tíos y primos, por el apoyo incondicional que me brindaron, por su comprensión por todas mis ausencias para terminar este proyecto. A Edube por tus palabras de apoyo y de esperanza, por no dejarme caer en los momentos más desesperantes, por tu paciencia, por tu amistad sincera. A Raúl, Mercy y Lucía, por todos los “no puedo” que les dije o todos los “no tengo tiempo” y por siempre estar a mi lado. A Paola y Bass por su amistad durante todo este tiempo en la universidad, por el compartir día a día que tuvimos incluyendo todos los domingos sacrificados, y por nunca dejarme tirado. A todo el personal de la planta, en especial a la Ingeniera Ana Lucía López y al Ingeniero Alejandro Portillo, no solamente por su ayuda para la realización de todas las etapas del estudio, sino que también por sus consejos y por su amistad. Al ingeniero Gamaliel Zambrano, por sus consejos para la culminación del proyecto. A todo el personal de la Fundación Juan Bautista Gutiérrez, en especial a Doña Isa y a Don Edgar, por estar siempre ahí cada vez que llegaba a tocar su puerta, y porque definitivamente sin ellos mis estudios en la universidad no hubieran sido posibles.

# CONTENIDO

	Página
PREFACIO	v
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE GRÁFICAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. Introducción	1
II. Antecedentes	2
III. Justificación	13
IV. Objetivos	14
V Problema a resolver	15
VI. Metodología	16
VII. Resultados	18
VIII. Discusión de resultados	37
IX. Conclusiones	45
X. Recomendaciones	48
XI. Bibliografía	49
XII. Apéndice	51
XIII. Glosario	113

## LISTADO DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Valor nutritivo de varios tipos de pastas	11
2. Formulación del producto sabor a vainilla para la obtención de 100 kg de producto terminado.	18
3. Formulación del producto sabor a chile para la obtención de 100 kg de producto terminado.	18
4. Formulación del producto sabor a especias para la obtención de 100 kg de producto terminado.	18
5. Perfil sensorial de la pasta sabor a vainilla.	18
6. Perfil sensorial de la pasta sabor a chile.	19
7. Perfil sensorial de la pasta sabor a especias.	19
8. Listado de equipos	21
9. Especificaciones del silo de almacenamiento de harina.	23
10. Especificaciones del tanque de agitación.	24
11. Especificaciones del tanque auxiliar de agitación.	25
12. Especificaciones de la bomba de alimentación a la mezcladora.	26
13. Especificaciones del transporte neumático de harina.	26
14. Especificaciones de la mezcladora.	27
15. Especificaciones de la distribuidora de masa.	27
16. Especificaciones del tornillo de extrusión.	28
17. Especificaciones del pre-secador.	29
18. Especificaciones de la banda transportadora dentro del pre-secador	29
19. Especificaciones del secador.	30
20. Especificaciones de la banda transportadora dentro del secador	31
21. Especificaciones del enfriador	31
22. Especificaciones de la banda transportadora dentro del enfriador	32
23. Especificaciones de sistema de cangilones del pre-secador al secador	32
24. Especificaciones del sistema de cangilones del secador al enfriador	33
25. Especificaciones del ciclón de separación de aire/harina	33
26. Especificaciones de la válvula rotativa	34

Cuadro	Página
27. Análisis de viabilidad del proyecto	34
28. Balance de masa en la mezcladora	55
29. Datos intermedios para el dimensionamiento del silo de harina	87
30. Datos intermedios para el dimensionamiento del tanque principal de agitación	87
31. Datos intermedios para el dimensionamiento del tanque secundario de agitación	87
32. Datos intermedios para el dimensionamiento de la bomba	88
33. Flujos que debe manejar la bomba	88
34. Flujos que debe manejar la mezcladora	88
35. Datos intermedios para el dimensionamiento de la mezcladora de harina	89
36. Datos intermedios para el dimensionamiento de la distribuidora de masa	89
37. Datos intermedios para el dimensionamiento del tornillo de extrusión	89
38. Datos intermedios para el dimensionamiento del sistema de cangilones del pre-secador al secador	90
39. Datos intermedios para el dimensionamiento del sistema de cangilones del secador al enfriador	90
40. Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda transportadora del pre-secador	91
41. Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda del nivel 1 del secador	91
42. Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda del nivel 2 del secador	92
43. Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda del nivel 3 del secador	92
44. Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda transportadora del enfriador	93
45. Datos intermedios para el dimensionamiento del sistema neumático de transporte de harina	93
46. Potencias requeridas para el sistema de transporte neumático de harina	94
47. Condiciones para elevar la temperatura del aire	94
48. Humedad de la pasta a través del secado	94
49. Propiedades del aire de secado	94
50. Flujos de aire requeridos para el secado y balance de energía	95
51. Condiciones para el enfriamiento	95
52. Salarios del personal operativo de la nueva línea	95
53. Prestaciones laborales del personal operativo	96

Cuadro	Página
54. Porcentaje de prestaciones laborales	96
55. Costo de equipo	97
56. Porcentajes utilizados par la estimación de los servicios del equipo utilizando la tabla 9-51 del Manual del Ingeniero Químico	97
57. Depreciación del equipo utilizando el método SMARC	98
58. Costo de materia prima (Q/kg)	98
59. Costo de material de empaque	98
60. Costo de servicios auxiliares	98
61. Costo de mantenimiento (Q/año)	99
62. Proyección de ventas mensual	99
63. Programa de producción	99
64. Consumo de materiales	100
65. Detalle de ingresos	101
66. Detalle de egresos	101
67. Flujo de caja	103
68. Punto de equilibrio	104
69. Recuperación de capital	104
70. Análisis de sensibilidad a la variación de ventas	105

## LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
1. Cambios en el VAN al modificar la cantidad de ventas	35
2. Cambios en la TIR al modificar la cantidad de ventas	36
3. Nivel de aceptabilidad del producto sabor a vainilla con cliente interno	111
4. Nivel de aceptabilidad del producto sabor a chile con cliente interno	112
5. Nivel de aceptabilidad del producto sabor a especias con cliente interno	113
6. Identificación del sabor a vainilla en la pasta	114
7. Identificación del sabor a especias en la pasta	115
8. Identificación del sabor a chile en la pasta	116
9. Contenido de sal en la pasta sabor a especias	117

## LISTADO DE FIGURAS

Figura	Página
1. Factores que afectan la calidad de la pasta.	12
2. Línea de producción de pasta corta con sabores artificiales.	20
3. Distribución de maquinaria en la planta	22
4. Silo de almacenamiento de harina.	23
5. Tanque de agitación.	24
6. Tanque auxiliar de agitación.	25
7. Mezcladora de harina.	26
8. Distribuidora de masa.	27
9. Tornillo de extrusión.	28
10. Pre-secador de pasta.	28
11. Secador de pasta.	30
12. Enfriador de pasta	31
13. Dimensiones del cangilón	32
14. Dimensiones del ciclón de separación de aire/harina	33
15. Dimensiones de la válvula rotativa	34
16. Diagrama de bloques de la producción de pasta	51
17. Balance de masa y energía de la línea de producción de pasta	52
18. Balance general de masa	53
19. Entradas y salidas del mezclador	54
20. Entradas y salidas de la distribuidora	56
21. Entradas y salidas del tornillo	56
22. Entradas y salidas del pre-secador	57
23. Entradas y salidas del secador	58
24. Entradas y salidas del enfriador	59
25. Dimensiones del tanque de agitación	60
26. Sistema en el que debe funcionar la bomba	63
27. Determinación del ángulo de la tolva de un silo	66
28. Relación de dimensiones para el ciclón	72
29. Dimensiones del mezclador	73

Figura	Página
30. Dimensiones de la distribuidora	75
31. Determinación de las pérdidas de energía por longitud de transporte	83

## RESUMEN

El objetivo de la investigación es diseñar una línea de producción de pasta alimenticia, tipo corta con sabores a: especias, chile habanero y vainilla para satisfacer las expectativas de los consumidores a través de la creación de un producto innovador. Para cumplir con esto, es necesario seleccionar y dimensionar el equipo para el proceso, desde almacenamiento de materia prima hasta la obtención del producto terminado, determinar la formulación del producto y la factibilidad de su producción y comercialización.

Al finalizar la investigación se obtuvo: 1. La formulación del producto, la determinación del perfil sensorial del mismo y la medición de la aceptabilidad de la pasta con sabor a través de paneles sensoriales y grupos de enfoque. 2. El diseño y dimensionamiento de todos los equipos necesarios para la producción, silo de almacenamiento de harina, tanque de agitación para la mezcla de ingredientes, mezcladora helicoidal para formar la masa, tornillo de extrusión para dar forma a la pasta, línea de secado para la obtención del producto final, además, el sistema de transporte neumático de harina y la bomba de alimentación de la solución de aditivos. 3. El análisis de la factibilidad de la producción de la pasta con sabor.

## ABSTRACT

The objective of this research is to design a line of production of nourishing pasta, type cuts with flavors as: spices, of havana chili and vanilla to satisfy the expectations of the consumers across the creation of an innovative product. To accomplish this, is necessary chose and get ready all the equipment for the process, since store all the materials to get the product ready, get the product formulation and the production information and the way to the market.

At the end of the investigation the results were: 1. The product formulation, the profile determination of the product, and, the results of the survey and focus groups opinion in taste, flavor, and, acceptance of the product. 2. The design and dimensions of all the equipments necessary for the production, the place where to storage of flour, tank of agitation for the mixture of ingredients, spiral food-mixer to train the mass, screw to give form to the pasta, line of dried for the obtaining of the final product, in addition, the system of pneumatic transport of flour and the donkey engine of the solution of additives. 3. The analysis of the feasibility of the production of the pasta with flavor.

# I. INTRODUCCIÓN

La pasta es un alimento que se elabora a partir de la sémola de trigo y agua, siguiendo el siguiente procedimiento: mezcla y amasado de materias primas, extrusión de la masa, secado de la pasta y empaque (Desrrisuerm 1977:527). El origen de la pasta se remonta a la antigua China pero, también en otros países asiáticos, como la India, e incluso algunos países árabes, elaboraban desde tiempos remotos una especie de pasta que llevaba el nombre de *sebica*. La pasta italiana tal y como se conoce tiene su origen alrededor del siglo XVIII en el sur de Italia al darse la combinación de pastas y salsa de tomate (Kill, 2004:3).

Su consumo a nivel mundial se encuentra generalizado en todos los estratos sociales. Debido a la popularidad de este alimento, los fabricantes de pasta ya no pueden competir únicamente por ofrecer un producto de buena calidad, sino que deben preocuparse por darle un valor agregado al producto, que logre la diferenciación adecuada para competir en un mercado tan grande. Esta diferencia, se refiere a un sabor artificial, para que el consumidor final, luego de la cocción del producto no necesite invertir más tiempo en la preparación del alimento sino que, obtengan en poco tiempo un alimento nutritivo y que llene sus expectativas de aroma, sabor y consistencia. Además del desarrollo del producto es necesario diseñar la línea de producción para el producto y determinar la factibilidad para la manufactura y venta del mismo.

El trabajo de graduación se encuentra dividido en las siguientes secciones para explicar el estudio realizado: el prefacio en donde se enumeran las limitaciones del trabajo; el resumen donde se presenta una sinopsis del todo el trabajo realizado; el marco teórico, en el cual se explican los fundamentos de la producción de pasta; justificación en donde se explican las razones por las cuales se realiza el estudio; la sección de objetivos en donde se plantean las metas que se persiguen; el problema a resolver es la sección en la que se explica la problemática que existe en la industria si el proyecto no se desarrolla; la metodología, en donde se explica detalladamente la estrategia que se seguirá para la formulación del producto, el diseño de la línea de producción y el estudio de factibilidad; la sección de resultados en donde se enumeran los principales hallazgos del trabajo realizado; la sección de discusión en donde se explica e interpretan, desde el punto de vista científico formal los resultados obtenidos; la sección de conclusiones en donde se presentan los hallazgos más importantes del trabajo; las recomendaciones es la sección en que se presentan propuestas o consejos para próximos estudios que traten el mismo tema que el presente; la sección del apéndice que consta de las siguientes secciones: diagramas, en donde en forma esquemática se representa la operación de la línea, cálculo de muestra en donde se ejemplifican los cálculos realizados para el diseño del equipo, datos calculados es la sección que contiene datos intermedios que son utilizados para llegar a los resultados finales, sección de gráficas en donde se muestran otros análisis realizados y los modelos utilizados para realizar las evaluaciones con los clientes. Por último, el glosario en donde se explica el significado del vocabulario técnico empleado.

## II. ANTECEDENTES

### A. Materia prima

En la elaboración de pastas alimenticias, se utiliza agua y sémola, la que se obtiene por medio de un proceso de molienda del trigo duro, el cual se lleva a cabo por medio de un sistema de rodillos corrugados, los que separan el endospermo del salvado, el cual una vez separado, pasa a través de una serie de rodillos reductores de tamaño, usando tamices vibradores en cada paso de molienda (Desrosier, 1977:508).

La sémola tiene dos componentes que son de vital importancia en la elaboración de la pasta y en la preparación culinaria de la misma: las proteínas del gluten y el almidón (Madrid, 2001:477). El gluten en el trigo duro está presente en estructuras con forma de cuña que se encuentran entre los gránulos de almidón ovoides. El gluten es un material pétreo o vítreo cuando está seco, pero la adición de una cantidad moderada de agua permite que se produzcan cambios en su naturaleza física y química. El gluten se transforma en un material gomoso y elástico y adquiere la capacidad de formar cadenas y láminas mediante el establecimiento de puentes intermoleculares. Estas propiedades son fundamentales para su papel como matriz continua que atrapa y encapsula al almidón en la pasta y mantiene la forma del producto durante su elaboración y cocción. Al calentar el gluten hidratado se forman enlaces cruzados proteína-proteína irreversibles que, cuando se controlan adecuadamente, estabilizan la estructura y la textura comestible de la pasta final (Kill, 2004:93)

Prácticamente el 85% de los sólidos presentes en la sémola corresponden al almidón del trigo. Cuando está frío (a una temperatura inferior a 55 °C) el almidón se comporta, en una primera aproximación, como un relleno inerte que tiene una capacidad muy limitada para absorber agua. Cuando se calienta, el almidón pierde su rígida integridad estructural y puede absorber una cantidad casi ilimitada de agua. La absorción de agua se acompaña de un aumento en la viscosidad, provocado por el hinchamiento del gránulo y la liberación de material soluble presente en el mismo (Kill, 2004:93).

Los parámetros de control de la sémola pueden dividirse en aquellos que dependen del trigo que se muele, como por ejemplo la cantidad (12 a 13 %) y calidad de la proteína y la actividad enzimática, y los que derivan del propio proceso de la molienda, los cuales son (Kill, 2004:47):

1. **Cenizas.** Una molienda perfecta debería separar el endospermo en forma de sémola sin ningún tipo de contaminación procedente del salvado o del germen (Madrid, 2001:478). El contenido de cenizas del endospermo que procede del centro del grano puede ser tan bajo como el 0.6%, mientras que el de la harina de trigo duro derivada de la zona del grano adyacente a la capa de aleurona del

salvado puede llegar al 1.5% Por tanto, se deduce que cuanto más baja es la cifra del contenido de cenizas más pura será la sémola (Kill, 2004:47).

2. **Tamaño de partícula.** El principio básico, en este caso, es que cuanto más homogéneo sea el tamaño de las partículas más uniforme será la hidratación de la sémola en la mezcladora de la pasta. No existe un tamaño de partícula ideal dado que este parámetro está estrechamente relacionado con el método de mezcla (Kill, 2004: 48).

3. **Humedad.** El contenido de humedad de la sémola (13 a 14 % idealmente) es consecuencia de tres factores: 1) Lograr el máximo beneficio en el molino mediante la incorporación de la mayor cantidad de agua posible. 2) El contenido ideal de humedad para el óptimo funcionamiento del molino y el manejo del producto. 3) Por seguridad de no sobrepasar el contenido de humedad que permita el crecimiento de microorganismos (Kill, 2004: 48).

## B. Proceso

Las pastas alimenticias son clasificadas en: pastas largas, pastas cortas, pasta nido y pastas orientales. El equipo para la producción comercial de pastas incluye:

1. Dosificadores de materia prima
2. Mezcladoras (Amasadora)
3. Cilindro de extrusión
4. Cabezal de moldes
5. Moldes
6. Cortadoras
7. Túnel de presecado
8. Túnel de secado
9. Empaque (Canjura, 1987:4)

### 1. Mezcla y extrusión.

a. **Dosificación de las materias primas.** Los alimentadores descargan la sémola, el agua y/o la preparación líquida de huevo, en la prensa extrusora para elaborar la pasta en unas cantidades y proporciones predeterminadas. Teniendo en cuenta las características del almidón y del gluten, existe un cierto número de condiciones que deben cumplirse durante la mezcla de los ingredientes líquidos y sólidos (Jacobs, 2000:123):

- La velocidad de alimentación de las materias primas debe ser constante.
- Deben evitarse, las variaciones en las proporciones de los líquidos con respecto a los sólidos.
- El agua debe dispensarse uniformemente por todas partes del material al iniciarse la alimentación. El objetivo es humedecer el gluten lo antes posible, para que pueda comenzar la formación de estructura en la red de gluten. (Jacobs, 2000:123)

1) Alimentadores volumétricos de tornillo. Los alimentadores volumétricos son una combinación de un alimentador de tornillo para la sémola y distintos alimentadores para los líquidos. A continuación se indican las combinaciones que se emplean con más frecuencia para la alimentación de sólidos y de líquidos, respectivamente (Jacobs, 2000:124):

- Tornillo y bomba de pistón
- Tornillo y transportador de cangilones

Ambas combinaciones tienen algo en común. La sémola y el agua se miden volumétrica y no gravimétrica, efectuándose su descarga y alimentación a velocidad continua. La capacidad está determinada siempre por las revoluciones por minuto del tornillo, bomba o transportador de cangilones. Un inconveniente de la alimentación volumétrica en el caso de los sólidos granulares es que la capacidad depende de la densidad del material, la cual depende a su vez de la calidad del material, es decir, de su fineza (Jacobs, 2000:124).

2) Dosificadores gravimétricos continuos. Estos no presentan ningún problema para pesar sémolas gruesas, partículas de granulometría intermedia y harina. La báscula de medida continua incluye un alimentador como una parte integral del sistema de pesar. La descarga del material está regulada con exactitud por un sistema electrónico de circuito cerrado sobre la base de la diferencia de peso por unidad de tiempo. El regulador automático gobierna el descargador de tal forma que la reducción de peso por unidad de tiempo es igual al valor deseado seleccionado en kg/h (Jacobs, 2000:124).

b. Mezcla. La primera etapa para formar la pasta incluye la hidratación de las materias primas secas con los ingredientes líquidos. Cuando se añade agua durante la hidratación y el contenido de humedad del gluten sube a aproximadamente 33%, se comportará como un material flexible con capacidad de fluir si se aplica una fuerza. En este estado puede encapsular al almidón y ser moldeado para que la pasta adquiera la forma deseada (Kill, 2004:100).

El papel de la mezcladora es distribuir uniformemente el agua añadida por la superficie de todas las partículas de sémola, El agua debe agregarse a una temperatura de 32 a 38 °C (Jacobs, 2000:131). Si la alimentación que llega a la mezcladora contiene varios ingredientes, entonces se puede producir lo que se denomina *competición* por el agua. En general, cuanto más puede hincharse un ingrediente, más rápidamente imbibirá el agua. En las condiciones de elaboración, la cantidad de agua añadida a la mezcladora es limitada y nunca se logra la hidratación completa de los ingredientes susceptibles de hincharse. La disolución de los ingredientes solubles, por el contrario, será siempre completa al final de la extrusión (Kill, 2004:102).

Cuando la materia prima, se hidrata en la mezcladora, la temperatura de la masa aumenta. La velocidad a la que aumenta la temperatura del producto, debido al incremento en la temperatura del agua, es lineal. No existe influencia significativa en la cantidad de gluten eliminado en el agua, tanto si está seco o húmedo. Por otra parte, cuando la temperatura del agua de alimentación sea superior a 60 °C es de esperar que se produzca un cambio parcial en las características del gluten. (Kill, 2004:102)

El diseño básico consiste en dos ejes de tornillos gemelos que giran en la misma dirección. El producto que se encuentra en la mezcladora rota, por una parte, en forma de “ochos” alrededor de los tornillos y, al mismo tiempo, rota sobre sí mismo. Esto provoca la mezcla, el amasado y la creación de una estructura proteica óptimos en la masa. El modo de trabajar de los tornillos que giran en la misma dirección tiene la ventaja que se evitan los flujos rotatorios entre las alas de los tornillos y el eje (Kill, 2004:103).

La configuración real de los tornillos crea una interacción entre los tornillos transportadores, los discos poligonales y los elementos de amasado, los cuales en una etapa inicial humedecen, mezclan y amasan la materia prima seca y el líquido añadido con una intensidad óptima. A esto le sigue una segunda fase en la que se hace una homogenización, el desarrollo del gluten y la creación simultánea de la estructura en el gluten (Kill, 2004:103).

c. Extrusión. Para dar a la pasta la forma deseada, se debe forzar el paso de la masa en estado plástico a través de un molde (o boquilla) apropiado y a una presión relativamente alta. En el caso de las prensas extrusoras continuas, esta presión la genera un tornillo (Desrosier, 1977:509).

A medida que la mezcla humedecida pasa de la mezcladora al tornillo a vacío y al extrusor, va transformándose en una masa en la cual al aplicar trabajo mecánico se provoca la fusión de las partículas adyacentes de proteína y la formación de una red continua de gluten (Kill, 2004:106). Al calentarse la masa, y hasta que se alcanza una temperatura de aproximadamente 55 °C, disminuye su viscosidad y su elasticidad. Por encima de esta temperatura, la masa se vuelve más viscosa como consecuencia del

entrecruzamiento entre las proteínas, al principio, y del hinchamiento del almidón, a medida que la temperatura sigue aumentando. La manifestación de que la masa tiene una temperatura excesivamente alta es un aumento en la corriente del motor y de la presión del molde (Jacobs, 2000:128).

Cuando las materias primas se extruyen para formar la pasta, la primera fase no lleva aparejado ningún amasado de los ingredientes para formar una masa homogénea. En las artesas de las mezcladoras sólo se produce una masa demigajable. Se obtendrán aglomerados de distinto tamaño, dependiendo del sistema de alimentación y de la granulometría del trigo molido. En presencia de una cantidad excesiva de agua, las partículas de sémola y harina tienden a «formar terrones», mientras que si la cantidad de agua es insuficiente dichas partículas tenderán a permanecer secas (Kill, 2004: 106).

El amasado tiene lugar principalmente en la zona de presión del tornillo y justo en la zona anterior al molde. El amasado se completa cuando el material se descarga por el molde. Se entiende que el término amasado se refiere a la homogenización a presión del material mezclado, reforzándose aún más la red proteica que se había creado previamente durante la mezcla. Las fuerzas de cizalla que se desarrollan durante la extrusión tienen una influencia negativa sobre el material y deben evitarse en la medida de lo posible. Esas fuerzas de cizalla generalmente se desarrollan cuando se fuerza a la masa a fluir por los bordes cortantes de los orificios de las placas, los insertos de los moldes, etc (Kill, 2004:110).

Los tornillos que se emplean en la producción de pasta tienen básicamente dos zonas: la zona de recepción de la masa y de desarrollo de la presión y la zona de presión y amasado reales. Debido a la dureza (viscosidad) de la masa cuando tiene un contenido de agua de aproximadamente el 30%, se debe generar mediante la prensa de tornillo una presión entre 80 y 120 bar para dar forma a la pasta, dependiendo de la resistencia del molde (Kill, 2004:110).

La presión de la masa depende de varios factores:

- 1) Humedad de la masa. La presión baja al subir la humedad de la masa y viceversa. La masa con un contenido de humedad excesivo resulta un producto demasiado pegajoso, en particular durante la primera fase del secado; si la masa es demasiado seca, el aumento de la presión de extrusión produce un aumento de la temperatura y subsecuente fricción, resultando en un menoscabo de la calidad y del color (puntos blancos)
- 2) Resistencia del molde.
- 3) Protección del molde empleada
- 4) Placa de corrección empleada

5) Temperatura de la masa. La temperatura de la masa cambia la viscosidad y en consecuencia, la velocidad del flujo de la masa. Se ha demostrado que el aumentar 1°C la temperatura en la masa produce el mismo efecto que aumentar de 1% la humedad de la masa. En general, la temperatura de la masa superior a 48-50°C produce alteraciones en las características de cocción (Jacobs, 2000:129)

La presión cae a medida que aumenta la humedad de la masa y viceversa. La masa con un contenido excesivo de humedad da lugar a un producto pegajoso, especialmente en la primera fase del secado. Si la masa está demasiado seca, la temperatura aumenta debido a la mayor presión desarrollada durante la extrusión, y esto generalmente tiene como consecuencia una merma de la calidad y del color (manchas blancas) (Madrid, 2001:482).

El comportamiento de flujo de la masa cambia con su temperatura. Durante la extrusión, se genera calor en la masa tanto por presión como por fricción. Este calor es deseable y necesario, hasta cierto punto, para la extrusión. Sin embargo, se debe tener mucha precaución para evitar que no se genere un calor excesivo durante la preparación de la masa. Básicamente se considera que cuando la temperatura de la masa (medida a la salida del molde) supera los 50-52 °C se deteriora la calidad culinaria (Kill, 2004:116).

Al instalar un sistema de refrigeración adecuado alrededor de la sección de presión en la prensa extrusora, se puede disipar parte del calor generado en exceso mediante el agua de refrigeración. Para lograr en la masa la distribución más regular posible de la temperatura, se bombea un gran volumen de agua a través de la camisa de refrigeración, empleando para su circulación una bomba distinta. La temperatura del agua de circulación debe oscilar entre 27 y 32 °C (Kill, 2004:116).

Los indicadores típicos de una holgura excesiva son una menor capacidad para una determinada velocidad del tornillo y una forma anómala en el producto que se descarga. Esto último es consecuencia de un calentamiento irregular, debido a que las fuerzas de cizalla y la fricción en la masa son más intensas (Kill, 2004:117).

En el caso de las líneas para productos cortos, se pueden observar grandes diferencias en la longitud del producto cuando se corta el material en el molde. La calidad culinaria es inferior porque la masa se desliza más entre la zona de presión del tornillo y la pared del cuerpo y, como consecuencia, la masa se calienta más. Además, en el caso de que el desgaste del tornillo y del cuerpo sea severo, se llega a producir pasta torcida. Esto es una consecuencia de la destrucción parcial de la red proteica. Ensayos han demostrado que una holgura de 1.5 a 2 mm entre el tornillo y el cuerpo disminuirá la capacidad y la calidad del producto perceptiblemente (Kill, 2004:117).

Durante el proceso de extrusión, se utilizan moldes de bronce y recientemente éstos han sido recubiertos con teflón, el cual extiende la vida media del molde y mejora la calidad de la pasta, puesto que disminuye las fuerzas de fricción que se originan en la superficie del molde que entra en contacto con la pasta (Canjura, 1987:6).

1) Sistemas de vacío. La influencia de la evacuación del aire en la calidad del producto final es fundamentalmente de naturaleza visual. Debido a la extracción de las pequeñas burbujas de aire presentes en la masa, el producto final tiene una cierta transparencia que da a la pasta un color amarillo natural. El vacío que se emplea habitualmente en las prensas se encuentra entre 0.8 y 0.9 bar (Madrid, 2001:483)

Las presiones negativas inferiores a 0.7 bar son suficientes para producir una menor transparencia y, por ello, una degradación del color. Las muy numerosas y pequeñas burbujas de aire atrapadas en la masa ya son visibles después del presecado. A diferencia de las quemaduras, los defectos causados por el vacío son visibles en la totalidad de la pasta (Madrid, 2001:483).

2. Secado. A no ser que se venda con una vida útil corta, como un producto fresco, la pasta tiene que ser procesada para asegurar su estabilidad microbiológica y bioquímica. La forma habitual de lograrlo es secar la pasta hasta alcanzar un contenido de humedad que no permita el crecimiento de microorganismos, disminuyendo la humedad inicial de aproximadamente 31% hasta un 12% (Canjura, 1987:7). La deshidratación ha de controlarse cuidadosamente para evitar que la pasta se resquebraje, un defecto provocado por un pronunciado gradiente de humedad entre el centro y la superficie del producto. El resquebrajamiento normalmente se manifiesta uno o dos días después del secado, cuando la humedad se ha distribuido uniformemente en el producto (Baker, 1997:254).

La humedad se elimina de la superficie de la pasta mediante una corriente de aire seco. Esto crea un gradiente en el contenido de humedad dentro de la pasta, de tal forma que la humedad difundirá en forma líquida desde el centro hacia la superficie del producto según este gradiente. Aunque existe un gran número de interacciones durante el secado, el movimiento del líquido está limitado principalmente por la difusión del mismo dentro de la pasta. El tiempo necesario para que en una lámina de pasta la humedad se equilibre se puede estimar a partir de la siguiente ecuación: (Kill, 2004:167)

La deshidratación rápida inevitablemente significa un mayor gradiente del contenido de humedad entre la superficie y el interior y, por tanto, una mayor probabilidad de que aparezcan grietas (Baker, 1997:254).

Cuando se intenta secar la pasta con demasiada rapidez, se establece una gran diferencia de humedad entre el interior y el exterior de la pasta. A medida que la pasta se encoge al perder humedad, la región

externa seca intentará contraerse sobre el interior húmedo. Mientras la pasta está caliente y antes de pasar al estado vítreo, puede relajarse estas tensiones deformándose permanentemente. Hacia el final del secado y del enfriamiento, cuando el contenido de humedad medio en la pasta ha alcanzado su valor final deseado, la pasta estará libre de estrés en su mayor parte, pero tendrá una superficie estirada y demasiado seca y un interior comprimido que estará demasiado húmedo (Kill, 2004:167)

Cuando la pasta se acerca a la frontera de la región vítrea, se vuelve más rígida. Si la dureza de la matriz es demasiado elevada antes de que se haya eliminado la suficiente cantidad de humedad, el riesgo de agrietamiento será alto. La diferencia de humedad que existe todavía después de secar y enfriar la pasta es insostenible y se igualará durante los primeros días del almacenamiento, a medida que el interior pierde humedad hacia las regiones más externas. Como consecuencia, el interior intentará encogerse mientras que el exterior tratará de expandirse. Como el producto está ahora demasiado frío y seco para acomodar estos cambios dimensionales, el producto final termina teniendo tensiones internas. Si exceden la resistencia de la pasta en cualquier punto, se producirán grietas (Kill, 2004:169)

La geometría del producto puede afectar la aparición de grietas en dos formas. En primer lugar, cuando se trata de productos con espesor variable, es necesario ajustar la escala temporal de secado para alcanzar el mismo grado de equilibrio en la humedad; es decir, proporcional al cuadrado del espesor. En segundo lugar, la forma de los productos debe evitar que aparezcan regiones que puedan concentrar tensiones localmente, en las que se formen grietas en el producto incluso aunque el nivel medio de tensión sea aceptable. Los radios estrechos y las esquinas con dos entradas pueden dar lugar fácilmente a un incremento de cinco a diez veces en la tensión local. Los productos cuyas paredes tienen distinto espesor son especialmente proclives a la formación de grietas, ya que sus paredes encogerán a distinta velocidad (Kill, 2004:169)

El control de la temperatura durante el secado también es útil para modificar otras tres propiedades clave de la pasta: la textura tras la hidratación, el cocinado y el color

En un secadero con temperatura elevada, la coagulación de la proteína por el calor creará una red proteica permanente alrededor de los gránulos de almidón con una fuerza e integridad realzadas. Esto evitará que los gránulos de almidón pasen al agua de cocción y mejorará la firmeza y consistencia durante la masticación de la pasta después de la cocción (Desrosier, 1977:577).

Los tiempos cambian rápidamente y aunque el secado a alta temperatura de la pasta (alrededor de 75 °C) ha encontrado una aceptación general, existe una nueva tecnología consistente en aplicar temperaturas muy

elevadas (HHT, del inglés *ultra high temperatures*) que está ganando importancia en la tecnología del secado de la pasta (Baker, 1997:255)

Los principales objetivos que se persiguen con esta tecnología se pueden resumir como sigue a continuación:

- Poder emplear materias primas y mezclas de materias primas de origen modesto y, aún así, lograr productos finales de gran calidad.
- Continuar produciendo pasta a partir de trigo duro de la más alta calidad sin mermelada e incluso mejorándola.
- Duplicar la calidad del producto que se venía elaborando hasta la fecha por medio del proceso establecido a temperatura elevada. Un producto que hasta ahora había sido aceptado por el mercado y que es adecuado para la imagen de la compañía debe poder duplicarse exactamente cuando se empleen el equipo y la tecnología más modernos.
- Sobre todo, tales líneas de producción de vanguardia deben ofrecer a sus propietarios los mayores beneficios posibles con respecto a su inversión (Baker, 1997:255)

### C. Calidad de las pastas

La calidad de las pastas cocidas depende de varios factores como: estabilidad del color durante la cocción, absorción de agua, pérdida de sólidos en el agua de cocción y firmeza. Algunos factores que influyen la pérdida de sólidos han sido estudiados y se ha encontrado que la remoción de lípidos y proteínas ocasionan aumento de amilasa en el agua de cocción, observándose que la calidad de la pasta se ve más afectada por la remoción de proteínas que por la de lípidos. Se ha observado también que al sobrepasar los tiempos óptimos de cocción de las pastas, se tiene pérdida continua de firmeza y elasticidad. Esto se debe a los cambios de solubilidad de la proteína. Una pasta de calidad superior está relacionada con la proporción de proteína soluble (Canjura, 1987:7).

Al aumentar la cantidad de gluten, decrece la cantidad de sólidos en el agua de cocción y aumenta la extensibilidad. Para que el gluten se desarrolle, dando las características de plasticidad y elasticidad deseables en la pasta, debe considerarse la adición de no menos del 30% de agua al formarse la masa (Canjura, 1987:7).

Cuadro 1  
Valor nutritivo de varios tipos de pasta

	Tipo de pasta			
	Normal	Enriquecida con vitaminas	Pasta al huevo	Espaguetis cocidos
<b>Nutrientes</b>				
Calorías (kcal)	342	370	380	104
Proteína (g)	12	12.8	14	3.6
Grasa (g)	1.8	1.6	4.2	0.7
Carbohidratos (g)	74	74	75	22.2
Fibra dietética (g)	2.9	4.2	4.7	1.2
<b>Minerales(mg)</b>				
Calcio	25	17.5	29	7
Hierro	2.1	3.8	4.5	0.5
Magnesio	56	47	60	15
Fósforo	190	149	214	44
Potasio	250	161	233	24
Sodio	3	7	21	Trazas
Zinc	1.5	1.2	1.6	0.5
Cobre	0.32	0.2	0.3	0.1
Manganeso	0.9	0.7	0.7	0.3
<b>Vitaminas</b>				
Ácido ascórbico (mg)	0	0	0	0
Tiamina (mg)	0.22	1	1	0.01
Riboflavina (mg)	0.31	0.44	0.5	0.01
Niacina (mg)	3.1	7.5	8	0.5
Ácido pantoténico (mg)	0.3	0.43	0.7	Trazas
Vitamina B <sub>6</sub> (µg)	0.17	0.1	0.1	0.02
Ácido fólico (µg)	34	17.5	30	4
Vitamina B <sub>12</sub> (µg)	0	0	0.4	0
Vitamina A (ui)	0	0	61	0
Colesterol (mg)	0	0	94	0

(Canjura, 1987:10)

Figura 1  
Factores que afectan la calidad de la pasta



(Kill, 2004:324)

### III. JUSTIFICACIÓN

En el mercado actual existe gran variedad de productos entre los cuales el consumidor puede escoger al momento de realizar su compra, por lo que es necesario que el producto que desea comercializar la compañía posea factores adicionales a la buena calidad y precio accesible, que marquen una diferencia significativa para influir positivamente en la decisión final de los consumidores.

Por ello se debe buscar en los productos actuales características atractivas que aporten un valor agregado al producto, y con ello lograr que clientes actuales permanezcan fieles a la marca, así como también poder atraer nuevos clientes en otros sectores del mercado, sectores que buscan características más específicas en un producto y no solamente características de un producto de consumo masivo. En el caso de las pastas se puede considerar como valor agregado la adición de un sabor artificial, sin embargo las líneas actuales de producción carecen de la tecnología necesaria para la fabricación del nuevo producto, entonces es necesario el diseño de líneas con nuevas tecnologías capaces de satisfacer la demanda y que permitan añadir a las materias primas los sabores artificiales.

Además, con las actividades de las familias, se dedica menos tiempo para la preparación de alimentos, lo que los obliga a limitar sus opciones de compra a productos de fácil preparación que llenen sus expectativas tanto nutricionales como organolépticas, es decir, características de sabor, color, olor, textura, etc. que les permitan ahorrar tiempo pero que a su vez no signifiquen un aumento excesivo en el presupuesto familiar. Con esto se observa nuevamente la necesidad de la creación de un producto alimenticio que contenga un valor agregado para cumplir con las expectativas de los consumidores explicadas con anterioridad y por lo tanto la necesidad del diseño y montaje de nuevas líneas de fabricación para dicho producto.

Las pastas se conocen tradicionalmente como alimentos salados, sin embargo la creación del nuevo producto sabor a vainilla permite la innovación y la ampliación del mercado ya que la pasta dejaría de ser solamente un plato fuerte y se convertiría en una opción de postre, de esta forma la empresa puede cumplir su función de crear valor para los accionistas, a través de la explotación de nuevos mercados.

## IV. OBJETIVOS

### A. General

Diseñar una línea de producción de pasta alimenticia, tipo corta con sabores a: especias, chile habanero y vainilla para satisfacer las expectativas de los consumidores a través de la creación de un producto innovador.

### B. Específicos

1. Seleccionar y dimensionar el equipo necesario para el proceso, desde almacenamiento de materia prima hasta la obtención del producto terminado.
2. Determinar el equipo auxiliar necesario para la operación de la línea.
3. Determinar la distribución de la maquinaria en el área de la planta de producción.
4. Determinar la formulación y propiedades organolépticas del nuevo producto.
5. Determinar la factibilidad de la producción de pasta corta con sabores a especias, chile habanero y vainilla.

## V. PROBLEMA A RESOLVER

Actualmente no se explota el mercado de pastas con sabores por parte de la empresa, debido a que sus líneas de producción no cuentan con la capacidad para fabricar dichos productos. Debido a esto se encuentra frente a un mercado insatisfecho que busca cubrir sus expectativas adquiriendo productos de otras marcas.

## VI. METODOLOGÍA

### A. Formulación del producto

1. **Pruebas Laboratorio.** Tiene por objetivo, determinar la concentración de sabor adecuada en la pasta, que satisfaga las expectativas del consumidor. El procedimiento a seguir es:
  - Preparación de pasta en forma casera. Las pruebas de concentración se inician con la concentración recomendada por el proveedor.
  - La pasta se deja secar en condiciones ambientales por 5 horas.
  - Después del tiempo de secado, se realiza la cocción y degustación. Se recaban las observaciones de las personas que realizan la degustación para determinar si el sabor es agradable o no.
  - Si la prueba resulta insatisfactoria, se prepara la pasta, aumentando la concentración del sabor en 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 % (p/p). Se sigue el procedimiento de secado y cocción y se repiten las degustaciones.
  - El procedimiento de aumento de concentración se sigue, hasta que la mayor cantidad de personas se encuentren satisfechas.
  
2. **Pruebas en planta piloto.** Tiene por objetivo, simular las condiciones de una línea de producción para verificar la resistencia térmica del sabor y realizar un panel sensorial para recabar información que indique si el sabor es adecuado o se debe realizar algún tipo de cambio.
  - La mezcla de los ingredientes (harina, sabor, demás) se realiza en forma manual.
  - La preparación de la masa se lleva a cabo en una prensa pequeña automática. (aclarar bien este punto)
  - El secado de la pasta se lleva a cabo en un horno a 75°C durante 1.5 horas.
  - Realizar un panel sensorial con 10 personas. Recabar las observaciones indicadas por los panelistas e interpretar la información obtenida. Si el análisis de resultados es insatisfactorio, es decir, la pasta no es agradable, se debe regresar a las pruebas de laboratorio para realizar las correcciones necesarias.

## B. Diseño de línea y estudio técnico

En base a los resultados que se obtengan del estudio de mercado (el cual se describe en la siguiente sección) se determinara la demanda del producto y con esto se dimensionara el equipo necesario para la producción de la pasta. Debido a que el secado es la parte más crítica del proceso, se diseñará el secador. Solicitar cotizaciones de equipo a los proveedores para cuantificar la inversión que se debe realizar.

Diseñar el equipo auxiliar como bombas, ventiladores de aire, intercambiador de calor para el calentamiento del aire, sistema de control, entre otros. Determinar, en base al layout de planta, el lugar más adecuado para la instalación de la nueva línea. Por último, especificar las necesidades de mano de obra para la puesta en marcha de la línea de producción.

## C. Estudio de Mercado

El primer paso es realizar tres grupos de enfoque, con la finalidad de determinar el nivel de aceptabilidad del producto. Se seleccionará como grupos de enfoque mujeres que trabajen, mujeres que se dediquen únicamente a ser amasa de casa y el último será de hombres trabajadores. Posteriormente se estudiará el consumo histórico de pasta y las ventas de la compañía y de la competencia para determinar la demanda del producto.

## D. Estudio Económico

Con la información obtenida del estudio técnico y del estudio de mercado, se sistematiza la información y se emplean diferentes técnicas de análisis financiero para construir el flujo de caja y determinar la factibilidad del proyecto, tiempo de recuperación de capital y la rentabilidad de la producción de la pasta.

## VII. RESULTADOS

### A. Estudio técnico

#### 1. Producto

Cuadro 2

Formulación del producto sabor a vainilla para la obtención de 100 kg de producto terminado

Ingrediente	Peso (kg)
Harina de trigo	87.06
Vainilla	0.44
Agua potable	37.50

Cuadro 3

Formulación del producto sabor a chile para la obtención de 100 kg de producto terminado

Ingrediente	Peso (kg)
Harina de trigo	84.70
Chile	0.25
Agua potable	37.50

Cuadro 4

Formulación del producto sabor a especias para la obtención de 100 kg de producto terminado

Ingrediente	Peso (kg)
Harina de trigo	85.03
Especias	0.77
Agua potable	37.50

Cuadro 5

Perfil sensorial de la pasta sabor a vainilla

Descriptor	Detalles
Apariencia física	El producto terminado no debe tener manchas, ni grietas, de apariencia uniforme, sin deformaciones, ni las figuras quebradas.
Color	Amarillo ámbar
Textura	Firme, liso, al dente (después de la cocción)
Adhesividad	Nula
Olor	Dulce, con notas a vainilla
Sabor	Dulce a vainilla, con notas frutales y ligeramente amargo
Aroma	Suave a vainilla

Cuadro 6  
Perfil sensorial de la pasta sabor a chile

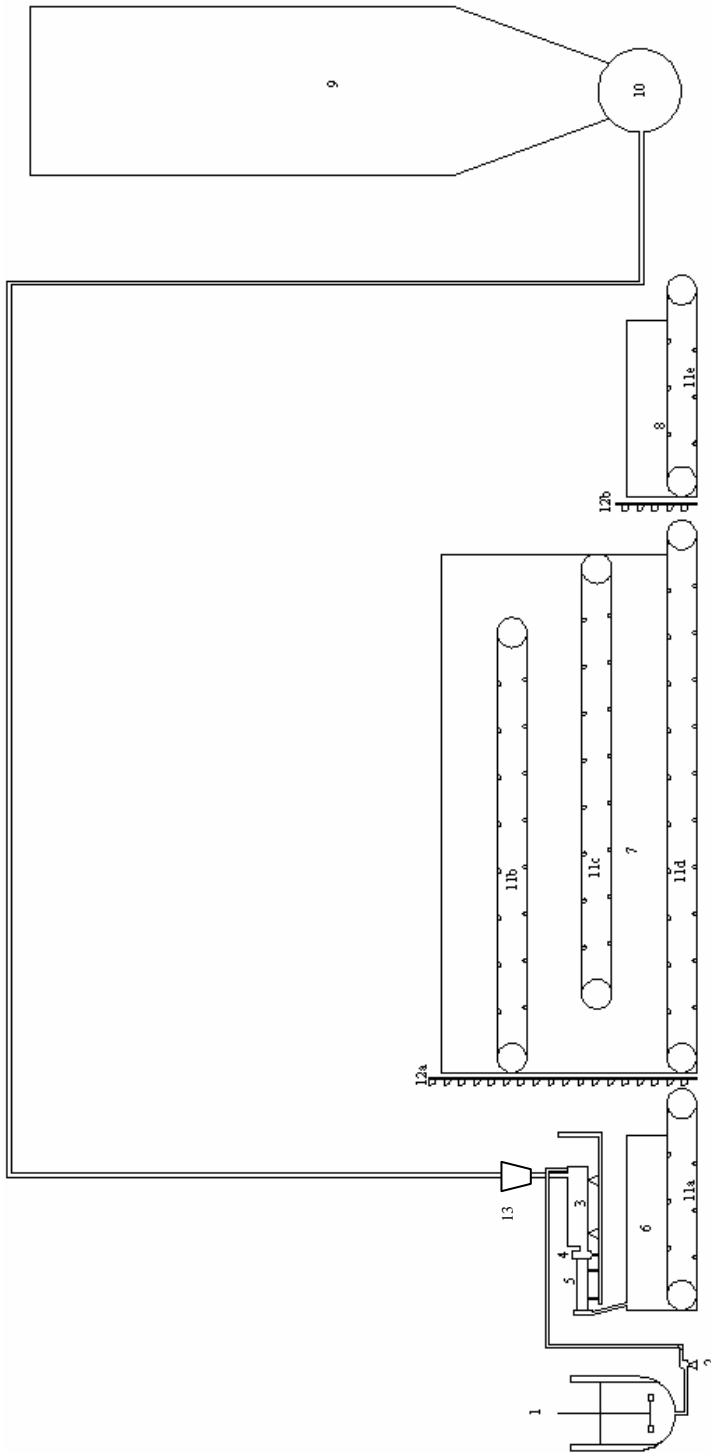
Descriptor	Detalles
Apariencia física	El producto terminado no debe tener manchas, ni grietas, de apariencia uniforme, sin deformaciones, ni las figuras quebradas.
Color	Amarillo ámbar
Textura	Firme, liso, al dente (después de la cocción)
Adhesividad	Nula
Olor	Picante, irritante, chile
Sabor	Picante a chile
Aroma	Chile con notas dulces

Cuadro 7  
Perfil sensorial de la pasta sabor a especias

Descriptor	Detalles
Apariencia física	El producto terminado no debe tener manchas, ni grietas, de apariencia uniforme, sin deformaciones, ni las figuras quebradas.
Color	Amarillo ámbar
Textura	Firme, liso, al dente (después de la cocción)
Adhesividad	Nula
Olor	Especias, predominante el orégano, notas a romero.
Sabor	Salado a especias, mayormente a orégano, ligeramente picante.
Aroma	Especias, orégano y ajo.

2. Línea de producción

Figura 2  
Línea de producción de pasta corta con sabores artificiales



Cuadro 8  
Listado de equipo

No.	Equipo
1	Tanque de agitación de 5.19 m <sup>3</sup>
2	Bomba centrífuga de 2 x 3 x 6 in
3	Mezclador helicoidal
4	Distribuidora de masa
5	Tornillo de extrusión
6	Pre-secador
7	Secador
8	Enfriador
9	Silo de harina para almacenamiento de 72,000 kg
10	Sistema neumático de transporte a presión positiva
11 a	Banda transportadora dentro del pre-secador de 4.50 m de longitud
11 b	Banda transportadora dentro del secador en el nivel 1 de 10.00 m de longitud.
11 c	Banda transportadora dentro del secador en el nivel 2 de 10.00 m de longitud.
11 d	Banda transportadora dentro del secador en el nivel 3 de 12.50 m de longitud
11 e	Banda transportadora dentro del enfriador de 4.50 m de longitud
12 a	Sistema de cangilones de 6.30 m de altura
12 b	Sistema de cangilones de 1.90 m de altura
13	Ciclón

Figura 3  
Distribución de maquinaria en la planta

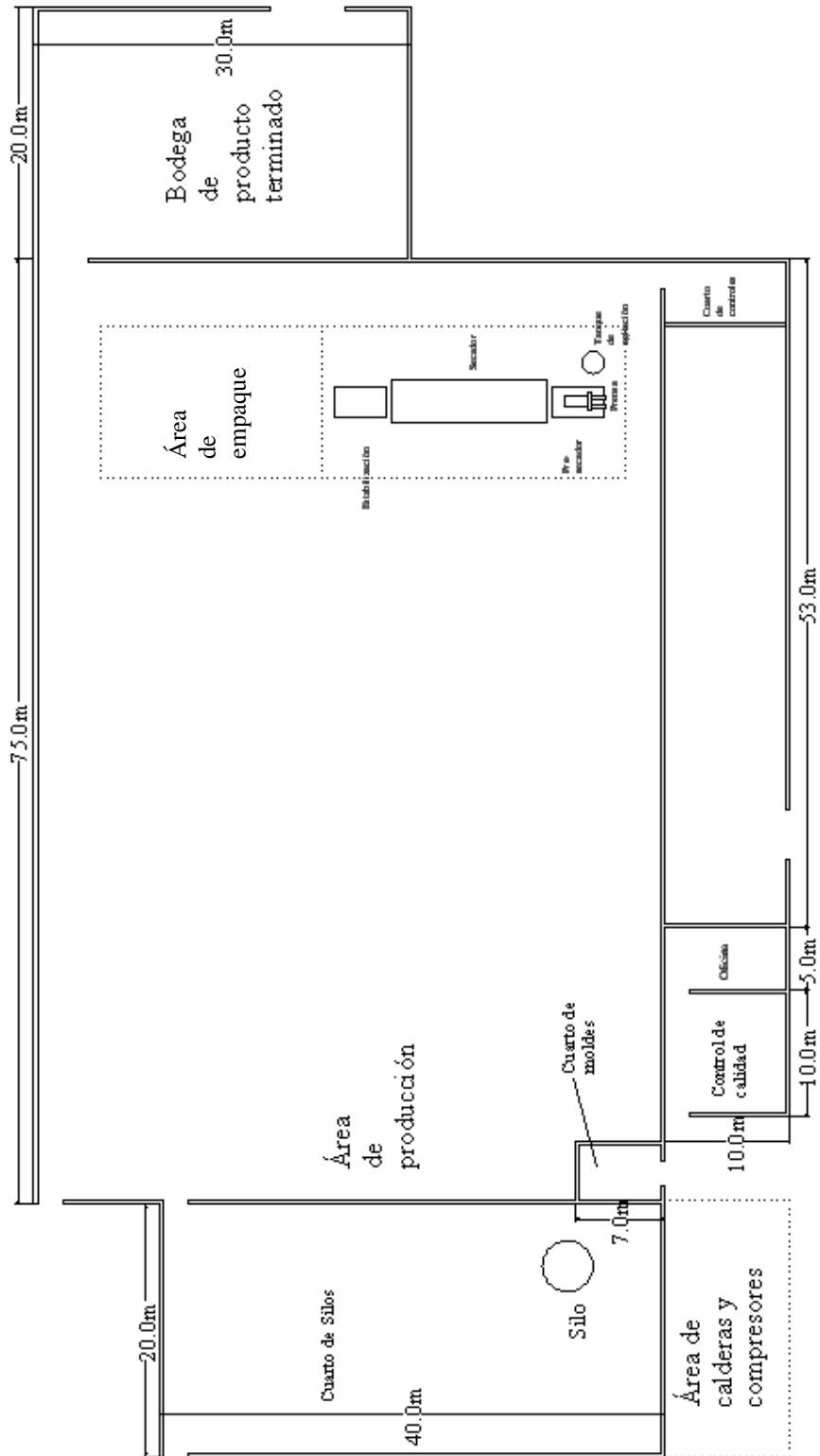
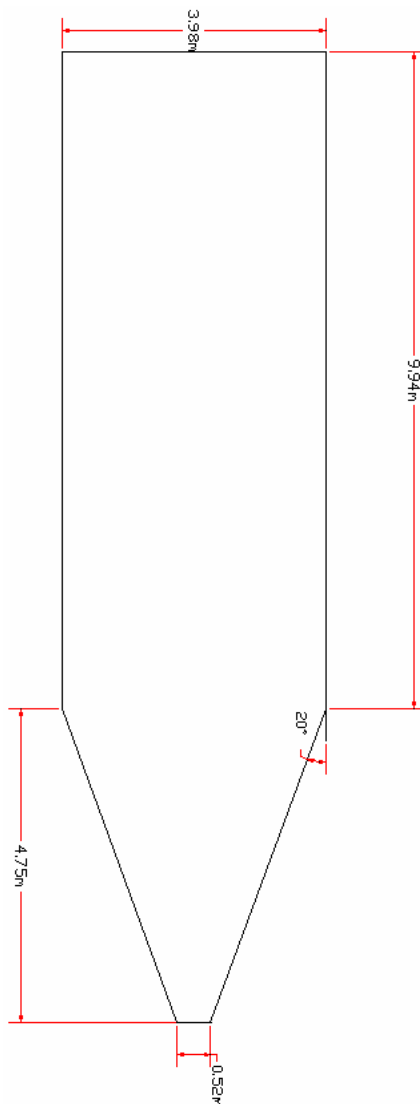


Figura 4  
Silo de almacenamiento de harina

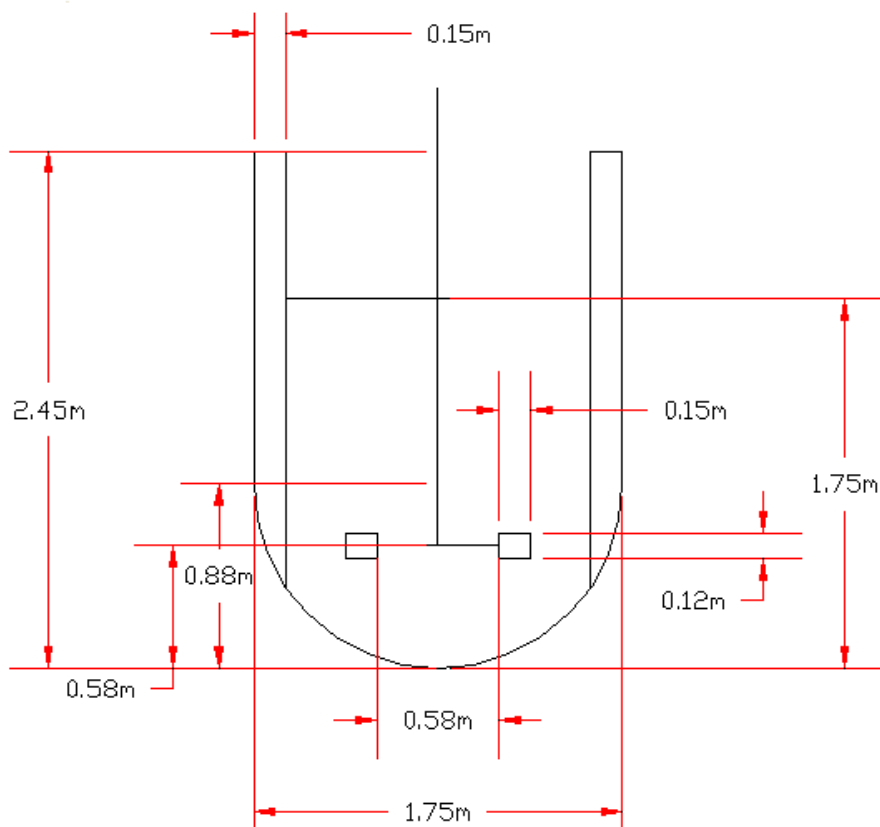


Cuadro 9

Especificaciones del silo de almacenamiento de harina

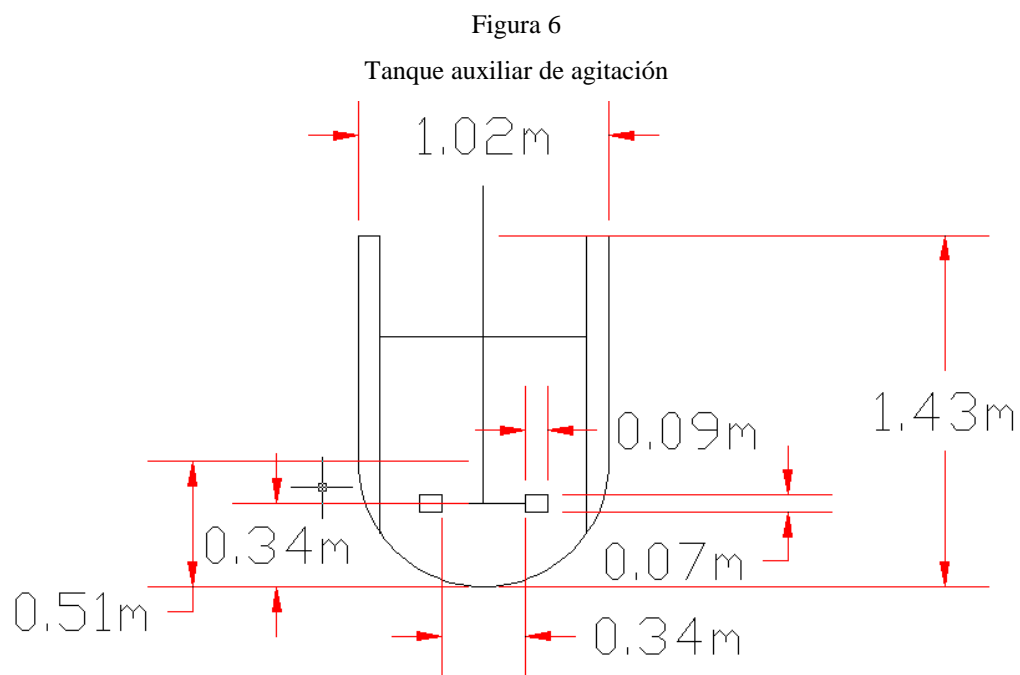
Cuerpo del Silo	Diámetro	3.98 m
	Altura	9.94 m
	Volumen	124.17 m <sup>3</sup>
Tolva	Diámetro de descarga	0.52 m
	Altura	4.75 m
	Volumen	21.91 m <sup>3</sup>
	Ángulo	20 °
Material de construcción		Acero al carbón

Figura 5  
Tanque de agitación



Cuadro 10  
Especificaciones del tanque de agitación

Dimensiones del cuerpo del tanque	Diámetro	1.75 m
	Altura total	2.45 m
	Radio semi-esfera	0.87 m
	Ancho de los baffles	0.15 m
Dimensiones del agitador	Altura del agitador	0.58 m
	Diámetro del agitado	0.58 m
	Altura de las paletas	0.12 m
	Largo de las paletas	0.15 m
Especificaciones de motor	Velocidad de giro	90 rpm
	Potencia	1.82 kW
	Potencia	2.44 hp
Material de construcción	Acero inoxidable 316	



Cuadro 11

## Especificaciones del tanque auxiliar de agitación

Dimensiones del cuerpo del tanque	Diámetro	1.02 m
	Altura total	1.43 m
	Radio semi-esfera	0.51 m
	Ancho de los baffles	0.09 m
Dimensiones del agitador	Altura del agitador	0.34 m
	Diámetro del agitador	0.34 m
	Altura de las paletas	0.07 m
	Largo de las paletas	0.09 m
Especificaciones de motor	Velocidad de giro	90 rpm
	Potencia	0.39 kW
	Potencia	0.52 hp
Material de construcción	Acero inoxidable 316	

Cuadro 12

Especificaciones de la bomba de alimentación a la mezcladora

Potencia de la bomba	279.60 W
Potencia del motor	372.10 W
Potencia del motor	0.50 hp
Dimensiones	2 x 3 x 6 in
Velocidad de giro	1750 rpm
Tipo de bomba	Centrífuga
Válvula de control de flujo	Válvula de globo

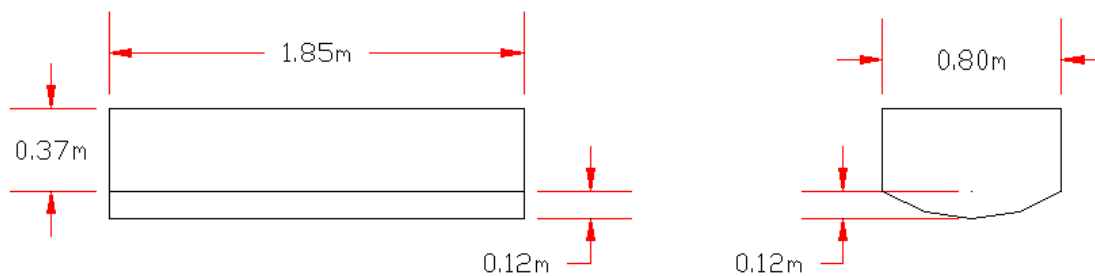
Cuadro 13

Especificaciones del transporte neumático de harina

Diámetro de la tubería	0.10 m
Potencia del compresor	41.13 kW
Presión interna	206.78 kPa
Flujo de aire	0.29 kg/s
Flujo de harina	0.36 kg/s
Longitud horizontal	69.00 m
Longitud vertical	20.00 m
Accesorios	3 codos a 90°
Válvula de alimentación	Rotatoria
Material de construcción	Acero Inoxidable 316

Figura 7

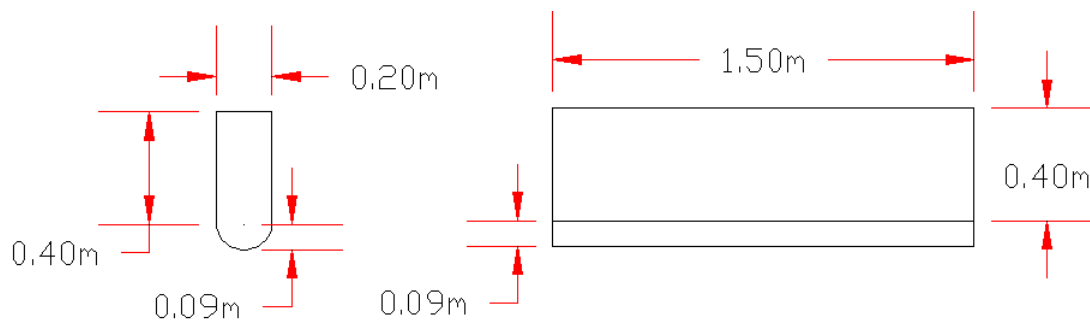
Mezcladora de harina



Cuadro 14  
Especificaciones de la mezcladora

Longitud	1.85 m
Ancho	0.80 m
Altura	0.37 m
Radio	0.12 m
Potencia de motor	5.5 kW
Potencia de motor	7.4 hp
Material de construcción	Acero inoxidable 316

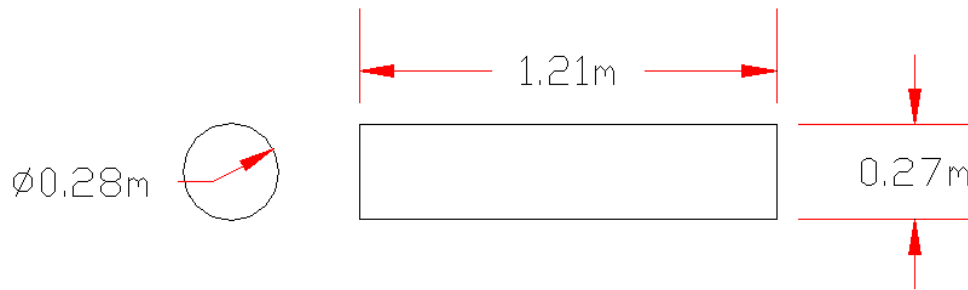
Figura 8  
Distribuidora de masa



Cuadro 15  
Especificaciones de la distribuidora de masa

Longitud	1.50 m
Ancho	0.26 m
Altura	0.30 m
Radio	0.07 m
Potencia de motor	3.0 kW
Potencia de motor	4.0 hp
Material de construcción	Acero inoxidable 316

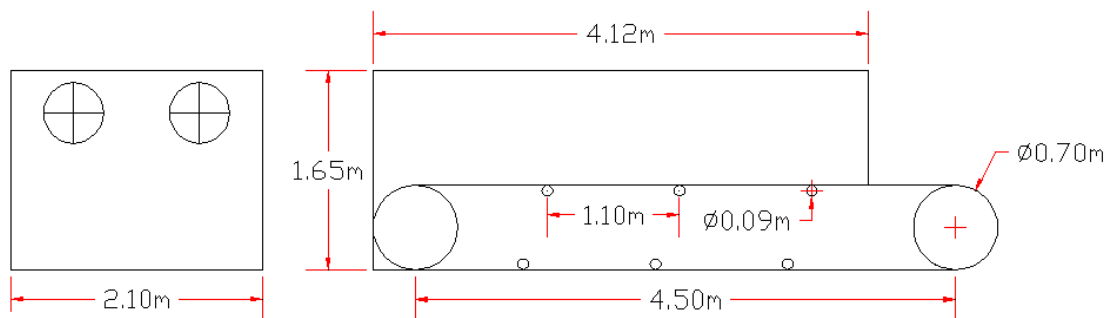
Figura 9  
Tornillo de extrusión



Cuadro 16  
Especificaciones del tornillo de extrusión

Largo	1.21 m
Diámetro	0.275 m
Velocidad de giro	82.92 rpm
Potencia	27.90 kW
Potencia	37.39 hp
Material de construcción	Acero inoxidable 316

Figura 10  
Pre-secador de pasta



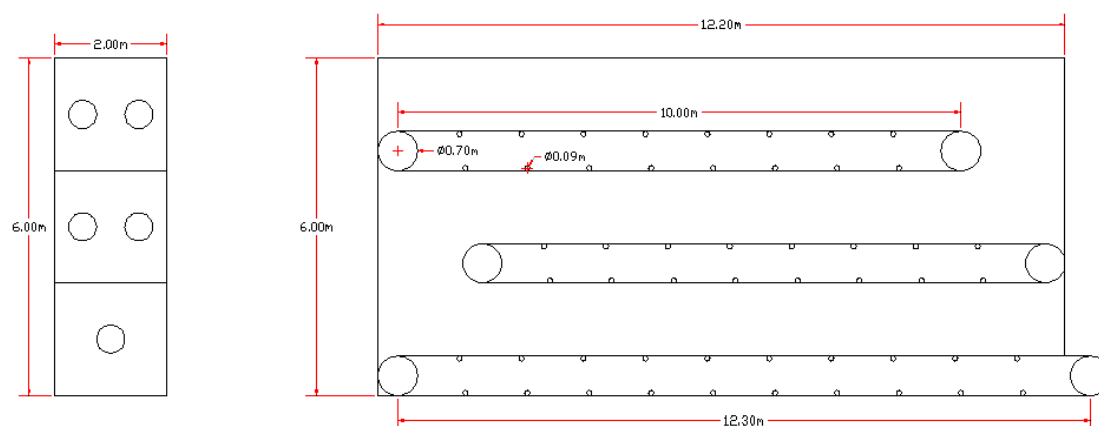
Cuadro 17  
Especificaciones del pre-secador

Dimensiones	Largo	4.12 m
	Ancho	2.10 m
	Altura	4.50 m
Condiciones del aire	Flujo	10,724.40 kg/h
	Flujo	11,004.30 m <sup>3</sup> /h
	Temperatura de entrada	40 °C
	Potencia del ventilador	6.63 kW
Calentamiento de aire	Requerimiento de vapor	77.33 kg/h
	Temperatura del vapor	120 °C
	Estado	Saturado
Otras especificaciones	Número de ventiladores	2
	Material de construcción	Acero inoxidable 316

Cuadro 18  
Especificaciones de la banda transportadora dentro del pre-secador

Longitud	4.50 m
Ancho	1.40 m
Longitud de rodillos	1.60 m
diámetro de rodillos	0.09 m
Peso de rodillos	14.88 kg
Separación entre rodillos	1.10 m
Longitud de tambor	1.60 m
Diámetro del tambor	0.70 m
Potencia motor	0.61 kW
Potencia motor	0.83 hp

Figura 11  
Secador de pasta



Cuadro 19  
Especificaciones del secador

Dimensiones	Largo	12.20 m
	Ancho	2.00 m
	Altura	6.00 m
Condiciones del aire en el nivel 1 de secado	Flujo	15,058.89 kg/h
	Flujo	15,451.93 m <sup>3</sup> /h
	Temperatura de entrada	50 °C
	Potencia del ventilador	10.07 kW
Condiciones del aire en el nivel 2 de secado	Flujo	6986.20 kg/h
	Flujo	7168.54 m <sup>3</sup> /h
	Temperatura de entrada	60 °C
	Potencia del ventilador	4.11 kW
Condiciones del aire en el nivel 3 de secado	Flujo	3193.69 kg/h
	Flujo	3277.05 m <sup>3</sup> /h
	Temperatura de entrada	60 °C
	Potencia del ventilador	1.82 kW
Calentamiento de aire	Requerimiento de vapor	176.3 kg/h (nivel 1) 114.51 kg/h(niveles 2 y 3)
	Temperatura del vapor	120 °C
	Estado	Saturado
Otras especificaciones	Número de ventiladores	2 ventiladores para los niveles 1 y 2 1 ventilador para el nivel 3
	Material de construcción	Acero inoxidable 316

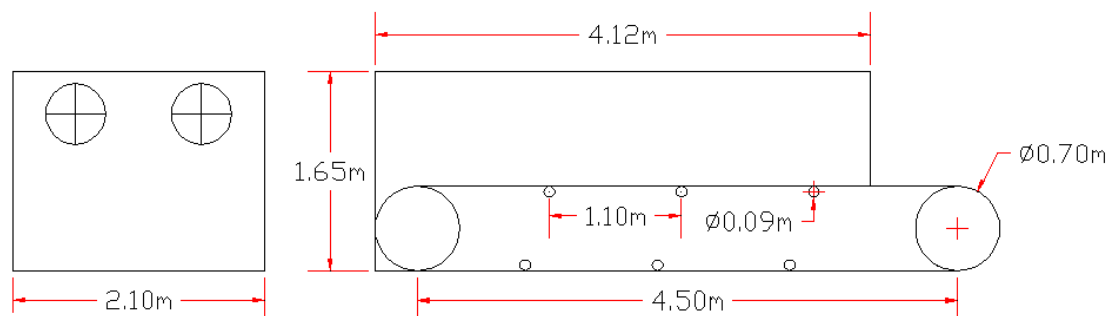
Cuadro 20

Especificaciones de la banda transportadora dentro del secador

Longitud nivel 1 y 2	10.00 m
Longitud niveles 3	12.50 m
Ancho	1.40 m
Longitud de rodillos	1.60 m
Diámetro de rodillos	0.09 m
Peso de rodillos	14.88 kg
Separación entre rodillos	1.10 m
Longitud de tambor	1.60 m
Diámetro del tambor	0.70 m
Potencia motor nivel 1	0.76 kW
Potencia motor nivel 2	0.70 kW
Potencia motor nivel 3	0.66 kW

Figura 12

Enfriador de pasta



Cuadro 21

Especificaciones del enfriador

Dimensiones	Largo	4.12 m
	Ancho	2.10 m
	Altura	4.50 m
Condiciones del aire	Flujo	1,795.39 kg/h
	Flujo	1,842.25 m <sup>3</sup> /h
	Temperatura de entrada	25 °C
	Potencia del ventilador	0.88 kW
Otras especificaciones	Número de ventiladores	2
	Material de construcción	Acero inoxidable 316

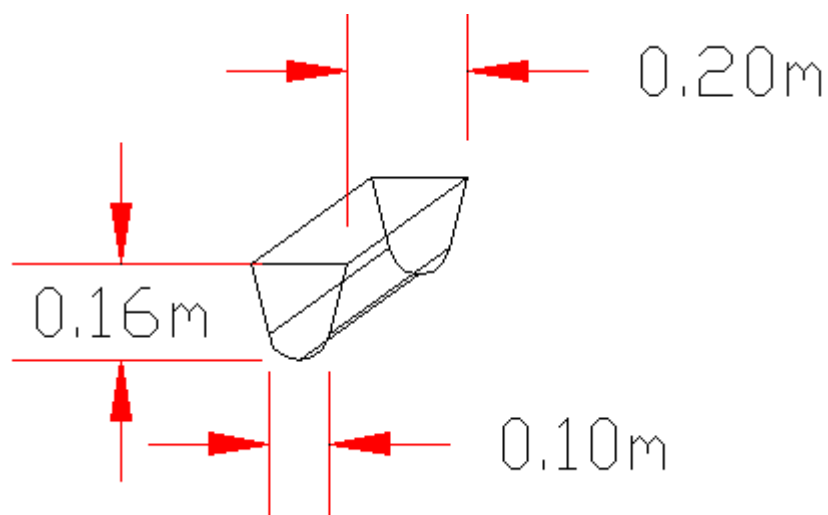
Cuadro 22

Especificaciones de la banda transportadora dentro del enfriador

Longitud	4.50 m
Ancho	1.40 m
Longitud de rodillos	1.60 m
diámetro de rodillos	0.09 m
Peso de rodillos	14.88 kg
Separación entre rodillos	1.10 m
Longitud de tambor	1.60 m
Diámetro del tambor	0.70 m
Potencia motor	0.50 kW
Potencia motor	0.67 hp

Figura 13

Dimensiones del cangilón



Cuadro 23

Especificaciones de sistema de cangilones del pre-secador al secador

Altura cangilón	0.16 m
Ancho cangilón	0.16 m
Largo cangilón	0.20 m
Radio de la base	0.05 m
Altura a transportar	6.30 m
Velocidad de avance	0.53 m/s
Potencia	0.45 kW

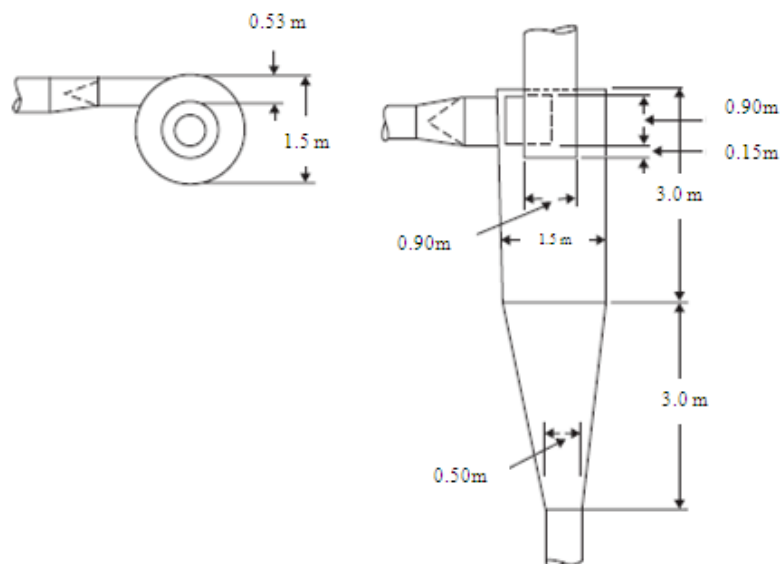
Cuadro 24

Especificaciones del sistema de cangilones del secador al enfriador

Altura cangilón	0.16 m
Ancho cangilón	0.16 m
Largo cangilón	0.20 m
Radio de la base	0.05 m
Altura a transportar	1.9 m
Velocidad de avance	0.44 m/s
Potencia	0.32 kW
Potencia	0.43 hp

Figura 14

Dimensiones del ciclón de separación de aire/harina

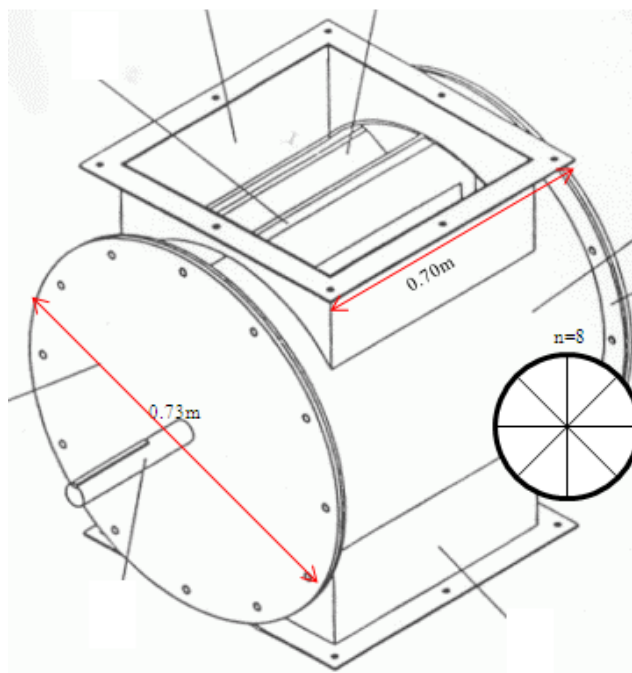


Cuadro 25

Especificaciones del ciclón de separación de aire/harina

Diámetro principal	1.50 m
Largo	6.00 m
Diámetro tubería alimentación	0.53 m
Diámetro salida de sólidos	0.50 m
Diámetro salida de aire	0.90 m

Figura 15  
Dimensiones de la válvula rotativa



Cuadro 26

Especificaciones de la válvula rotativa

Flujo	0.36 kg/s
Volumen del recipiente	0.10 m <sup>3</sup>
Número de recipientes	8
Velocidad de rotación	0.08 1/min
Eficiencia de llenado	50.0 %

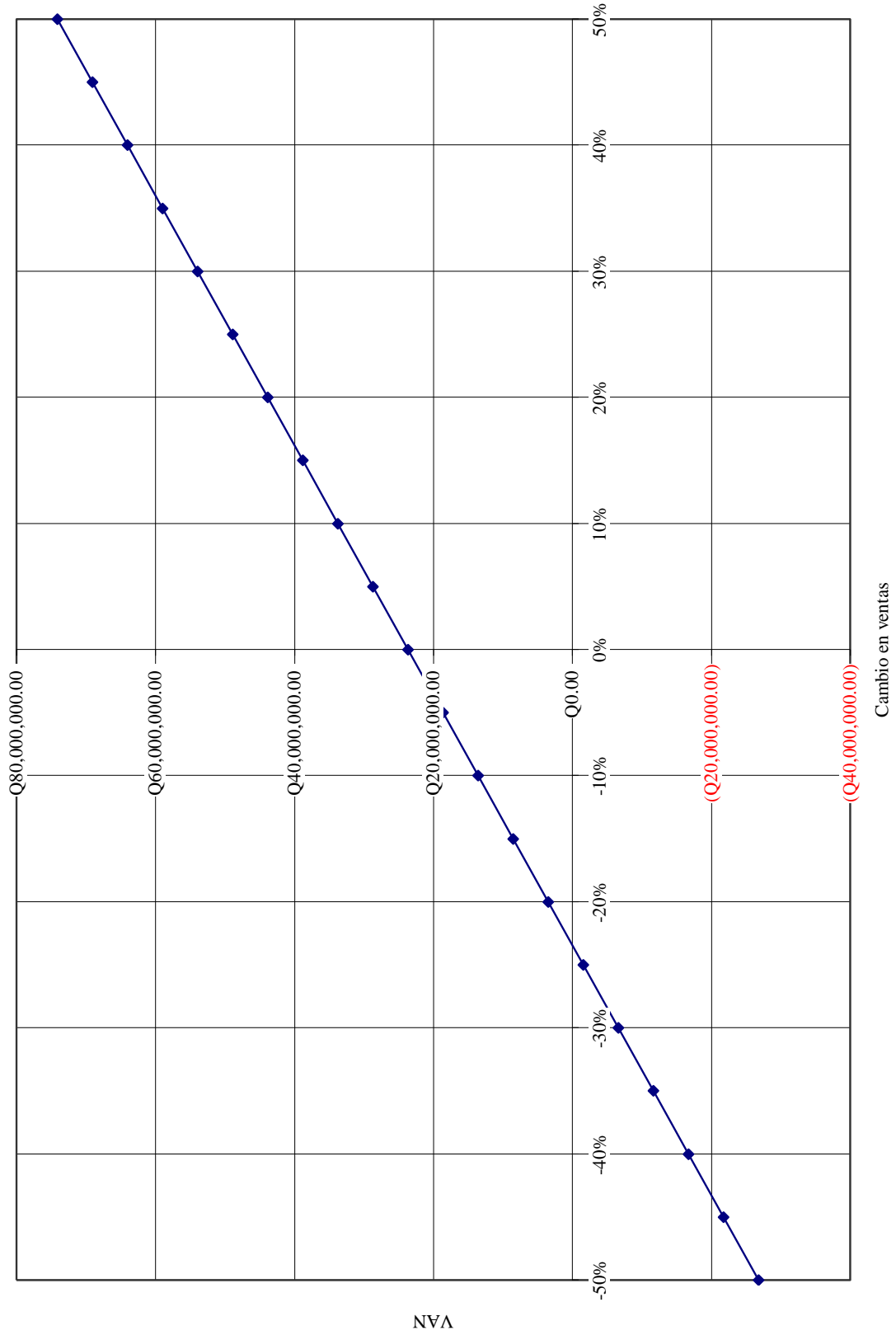
## B. Estudio económico

Cuadro 27

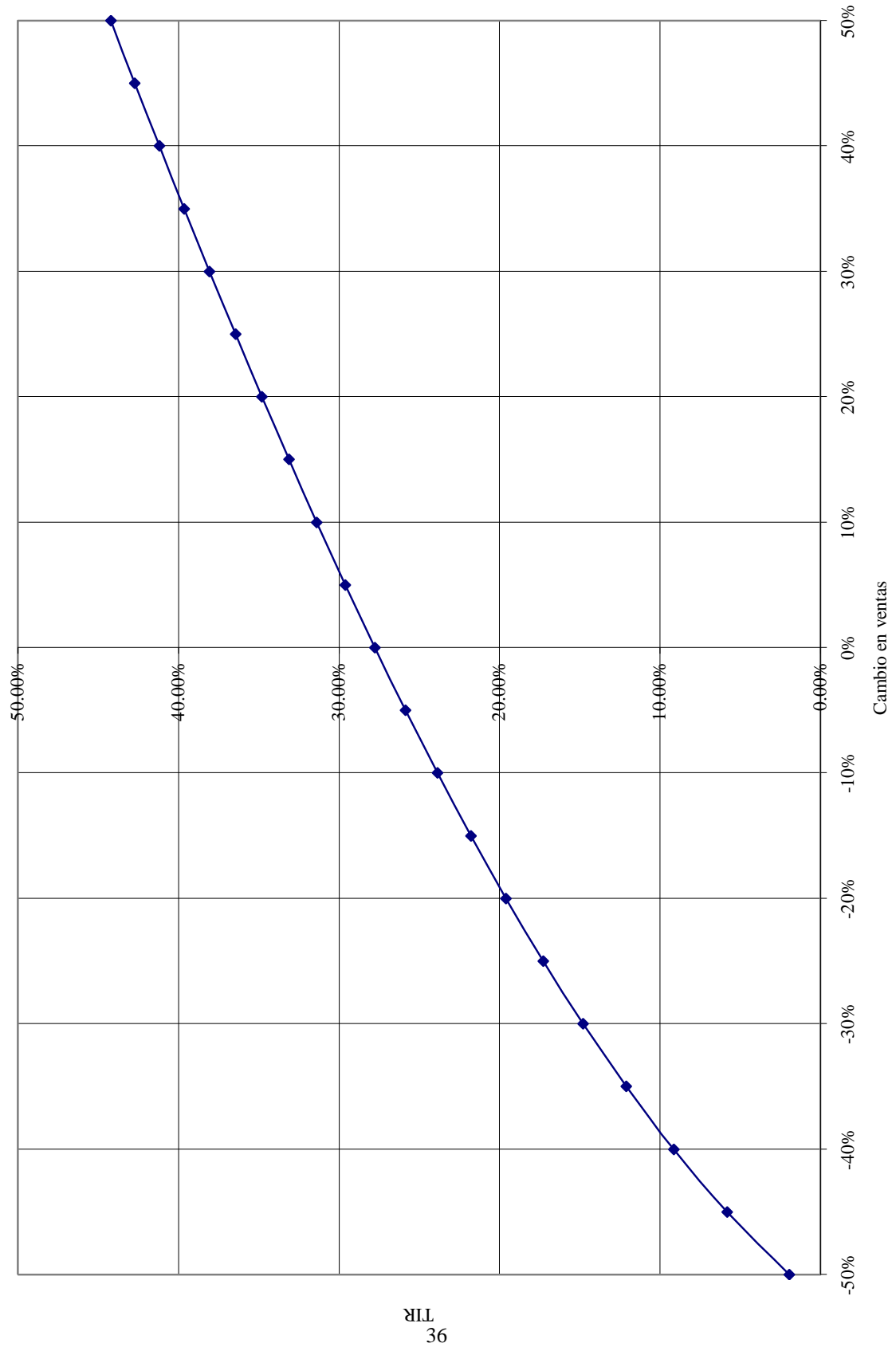
Análisis de viabilidad del proyecto

Indicador	Valor
Valor actual neto	Q27,933,189.94
Tasa interna de retorno	27.75%
Periodo de Recuperación de capital	7 años

Gráfica 1  
Cambios en el VAN al modificar la cantidad de ventas



Gráfica 2  
Cambios en la TIR al modificar la cantidad de ventas



## VIII. DISCUSIÓN

El objetivo de la investigación es diseñar una línea de producción de pasta alimenticia, tipo corta con sabores a: especias, chile habanero y vainilla para satisfacer las expectativas de los consumidores a través de la creación de un producto innovador y atraer nuevos clientes a la empresa. Para cumplir con esto, es necesario seleccionar y dimensionar el equipo para el proceso, desde almacenamiento de materia prima hasta la obtención del producto terminado, determinar la formulación del producto y la factibilidad de su producción y comercialización.

En los Cuadros 2 a 4 (pág 18) de la sección de resultados, se muestra la formulación de cada producto para obtener 100 kg de producto terminado, se puede observar que la suma de las masas de la formulación resulta en más de 100 kg, esto porque la cantidad de agua que se agrega es la necesaria para formar la masa sin embargo, durante el proceso parte del agua es evaporada para obtener la pasta seca. Para llegar a los valores reportados, fue necesario seguir un procedimiento de experimentación, en el cual a nivel laboratorio se preparó pasta fresca a diferentes concentraciones, y se determinó cuales eran los sabores que permanecían en la pasta después de la cocción, cuál es el umbral de percepción de cada sabor y cuál es la formulación cuyo costo de materia prima y de producción sea el mínimo posible, pero que sobre todo el consumidor final logre percibir el sabor deseado en la pasta y sea agradable, ganando su fidelidad como cliente.

Para comprobar esto fue necesario determinar el perfil sensorial de cada pasta con un panel de jueces entrenados y los resultados se muestran en los cuadros 5 a 7 (págs 18 y 19), en ellos se observa que en forma general las características visuales y de textura son las mismas para los tres sabores, el cliente espera que el color sea el mismo al de una pasta sin sabor, la firmeza adecuada después de la cocción, que el producto sea atractivo, es decir que no tenga ningún tipo de contaminación visual (manchas, agrietamiento o burbujas), que sea de la forma correcta y de las dimensiones adecuadas, además que sea fácil de digerir que no se adhiera a los dientes y que las Figuras antes y después de la cocción permanezcan con su forma, por ejemplo, si se trata de un codito que no se reviente después de la cocción o que los tornillos no se partan por la mitad al momento de introducir el cubierto entre la pasta, etc.

Respecto a las propiedades de sabor, olor y aroma de cada uno de los productos el consumidor espera que tanto el olor, el aroma y el sabor sean los que se le indica en el paquete. Los resultados muestran que estas tres propiedades fueron percibidas por los panelistas por lo que no fue necesario realizar cambio alguno a la formulación propuesta.

En las Gráficas 3 a 5 (págs 111 a 113) se muestra el nivel de satisfacción del cliente interno, medido de forma cuali/cuantitativa, ya que a pesar de que el gusto percibido por el evaluador, recibe una calificación,

esta solo es un indicador de si las propiedades del producto le gustan o no. Como se muestra en la Gráfica 3 (pág 111), el 79% de los clientes encuentran agradable o muy agradable el producto sabor a vainilla, el 13% lo encuentra medianamente agradable y como se puede observar en la sección de anexos, los clientes en su mayoría indicaron que el producto no estaba mal o le faltara algo, simplemente su gusto por la vainilla es poco o nulo. Únicamente el 8% de los clientes evaluados indican que la pasta sabor a vainilla le resulta no agradable.

En la Gráfica 4 (pág 112) se indican los resultados de la pasta sabor a chile el 37% indica que la pasta le es muy agradable, el 31% medianamente agradable y para el 32% es poco agradable, esto se puede deber a que en nuestra gastronomía, comúnmente las personas no están acostumbradas a agregar picante a sus comidas, por lo que este producto debe ser sometido a evaluaciones más exhaustivas de propiedades sensoriales para los consumidores finales o puede ser comercializado en la zona de México en donde la marca se encuentra presente en ese mercado, ya que se trata de una cultura que se encuentra acostumbrada a consumir comidas picantes.

La Gráfica 5 (pág 113) muestra que el 69% de las personas se encuentran satisfechas con el sabor del producto, el 12% se encuentra medianamente satisfecho y sugiriendo que se agregue más sal al producto o sea servido con una salsa y al 19% de las personas no les agrado el sabor. Respecto a la concentración de sal en el producto, como se observa en la última Gráfica 9 los valores de agregar sal o no agregar sal se encuentran muy cercanos, por lo que fue necesario realizar un nuevo panel sensorial para determinar esta propiedad, agregando diferentes proporciones de sal durante la cocción y se obtuvo al final que el cliente prefiere el producto sin sal para que el mismo al momento de prepararlo pueda hacerlo al gusto personal.

La siguiente sección de resultados trata sobre la línea de producción, su distribución en el área de la planta y el diseño y dimensionamiento del equipo necesario. En la Figura 2 (pág 20) se muestra la línea de producción con cada uno de los equipos que se deben utilizar. En la Figura 3 (pág 22) se indica el área en la cual se debe instalar la nueva línea y el silo de almacenamiento de harina. Se cuenta con un área de 900 m<sup>2</sup> en el área de producción, de los cuales se ocuparán 499.44 m<sup>2</sup> tanto para la línea de manufactura como para el empaque del producto terminado, y haciendo las consideraciones respectivas para dejar espacio suficiente a los alrededores del equipo para realizar cualquier trabajo de mantenimiento. El layout también indica la posición en la que se instalará el silo de harina, así como la ubicación de las calderas sistemas de vacío y compresores, es de aclarar que no fue necesario el diseño de estos equipos, ya que la capacidad de los equipos actuales es suficiente como para suplir los requerimientos de vapor, de vacío y de aire de la nueva línea, como se explicará más adelante, del aire solamente se calculó la potencia necesaria para el transporte neumático de la harina hacia la línea de producción.

El primero equipo que se muestra en los resultados es el silo de harina que tiene una capacidad de almacenamiento de 72,000 kg, cantidad suficiente para asegurar la continuidad de la alimentación de harina a la línea de producción durante 48 horas consecutivas. Este valor fue asignado únicamente con fines de seguridad, ya que el molino de la planta se encuentra en un proceso continuo de producción de harina, alimentado los silos de almacenamiento las 24 horas del día, sin embargo si el molino presenta alguna falla o se encuentra en mantenimiento, se debe asegurar que la producción de la pasta continúe. No se asigna un valor más grande de almacenamiento, ya que la harina se encuentra naturalmente en peligro de sufrir ataque de plagas de gorgojos, por lo que si se llegara a encontrar contaminación dentro del silo, es necesario desechar la materia prima y en caso de ser el silo más grande, la cantidad desechada sería mucho mayor produciendo mayores pérdidas económicas a la compañía. El silo es construido en acero al carbón, ya que durante el almacenamiento de la harina, ésta no presenta peligro de contaminación por contacto con este material, además el interior del silo debe ser recubierto con pintura epóxica y debe ser inspeccionado cada 6 meses ya que por la fricción que ocasiona el paso continuo de la harina la pintura puede resquebrajarse y pasar a las líneas de proceso, por lo que si se encuentra algún defecto durante las inspecciones deben ser cubiertas inmediatamente.

El siguiente equipo es el tanque de agitación, en el cual se lleva a cabo la operación de mezclado del agua de proceso con el sabor. Este tanque cuenta con una capacidad de 6.61 m<sup>3</sup>, volumen que asegura la alimentación de la solución a la mezcladora por 10 horas, después de este tiempo el tanque debe volverse a llenar con la cantidad de agua y sabor necesarios para la producción de otras 10 horas. Si se necesita cambiar de sabor, el tanque debe lavarse adecuadamente para evitar la contaminación cruzada de los productos. Durante el tiempo en que el tanque se encuentra ya sea en limpieza o en llenado, es necesario que el proceso continúe, por lo que se diseñó un tanque auxiliar con la capacidad de alimentar la cantidad de solución de sabor necesaria para 2 horas de producción, esto como motivo de seguridad para que por cualquier imprevisto, el tanque principal puede recibir mantenimiento, limpieza o el tiempo para la preparación del nuevo batch. El tanque secundario tiene una capacidad de 1.32 m<sup>3</sup>. Todos los equipos deben ser construidos de acero inoxidable 316 ya que se encuentran en contacto directo con el agua de proceso, el producto y aire, por lo que pueden sufrir oxidación o corrosión y se debe evitar que se contamine el producto final.

La harina, por tratarse de un sólido cuyo tamaño de partícula de más del 80% entre 180 y 400 µm debe ser transportada en un sistema neumático para evitar pérdidas al ambiente durante su transporte o posibles contaminaciones por contacto con el aire del área de producción. La harina es alimentada del silo hacia la tubería a través de una válvula rotativa con un diámetro de 0.73 m, una velocidad de alimentación de 0.36 kg/s y una velocidad de rotación de 0.08 rev/min, se asume para el diseño una eficiencia de llenado del 50% del volumen total de los espacios de la válvula rotativa, para evitar el apelmazamiento de la harina y atascos constantes del sistema. Además se prefiere el uso de este tipo de válvulas sobre otros ya que

permiten tener una dosificación más exacta a la tubería de transporte, además de que son suficientemente robustas para soportar el peso del silo completamente lleno y el mantenimiento es sencillo ya que permite una limpieza interna de fácil acceso lo que evita la acumulación de producto en el interior de las paredes de la válvula y la contaminación de la materia prima.

La tubería del sistema de transporte neumático tiene un diámetro de 0.10 m y requiere de  $0.29 \text{ kg}_{\text{aire}}/\text{s}$  para poder transportar el requerimiento de harina de la línea de producción ( $0.36 \text{ kg}_{\text{harina}}/\text{s}$ ). Para este sistema de transporte se requiere gran precisión para su diseño ya que el costo de operación del mismo es elevado, debido a que se requieren altas relaciones de compresión del aire de transporte y por lo tanto un motor en el compresor muy grande, para este caso en particular, se requieren 41.13 kW. Para llegar a esta conclusión, se tuvo que realizar un sistema iterativo de las ecuaciones requeridas para el diseño en función del diámetro de tubería, al iterar las ecuaciones se obtuvieron los valores de saturación del aire para transporte de harina y la potencia requerida por unidad transportada, al comparar los valores obtenidos con los valores recomendados por Couper, J. se observa que el diámetro seleccionado para la tubería, requiere una potencia ligeramente superior a la recomendada, sin embargo el valor de saturación calculado se encuentra por debajo del máximo recomendado, por lo que las condiciones de transporte seleccionadas resultan adecuadas para el flujo de harina que se desea movilizar en las condiciones especificadas.

Tanto la solución del sabor como la harina deben ser alimentadas a la mezcladora. Como se mencionó ya, la harina es transportada en un sistema neumático, para separar el aire de la harina se utiliza un ciclón de 1.50 m de diámetro en el cual la mezcla harina/aire se hace ingresar por el costado para que al entrar en la parte interna del ciclón se forme un flujo en espiral, el cual permite la separación de los granos (que se depositan en el fondo) del aire del sistema de transporte que sale en la parte superior del ciclón. Se utiliza un ciclón ya que para partículas mayores a  $100 \mu\text{m}$  su eficiencia de separación es mayor al 98%, el ciclón se dimensionó en base a las recomendaciones de diseño de Mills, David. 2004, en el cual el diámetro del ciclón debe ser entre 10 y 15 veces mayor que el diámetro de la tubería de transporte. Las partículas de menor tamaño que no se logran separar a través del ciclón se retienen en un filtro en la salida del ciclón con la finalidad de evitar expulsar aire contaminado y recuperar el producto el cual se puede enviar de vuelta a la operación de molienda. La solución de sabor debe ser alimentada a través de una bomba centrífuga. La distancia que debe ser transportada la solución es de únicamente 5 m de distancia horizontal y tres metros vertical, sumado a ello la presencia de accesorios es mínima y las pérdidas debido a la fricción son despreciables, por lo que la potencia del motor requerido es de 0.37 kW (0.50 hp). Para el control del flujo de agua se utilizará una válvula de globo, ya que permite mayor versatilidad en el control y una mejor respuesta a las perturbaciones.

Una vez alimentadas las materias primas, el primer paso del mezclado es tener una atmósfera a vacío, esto con la finalidad de prevenir defectos posteriores en el producto terminado debido a la presencia de

burbujas de aire durante la extrusión. La mezcladora fue dimensionada en base al tiempo requerido para formar una masa homogénea y al flujo del mismo. Como requerimiento para que la mezcla sea adecuada, la mezcladora no debe llenarse más allá del 80% de su volumen total. La masa pasa hacia la distribuidora, que también se encuentra en condiciones de un vacío superior al de la mezcladora, por lo que no se necesita de ningún sistema adicional para hacer pasar la masa de un equipo a otro. La función de la distribuidora es dividir el flujo en dos flujos iguales para alimentar los tornillos de extrusión, al igual que en la mezcladora, no debe llenarse más del 80% de su capacidad total, el tiempo de residencia de la masa en este equipo es corto, sin embargo, puede terminar de homogenizarse en esta sección.

La masa pasa a los tornillos de extrusión, en donde la masa es compactada y se hace pasar a altas presiones a través de los moldes que dan la forma final de la pasta. Este paso es determinante para la calidad del producto terminado, ya que si la compresión no es buena, se obtiene un producto con espacios vacíos, con manchas o con grietas, además si el molde se encuentra sucio o dañado, la pasta obtenida no es uniforme y el cliente espera que todas sus Figuras sean iguales. El tornillo de extrusión se calienta debido a la fricción de la masa con las paredes del mismo por lo que se requiere un enchaquetado a través del cual circule agua fría para el enfriamiento de la masa. La longitud del tornillo y la velocidad a la que gira, aseguran que se alcance la presión necesaria para la correcta formación de la pasta. Este equipo también requiere un motor que comparativamente es más grande que el de los demás equipos (27.90 kW), esto debido a que se requiere una alta presión hacia el final del tornillo que únicamente se logra suministrando gran cantidad de energía al tornillo.

Después de que la Figura deseada se ha formado, la pasta inicia su proceso de secado. La primera etapa se da en el pre-secador, el objetivo de este equipo es reducir parcialmente la humedad del producto, y aumentar la temperatura del mismo de forma gradual para que no se tengan problemas con que la exterior de la pasta se seque demasiado y no permitió que en todo el proceso la humedad interior fuera eliminada y que después de cierto tiempo de almacenamiento del producto terminado, la humedad empiece a difundir hacia el exterior y produzca grietas en la pasta y que sea un medio de cultivo para microorganismos.

En esta etapa la humedad es reducida de su contenido inicial de 30% a un 27% con un aumento en la temperatura de la pasta de hasta 10°C. El pre-secador funciona a contracorriente con que es tomado de los alrededores del equipo, que en promedio se encuentra a 25°C con una temperatura de bulbo húmedo de 19 °C, lo que hace necesario que el aire sea calentado con vapor saturado proveniente de las calderas hasta 40 °C, esto con la finalidad de disminuir la humedad relativa del aire que es tomado del ambiente y que la transferencia de masa de la pasta hacia el aire sea adecuada, pero que no sea muy grande para evitar los problemas que se explicaron en el párrafo anterior. La pasta dentro del pre-secador es transportada por una banda que al final alimenta al sistema de cangilones que introduce la pasta en el nivel más alto del secado, el cual para fines prácticos es denominado como nivel 1 de secado.

La segunda etapa del secado, se lleva a cabo en el secador, el cual cuenta con tres niveles de secado, esto ya que el tiempo de residencia de la pasta dentro del mismo es grande para lograr reducir la humedad desde el 27% hasta el 12.5% en forma gradual, además si se diseñara un equipo con las mismas características que el pre-secador, debería ser un equipo de tres veces el largo del que se diseñó, y la planta no cuenta con el espacio suficiente para su instalación, además de que resultaría ineficiente ya que la caída de presión del aire dentro del secador sería muy grande y no permitiría una adecuada transferencia de masa ya que cabe la posibilidad de que el aire permaneciera dentro del secador por más tiempo del necesario.

En cada uno de los niveles de secado, la pasta se transporta en bandas y el aire fluya a contracorriente para asegurar una mayor eficiencia en el proceso. En el primer nivel la cantidad de humedad es reducida en un 7.00 %, en el segundo en un 5.00 % y en el tercero en un 2.50 %. El aire que se utiliza para secar, también es pre calentado con el mismo objetivo que en el pre-secador, en el primer nivel el aire se lleva a 50°C y en el segundo y tercero a 60 °C, no se recomiendan temperaturas más elevadas ya que pueden causar que la pasta se queme y tenga mal sabor y mala apariencia al final del proceso. De un nivel a otro la pasta cae por acción de la gravedad, la corriente de aire que se utiliza no es suficientemente grande como para desviar a la pasta de su curso normal durante la caída, si esto pasa, las pérdidas son despreciables. El tiempo total de secado de la pasta es de 3.5 h. esto debido a que el proceso debe ser lento para evitar el secado rápido del exterior de la misma. El requerimiento de vapor para calentar el aire es de 482.62 kg/h, por lo que es necesario conectar solamente una tubería del sistema de distribución de vapor hacia la línea de producción. Para calcular el secador, se asumió que el proceso es adiabático y que a la salida de cada uno de los niveles de secado, la temperatura de la pasta se encuentra en equilibrio con la temperatura del aire de secado y que el aire de secado, abandona el equipo en estado de saturación.

El producto que se obtiene del tercer nivel es llevado por la banda transportadora a un sistema de cangilones que alimentan el tercer equipo del área de secado. En éste, el objetivo ya no es reducir la humedad del producto, sino que únicamente hacerlo circular a contracorriente con aire a temperatura ambiente para reducir la temperatura del producto terminado y llevarlo hacia el área de empaque, se puede observar que el requerimiento de aire para enfriar es de 1,795.39 kg/h ya que se espera que el aumento de la temperatura sea de 10 °C y así aprovechar la corriente que sale del enfriador para introducirla en el secador, ahorrando así energía para calentarlo y aprovechando que no se encuentra en condiciones de saturaciones puede ser reutilizado. Al igual que en los otros dos equipos, la pasta es transportada en una banda, con al diferencia de que en este, no se requiere que el aire sea pre calentado. La longitud de todas las bandas transportadas varía dependiendo de la distancia que se desea transportar, pero tienen en común que todas son de 1.4 m de ancho y para el establecimiento de las condiciones de la banda, como el número de rodillos y su distribución, el diámetro y largo de los mismos se utilizó la norma UNE capítulo 58 (*Aparatos de manutención continua*) para la fabricación de bandas transportadoras con medidas estándar. De igual forma

para las dimensiones de cada cangilón se utilizó la misma norma que establece medidas estándar para diferentes materiales o aproximaciones para materiales cuyas propiedades como densidad, peso, densidad aparente, son conocidas.

Por último se realizó la evaluación económica del proyecto, en el cuadro 65 (págs. 101) se muestra el flujo de caja para un periodo de evaluación de 10 años. Se eligió este periodo ya que es una medida estándar de evaluación y que además después de esa cantidad de tiempo se debe observar la estabilidad de un proyecto, de no ser así, ya es un parámetro para medir el riesgo de la inversión. El primer rubro que se muestra en el flujo de caja es la cantidad de ingresos que se obtienen al año por la venta de los tres productos. Las ventas se predijeron con base al mínimo de ventas exigidas a un producto para continuar su manufactura, el precio fue establecido en base a las políticas de la empresa y los niveles de crecimiento tanto en ventas como en precio fueron evaluados en base a la visión y políticas de la compañía.

Para la estimación de los costos de la materia prima, en cuanto al agua y a la harina se utilizaron los datos existentes y para los sabores se trabajó en base a las cotizaciones de los proveedores. Los demás costos se basaron en cotizaciones, facturas y datos históricos de la compañía. Los gastos administrativos que se consideran, incluyen únicamente al personal operativo que trabajará en la línea, no se requiere de más inversión en personal a nivel de supervisores o administrativo, claro está que estos gastos incluyen publicidad y trámites de registro sanitario, certificados libres de venta, y otros gastos en los que se deba incurrir para poder comercializar el producto. El flujo de caja considera un margen del 5% de imprevistos respecto a la inversión inicial en el año 0 para cualquier eventualidad que pueda presentarse durante la puesta en marcha del proyecto. Para la depreciación del equipo se utilizó el método SMARC para un horizonte de evaluación de 10 años también, es necesario aclarar que el horizonte de evaluación que se toma no significa que en ese momento se acaba el proyecto o el equipo empleado ya no tiene ningún valor, simplemente es un parámetro de evaluación para determinar en el largo plazo la estabilidad del flujo de ingresos y egresos. Legalmente el equipo puede ser reevaluado para determinar un nuevo valor al cabo de los diez años además, después de ese tiempo el equipo seguirá produciendo la cantidad de pasta requerida. Para evaluar los impuestos, se tomó únicamente el Impuesto Sobre la Renta equivalente al 31% de la utilidad bruta de la línea para los diez años.

Para determinar la factibilidad del proyecto, del flujo de caja se determinaron tres parámetros: el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el período de recuperación de capital (RC). El VAN del proyecto es de Q27,933,189.94 evaluando el flujo de caja a una tasa de interés del 18%, este valor se toma arbitrariamente para que sea superior a la tasa que ofrece el sistema bancario para depósitos a plazo fijo, se puede observar que el VAN es positivo y un valor muy alto, entonces este es el primer parámetro indicador de que el proyecto es rentable. La TIR fue de 27.75%, que sobrepasa a la tasa exigida al proyecto en un 9.75%, toda la literatura consultada únicamente reporta que si la TIR es mayor que la tasa a la que se

evalúa el proyecto, entonces el proyecto es rentable, pero no indican un valor de la TIR que haga que un proyecto sea más o menos atractivo para el inversionista. El tiempo en el que se recupera el capital es de 7 años, que es un valor muy grande para cualquier inversionista que esperaría que su capital retornase máximo en 3 años, por lo que la recomendación normal sería que se realizará un préstamo bancario para evitar descapitalizarse, pero tomando en cuenta el mercado que maneja la compañía, el tiempo en que recuperan el capital no es un problema.

Por último se realizó un análisis de sensibilidad que se muestra en las Gráficas 1 y 2 (págs. 35 y 36), estas indican el comportamiento del VAN y la TIR al aumentar y disminuir las ventas. Se puede observar que mientras más aumenta la cantidad de unidades vendidas, más rentable se hace el proyecto, hasta obtener una TIR de 44.20% al duplicar las ventas proyectadas. Al disminuir las ventas, se observa que el proyecto continúa siendo rentable hasta una disminución en un 23.45% de las ventas proyectadas, por lo que el proyecto puede soportar cambios en el comportamiento del mercado pasando a escenarios en el que las ventas sean bajas y continuar siendo rentable, sin embargo el cambiar esos escenarios queda únicamente en manos del departamento de mercadeo de la compañía, en que puedan vender el producto al consumidor final.

## IX. CONCLUSIONES

1. La formulación del producto sabor a vainilla es: 87.06 kg de harina de trigo, 0.44 kg de vainilla y 37.50 kg de agua pura para la obtención de 100 kg de producto terminado, con un nivel de aceptación de 79% clientes satisfechos, un 13% medianamente satisfechos y un 8% insatisfechos.
2. La formulación del producto sabor a chile es: 84.70 kg de harina de trigo, 0.25 kg de chile y 37.50 kg de agua pura para la obtención de 100 kg de producto terminado, con un nivel de aceptación de 37% clientes satisfechos, 31% medianamente satisfechos y un 32% insatisfechos.
3. La formulación del producto sabor a especias es: 85.03 kg de harina de trigo, 0.77 kg de especias y 37.50 kg de agua pura para la obtención de 100 kg de producto terminado, con un nivel de aceptación de 69% clientes satisfechos, 12% medianamente satisfechos y un 19% insatisfechos.
4. Para la instalación de la nueva línea de producción se cuenta con un área de 499.44 m<sup>2</sup> y su distribución en el área de producción se muestra en la Figura 3 de la página 24.
5. El silo de almacenamiento de harina tiene una altura total de 14.19 m, un diámetro de 3.98 m y un diámetro de descarga de 0.52 m, con un ángulo de inclinación de la tolva de 20°, construido de acero al carbón.
6. La válvula rotativa de descarga del silo tiene un diámetro de 0.73 m y una velocidad de alimentación de 0.36 kg/s, 8 espacios de llenado con una eficiencia del 50% y una velocidad de rotación de 0.08 rev/min.
7. El tanque de agitación para la mezcla de los aditivos con agua tiene un diámetro de 1.75 m, una altura total de 2.45 m, con el fondo en forma de semiesfera y construido en tanque de acero inoxidable 316. El motor tiene una potencia de 1.82 kW y gira a 90 rpm.
8. El tanque auxiliar de agitación para la mezcla de los aditivos con agua tiene un diámetro de 0.81 m, una altura total de 1.14 m, con el fondo en forma de semiesfera y construido en tanque de acero inoxidable 316. El motor tiene una potencia de 0.39 kW y gira a 90 rpm.
9. La bomba para la alimentación de la solución de aditivos al mezclador es de tipo centrífugo con una potencia de 0.37 kW y dimensiones de 2 x 3 x 6 pulgadas.

10. La tubería para el transporte neumático de harina tiene un diámetro de 0.10 m, una longitud horizontal de 69.00 m y elevación de 20.00 m. La presión de trabajo es de 206.78 kPa y un flujo de 0.29 kg/s de aire para lo que se requiere un compresor de 41.13 kW.
11. El ciclón para la separación de la harina del aire tiene un diámetro de 1.50 m, largo igual a 6.00 m, el diámetro de la alimentación es de 0.53m y tiene una eficiencia de separación de 98%.
12. La mezcladora tiene unas dimensiones de 1.85 x 0.80 x 0.37 m, con un motor de 5.5 kW. Y la distribuidora de tiene unas dimensiones de 1.50 x 0.26 x 0.30 m, con un motor de 3.0 kW.
13. El tornillo de extrusión tiene un largo de 1.21 m y un diámetro de 0.275 m, gira a 82.92 revoluciones por minuto con una potencia de 27.90 kW.
14. El pre-secador de pasta mide 4.12 x 2.10 x 1.65 m, requiere dos motores para la inyección del aire de 6.63 kW, el cual debe ingresar al sistema a 40°C en un flujo de 10,724.40 kg/h. En el interior la pasta se mueve con una banda transportadora cuya longitud de 4.50 m, un ancho de 1.40 m y requiere una potencia de 0.61 kW.
15. El sistema de cangilones que traslada la pasta de la salida del pre-secador hacia el primer nivel de secado en el secador, tiene una altura de 6.30 m, requiere una potencia de 0.45 kW y el que transporta la pasta del secador al enfriador tiene una altura de 1.90 m y requiere 0.32 kW de potencia.
16. Las medidas de los cangilones necesarios son: 0.16 m de alto, 0.16 m de ancho, 0.20 m de largo y 0.05 m de radio base.
17. El secador de pasta es mide 12.20 x 2.00 x 6.00 m, con tres niveles de sacado, los niveles 1 y 2 requieren 2 ventiladores cada uno de 10.07 y 4.11 kW respectivamente El nivel tres requiere solamente un ventilador de 1.82 kW. El aire ingresa al nivel uno a 15,058.89 kg/h y 50 °C, en el nivel dos a 6986.20 kg/h y 60 °C, y en el nivel tres a 3193.69 kg/h y 60 °C.
18. Las bandas transportadores que trasladan el producto dentro del secador tiene una longitud de 10.00 m para los niveles 1 y 2; y 12.50 m para el tercer nivel. Las tres bandas tienen 1.40 m de ancho y requieren las siguientes potencias: 0.76 kW, 0.70 kW y 0.66 kW respectivamente.
19. El enfriador de pasta mide 4.12x2.10x1.65 m, requiere de dos ventiladores de 0.88 kW para la inyección del aire que ingresa a 25 °C y 1,795.39 kg/h.. La pasta se mueve en el interior con una banda transportadora que tiene una longitud de 4.50m, un ancho de 1.40m y requiere una potencia de 0.50 kW.

20. El valor actual neto del proyecto es Q 27,933,189.94, la tasa interna de recuperación es de 27.75%. y el periodo de recuperación de capital es de 7 años.
  
21. Las ventas pueden disminuirse en un 23.45 % para que el proyecto continúe siendo rentable, con un VAN de Q 4,570.45 y una TIR de 18.00%.

## X. RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio cuantitativo de mercado para verificar los resultados obtenidos de forma cualitativa con los grupos de enfoque.
2. Realizar paneles sensoriales con clientes externos.
3. Realizar la evaluación para la instalación de un sistema secundario para la bomba de alimentación de la solución de sabor, en caso de que la bomba principal presente alguna falla.
4. Realizar la evaluación de los sistemas de control para determinar los sensores a utilizar para el control de la temperatura y humedad del proceso.
5. Realizar una evaluación para la instalación de sistemas de recuperación de los condensados del vapor de calentamiento del aire.
6. Realizar estudio para la forma de reprocessar aquellos productos que conforme a las políticas de calidad de la empresa no puedan salir a la venta por incumplimiento de aspectos como: mala apariencia, mal sabor, mal color, etc.
7. Realizar evaluación de la línea para que cumpla con lo exigido por la política de calidad para el cumplimiento de la norma ISO 9001:2000 y HACCP.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

1. Baker, Christopher. 1997. *Industrial Drying of foods*. 1ª ed. Estados Unidos. Blacke Academic & Professional. 349 págs
2. Branan, Carl. 2000. *Soluciones prácticas para el ingeniero químico*. 2ª ed. México. McGraw-Hill. 428 págs.
3. Canjura, Fátima. 1987. *Evaluación de las harinas de maíz amarillo, maicillo y amaranto, como Sustitutos parciales de la semolina de trigo duro en la elaboración de pastas alimenticias*. Guatemala. UVG. 84 págs. .
4. Couper, James, et. al. 2005. *Chemical Process Equipment selection and design*. 2ª ed. Inglaterra. Elsevier Inc. 814 págs.
5. Desrosier, Norman. 1977. *Elementos de tecnología de alimentos*. 1ª ed. México. Compañía editorial S. A. de C. V. 924 págs.
6. Jacobs, James. 2000. *Tecnología de mezclado, extrusión y secado*. 1ª ed. México. Northern Crops Institute. 321 págs.
7. Kill, Ron y K. Turbull. 2004. *Tecnología de la elaboración de pasta y sémola*. 1ª ed. España. Editorial ACRIBIA S. A. 247 págs.
8. Madrid, Cenzano y V. Madrid. 2001. *Nuevo manual de industrias alimentarias*. 3ª ed. España. AMV ediciones.
9. McCabe, Warren; J. Smith P. Harriot. 2002. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 6ª ed. México. McGraw-Hill. 1199 págs.
10. Mills, David. 2004. *Pneumatic conveying design guide*. 2ª ed. Inglaterra. Elsevier. 650 págs.

11. Nonhebel, G. 1971. *Drying of solids in the chemical industry*. 1ª ed. Inglaterra. The butterworth group. 301 págs.
12. Perry, Robert y D. Green. 1997. *Perry's chemical engineers' handbook*. 7ª ed. Estados Unidos. McGraw-Hill. 2558 págs.
13. Treybal, Robert. 1990. *Operaciones de transferencia de masa*. 2ª ed. México. McGraw-Hill. 845 págs.
14. Sapag, Nassir. 2007. *Proyectos de inversión formulación y evaluación*. 1ª ed. México. Pearson Prentice Hall. 486 págs.

## XII. APÉNDICE

### A. Diagramas

Figura 16  
Diagrama de bloques de la producción de pasta

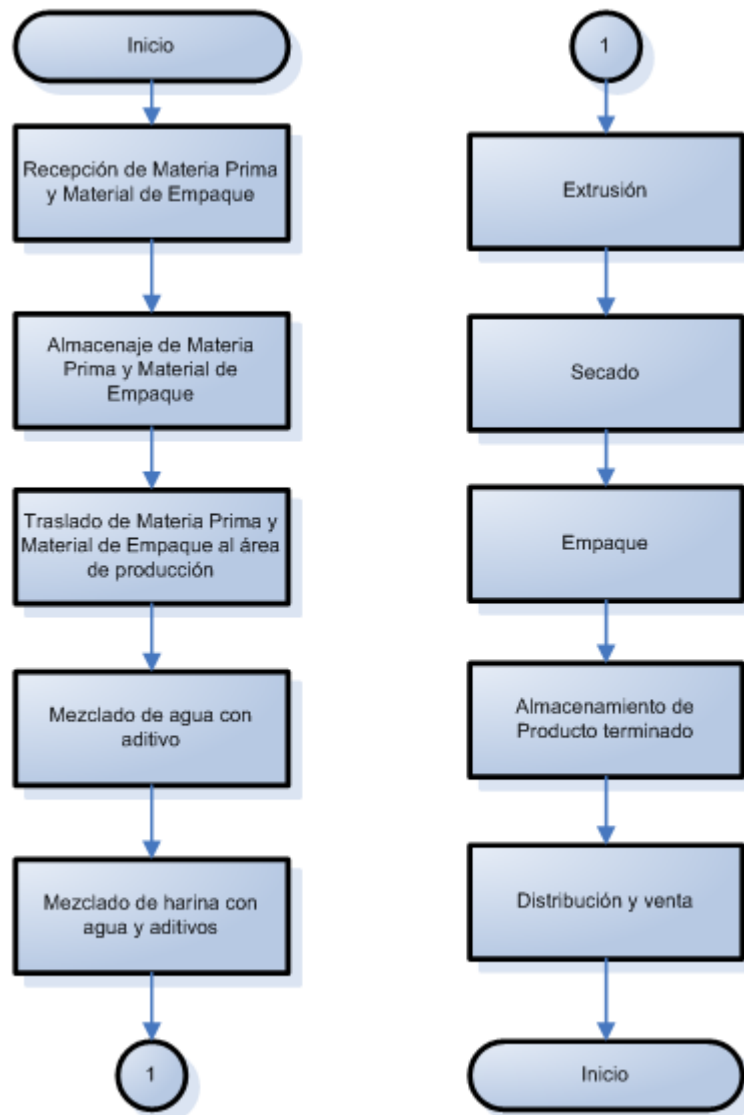
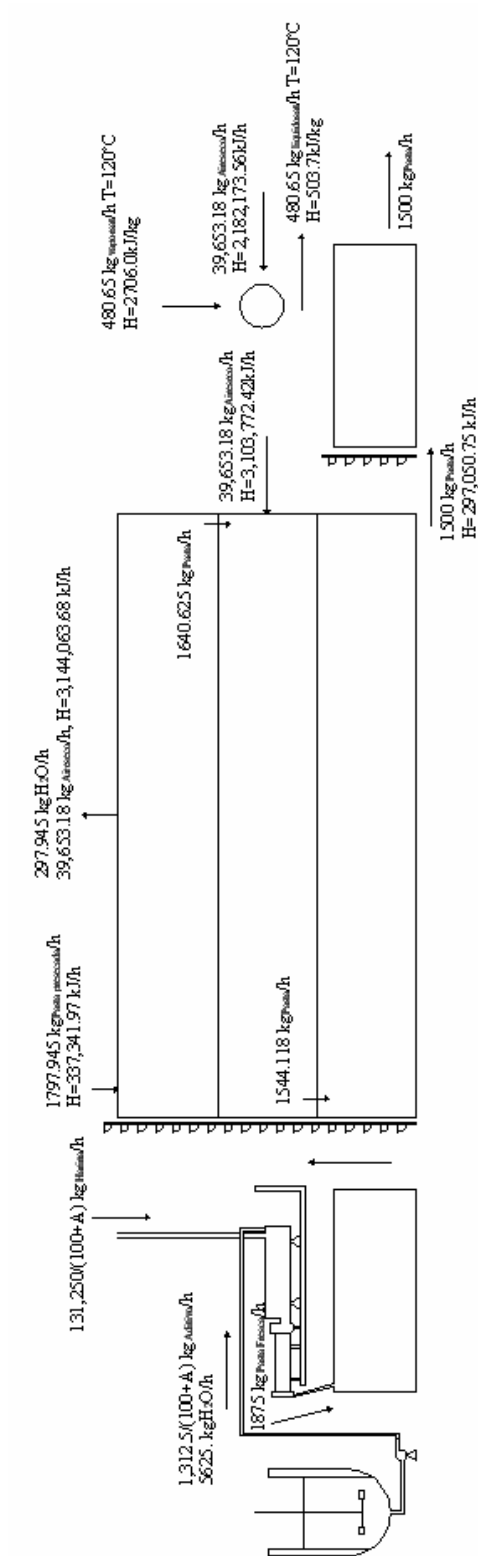


Figura 17

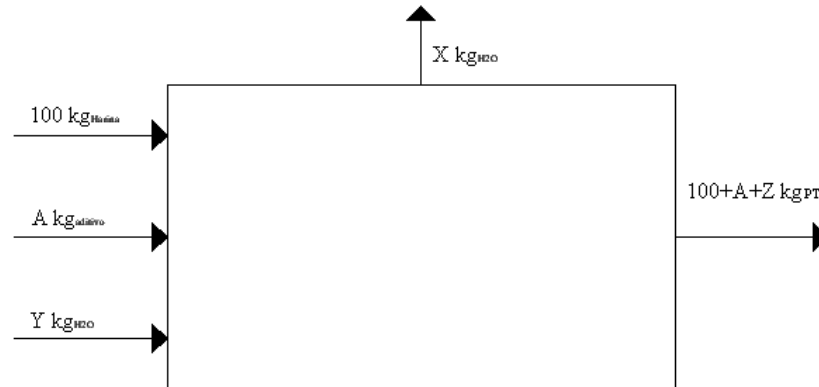
Balance de masa y energía de la línea de producción de pasta



## B. Cálculo de muestra

### 1. Balance general de masa

Figura 18  
Balance general de masa



donde:

A: Masa de aditivos utilizada, varía según el sabor de la pasta (kg)

Y: Masa de agua utilizada para realizar el amasado (kg)

X: Masa de agua evaporada durante el secado (kg)

Z: Masa de agua que permanece en el producto (kg)

Ecuación 1: 
$$\frac{Y}{Y + 100 + A} = 0.30$$

$$\frac{Y}{0.30} = Y + 100 + A$$

$$Y \left( \frac{1}{0.30} - 1 \right) = 100 + A$$

$$Y = \frac{3(100 + A)}{7} \text{ kg } H_2O$$

Ecuación 2: 
$$\frac{Z}{Z + 100 + A} = 0.125$$

$$\frac{Z}{0.125} = Z + 100 + A$$

$$Z\left(\frac{1}{0.125} - 1\right) = 100 + A$$

$$Z = \frac{100 + A}{7} \text{ kgH}_2\text{O}$$

Ecuación 3:

$$X = Y - Z$$

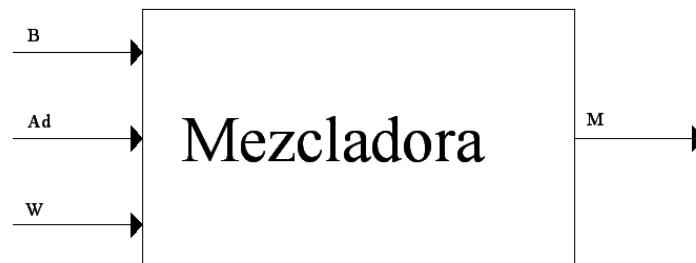
$$X = \frac{3(100 + A)}{7} - \frac{(100 + A)}{7}$$

$$X = \frac{2(100 + A)}{7} \text{ gH}_2\text{O}$$

## 2. Balance de masa y energía por equipo

## a. Mezclador

Figura 19  
Entradas y salidas del mezclador



donde:

B: flujo de harina (kg/h)

Ad: flujo de aditivo (kg/h)

W: flujo de agua (kg/h)

M: flujo de masa (kg/h)

Ecuación 4:

$$B = F_{PT} * \frac{100 \text{ kg Harina}}{\frac{8}{7} (100 + A) \text{ kg}_{PT}}$$

donde:

F<sub>PT</sub>: flujo de producto terminado (kg/h)

$$B = 1500 \text{kg}_{PT} / h * \frac{100 \text{kgHarina}}{\frac{8}{7}(100 + A) \text{kg}_{PT}}$$

$$B = \frac{131250}{100 + A} \text{kgHarina} / h$$

Ecuación 5:

$$Ad = F_{PT} * \frac{A \text{kgAditivo}}{\frac{8}{7}(100 + A) \text{kg}_{PT}}$$

$$Ad = 1500 \text{kg}_{PT} / h * \frac{A \text{kgAditivo}}{\frac{8}{7}(100 + A) \text{kg}_{PT}}$$

$$Ad = \frac{1312.5A}{100 + A} \text{kgAditivo} / h$$

Ecuación 6:

$$W = F_{PT} * \frac{3/7(100 + A) \text{kgH}_2\text{O}}{8/7(100 + A) \text{kg}_{PT}}$$

$$W = 1500 \text{kg}_{PT} / h * \frac{3/7(100 + A) \text{kgH}_2\text{O}}{8/7(100 + A) \text{kg}_{PT}}$$

$$W = 562.5 \text{kgH}_2\text{O} / h$$

Ecuación 7:

$$M = B + Ad + W$$

$$M = \frac{131250}{100 + A} + \frac{1312.5A}{100 + A} + 562.5$$

$$M = 1875 \text{kgmasa} / h$$

Cuadro 28

Balance de masa en la mezcladora

Sabor	B (kg Harina/h)	Ad (kg Aditivo/h)	W (kg H <sub>2</sub> O/h)	M (kg Masa/h)
Vainilla	1,305.97	6.53	562.50	1,875.00
Chile	1,270.57	41.93	562.50	1,875.00
Especias	1,275.51	36.99	562.50	1,875.00

## b. Distribuidora

Figura 20

Entradas y salidas de la distribuidora



donde:

 $T_1$ : flujo de masa hacia el tornillo 1 (kg/h) $T_2$ : flujo de masa hacia el tornillo 2 (kg/h)

Ecuación 8:

$$T_i = M / 2$$

$$T_1 = T_2 = \frac{1875 \text{kg} / h}{2}$$

$$T_1 = T_2 = 937.5 \text{kgMasa} / h$$

## c. Tornillo

Figura 21

Entradas y salidas del tornillo



donde:

 $P_1$ : flujo de pasta fresca 1 (kg/h)

Ecuación 9:

$$P_1 = T_1$$

$$P_2 = T_2$$

$$P_i = 937.5 \text{kg} / h$$

## d. Pre-secador

Figura 22  
Entradas y salidas del pre-secador



donde:  $P_{PS}$ : flujo de pasta pre-secada (kg/h)  
 $G_1$ : flujo de aire seco (kg/h)  
 $W_1$ : flujo de agua eliminada en el pre-secador (kg/h)

Ecuación 10: 
$$W_1 = W - C_{H_2O}$$

donde:  $C_{H_2O}$ : flujo de agua presente en la pasta pre-secada (kg/h)

Ecuación 11: 
$$\frac{C_{H_2O}}{C_{H_2O} + 1312.5} = 0.27$$

$$C_{H_2O} \left( \frac{1}{0.27} - 1 \right) = 1312.5$$

$$C_{H_2O} = 485.45 \text{ kg } H_2O / h$$

$$W_1 = 562.5 - 485.45$$

$$W_1 = 77.05 \text{ kg } H_2O / h$$

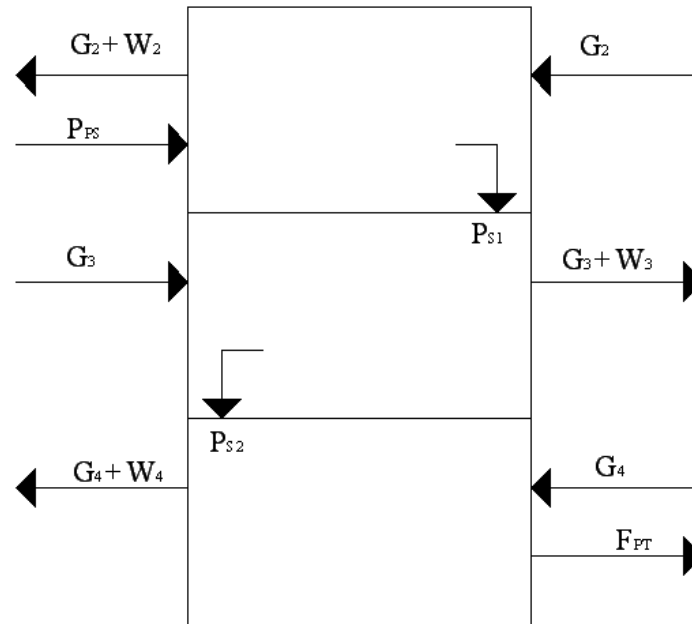
Ecuación 12: 
$$P_{PS} = (P_1 + P_2) - W_1$$

$$P_{PS} = (937.50 + 937.50) - 77.05$$

$$P_{PS} = 1797.95 \text{ kg } / h$$

## e. Secador

Figura 23  
Entradas y salidas del secador



donde:

$G_i$ : flujo de aire seco (kg/h)

$P_{Si}$ : flujo de pasta en proceso de secado (kg/h)

$W_i$ : flujo de agua evaporada (kg/h)

$F_{PT}$ : flujo de producto terminado (kg/h)

Ecuación 13:

$$W_2 = C_{H_2O} - C_{H_2O_1}$$

donde:

$C_{H_2O_i}$ : Contenido de agua en la pasta a la salida del de secado (kg/h)

Ecuación 14:

$$\frac{C_{H_2O_1}}{C_{H_2O_1} + 1312.5} = 0.20$$

$$C_{H_2O_1} \left( \frac{1}{0.20} - 1 \right) = 1312.5$$

$$C_{H_2O} = 328.125 \text{ kg } H_2O / h$$

$$W_2 = 485.45 - 328.125$$

$$W_2 = 157.325 \text{ kg } H_2O / h$$

Ecuación 15:

$$P_{S1} = P_{PS} - W_2$$

$$P_{S1} = 1797.95 \text{ kg/h} - 157.325 \text{ kg/h}$$

$$P_{S1} = 1640.625 \text{ kg/h}$$

De la misma forma se repiten los cálculos para cada nivel del secador, obteniéndose:

$$P_{S2} = 1544.12 \text{ kg/h}$$

$$F_{PT} = 1500 \text{ kg/h}$$

$$W_3 = 96.507 \text{ kg/h}$$

$$W_4 = 44.12 \text{ kg/h}$$

f. Enfriador

Figura 24  
Entradas y salidas del enfriador



Ecuación 16:

$$E_E = S_E = F_{PT}$$

donde:

$E_E$ : flujo de entrada al enfriador (kg/h)

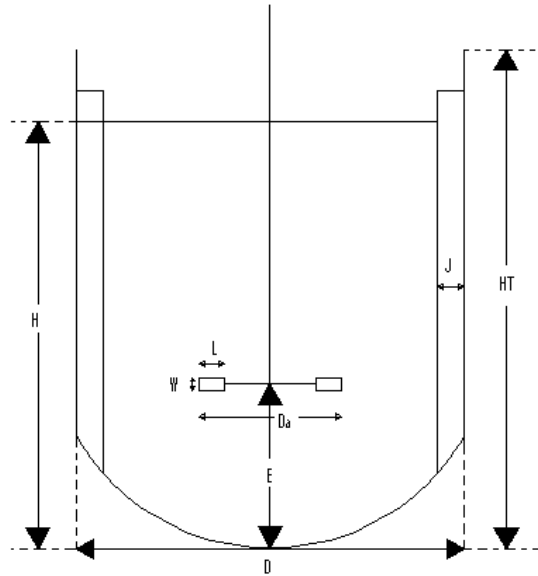
$S_E$ : flujo de salida del enfriador (kg/h)

$$E_E = S_E = 1500 \text{ kg/h}$$

1.

## Tanque de agitación

Figura 25  
Dimensiones del tanque de agitación



a. Volumen de líquido a contener:

$$V = 10h_{\text{producción}} * 1500 \frac{\text{kg}_{PT}}{h} * \frac{\left(\frac{1}{0.3} - 1\right)}{8/7(100 + A)} \text{kg}_{PT} * \frac{1\text{m}^3}{1000\text{kg}} = 5.625\text{m}^3 \text{H}_2\text{O}$$

donde: V: Volumen a contener ( $\text{m}^3$ )

PT: Producto terminado

A: Aditivo

b. Diámetro del tanque

Ecuación 17:  $D = H$

donde: D: diámetro del tanque (m)

H: altura del líquido en el tanque (m)

Ecuación 18:  $V_{\text{tanque}} = V_{\text{cilindro}} + V_{1/2\text{esfera}}$

Ecuación 19:  $V_{\text{tanque}} = \frac{1}{4} \pi D^2 H + \frac{1}{12} \pi D^3$

donde:  $V_{\text{tanque}}$ : volumen del tanque de agitación ( $\text{m}^3$ )

$$V_{\text{tanque}} = \frac{1}{4} \pi D^3 + \frac{1}{12} \pi D^3$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{1}{3} \pi D^3$$

$$5.635 \text{m}^3 = \frac{1}{3} \pi D^3$$

$$D = 1.75 \text{m}$$

c. Altura del tanque

Ecuación 20:  $H_T = 1.4D$

donde:  $H_T$ : altura total del tanque (m)

$$H_T = 1.4 * 1.75 \text{m}$$

$$H_T = 2.45 \text{m}$$

d. Diámetro del agitador

Ecuación 21:  $\frac{D_a}{D} = \frac{1}{3}$

donde:  $D_a$ : diámetro del agitador (m)

$$D_a = \frac{1}{3} * 1.75 \text{m}$$

$$D_a = 0.58 \text{m}$$

e. Altura del agitador

Ecuación 22:  $\frac{E}{D} = \frac{1}{3}$

donde:  $E$ : altura del agitador medida desde el fondo del tanque (m)

$$E = \frac{1}{3} * 1.75 \text{m}$$

$$E = 0.58 \text{m}$$

f. Ancho de los baffles

Ecuación 23:  $\frac{J}{D} = \frac{1}{12}$

donde:  $J$ : ancho de los baffles (m)

$$J = \frac{1}{12} * 1.75m$$

$$J = 0.15m$$

g. Dimensiones de las paletas de agitación

Ecuación 24:  $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$

donde: W: altura de las paletas de agitación (m)

$$W = \frac{1}{5} * 0.58m$$

$$W = 0.12m$$

Ecuación 25:  $\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$

donde: L: largo de las paletas de agitación (m)

$$L = \frac{1}{4} * 0.58m$$

$$L = 0.15m$$

h. Potencia del agitador

Se utiliza una turbina de 6 palas

Ecuación 26:  $P = \frac{\alpha^2 \pi^2}{2} N_Q n^3 Da^5 \rho$

donde: P: potencia del agitador (W)

$N_Q$ : Número de flujo (adimensional)

n: revoluciones por segundo ( $s^{-1}$ )

$\rho$ : densidad de la solución ( $kg/m^3$ )

$$P = \frac{(0.95)^2 \pi^2}{2 * 0.80} 1.3 (1.5s^{-1})^3 (0.58m)^5 \left( 1100 \frac{kg}{m^3} \right)$$

$$P = 1.82kW * \frac{1hP}{0.74624kW}$$

$$P = 2.44hP$$

Ecuación 27:  $Re = \frac{Da^2 n \rho}{\mu}$

donde: Re: Número de Reynolds (adimensional)

$\mu$ : viscosidad de la solución (Pas)

$$Re = \frac{(0.58m)^2 (1.5s^{-1}) \left(1100 \frac{kg}{m^3}\right)}{1.02 * 10^{-3} Pas}$$

$$Re = 4.69 \times 10^5$$

Ya que  $Re > 10^4$  entonces  $N_p = K_T$ ,

$$N_p = K_T = 5.75$$

Ecuación 28:

$$N_p = \frac{P}{n^3 Da^5 \rho}$$

donde:

$N_p$ : número de potencia (adimensional)

$$P = N_p n^3 Da^5 \rho$$

$$P = (5.75) (1.5s^{-1})^3 (0.58m)^5 \left(1100 \frac{kg}{m^3}\right)$$

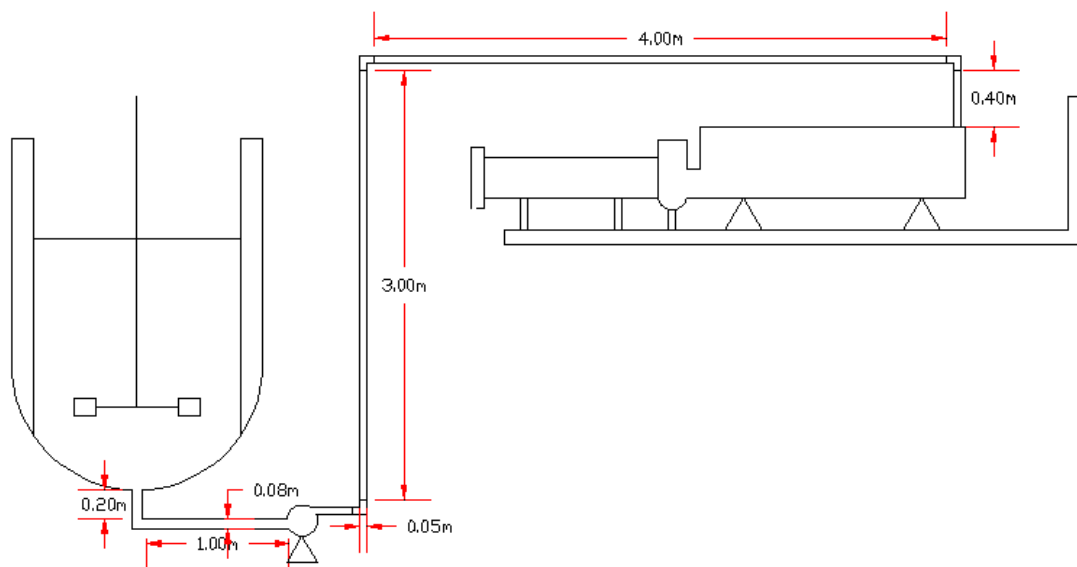
$$P = 1.45kW * \frac{1hP}{0.74624kW}$$

$$P = 1.94hP$$

## 2. Bomba

Figura 26

Sistema en el que debe funcionar la bomba



## a. Velocidad lineal

Ecuación 29: 
$$V = \frac{Q}{S}$$

donde: V: Velocidad lineal del fluido (m/s)

Q: flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

S: área de sección transversal de la tubería (m<sup>2</sup>)

$$V = \frac{\left( 562.5 \frac{kgH_2O}{h} + 41.93 \frac{kgAditivo}{h} \right) * \frac{1m^3}{1100kg} * \frac{1h}{3600s}}{0.00866m^2}$$

$$V = 0.071m/s$$

## b. Pérdidas por fricción

Ecuación 30: 
$$h_f = \left( 4f \frac{L}{D} + K_c + K_e + K_f \right) \frac{V^2}{2}$$

donde: h<sub>f</sub>: pérdidas por fricción (J/kg)

L: Longitud de la tubería (m)

D: diámetro de la tubería (m)

K<sub>c</sub>: Coeficiente de pérdida por contracción (adimensional)

K<sub>e</sub>: Coeficiente de pérdida por expansión (adimensional)

K<sub>f</sub>: Coeficiente de pérdida por accesorios

Ecuación 31: 
$$h_f = \left( 4 * \frac{16}{Re} \frac{L}{D} + 0.4 * \left( 1 - \frac{D_m}{D_M} \right) + K_e + K_{f_{codo90^\circ/4}} \right) \frac{V^2}{2}$$

donde: Re: Número de Reynolds (adimensional)

D<sub>m</sub>: diámetro menor (m)

D<sub>M</sub>: diámetro mayor (m)

$$h_f = \left( 4 * \frac{16}{1540.17} \frac{1.2m}{0.0779m} + 0.4 * \left( 1 - \frac{0.0779m}{1.2m} \right) + 0 + 0.75 \right) \frac{(0.032m)^2}{2}$$

$$h_f = 0.0017 \frac{J}{kg}$$

Ecuación 32: 
$$h_f = \left( 4 * \left( 0.0014 + \frac{0.125}{Re^{0.32}} \right) \frac{L}{D} + K_c + K_e + K_{f_{codo90^\circ/4}} \right) \frac{V^2}{2}$$

$$h_f = \left( 4 * \left( 0.0014 + \frac{0.125}{3393.11^{0.32}} \right) \frac{7m}{0.0525m} + 0 + 0 + 3 * 0.75 \right) \frac{(0.071m/s)^2}{2}$$

$$h_f = 0.0256 \frac{J}{kg}$$

c. Trabajo de la bomba

Ecuación 33

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{\alpha V_a^2}{2} + gZ_a + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + \frac{\alpha V_b^2}{2} + gZ_b + h_f$$

donde:

$P_a, P_b$ : Presión en el punto a, b (Pa)

$V_a, V_b$ : Velocidad lineal del fluido en a, b (m/s)

$Z_a, Z_b$ : altura del fluido en a, b (m)

$\rho$ : densidad del fluido (kg/m<sup>3</sup>)

$g$ : gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\eta$ : eficiencia de la bomba

$W_p$ : Potencia de la bomba (J/kg)

$\alpha$ : constante (adimensional)

$$\eta W_p = \frac{P_b}{\rho} - \frac{P_a}{\rho} + \frac{\alpha V_b^2}{2} + gZ_b + h_f$$

$$\eta W_p = \frac{(506625 - 101325) Pa}{1100 kg/m^3} + \frac{\left(0.071 \frac{m}{s}\right)^2 - \left(0.032 \frac{m}{s}\right)^2}{2} + (9.81 m/s^2)(4m) + 0.0235 \frac{J}{kg}$$

$$W_p = \frac{397.78 J/kg}{0.70}$$

$$W_p = 568.26 \frac{J}{kg}$$

d. Potencia de la bomba

Ecuación 34:

$$P_B = W_p \dot{m}$$

donde:

$P_B$ : Potencia de la bomba (W)

$\dot{m}$ : flujo másico (kg/s)

$$P_B = \left( 568.26 \frac{J}{kg} \right) \left( 604.43 \frac{kg}{h} * \frac{1h}{3600s} \right)$$

$$P_B = 954.1W * \frac{1hP}{746.24W}$$

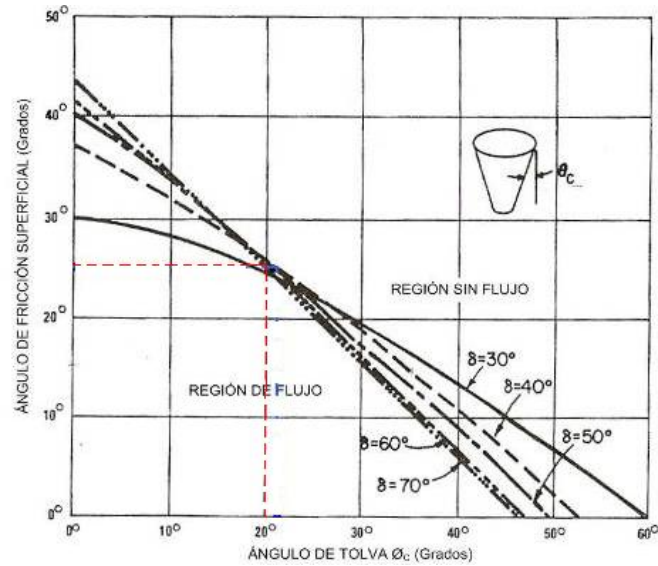
$$P_B = 1.28hP$$

### 3. Silo de almacenamiento de harina

#### a. Ángulo de la tolva de descarga

Figura 27

Determinación del ángulo de la tolva de un silo



(Couper, 2005:94)

Ángulo de desliz:  $26^\circ$

Ángulo de espátula:  $41^\circ$

En base a la figura 25 se obtiene que el ángulo de la tolva ( $\theta_c$ ) es  $20^\circ$ .

#### b. Volumen a contener

El silo almacenara la harina necesaria para tener 48 horas de producción continua.

Ecuación 35: 
$$V = \frac{tF_{PT}}{\rho} f$$

donde:

V: volumen a contener ( $m^3$ )

t: tiempo de producción (h)

$F_{PT}$ : flujo de producto terminado (kg/h)

$\rho$ : densidad de la harina ( $kg/m^3$ )

f: factor de seguridad (30% más de volumen)

$$V = 48h * 1500 \frac{kg}{h} * \frac{1m^3}{640.74kg} * 1.3$$

$$V = 146.08m^3$$

c. Dimensiones del cuerpo del silo

El cuerpo del silo contendrá el 85% del volumen que se debe almacenar.

Ecuación 36: 
$$V_C = \frac{\pi D_s^2}{4} h_C$$

donde:  $V_C$ : Volumen del cuerpo del silo ( $m^3$ )  
 $D_s$ : Diámetro del silo (m)  
 $h_C$ : altura del cuerpo (m)

Se asume una relación  $h_C=2.5D_s$ .

$$V_C = \frac{\pi D_s^2}{4} 2.5 D_s$$

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{8V_C}{5\pi}}$$

$$D_s = \sqrt[3]{\frac{8 * 0.85 * 146.08 m^3}{5\pi}}$$

$$D_s = 3.98m$$

$$h_C = 2.5 D_s$$

$$h_C = 2.5 * 3.98m$$

$$h_C = 9.94m$$

d. Dimensiones de la tolva de descarga

La tolva contiene el 15% del volumen total del silo

Ecuación 37: 
$$V_T = \frac{\pi h_T}{12} (D_s^2 + D_d^2 + D_s D_d)$$

donde:  $V_T$ : Volumen de la tolva ( $m^3$ )  
 $h_T$ : altura de la tolva (m)  
 $D_d$ : diámetro de la descarga (m)

Ecuación 38: 
$$h_T = \frac{D_s - D_d}{2 \tan \theta_C}$$

Al combinar las ecuaciones 37 y 38 se obtiene:

Ecuación 39: 
$$D_d = D_s - \frac{24V_T \tan \theta_C}{\pi (D_s^2 + D_d^2 + D_s D_d)}$$

$$D_d = 3.98m - \frac{24 * 0.15 * 146.08m^3 * \tan 20^\circ}{\pi((3.98m)^2 + D_d^2 + (3.98m)D_d)}$$

$$D_d = 3.98m - \frac{60.93}{15.87 + 3.98D_d + D_d^2}$$

Al resolver por el método de punto fijo se obtiene que:

$$D_d = 0.52m$$

$$h_T = \frac{3.98m - 0.52m}{2 \tan 20^\circ}$$

$$h_T = 4.75m$$

#### 4. Transporte neumático de harina

##### a. Flujo másico de aire

Ecuación 40:  $m_a = CA\rho_{aire}$

donde:  $m_a$ : flujo másico de aire (kg/s)  
 C: velocidad lineal del aire (m/s)  
 A: área de sección transversal de la tubería (m<sup>2</sup>)  
 $\rho_{aire}$ : densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)  
 D: diámetro de la tubería (m)

$$m_a = 29.67 \frac{m}{s} * 1.20 \frac{kg}{m^3} * \frac{\pi}{4} D^2$$

$$m_a = 27.96D^2 kg_{aire} / s$$

##### b. Corrección en la densidad del aire

Ecuación 41:  $\rho_{airec} = \rho_{aire} * \frac{P_2}{P_1}$

donde:  $\rho_{airec}$ : densidad corregida del aire (kg/m<sup>3</sup>)  
 P<sub>2</sub>: presión dentro de la tubería (Pa)  
 P<sub>1</sub>: presión de succión (Pa)

$$\rho_{airec} = 1.20kg / m^3 * \frac{206.79kPa}{101.325kPa}$$

$$\rho_{airec} = 2.45kg / m^3$$

## c. Densidad de la mezcla

Ecuación 42: 
$$\rho_m = \frac{(m_a + m_s)}{\frac{m_a}{\rho_{airec}} + \frac{m_s}{\rho_s}}$$

donde:

$\rho_m$ : densidad de la mezcla ( $\text{kg/m}^3$ )

$m_s$ : flujo másico del sólido a transportar ( $\text{kg/s}$ )

$\rho_s$ : densidad del sólido ( $\text{kg/m}^3$ )

$$\rho_m = \frac{(27.96D^2 + 0.36)\text{kg/s}}{\frac{27.96D^2\text{kg/s}}{2.45\text{kg/m}^3} + \frac{0.36\text{kg/s}}{640.74\text{kg/m}^3}}$$

$$\rho_m = \frac{27.96D^2 + 0.36}{11.41D^2 + 5.62 \times 10^{-4}} \text{kg/m}^3$$

## d. Velocidad lineal del aire dentro de la tubería

Ecuación 43: 
$$u = C * \frac{P_2}{P_1}$$

donde:

$u$ : velocidad lineal del aire dentro de la tubería ( $\text{m/s}$ )

$$u = 29.67\text{m/s} * \frac{206.79\text{kPa}}{101.325\text{kPa}}$$

$$u = 14.54\text{m/s}$$

## e. Longitud equivalente de los accesorios

Ecuación 44: 
$$L_e = \frac{(1.6)\pi R_i}{2}$$

donde:

$L_e$ : Longitud equivalente de los accesorios (m)

$R_i$ : radio equivalente (m)

Para codos a  $90^\circ$   $R_i = 12D$

$$L_e = \frac{1.6\pi * 12D}{2}$$

$$L_e = 30.16D$$

## f. Potencia para compresión

Ecuación 45: 
$$w_c = 3.5RT \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] m_a$$

donde:  $w_c$ : Potencia para la compresión (W)  
 R: constante universal de los gases (J/kgK)  
 T: temperatura (K)

$$w_c = 3.5 \left( 286.71 \frac{J}{Kkg} \right) (298.15K) \left[ \left( \frac{206.79kPa}{101.325kPa} \right)^{1/3.5} - 1 \right] 27.96D^2$$

$$w_c = 1,891195.07D^2 \frac{J}{s}$$

g. Pérdidas debido a la fricción

Ecuación 46:  $w_1 = \frac{u^2}{2} \left[ 1 + 2n_c + 4n_f + \frac{0.015}{D} L_t \right] m_a$

donde:  $w_1$ : Pérdidas de potencia debido a la fricción del aire (W)  
 $n_c$ : Número de ciclones  
 $n_f$ : Número de filtros  
 $L_t$ : Longitud total (m)

$$w_1 = \frac{\left( 14.54 \frac{m}{s} \right)^2}{2} \left[ 1 + \frac{0.015}{D} (69 + 4 * 30.16D) \right] 27.96D^2$$

$$w_1 = 8303.87D^2 + 3058.98D$$

Ecuación 47:  $w_s = \left( \frac{u^2}{2} + (Z + f_s L)g + \frac{f_s u^2 \pi}{2} \right) m_s$

donde:  $w_s$ : Pérdidas de potencia debidas a la fricción del sólido (W)  
 Z: Altura total a la que se debe elevar el sólido (m)  
 $f_s$ : Coeficiente de fricción (adimensional)  
 g: Aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

Ecuación 48:  $f_s = \tan(\phi)$

donde:  $\phi$ : ángulo de espátula del sólido (°)

$$w_s = \left( \frac{(14.54)^2}{2} + (20 + 69 \tan(41))9.81 + \frac{\tan(41)(14.54)^2 \pi}{2} \right) 0.36$$

$$w_s = 741.68W$$

Ecuación 49:  $w_f = w_s + w_1$

donde:  $w_f$ : Pérdidas totales de potencia (W)

$$w_f = 741.68 + 8303.87D^2 + 3058.98D$$

h. Caída de presión

Ecuación 50: 
$$\Delta P = \frac{w_f}{m_a + m_s} \rho_m$$

donde:  $\Delta P$ : Caída de presión (Pa)

$$\Delta P = \frac{741.68 + 8303.87D^2 + 3058.98D}{27.96D + 0.36} \frac{27.96D^2 + 0.36}{11.41D^2 + 5.62 \times 10^{-4}}$$

i. Potencia del compresor

Ecuación 51: 
$$P = \frac{w_c + w_f}{\eta}$$

donde: P: Potencia requerida (kW)

$\eta$ : eficiencia del motor (adimensional)

$$P = \frac{1,891,195.07D^2 + 741.68 + 8303.87D^2 + 3058.98D}{0.5}$$

j. Potencia por tonelada transportada

Ecuación 52: 
$$w = 0.3722 \frac{P}{m_s}$$

donde: w: Potencia por tonelada transportada (hp/ton/h)

$$w = 2.07 \left( 1,891,195.07D^2 + 741.68 + 8303.87D^2 + 3058.98D \right) \frac{hp}{ton/h}$$

k. Saturación

Ecuación 53: 
$$S = \frac{V_a}{m_s}$$

donde: S: Saturación ( $ft^3_{\text{aire}}/lb_{\text{sólido}}$ )

D': Diámetro de la tubería (in)

$$S = \frac{97.33 \text{ ft} / \text{s} \left( \frac{\pi}{4} D^2 \right)}{0.80 \text{ lb}_m / \text{s}}$$

$$S = 95.55 D^2 \frac{\text{ft}^3 \text{ aire}}{\text{lb}_{m \text{ sólido}}}$$

### 1. Radio de sólidos

Ecuación 54: 
$$\varphi = \frac{m_s}{3.6 m_a}$$

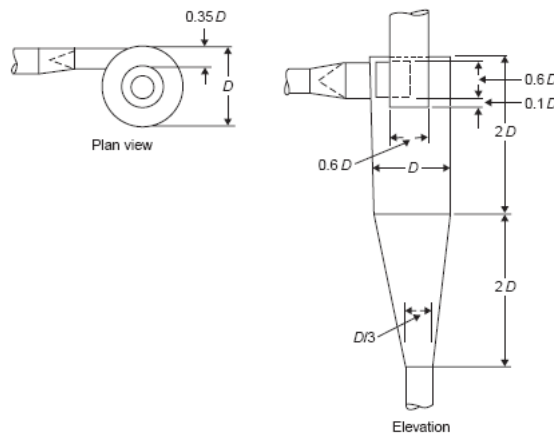
donde:  $\varphi$ : radio de sólidos (adimensional)

$$\varphi = \frac{m_s}{3.6 m_a}$$

Nota: Todas las ecuaciones se evalúan para diferentes valores de diámetro de tubería, y los valores de  $w$  y  $S$ , se comparan contra tablas que especifican los valores óptimos, con lo cual se selecciona el diámetro de tubería adecuado y todos los valores asociados.

### m. Ciclón

Figura 28: Relación de dimensiones para el ciclón



Ecuación 55: 
$$D = 15d$$

donde:  $d$ : diámetro de la tubería de transporte (m)

$D$ : Diámetro de la sección principal del ciclón (m)

Siendo  $d = 0.10 \text{ m}$

$$D = 15(0.10 \text{ m})$$

$$D = 1.50 \text{ m}$$

n. Válvula rotativa

Ecuación 56: 
$$N = \frac{m}{Vn\rho\eta * \frac{60}{1000}}$$

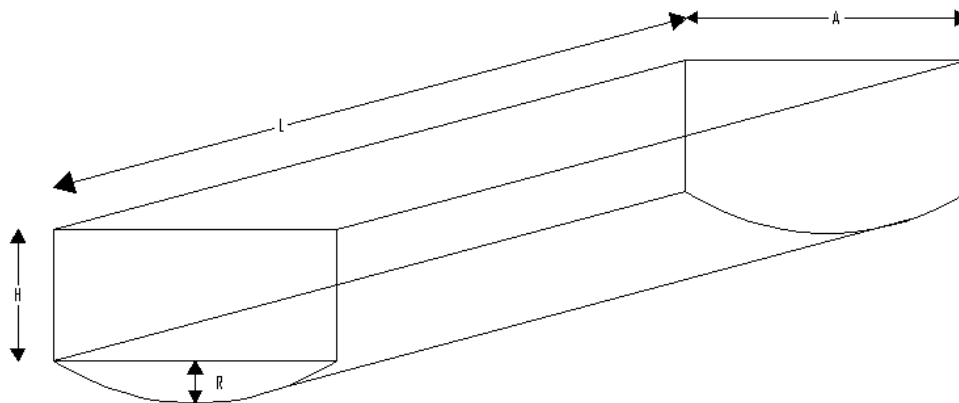
donde: N: velocidad rotacional (rev/min)  
 m: flujo másico (ton/h)  
 V: volumen del recipiente (m<sup>3</sup>)  
 n: número de recipientes (adimensional)  
 ρ: densidad del material (kg/m<sup>3</sup>)  
 η: eficiencia de llenado del recipiente (%)

$$N = \frac{1.30 \text{ ton/h}}{0.1 \text{ m}^3 * 8 * 640.74 \text{ kg/m}^3 * 50\% * \frac{60}{1000}}$$

$$N = 0.08 \text{ rev/min}$$

## 5. Mezclador

Figura 29: Dimensiones del mezclador



a. Volumen a contener

Ecuación 57: 
$$V = t \sum_i \frac{\dot{m}_i}{\rho_i}$$

donde: V: volumen del mezclador (m<sup>3</sup>)  
 m<sub>i</sub>: flujo másico (kg/s)  
 ρ<sub>i</sub>: densidad (kg/m<sup>3</sup>)  
 t: tiempo de amasado (h)

$$V = \left( \frac{604.43 \text{ kg/h}}{1100 \text{ kg/m}^3} + \frac{1270.57 \text{ kg/h}}{1000 \text{ kg/m}^3} \right) 13 \text{ min} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$V = 0.55 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{0.55 \text{ m}^3}{0.80}$$

$$V = 0.69 \text{ m}^3$$

b. Dimensiones de la sección prismática

La sección prismática contiene el 80% del volumen

Ecuación 58:  $V_p = LAH$

donde:  $V_p$ : Volumen del prisma ( $\text{m}^3$ )

L: Largo (m)

A: Ancho (m)

H: Altura (m)

$$V_p = L(0.43L)(0.2L)$$

$$V_p = 0.09L^3$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{0.8 * 0.69 \text{ m}^3}{0.09}}$$

$$L = 1.85 \text{ m}$$

$$A = 0.43 * 1.85 \text{ m}$$

$$A = 0.80 \text{ m}$$

$$H = 0.2 * 1.85 \text{ m}$$

$$H = 0.37 \text{ m}$$

c. Dimensiones de la sección cilíndrica

Esta sección, contiene el 20% del volumen

Ecuación 59:  $V_c = R \frac{A}{2} \pi L$

donde:  $V_c$ : Volumen de la sección cilíndrica

R: Altura (m)

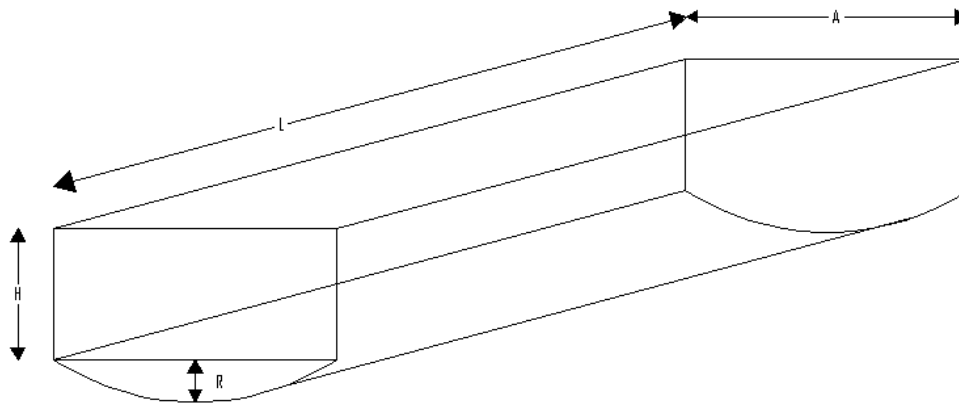
$$R = \frac{2V_c}{AL\pi}$$

$$R = \frac{2 * 0.20 * 0.63 \text{ m}^3}{0.80 \text{ m} * 1.85 \text{ m} * \pi}$$

$$R = 0.12 \text{ m}$$

## 6. Distribuidora

Figura 30: Dimensiones de la distribuidora



## a. Volumen a contener

Ecuación 60: 
$$V = t \frac{\dot{m}}{\rho}$$

donde:  $V$ : volumen del mezclador ( $m^3$ )  
 $m$ : flujo másico ( $kg/s$ )  
 $\rho$ : densidad ( $kg/m^3$ )  
 $t$ : tiempo de amasado (h)

$$V = \left( \frac{1875kg/h}{1410kg/m^3} \right) 5 \text{ min} * \frac{1h}{60 \text{ min}}$$

$$V = 0.11m^3$$

$$V = \frac{0.11m^3}{0.80}$$

$$V = 0.14m^3$$

## b. Dimensiones de la sección prismática

La sección prismática contiene el 85% del volumen

Ecuación 61: 
$$V_p = LAH$$

donde:  $V_p$ : Volumen del prisma ( $m^3$ )  
 $L$ : Largo (m)  
 $A$ : Ancho (m)  
 $H$ : Altura (m)

$$V_p = L(0.13L)(0.27L)$$

$$V_p = 0.035L^3$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{0.85 * 0.14m^3}{0.035}}$$

$$L = 1.50m$$

$$A = 0.13 * 1.50m$$

$$A = 0.20m$$

$$H = 0.27 * 1.50m$$

$$H = 0.40m$$

c. Dimensiones de la sección cilíndrica

Esta sección, contiene el 15% del volumen

Ecuación 62: 
$$V_c = R \frac{A}{2} \pi L$$

donde:  $V_c$ : Volumen de la sección cilíndrica

R: Altura (m)

$$R = \frac{2V_c}{AL\pi}$$

$$R = \frac{2 * 0.15 * 0.44m^3}{0.80m * 1.50m * \pi}$$

$$R = 0.09m$$

## 7. Tornillo de extrusión

a. Dimensiones

Ecuación 63: 
$$\frac{L}{D_t} = 4$$

donde: L: longitud del tornillo (m)

$D_t$ : diámetro del tornillo (m)

$$\frac{L}{0.275m} = 4$$

$$L = 1.1m(1.10)$$

$$L = 1.21m$$

## b. Superficie de trabajo

$$\text{Ecuación 64: } A = \frac{\phi D_i^2 \pi}{4}$$

donde: A: Superficie de llenado (m<sup>2</sup>)  
 $\phi$ : coeficiente de llenado (adimensional)

$$A = \frac{0.45 * (0.275m)^2 \pi}{4}$$

$$A = 0.027m^2$$

## c. Velocidad de avance

$$\text{Ecuación 65: } v = \frac{\dot{m}}{\rho A}$$

donde: v: velocidad de avance (m/s)  
 $\rho$ : densidad (kg/m<sup>3</sup>)

$$v = \frac{937.5kg/h}{(1410kg/m^3)(0.027m^2)} * \frac{1h}{3600s}$$

$$v = 0.0069m/s$$

## d. Velocidad de giro

$$\text{Ecuación 66: } n = \frac{60v}{S}$$

donde: n: velocidad de giro (min<sup>-1</sup>)  
 S: paso del tornillo (m)

$$n = \frac{\left(\frac{60s}{1min}\right)(0.0069m/s)}{0.005m}$$

$$n = 82.92 \text{ min}^{-1} (rpm)$$

## e. Potencia para mover el material

$$\text{Ecuación 67: } P_H = \frac{I_M L \lambda g}{360} S$$

donde: P<sub>H</sub>: potencia para mover el material (kW)  
 I<sub>M</sub>: capacidad de transporte (ton/h)  
 L: longitud del tornillo (m)  
 $\lambda$ : coeficiente de resistencia al avance (adimensional)

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$$P_H = \frac{\left(937.5 \frac{kg}{h} * \frac{1ton}{1000kg}\right)(1.21m)(902)\left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)}{360}$$

$$P_H = 27.88kW$$

f. Potencia en vacío

Ecuación 68:  $P_N = \frac{LD}{20}$

donde:  $P_N$ : potencia en vacío (kW)

$$P_N = \frac{(1.21m)(0.275m)}{20 \frac{m^2}{kW}}$$

$$P_N = 0.02kW$$

g. Potencia por inclinación

Ecuación 69:  $P_{ST} = \frac{I_M H}{367}$

donde:  $P_{ST}$ : potencia por inclinación (kW)

H: altura (m)

$$P_{ST} = \frac{(0.9375ton/h)(0m)}{367tonm/kWh}$$

$$P_{ST} = 0kW$$

h. Potencia total

Ecuación 70:  $P = P_H + P_N + P_{ST}$

donde: P: Potencia total (kW)

$$P = 27.88kW + 0.02kW + 0kW$$

$$P = 27.90kW * \frac{1hP}{0.74624kW}$$

$$P = 37.39hP$$

## 8. Sistema de cangilones

a. Peso del material dentro del cangilón

Ecuación 71:  $W = V_N \phi \rho_P$

donde:  $W$ : peso de la pasta fresca (kg)  
 $V_N$ : volumen nominal del cangilón ( $m^3$ )  
 $\phi$ : coeficiente de llenado (adimensional)  
 $\rho_P$ : densidad de la pasta fresca ( $kg/m^3$ )  
 $W = (1.9 \times 10^{-3} m^3)(0.40)(198 kg/m^3)$   
 $W = 0.15 kg$

b. Peso del cangilón

Ecuación 72:  $W' = V_N \rho_M$

donde:  $W'$ : Peso del cangilón (kg)  
 $\rho_M$ : densidad del material del que está construido el cangilón ( $kg/m^3$ )  
 $W' = (1.9 \times 10^{-3} m^3)(7850 kg/m^3)$   
 $W' = 14.92 kg$

c. Peso lineal

Ecuación 73:  $W_L = \frac{W_B}{A_B}$

donde:  $W_L$ : peso lineal ( $kg/m$ )  
 $W_B$ : Peso de la cadena ( $kg/m^2$ )  
 $A_B$ : Ancho de la cadena (m)  
 $W_L = \frac{0.4 kg/m^2}{0.225 m}$   
 $W_L = 1.78 kg/m$

d. Velocidad de avance de los cangilones

Ecuación 74:  $v = \frac{F}{P} l$

donde:  $v$ : velocidad de avance del cangilón (m/s)  
 $F$ : flujo de pasta ( $kg/s$ )  
 $l$ : longitud del cangilón (m)  
 $v = \frac{1797.95 \frac{kg_{pasta}}{h} \frac{1h}{3600s}}{0.15 kg_{pasta}} * 0.2m$   
 $v = 0.53 m/s$

## e. Esfuerzo a vencer

Ecuación 75: 
$$F_1 = W \frac{L}{d}$$

donde:  $F_1$ : esfuerzo a vencer 1 (N)  
 L: distancia entre tambores (m)  
 d: distancia entre cangilones (m)

$$F_1 = 0.15 * \frac{6.3m}{0.2m}$$

$$F_1 = 4.47N$$

Ecuación 76: 
$$F_2 = 0.05 \left( W_L L + \frac{L}{d} (W + W') \right)$$

donde:  $F_2$ : esfuerzo a vencer 2 (N)

$$F_2 = 0.05 \left( \left( 1.78 \frac{kg}{m} \right) (6.3) + \frac{6.3m}{0.2m} (0.15 + 14.92kg) \right)$$

$$F_2 = 24.29N$$

Ecuación 77: 
$$F_3 = 1.4 I_M$$

donde:  $F_3$ : Esfuerzo a vencer 3 (N)  
 $I_M$ : capacidad de transporte (ton/h)

$$F_3 = 1.4 (1.79795 \text{ ton/h})$$

$$F_3 = 2.52N$$

Ecuación 78: 
$$F = \sum_i F_i$$

donde: F: esfuerzo total (N)

$$F = 4.47N + 24.29N + 2.52N$$

$$F = 31.55N$$

## f. Potencia

Ecuación 79: 
$$P = \frac{Fv}{75\eta}$$

donde: P: Potencia requerida (kW)

$\eta$ : eficiencia del motor (adimensional)

$$P = \frac{(31.55N)(0.53m/s)}{75 * 0.5}$$

$$P = 0.45kW * \frac{1hp}{0.74624kW}$$

$$P = 0.60hp$$

## 9. Banda transportadora

### a. Ancho efectivo de banda

Ecuación 80:  $b = 0.9B - 0.05$

donde: b: ancho efectivo de banda (m)

B: ancho de banda (m)

$$b = 0.9(1.4m) - 0.05$$

$$b = 1.21m$$

### b. Flujo volumétrico

Ecuación 81:  $\dot{V} = \frac{\dot{m}}{3600\rho_{Pasta}}$

donde: V: flujo volumétrico de pasta ( $m^3$ )

m: flujo másico (kg/h)

$\rho_{Pasta}$ : densidad de la pasta ( $kg/m^3$ )

$$\dot{V} = \frac{1875kg/h}{3600(579kg/m^3)}$$

$$\dot{V} = 8.99 \times 10^{-4} m^3/s$$

### c. Velocidad de avance

Ecuación 82:  $v = \frac{\dot{V}}{bh}$

donde: v: velocidad de avance (m/s)

h: altura que ocupa la pasta en la banda (m)

$$v = \frac{8.99 \times 10^{-4} m^3/s}{(1.21m)(0.002m)}$$

$$v = 0.37m/s$$

## d. Potencia horizontal

Ecuación 83: 
$$P_H = \left( 0.4 + \frac{L}{300 * 0.3048} \right) \left( \frac{0.74624 \dot{m}}{100000} \right)$$

donde:  $P_H$ : potencia horizontal (kW)  
L: Longitud de la banda (m)

$$P_H = \left( 0.4 + \frac{4.50m}{300 * 0.3048} \right) \left( \frac{0.74624 * 1875kg/h}{100000} \right)$$

$$P_H = 0.0063kW * \frac{1hp}{0.74624kW}$$

$$P_H = 0.0084hp$$

## e. Potencia vertical

Ecuación 84: 
$$P_V = \frac{7.4624x10^{-4} H\dot{m}}{304.8}$$

donde:  $P_V$ : Potencia vertical (kW)  
H: Elevación (m)

$$P_V = \frac{7.4624x10^{-4} (0m)(1875kg/h)}{304.8}$$

$$P_V = 0kW$$

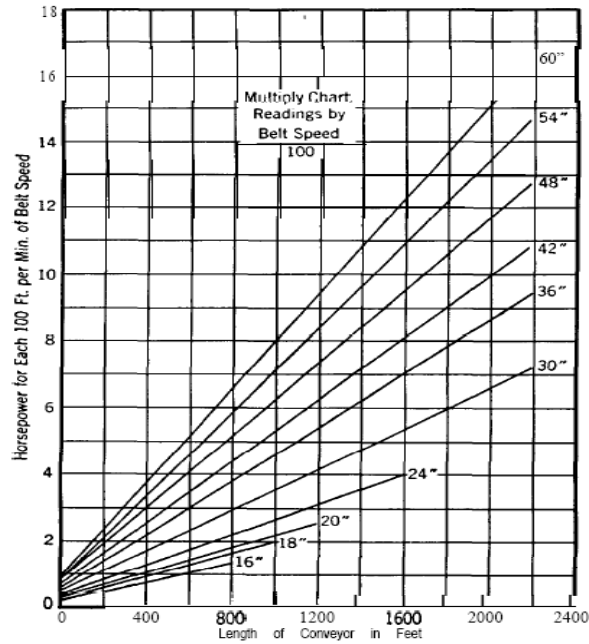
## f. Potencia en vacío

Ecuación 85: 
$$P_E = \frac{60 * 0.74624 L_t v}{30.48}$$

donde:  $P_E$ : Potencia en vacío (kW)  
 $L_t$ : Pérdidas por longitud de tubería (hp/100ft)

Figura 31

Determinación de las pérdidas de energía por longitud de transporte



(Couper, 2005:187)

$$P_E = \frac{60 * 0.74624 * 1(\text{hp}/100\text{ft}) * 0.37\text{m/s}}{30.48}$$

$$P_E = 0.55\text{kW} * \frac{1\text{hp}}{0.74624\text{kW}}$$

$$P_E = 0.73\text{hp}$$

g. Potencia del motor

Ecuación 86: 
$$P = \frac{P_H + P_V + P_E}{\eta}$$

donde:

P: potencia de la banda (kW)

$\eta$ : eficiencia del motor (adimensional)

$$P = \frac{(0.0063 + 0 + 0.55)\text{kW}}{0.90}$$

$$P = 0.62\text{kW} * \frac{1\text{hp}}{0.74624\text{kW}}$$

$$P = 0.83\text{hp}$$

## 10. Secado

### a. Energía para calentar el aire

Ecuación 87:  $Q = C_s (T_0 - T_a)$

donde: Q: energía que se requiere para elevar la temperatura del aire (kJ/kg<sub>aireseco</sub>)

C<sub>s</sub>: calor humedo del aire (kJ/kg°C)

T<sub>0</sub>: temperatura a la que se desea llevar el aire (°C)

T<sub>a</sub>: temperatura del aire en el ambiente (°C)

$$Q = \left( 1.031 \frac{kJ}{kg^\circ C} \right) (25^\circ C - 40^\circ C)$$

$$Q = 15.4694 \frac{kJ}{kg}$$

Tomando en cuenta que la presión atmosférica promedio en la ciudad de Guatemala es de 85.33kPa y en base a la temperatura de bulbo seco del aire del ambiente es 25°C y de la temperatura de bulbo húmedo es de 19°C, se determinan las propiedades del aire del ambiente utilizando la carta psicrométrica.

Ecuación 88:  $H_0 = Q + H_a$

donde: H<sub>0</sub>: entalpía del aire después de elevada la temperatura (kJ/kg<sub>aireseco</sub>)

H<sub>a</sub>: entalpía del aire del ambiente (kJ/kg<sub>aireseco</sub>)

$$H_0 = 15.4694 \frac{kJ}{kg_{aireseco}} + 60.678 \frac{kJ}{kg_{aireseco}}$$

$$H_0 = 76.1474 \frac{kJ}{kg_{aireseco}}$$

Utilizando ahora como parámetros T<sub>0</sub> y H<sub>0</sub>, se utiliza nuevamente la carta psicrométrica para determinar el resto de propiedades del aire que ingresa y sale del secador, asumiendo que éste se encuentra en estado de saturación al final del proceso.

### b. Balance de Masa

Ecuación 89:  $S_s (X_0 - X_f) = G_{\min} (Y_f - Y_0)$

donde: S<sub>s</sub>: flujo de material seco (kg/h)

X<sub>0</sub>: humedad inicial de la masa (kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>sólidoseco</sub>)

X<sub>f</sub>: humedad final de la masa (kg<sub>H2O</sub>/kg<sub>sólidoseco</sub>)

G<sub>min</sub>: flujo de aire mínimo para el secado (kg<sub>aireseco</sub>/h)

$Y_f$ : humedad del aire a la salida del secado ( $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$ )

$Y_0$ : humedad del aire a la entrada del secado ( $\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$ )

$$1312.5 \frac{\text{kg}_{\text{pastaseca}}}{h} \left( 0.429 \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{pastaseca}}} - 0.370 \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{pastaseca}}} \right) = G_{\min} (Y_{\text{sat}} - Y_0)$$

$$77.055 \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{h} = G_{\min} \left( 0.021144 \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{aireseco}}} - 0.013959 \frac{\text{kg}_{\text{H}_2\text{O}}}{\text{kg}_{\text{aireseco}}} \right)$$

$$G_{\min} = 10724.40 \frac{\text{kg}_{\text{aireseco}}}{h}$$

Ecuación 90:

$$\dot{V}_{\min} = G_{\min} v$$

donde:

$V_{\min}$ : flujo volumétrico mínimo de aire ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$v$ : volumen húmedo ( $\text{m}^3/\text{kg}_{\text{aireseco}}$ )

$$\dot{V}_{\min} = \left( 10724.40 \frac{\text{kg}_{\text{aireseco}}}{h} \right) \left( 1.0261 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{aireseco}}} \right)$$

$$\dot{V}_{\min} = 11004.30 \frac{\text{m}^3_{\text{aire}}}{h}$$

#### c. Balance de energía

Ecuación 91:  $\Delta H_{\text{Pasta}} = G_{\min} (H_f - H_0)$

donde:

$\Delta H_{\text{pasta}}$ : cambio de entalpía en la pasta ( $\text{kJ}/\text{h}$ )

$H_f$ : entalpía del aire a la salida del secador ( $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$ )

$H_0$ : entalpía del aire a la entrada del secador ( $\text{kJ}/\text{kg}_{\text{aireseco}}$ )

$$\Delta H_{\text{Pasta}} = 10724.40 \frac{\text{kg}_{\text{aireseco}}}{h} \left( 76.84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{aireseco}}} - 76.15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}_{\text{aireseco}}} \right)$$

$$\Delta H_{\text{Pasta}} = 10724.40 \frac{\text{kJ}}{h}$$

#### d. Requerimiento de vapor

Ecuación 92:  $m_v = \frac{G_{\min} Q}{\lambda}$

donde:

$m_v$ : flujo de vapor para calentar el aire ( $\text{kg}/\text{h}$ )

$\lambda$ : calor latente de vaporización del agua ( $\text{kJ}/\text{kg}$ )

$$m_v = \frac{10724.40 \frac{kg_{aireseco}}{h} * 15.4694 \frac{kJ}{kg_{aireseco}}}{2202.2 \frac{kJ}{kg_{vapor}}}$$

$$m_v = 75.3337 \frac{kg_{vapor}}{h}$$

e. Potencia del motor

Ecuación 93: 
$$\eta W_p = \frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta U^2}{2} + g \Delta z$$

donde:

h: eficiencia del motor

$W_p$ : potencia del ventilador (kJ/kg)

$\Delta P$ : cambio en la presión (kPa)

$\rho$ : densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

U: velocidad lineal del aire (m/s)

g: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

$\Delta z$ : cambio en la altura (m)

$$0.75 W_p = \frac{15998.68 Pa}{0.9982 kg/m^3} + \frac{(15.57^2 - 0) m/s}{2} + g(0)$$

$$W_p = 1446.48 J / kg$$

Ecuación 94: 
$$P_B = m W_p$$

donde:

$P_B$ : potencia del motor (kJ/kg)

m: flujo de aire seco (kg/s)

$W_p$ : potencia del ventilador (kJ/kg)

$$P_B = 2.98 kg/s * 1446.48 J/kg$$

$$P_B = 6.63 kW$$

## C. Datos calculados

Cuadro 29

Datos intermedios para el dimensionamiento del silo de harina

Tiempo de producción	48 h
Sólidos a almacenar	72000 kg
Volumen de sólidos	146.081 m <sup>3</sup>
Porcentaje de sólidos en el cuerpo del silo	85 %
Porcentaje de sólidos en la tolva	15 %
Relación H D	2.5

Cuadro 30

Datos intermedios para el dimensionamiento del tanque principal de agitación

Tiempo de producción	10 h
Requerimiento de agua	5.625 m <sup>3</sup>
Rpm	90 min <sup>-1</sup>
Rps	1.5 s <sup>-1</sup>
$\alpha$	0.95
$N_Q$	1.3
$\rho$	1100 kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	1.20x10 <sup>-3</sup> Pa s
Re	4.69x10 <sup>5</sup>
$K_T$	5.75

Cuadro 31

Datos intermedios para el dimensionamiento del tanque secundario de agitación

Tiempo de producción	1 h
Requerimiento de agua	0.5625 m <sup>3</sup>
Rpm	90 min <sup>-1</sup>
Rps	1.5 s <sup>-1</sup>
$\alpha$	0.95
$N_Q$	1.3
$\mu$	1.20x10 <sup>-3</sup> Pa s
Re	1.01x10 <sup>5</sup>
$K_T$	5.75

Cuadro 32

Datos intermedios para el dimensionamiento de la bomba

Presión	Presión <sub>1</sub>	112,255.09 Pa
	Presión <sub>2</sub>	506,625.00 Pa
	$\Delta P$	394,369.91 Pa
	$\Delta P/\rho$	358.52 J/kg
Altura	Nivel de referencia	0 m
	Altura final	4.00 m
	$\Delta z$	4.00 m
	$g\Delta z$	39.24 J/kg
Velocidad	Velocidad <sub>1</sub>	0.032 m/s
	Velocidad <sub>2</sub>	0.071 m/s
	$\Delta V^2/2$	0.002 J/kg
Fricción	Por accesorios	0.0060 J/kg
	Por fricción (tubería)	0.0173 J/kg
	Por contracción	0.0002 J/kg

Cuadro 33

Flujos que debe manejar la bomba y tuberías

D <sub>tuberíadescarga</sub>	2 in
D <sub>internodescarga</sub>	2.067 in
D <sub>tuberíasucción</sub>	3 in
D <sub>internosucción</sub>	3.068 in
Flujo de agua	562.5 kg/h
Flujo de aditivo	41.93 kg/h
Flujo total	604.43 kg/h
Flujo volumétrico	0.549 m <sup>3</sup> /h
Re <sub>1</sub>	1540.17
Re <sub>2</sub>	3393.11

Cuadro 34

Flujos que debe manejar la mezcladora

Flujo	Masico	Volumétrico
Entrada líquido	604.43 kg/h	0.55 m <sup>3</sup> /h
Entrada harina	1270.57 kg/h	1.98 m <sup>3</sup> /h
Total	1875.00 kg/h	2.53 m <sup>3</sup> /h

Cuadro 35

Datos intermedios para el dimensionamiento de la mezcladora de harina

Tiempo de amasado	13 min
Volumen a contener	0.55 m <sup>3</sup>
Volumen ocupado	80.00 %
Volumen real	0.69 m <sup>3</sup>

Cuadro 36

Datos intermedios para el dimensionamiento de la distribuidora de masa

Tiempo de residencia	5 min
Volumen a contener	0.11 m <sup>3</sup>
Volumen ocupado	80.00 %
Volumen real	0.14 m <sup>3</sup>

Cuadro 37

Datos intermedios para el dimensionamiento del tornillo de extrusión

Superficie de trabajo (A)	0.027 m <sup>2</sup>
Paso (S)	0.005 m
Capacidad de transporte (I <sub>M</sub> )	0.9375 ton/h
Caudal transportad (I <sub>V</sub> )	0.6649 m <sup>3</sup> /h
velocidad de avance (v)	0.0069 m/s
Coefficiente de Resistencia al avance (λ)	902
Altura (H)	0 m
velocidad de giro (n)	82.92 rpm
Potencia para mover el material (P <sub>H</sub> )	27.88 kW
Potencia en vacío (P <sub>N</sub> )	0.02 kW
Potencia por inclinación (P <sub>ST</sub> )	0.00 kW
coeficiente de llenado (φ)	0.45

Cuadro 38

Datos intermedios para el dimensionamiento del sistema de cangilones del pre-secador al secador

Coeficiente de llenado ( $\phi$ )	0.40
Volumen nominal	0.0019 m <sup>3</sup>
Densidad de la pasta	198.00 kg/m <sup>3</sup>
Densidad del acero	7850.00 kg/m <sup>3</sup>
Flujo de pasta	1797.95 kg/h
W	0.15 kg
W'	14.92 kg
W <sub>L</sub>	1.78 kg/m
Eficiencia motor	0.5
L	6.30 m
D	0.20 m
F <sub>1</sub>	4.74 N
F <sub>2</sub>	24.29 N
F <sub>3</sub>	2.52 N
F	31.55 N
Peso cadena	0.40 kg/m <sup>2</sup>
Ancho cadena	0.23 m

Cuadro 39

Datos intermedios para el dimensionamiento del sistema de cangilones del secador al enfriador

Coeficiente de llenado ( $\phi$ )	0.40
Volumen nominal	0.0019 m <sup>3</sup>
Densidad de la pasta	198.00 kg/m <sup>3</sup>
Densidad del acero	7850.00 kg/m <sup>3</sup>
Flujo de pasta	1500.00 kg/h
W	0.15 kg
W'	14.92 kg
WL	1.78 kg/m
Eficiencia motor	0.50
L	1.90 m
D	0.20 m
F <sub>1</sub>	1.43 N
F <sub>2</sub>	7.32 N
F <sub>3</sub>	2.10 N
F	10.85 N
Peso cadena	0.40 kg/m <sup>2</sup>
Ancho de cadena	0.23 m

Cuadro 40

Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda transportadora del pre-secador

$\rho_{\text{Pasta}}$	579.00 kg/m <sup>3</sup>
altura de la pasta	0.002 m
Flujo	1875.00 kg/h
B	1.21 m
$\eta$	0.90
Flujo volumétrico	0.00090 m <sup>3</sup> /s
$P_H$	0.01 kW
$P_V$	0.00 kW
Perdidas	1.00 hp/100ft
$P_E$	0.55 kW
$P_{\text{total}}$	0.56 kW

Cuadro 41

Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda del nivel 1 del secador

$\rho_{\text{Pasta}}$	579.00 kg/m <sup>3</sup>
altura de la pasta	0.002 m
Flujo	1797.95 kg/h
B	1.21 m
$\eta$	0.90
Flujo volumétrico	0.00086 m <sup>3</sup> /s
Velocidad de la banda	0.36 m/s
$P_H$	0.01 kW
$P_V$	0.00 kW
Perdidas	1.30 hp/100ft
$P_E$	0.68 kW
$P_{\text{total}}$	0.69 kW

Cuadro 42

Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda del nivel 2 del secador

$\rho_{\text{Pasta}}$	579.00 kg/m <sup>3</sup>
altura de la pasta	0.002 m
Flujo	1640.63 kg/h
B	1.21 m
$\eta$	0.90
Flujo volumétrico	0.00079 m <sup>3</sup> /s
Velocidad de la banda	0.33 m/s
$P_H$	0.01 kW
$P_V$	0.00 kW
Perdidas	1.30 hp/100ft
$P_E$	0.62 kW
$P_{\text{total}}$	0.63 kW

Cuadro 43

Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda del nivel 3 del secador

$\rho_{\text{Pasta}}$	579.00 kg/m <sup>3</sup>
altura de la pasta	0.002 m
Flujo	1544.12 kg/h
B	1.21 m
$\eta$	0.90
Flujo volumétrico	0.00074 m <sup>3</sup> /h
Velocidad de avance	0.31 m/s
$P_H$	0.01 kW
$P_V$	0.00 kW
Perdidas	1.30 hp/100ft
$P_E$	0.58 kW
$P_{\text{total}}$	0.59 kW

Cuadro 44

Datos intermedios para el dimensionamiento de la banda transportadora del enfriador

$\rho_{\text{Pasta}}$	579.00 kg/m <sup>3</sup>
altura de la pasta	0.002 m
Flujo	1500.00 kg/h
B	1.21 m
$\eta$	0.90
Flujo volumétrico	0.00090 m <sup>3</sup> /h
$P_H$	0.01 kW
$P_V$	0.01 kW
Perdidas	1.00 hp/100ft
$P_E$	0.44 kW
$P_{\text{total}}$	0.45 kW

Cuadro 45

Datos intermedios para el dimensionamiento del sistema neumático de transporte de harina

Diámetro tubería (in)	Diámetro tubería (m)	$m'_a$	$\rho_m$	Le	$\phi$
1	0.03	0.02	48.01	0.77	5.58
1.5	0.04	0.04	23.54	1.15	2.48
2	0.05	0.07	14.49	1.53	1.39
2.5	0.06	0.11	10.21	1.92	0.89
3	0.08	0.16	7.86	2.30	0.62
3.5	0.09	0.22	6.43	2.68	0.46
4	0.10	0.29	5.50	3.06	0.35
4.5	0.11	0.37	4.87	3.45	0.28
5	0.13	0.45	4.41	3.83	0.22

Cuadro 46

Potencias requeridas para el sistema de transporte neumático de harina

Diámetro tubería (in)	$w_c$	$w_l$	$w_s$	$w_f$	$\Delta P$ (Pa)	P (kW)	HP/TPH	SCFM/(lb/min)
1	1221.52	82.25	637.00	719.25	90675.99	3.88	3.62	0.66
1.5	2748.42	126.76	637.00	763.76	44560.87	7.02	6.55	1.49
2	4886.09	173.51	637.00	810.51	26989.82	11.39	10.62	2.66
2.5	7634.51	222.50	637.00	859.50	18442.93	16.99	15.83	4.15
3	10993.70	273.75	637.00	910.75	13621.81	23.81	22.19	5.97
3.5	14963.64	327.25	637.00	964.25	10619.57	31.86	29.69	8.13
4	19544.35	383.00	637.00	1020.00	8613.25	41.13	38.33	10.62
4.5	24735.82	440.99	637.00	1077.99	7199.70	51.63	48.12	13.44
5	30538.04	501.23	637.00	1138.23	6162.10	63.35	59.05	16.59
Valores recomendados							30.14	14.8

Cuadro 47

Condiciones para elevar la temperatura del aire

Condición de salida	Entrada (kJ/kg)	Salida (kJ/kg)	Calor requerido (kJ/kg)	Vapor (kg/h)
Aire caliente 40°C	60.678	76.1474	15.4694	75.3337365
Aire caliente 50°C	60.678	86.4603	25.7823	176.3024203
Aire caliente 60°C	60.678	96.7733	36.0953	114.5076104

Cuadro 48

Humedad de la pasta a través del secado

Punto	Humedad		Humedad (kgH <sub>2</sub> O/kg sólido)	
	Inicial	Final	Inicial	Final
Pre-secador	0.30	0.27	0.43	0.37
Nivel 1	0.27	0.20	0.37	0.25
Nivel 2	0.20	0.15	0.25	0.18
Nivel 3	0.15	0.125	0.18	0.14

Cuadro 49

Propiedades del aire de secado

Aire de entrada				Aire salida			
T (°C)	Y (kgH <sub>2</sub> O/kg aire seco)	H (kJ/kg aire seco)	v (m <sup>3</sup> /kg aire seco)	T (°C)	Y (kgH <sub>2</sub> O/kg aire seco)	H (kJ/kg aire seco)	v (m <sup>3</sup> /kg aire seco)
40.00	0.013959	76.15	1.08	22.94	0.021144	76.84	1.03
50.00	0.013962	86.46	1.11	25.24	0.024409	87.56	1.04
60.00	0.013964	96.77	1.15	27.35	0.027778	98.37	1.06
60.00	0.013964	96.77	1.15	27.35	0.027778	98.37	1.06

Cuadro 50

Flujos de aire requeridos para el secado y balance de energía

Punto	G (kg <sub>aireseco</sub> /h)	F (m <sup>3</sup> /h)	v (m/s)	ΔH (kJ/h)
Pre-secador	10724.40	11004.30	15.57	7406.31
Nivel 1	15058.89	15451.93	21.86	16620.08
Nivel 2	6986.20	7168.54	10.14	11162.14
Nivel 3	3193.69	3277.05	4.64	5102.69

Cuadro 51

Condiciones para el enfriamiento

C <sub>p</sub> Pasta (kJ/kg°C)	0.494
Calor a remover (kJ/s)	5.143
Flujo de aire (kg/s)	0.499
Flujo volumetrico (m <sup>3</sup> /s)	0.512
Área	2.559

Cuadro 52

Salarios del personal operativo de la nueva línea

Año	Puesto	Número de Personas	Salario Base	Costo HEO	HEO	Costo	Costo HED	HED	Costo	Salario Mensual
1, 2	Operador de Línea	3	Q2,000.00	Q12.50	32	Q400.00	Q16.67	12	Q200.00	Q2,600.00
	Operador de Empaque	3	Q2,000.00	Q12.50	32	Q400.00	Q16.67	12	Q200.00	Q2,600.00
	Empacador	6	Q1,700.00	Q10.63	32	Q340.00	Q14.17	12	Q170.00	Q2,210.00
3, 4	Operador de Línea	3	Q2,200.00	Q13.75	32	Q440.00	Q18.33	12	Q220.00	Q2,860.00
	Operador de Empaque	3	Q2,200.00	Q13.75	32	Q440.00	Q18.33	12	Q220.00	Q2,860.00
	Empacador	6	Q1,870.00	Q11.69	32	Q374.00	Q15.58	12	Q187.00	Q2,431.00
5, 6	Operador de Línea	3	Q2,420.00	Q15.13	32	Q484.00	Q20.17	12	Q242.00	Q3,146.00
	Operador de Empaque	3	Q2,420.00	Q15.13	32	Q484.00	Q20.17	12	Q242.00	Q3,146.00
	Empacador	6	Q2,057.00	Q12.86	32	Q411.40	Q17.14	12	Q205.70	Q2,674.10
7, 8	Operador de Línea	3	Q2,662.00	Q16.64	32	Q532.40	Q22.18	12	Q266.20	Q3,460.60
	Operador de Empaque	3	Q2,662.00	Q16.64	32	Q532.40	Q22.18	12	Q266.20	Q3,460.60
	Empacador	6	Q2,262.70	Q14.14	32	Q452.54	Q18.86	12	Q226.27	Q2,941.51
9, 10	Operador de Línea	3	Q2,928.20	Q18.30	32	Q585.64	Q24.40	12	Q292.82	Q3,806.66
	Operador de Empaque	3	Q2,928.20	Q18.30	32	Q585.64	Q24.40	12	Q292.82	Q3,806.66
	Empacador	6	Q2,488.97	Q15.56	32	Q497.79	Q20.74	12	Q248.90	Q3,235.66

Cuadro 53  
Prestaciones laborales del personal operativo

Año	Puesto	Bonificación	IGSS	IRTRA	INTECAP	Bono 14	Aguinaldo	Otros	Pasivo Laboral	Costo Total Anual
1, 2	Operador de Línea	Q250.00	Q3,329.04	Q312.00	Q312.00	Q2,600.00	Q2,600.00	Q2,600.00	Q2,600.00	Q145,659.12
	Operador de Empaque	Q250.00	Q3,329.04	Q312.00	Q312.00	Q2,600.00	Q2,600.00	Q2,600.00	Q2,600.00	Q145,659.12
	Empacador	Q250.00	Q2,829.68	Q265.20	Q265.20	Q2,210.00	Q2,210.00	Q2,210.00	Q2,210.00	Q250,320.50
3, 4	Operador de Línea	Q250.00	Q3,661.94	Q343.20	Q343.20	Q2,860.00	Q2,860.00	Q2,860.00	Q2,860.00	Q159,325.03
	Operador de Empaque	Q250.00	Q3,661.94	Q343.20	Q343.20	Q2,860.00	Q2,860.00	Q2,860.00	Q2,860.00	Q159,325.03
	Empacador	Q250.00	Q3,112.65	Q291.72	Q291.72	Q2,431.00	Q2,431.00	Q2,431.00	Q2,431.00	Q273,552.55
5, 6	Operador de Línea	Q250.00	Q4,028.14	Q377.52	Q377.52	Q3,146.00	Q3,146.00	Q3,146.00	Q3,146.00	Q174,357.54
	Operador de Empaque	Q250.00	Q4,028.14	Q377.52	Q377.52	Q3,146.00	Q3,146.00	Q3,146.00	Q3,146.00	Q174,357.54
	Empacador	Q250.00	Q3,423.92	Q320.89	Q320.89	Q2,674.10	Q2,674.10	Q2,674.10	Q2,674.10	Q299,107.81
7, 8	Operador de Línea	Q250.00	Q4,430.95	Q415.27	Q415.27	Q3,460.60	Q3,460.60	Q3,460.60	Q3,460.60	Q190,893.29
	Operador de Empaque	Q250.00	Q4,430.95	Q415.27	Q415.27	Q3,460.60	Q3,460.60	Q3,460.60	Q3,460.60	Q190,893.29
	Empacador	Q250.00	Q3,766.31	Q352.98	Q352.98	Q2,941.51	Q2,941.51	Q2,941.51	Q2,941.51	Q327,218.59
9, 10	Operador de Línea	Q250.00	Q4,874.05	Q456.80	Q456.80	Q3,806.66	Q3,806.66	Q3,806.66	Q3,806.66	Q209,082.62
	Operador de Empaque	Q250.00	Q4,874.05	Q456.80	Q456.80	Q3,806.66	Q3,806.66	Q3,806.66	Q3,806.66	Q209,082.62
	Empacador	Q250.00	Q4,142.94	Q388.28	Q388.28	Q3,235.66	Q3,235.66	Q3,235.66	Q3,235.66	Q358,140.45

Cuadro 54  
Porcentaje de prestaciones laborales

Prestaciones	Porcentaje
IGSS	10.67%
IRTRA	1.00%
INTECAP	1.00%
Bono 14	8.33%
Aguinaldo	8.33%
Otros	8.33%
Pasivo Laboral	8.33%

Cuadro 55  
Costo de equipo

Equipo	Costo de los equipos	Costos de envío	IVA	Costos de Instalación
Línea	Q28,000,000.00	Q1,120,000.00	Q3,360,000.00	Q4,200,000.00
Silo	Q150,000.00	Q0.00	Q0.00	Q22,500.00
Transporte neumático	Q380,000.00	Q15,200.00	Q45,600.00	Q57,000.00
Tanque de agitación	Q148,246.66	Q5,929.87	Q17,789.60	Q22,237.00
Bomba	Q3,389.60	Q0.00	Q0.00	Q508.44
Tanque secundario	Q46,879.71	Q1,875.19	Q5,625.57	Q7,031.96

Equipo	Costos de Instrumentación	Tubería	Sistemas eléctricos	Costo Total
Línea	Q2,800,000.00	Q5,600,000.00	Q3,640,000.00	Q48,720,000.00
Silo	Q0.00	Q0.00	Q0.00	Q172,500.00
Transporte neumático	Q49,400.00	Q76,000.00	Q49,400.00	Q672,600.00
Tanque de agitación	Q0.00	Q29,649.33	Q19,272.07	Q243,124.52
Bomba	Q0.00	Q0.00	Q440.65	Q4,338.69
Tanque secundario	Q0.00	Q9,375.94	Q6,094.36	Q76,882.72
Inversión				Q49,889,445.93

Cuadro 56

Porcentajes utilizados para la estimación de los servicios del equipo utilizando la tabla 9-51 del Manual del

Ingeniero Químico

Instalación	0.15
Instrumentación	0.10
Tubería	0.20
Sistemas eléctricos	0.13

Cuadro 57

## Depreciación de equipo utilizando método SMARC

Año	d	Depreciación	Valor en libros
0	0.00%	Q0.00	Q49,889,445.93
1	10.00%	Q4,988,944.59	Q44,900,501.33
2	18.00%	Q8,980,100.27	Q35,920,401.07
3	14.40%	Q7,184,080.21	Q28,736,320.85
4	11.52%	Q5,747,264.17	Q22,989,056.68
5	9.22%	Q4,599,806.91	Q18,389,249.77
6	7.37%	Q3,676,852.16	Q14,712,397.60
7	6.55%	Q3,267,758.71	Q11,444,638.90
8	6.55%	Q3,267,758.71	Q8,176,880.19
9	6.55%	Q3,267,758.71	Q4,909,121.48
10	6.55%	Q3,267,758.71	Q1,641,362.77
11	3.29%	Q1,641,362.77	Q0.00

Cuadro 58

## Costo de materia prima (Q/kg)

Item /Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Harina	Q1.12	Q1.21	Q1.31	Q1.41	Q1.53	Q1.65	Q1.78	Q1.92	Q2.08	Q2.24
Vainilla	Q147.77	Q155.16	Q162.91	Q171.06	Q179.61	Q192.19	Q205.64	Q220.03	Q235.44	Q251.92
Chile	Q143.85	Q151.05	Q158.60	Q166.53	Q174.85	Q187.09	Q200.19	Q214.20	Q229.20	Q245.24
Espicias	Q422.20	Q443.30	Q465.47	Q488.75	Q513.18	Q549.10	Q587.54	Q628.68	Q672.68	Q719.76

Cuadro 59

## Costo de material de empaque

Item /Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Empaque primario (Q/paquete)	Q0.05	Q0.05	Q0.05	Q0.06	Q0.06	Q0.06	Q0.06	Q0.06	Q0.06	Q0.07
Empaque secundario (Q/fardel)	Q0.97	Q1.00	Q1.03	Q1.06	Q1.10	Q1.13	Q1.16	Q1.20	Q1.23	Q1.27

Cuadro 60

## Costo de servicios auxiliares

Item /Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Agua (Q/m <sup>3</sup> )	Q1.05	Q1.16	Q1.28	Q1.40	Q1.54	Q1.70	Q1.87	Q2.05	Q2.26	Q2.49
Electricidad (Q/kW h)	Q0.56	Q0.73	Q0.95	Q1.24	Q1.61	Q2.09	Q2.71	Q3.53	Q4.59	Q5.96
Búnker (Q/gal)	Q15.19	Q17.47	Q20.09	Q23.10	Q26.56	Q30.55	Q35.13	Q40.40	Q46.46	Q53.43

**Cuadro 61**  
**Costo de Mantenimiento (Q/año)**

Item /Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Preventivo	Q319,200.00	Q351,120.00	Q386,232.00	Q424,855.20	Q467,340.72	Q514,074.79	Q565,482.27	Q622,030.50	Q684,233.55	Q752,656.90
Correctivo	Q25,000.00	Q28,750.00	Q33,062.50	Q38,021.88	Q43,725.16	Q50,283.93	Q57,826.52	Q66,500.50	Q76,475.57	Q87,946.91

**Cuadro 62**  
**Proyección de ventas mensual**

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	72,000
2	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	79,200
3	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	87,120
4	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	95,832
5	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	105,415
6	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	115,957
7	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	127,552
8	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	140,308
9	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	154,338
10	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	169,772

**Cuadro 63**  
**Programa de producción**

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1	9,600	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,360	75,960
2	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,600	6,996	79,596
3	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,260	7,696	87,556
4	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	7,986	8,465	96,311
5	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	8,785	9,312	105,942
6	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	9,663	10,243	116,537
7	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	10,629	11,267	128,190
8	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	11,692	12,394	141,009
9	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	12,862	13,633	155,110
10	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,148	14,997	170,621

**Cuadro 64**  
**Consumo de materiales**

<b>Material /Año</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Harina (kg)	611,081	640,332	704,365	774,802	852,282	937,510	1,031,261	1,134,387	1,247,826	1,372,609
Vainilla (kg)	3,055	3,202	3,522	3,874	4,261	4,688	5,156	5,672	6,239	6,863
Agua (m <sup>3</sup> )	263	276	303	334	367	404	444	489	537	591
Empaque Primario (empaques)	3,509,352	3,677,335	4,045,069	4,449,576	4,894,533	5,383,986	5,922,385	6,514,624	7,166,086	7,882,695
Empaque Secundario (fardeles)	701,870	735,467	809,014	889,915	978,907	1,076,797	1,184,477	1,302,925	1,433,217	1,576,539
Harina (kg)	594,518	622,975	685,273	753,800	829,180	912,098	1,003,308	1,103,639	1,214,003	1,335,403
Chile (kg)	1,784	1,869	2,056	2,261	2,488	2,736	3,010	3,311	3,642	4,006
Agua (m <sup>3</sup> )	263	276	303	334	367	404	444	489	537	591
Empaque Primario (empaques)	3,509,352	3,677,335	4,045,069	4,449,576	4,894,533	5,383,986	5,922,385	6,514,624	7,166,086	7,882,695
Empaque Secundario (fardeles)	701,870	735,467	809,014	889,915	978,907	1,076,797	1,184,477	1,302,925	1,433,217	1,576,539
Harina (kg)	596,829	625,397	687,937	756,731	832,404	915,644	1,007,208	1,107,929	1,218,722	1,340,594
Espicias (kg)	5,371	5,629	6,191	6,811	7,492	8,241	9,065	9,971	10,968	12,065
Agua (m <sup>3</sup> )	263	276	303	334	367	404	444	489	537	591
Empaque Primario (empaques)	3,509,352	3,677,335	4,045,069	4,449,576	4,894,533	5,383,986	5,922,385	6,514,624	7,166,086	7,882,695
Empaque Secundario (fardeles)	701,870	735,467	809,014	889,915	978,907	1,076,797	1,184,477	1,302,925	1,433,217	1,576,539
Total Harina (kg)	1,802,427	1,888,705	2,077,575	2,285,333	2,513,866	2,765,252	3,041,778	3,345,955	3,680,551	4,048,606
Total Agua (m <sup>3</sup> )	790	827	910	1,001	1,101	1,211	1,333	1,466	1,612	1,774
Total Empaque primario	10,528,056	11,032,006	12,135,206	13,348,727	14,683,599	16,151,959	17,767,155	19,543,871	21,498,258	23,648,084
Total Empaque secundario	2,105,611	2,206,401	2,427,041	2,669,745	2,936,720	3,230,392	3,553,431	3,908,774	4,299,652	4,729,617

Cuadro 65  
Detalle de ingresos

Concepto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ventas	216,000	237,600	261,360	287,496	316,246	347,870	382,657	420,923	463,015	509,317
Precio Unitario	Q84.00	Q92.40	Q101.64	Q111.80	Q122.98	Q135.28	Q148.81	Q163.69	Q180.06	Q198.07
Ingresos	Q18,144.00	Q21,954.24	Q26,564.63	Q32,143.20	Q38,893.27	Q47,060.86	Q56,943.64	Q68,901.80	Q83,371.18	Q100,879.1
	0	0	0	2	5	3	4	9	9	39

Cuadro 66  
Detalle de egresos

Concepto/Año	0	1	2	3	4	5
<i>Materia Prima</i>						
Harina		Q2,020,881.47	Q2,287,024.86	Q2,716,985.53	Q3,227,778.81	Q3,834,601.23
Agua		Q832.64	Q959.74	Q1,097.95	Q1,256.05	Q1,436.92
Vainilla		Q451,492.21	Q496,759.12	Q573,756.78	Q662,689.08	Q765,405.89
Chile		Q256,569.03	Q282,292.81	Q326,048.20	Q376,585.67	Q434,956.45
Espicias		Q755,934.47	Q831,724.97	Q960,642.34	Q1,109,541.90	Q1,281,520.89
<i>Material de empaque</i>						
Empaque primario		Q533,999.04	Q576,346.94	Q653,001.08	Q739,850.23	Q838,250.31
Empaque secundario		Q2,051,707.55	Q2,214,414.77	Q2,508,931.93	Q2,842,619.88	Q3,220,688.32
<i>Utilitarios</i>						
Bunker		Q262,222.38	Q274,774.25	Q302,251.68	Q332,476.84	Q365,724.53
Vapor		Q29,104.20	Q32,014.62	Q35,216.08	Q38,737.69	Q42,611.46
Electricidad		Q305,526.00	Q397,183.81	Q516,338.95	Q671,240.63	Q872,612.82
<i>Mantenimiento</i>						
Mantenimiento preventivo		Q319,200.00	Q351,120.00	Q386,232.00	Q424,855.20	Q467,340.72
Mantenimiento correctivo		Q25,000.00	Q28,750.00	Q33,062.50	Q38,021.88	Q43,725.16
<i>Gastos administrativos</i>						
Salarios		Q541,638.74	Q541,638.74	Q592,202.62	Q592,202.62	Q647,822.88
Comisiones ventas		Q544,320.00	Q658,627.20	Q796,938.91	Q964,296.08	Q1,166,798.26
Publicidad		Q750,000.00	Q825,000.00	Q907,500.00	Q998,250.00	Q1,098,075.00
<i>Maquinaria</i>						
Inversión	Q49,889,445.93					
Depreciación		Q4,988,944.59	Q8,980,100.27	Q7,184,080.21	Q5,747,264.17	Q4,599,806.91

Continuación Cuadro 66

Concepto/Año	6	7	8	9	10
<i>Materia Prima</i>					
Harina	Q4,555,506.26	Q5,411,941.44	Q6,429,386.43	Q7,638,111.08	Q9,074,075.96
Agua	Q1,643.84	Q1,880.55	Q2,151.35	Q2,461.14	Q2,815.55
Vainilla	Q900,882.73	Q1,060,338.97	Q1,248,018.97	Q1,468,918.33	Q1,728,916.87
Chile	Q511,943.74	Q602,557.78	Q709,210.51	Q834,740.77	Q982,489.88
Espicias	Q1,508,350.09	Q1,775,328.06	Q2,089,561.12	Q2,459,413.44	Q2,894,729.62
<i>Material de empaque</i>					
Empaque primario	Q949,737.60	Q1,076,052.70	Q1,219,167.70	Q1,381,317.01	Q1,565,032.17
Empaque secundario	Q3,649,039.87	Q4,134,362.17	Q4,684,232.34	Q5,307,235.25	Q6,013,097.53
<i>Utilitarios</i>					
Bunker	Q402,296.98	Q442,526.68	Q486,779.35	Q535,457.28	Q589,003.01
Vapor	Q46,872.61	Q51,559.87	Q56,715.85	Q62,387.44	Q68,626.18
Electricidad	Q1,134,396.67	Q1,474,715.67	Q1,917,130.37	Q2,492,269.48	Q3,239,950.32
<i>Mantenimiento</i>					
Mantenimiento preventivo	Q514,074.79	Q565,482.27	Q622,030.50	Q684,233.55	Q752,656.90
Mantenimiento correctivo	Q50,283.93	Q57,826.52	Q66,500.50	Q76,475.57	Q87,946.91
<i>Gastos administrativos</i>					
Salarios	Q647,822.88	Q709,005.17	Q709,005.17	Q776,305.69	Q776,305.69
Comisiones ventas	Q1,411,825.90	Q1,708,309.33	Q2,067,054.29	Q2,501,135.70	Q3,026,374.19
Publicidad	Q1,207,882.50	Q1,328,670.75	Q1,461,537.83	Q1,607,691.61	Q1,768,460.77
<i>Maquinaria</i>					
Inversión					
Depreciación	Q3,676,852.16	Q3,267,758.71	Q3,267,758.71	Q3,267,758.71	Q3,267,758.71

Cuadro 67  
Flujo de caja

Concepto	0	1	2	3	4	5
Ingresos		Q18,144,000.00	Q21,954,240.00	Q26,564,630.40	Q32,143,202.78	Q38,893,275.37
Materia Prima		(Q3,604,083.68)	(Q4,027,763.20)	(Q4,726,108.74)	(Q5,546,680.68)	(Q6,511,061.95)
Material de Empaque		(Q2,585,706.60)	(Q2,790,761.71)	(Q3,161,933.01)	(Q3,582,470.11)	(Q4,058,938.63)
Servicios Auxiliares		(Q596,852.58)	(Q703,972.68)	(Q853,806.71)	(Q1,042,455.17)	(Q1,280,948.81)
Mantenimiento		(Q344,200.00)	(Q379,870.00)	(Q419,294.50)	(Q462,877.08)	(Q511,065.88)
Administrativos		(Q1,835,958.74)	(Q2,025,265.94)	(Q2,296,641.53)	(Q2,554,748.70)	(Q2,912,696.14)
Depreciación		(Q4,988,944.59)	(Q8,980,100.27)	(Q7,184,080.21)	(Q5,747,264.17)	(Q4,599,806.91)
Utilidad antes de impuesto		Q4,188,253.81	Q3,046,506.21	Q7,922,765.70	Q13,206,706.89	Q19,018,757.05
Impuesto		(Q1,298,358.68)	(Q944,416.92)	(Q2,456,057.37)	(Q4,094,079.13)	(Q5,895,814.69)
Utilidad neta		Q2,889,895.13	Q2,102,089.28	Q5,466,708.33	Q9,112,627.75	Q13,122,942.37
Inversión	Q52,383,918.22					
Depreciación		Q4,988,944.59	Q8,980,100.27	Q7,184,080.21	Q5,747,264.17	Q4,599,806.91
Flujo de caja	(Q52,383,918.22)	Q7,878,839.72	Q11,082,189.55	Q12,650,788.55	Q14,859,891.92	Q17,722,749.28
Concepto	6	7	8	9	10	
Ingresos	Q47,060,863.20	Q56,943,644.47	Q68,901,809.81	Q83,371,189.86	Q100,879,139.74	
Materia Prima	(Q7,699,279.47)	(Q9,104,816.81)	(Q10,767,497.27)	(Q12,734,453.97)	(Q15,061,473.63)	
Material de Empaque	(Q4,598,777.47)	(Q5,210,414.87)	(Q5,903,400.05)	(Q6,688,552.25)	(Q7,578,129.70)	
Servicios Auxiliares	(Q1,583,566.26)	(Q1,968,802.21)	(Q2,460,625.57)	(Q3,090,114.20)	(Q3,897,579.52)	
Mantenimiento	(Q564,358.72)	(Q623,308.79)	(Q688,531.00)	(Q760,709.12)	(Q840,603.81)	
Administrativos	(Q3,267,531.28)	(Q3,745,985.25)	(Q4,237,597.29)	(Q4,885,132.99)	(Q5,571,140.65)	
Depreciación	(Q3,676,852.16)	(Q3,267,758.71)	(Q3,267,758.71)	(Q3,267,758.71)	(Q3,267,758.71)	
Utilidad antes de impuesto	Q25,670,497.84	Q33,022,557.82	Q41,576,399.92	Q51,944,468.62	Q64,662,453.72	
Impuesto	(Q7,957,854.33)	(Q10,236,992.92)	(Q12,888,683.98)	(Q16,102,785.27)	(Q20,045,360.65)	
Utilidad neta	Q17,712,643.51	Q22,785,564.90	Q28,687,715.95	Q35,841,683.35	Q44,617,093.07	
Inversión						
Depreciación	Q3,676,852.16	Q3,267,758.71	Q3,267,758.71	Q3,267,758.71	Q3,267,758.71	
Flujo de caja	Q21,389,495.68	Q26,053,323.60	Q31,955,474.65	Q39,109,442.05	Q47,884,851.78	

Cuadro 68  
Punto de equilibrio

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Punto de equilibrio (unidades)	42,906	43,591	46,499	49,611	52,942	56,912	61,184	65,779	70,723	76,042
Costo por unidad	Q41.51	Q41.78	Q43.84	Q45.88	Q48.30	Q50.92	Q53.97	Q57.15	Q60.82	Q64.69

Cuadro 69  
Recuperación de capital

Año	0	1	2	3	4	5
Flujo de caja	(Q52,383,918.22)	Q7,878,839.72	Q11,082,189.55	Q12,650,788.55	Q14,859,891.92	Q17,722,749.28
Valor presente	(Q52,383,918.22)	Q6,676,982.81	Q7,959,055.98	Q7,699,660.47	Q7,664,566.94	Q7,746,777.05
Recuperación	(Q52,383,918.22)	(Q45,706,935.41)	(Q37,747,879.43)	(Q30,048,218.95)	(Q22,383,652.02)	(Q14,636,874.97)

Año	6	7	8	9	10
Flujo de caja	Q21,389,495.68	Q26,053,323.60	Q31,955,474.65	Q39,109,442.05	Q47,884,851.78
Valor presente	Q7,923,343.81	Q8,178,790.48	Q8,501,375.80	Q8,817,461.14	Q9,149,093.68
Recuperación	(Q6,713,531.16)	Q1,465,259.32	Q9,966,635.11	Q18,784,096.26	Q27,933,189.94

**Cuadro 70**  
**Análisis de sensibilidad a la variación de ventas**

Escenario	Variación en ventas	0	1	2	3	4	5	6
Aumento	50%	(Q52,383,918.22)	Q14,138,519.72	Q18,656,402.35	Q21,815,586.03	Q25,949,296.88	Q31,140,929.28	Q37,625,493.48
	45%	(Q52,383,918.22)	Q13,512,551.72	Q17,898,981.07	Q20,899,106.29	Q24,840,356.39	Q29,799,111.28	Q36,001,893.70
	40%	(Q52,383,918.22)	Q12,886,583.72	Q17,141,559.79	Q19,982,626.54	Q23,731,415.89	Q28,457,293.28	Q34,378,293.92
	35%	(Q52,383,918.22)	Q12,260,615.72	Q16,384,138.51	Q19,066,146.79	Q22,622,475.40	Q27,115,475.28	Q32,754,694.14
	30%	(Q52,383,918.22)	Q11,634,647.72	Q15,626,717.23	Q18,149,667.04	Q21,513,534.90	Q25,773,657.28	Q31,131,094.36
	25%	(Q52,383,918.22)	Q11,008,679.72	Q14,869,295.95	Q17,233,187.29	Q20,404,594.40	Q24,431,839.28	Q29,507,494.58
	20%	(Q52,383,918.22)	Q10,382,711.72	Q14,111,874.67	Q16,316,707.54	Q19,295,653.91	Q23,090,021.28	Q27,883,894.80
	15%	(Q52,383,918.22)	Q9,756,743.72	Q13,354,453.39	Q15,400,227.79	Q18,186,713.41	Q21,748,203.28	Q26,260,295.02
	10%	(Q52,383,918.22)	Q9,130,775.72	Q12,597,032.11	Q14,483,748.04	Q17,077,772.91	Q20,406,385.28	Q24,636,695.24
	5%	(Q52,383,918.22)	Q8,504,807.72	Q11,839,610.83	Q13,567,268.29	Q15,968,832.42	Q19,064,567.28	Q23,013,095.46
Base	0%	(Q52,383,918.22)	Q7,878,839.72	Q11,082,189.55	Q12,650,788.55	Q14,859,891.92	Q17,722,749.28	Q21,389,495.68
Disminución	-5%	(Q52,383,918.22)	Q7,252,871.72	Q10,324,768.27	Q11,734,308.80	Q13,750,951.43	Q16,380,931.28	Q19,765,895.90
	-10%	(Q52,383,918.22)	Q6,626,903.72	Q9,567,346.99	Q10,817,829.05	Q12,642,010.93	Q15,039,113.28	Q18,142,296.12
	-15%	(Q52,383,918.22)	Q6,000,935.72	Q8,809,925.71	Q9,901,349.30	Q11,533,070.43	Q13,697,295.28	Q16,518,696.34
	-20%	(Q52,383,918.22)	Q5,374,967.72	Q8,052,504.43	Q8,984,869.55	Q10,424,129.94	Q12,355,477.28	Q14,895,096.56
	-25%	(Q52,383,918.22)	Q4,748,999.72	Q7,295,083.15	Q8,068,389.80	Q9,315,189.44	Q11,013,659.28	Q13,271,496.78
	-30%	(Q52,383,918.22)	Q4,123,031.72	Q6,537,661.87	Q7,151,910.05	Q8,206,248.95	Q9,671,841.28	Q11,647,897.00
	-35%	(Q52,383,918.22)	Q3,497,063.72	Q5,780,240.59	Q6,235,430.30	Q7,097,308.45	Q8,330,023.28	Q10,024,297.22
	-40%	(Q52,383,918.22)	Q2,871,095.72	Q5,022,819.31	Q5,318,950.56	Q5,988,367.95	Q6,988,205.28	Q8,400,697.44
	-45%	(Q52,383,918.22)	Q2,245,127.72	Q4,265,398.03	Q4,402,470.81	Q4,879,427.46	Q5,646,387.28	Q6,777,097.66
	-50%	(Q52,383,918.22)	Q1,619,159.72	Q3,507,976.75	Q3,485,991.06	Q3,770,486.96	Q4,304,569.28	Q5,153,497.87

Escenario	Variación en ventas	6	7	8	9	10	VAN	TIR
Aumento	50%	Q37,625,493.48	Q45,698,880.95	Q55,726,599.04	Q67,872,502.56	Q82,688,154.99	Q74,136,212.80	44.20%
	45%	Q36,001,893.70	Q43,734,325.21	Q53,349,486.60	Q64,996,196.51	Q79,207,824.67	Q69,089,811.01	42.70%
	40%	Q34,378,293.92	Q41,769,769.48	Q50,972,374.16	Q62,119,890.46	Q75,727,494.34	Q64,043,409.21	41.18%
	35%	Q32,754,694.14	Q39,805,213.74	Q48,595,261.72	Q59,243,584.41	Q72,247,164.02	Q58,997,007.42	39.63%
	30%	Q31,131,094.36	Q37,840,658.01	Q46,218,149.28	Q56,367,278.36	Q68,766,833.70	Q53,950,605.62	38.05%
	25%	Q29,507,494.58	Q35,876,102.27	Q43,841,036.85	Q53,490,972.31	Q65,286,503.38	Q48,904,203.83	36.44%
	20%	Q27,883,894.80	Q33,911,546.54	Q41,463,924.41	Q50,614,666.26	Q61,806,173.06	Q43,857,802.04	34.79%
	15%	Q26,260,295.02	Q31,946,990.81	Q39,086,811.97	Q47,738,360.21	Q58,325,842.74	Q38,811,400.24	33.11%
	10%	Q24,636,695.24	Q29,982,435.07	Q36,709,699.53	Q44,862,054.16	Q54,845,512.42	Q33,764,998.45	31.37%
	5%	Q23,013,095.46	Q28,017,879.34	Q34,332,587.09	Q41,985,748.11	Q51,365,182.10	Q28,718,596.65	29.59%
Base	0%	Q21,389,495.68	Q26,053,323.60	Q31,955,474.65	Q39,109,442.05	Q47,884,851.78	Q23,672,194.86	27.75%
Disminución	-5%	Q19,765,895.90	Q24,088,767.87	Q29,578,362.22	Q36,233,136.00	Q44,404,521.46	Q18,625,793.07	25.84%
	-10%	Q18,142,296.12	Q22,124,212.14	Q27,201,249.78	Q33,356,829.95	Q40,924,191.14	Q13,579,391.27	23.85%
	-15%	Q16,518,696.34	Q20,159,656.40	Q24,824,137.34	Q30,480,523.90	Q37,443,860.81	Q8,532,989.48	21.78%
	-20%	Q14,895,096.56	Q18,195,100.67	Q22,447,024.90	Q27,604,217.85	Q33,963,530.49	Q3,486,587.68	19.59%
	-25%	Q13,271,496.78	Q16,230,544.93	Q20,069,912.46	Q24,727,911.80	Q30,483,200.17	(Q1,559,814.11)	17.27%
	-30%	Q11,647,897.00	Q14,265,989.20	Q17,692,800.02	Q21,851,605.75	Q27,002,869.85	(Q6,606,215.90)	14.78%
	-35%	Q10,024,297.22	Q12,301,433.47	Q15,315,687.59	Q18,975,299.70	Q23,522,539.53	(Q11,652,617.70)	12.09%
	-40%	Q8,400,697.44	Q10,336,877.73	Q12,938,575.15	Q16,098,993.65	Q20,042,209.21	(Q16,699,019.49)	9.13%
	-45%	Q6,777,097.66	Q8,372,322.00	Q10,561,462.71	Q13,222,687.60	Q16,561,878.89	(Q21,745,421.29)	5.80%
	-50%	Q5,153,497.87	Q6,407,766.26	Q8,184,350.27	Q10,346,381.55	Q13,081,548.57	(Q26,791,823.08)	1.94%

## D. Otros

### 1. Resultados de los grupos de enfoque realizados

- a. Cuando se menciona la palabra *Pasta*, ¿qué es lo primero que les viene a la mente?
  - Salsa y queso
  - Especias
  - Comida italiana
  - Carbohidratos
  - Alimento práctico
  
- b. ¿Qué tan frecuentemente cocina la pasta? ¿Por qué? (Es un buen alimento, es fácil de preparar y que quede “rico” y no le quita tiempo, etc) Indagar sobre el tiempo de preparación si no lo mencionan

De 1 a 3 veces por semana, ya que la pasta forma parte de una dieta sana y nutritiva, además es un alimento agradable al consumidor por su sabor, variedad de figuras, y por la gran cantidad de platos diferentes que se pueden preparar, además no toma mucho tiempo su preparación, lo que la hace una opción práctica para las personas que trabajan.

- c. Cuando cocina la pasta, ¿existe alguna característica del producto que usted cambiaría?

Sí, la mayoría de personas entrevistadas coincidió en que después de que han cocinado la pasta y la dejan un tiempo en reposo, ésta se les vuelve una masa, las figuras se pegan entre sí. Además, se da el caso de que algunas figuras se rompen como los coditos y pierden su forma.

Algunas personas dijeron que disminuirían un poco el tiempo de cocción de algunas figuras, y cuándo se les preguntó por el tipo de pasta, se observó que se trata de figuras de capa gruesa, lo que hace necesario que el tiempo de cocción sea más largo comparado con un espagueti o coditos; sin embargo al preguntarles sobre el tiempo que invierten en preparar esas figuras frente a otros alimentos, concluyeron que en la pasta invierten menos tiempo.

- d. ¿Ha probado las pastas con “sabor” de la competencia? Si sí, qué le parecieron, qué le desagradó, lo volvería a comprar.

Más del 80% de los entrevistados, ha probado la pasta sabor espinaca. A la mayoría le pareció que se trataba únicamente de pasta con color, ya que después de prepararla obtenían un producto descolorido y sin el sabor esperado. A muy pocas personas el sabor espinaca no le pareció desagradable porque la prepara con ingredientes adicionales como especias. Otras personas han probado el sabor a tomate y zanahoria y llegaron a la misma conclusión que pierde el color durante la cocción y que no tiene el sabor que les indica el empaque.

- e. *Describir el producto*, de 1 a 5 cuál sería su calificación para la idea.

- ¿Por qué le puso esa nota?
- ¿Qué es lo más positivo o lo que más le gusta de esta idea?,
- ¿Qué es lo que menos le gusta?
- ¿Cuán práctico cree que es este nuevo producto? (dar 3 opciones)

Descripción del producto: Se trata de un producto en forma de pasta corta (por ejemplo coditos, tornillitos, caracolitos, etc) que no contenga colorantes artificiales y que el tiempo de cocción sea el mismo al de la pasta normal, pero que después de que usted lo ha cocido, no necesite de lavar o de agregar más ingredientes, ya que la pasta contendrá un sabor especial, que puede ser especias, chile o un sabor dulce para romper el mito de que la pasta solo es un plato fuerte, sino que también se puede tratar de un postre. El sabor dulce sería vainilla. Para las pastas saladas, únicamente necesitará agregar una salsa sin sabor para que el producto no sea tan “seco”, no necesita cocer con aceite o sal. La pasta dulce la puede preparar en leche (como si fuera arroz en leche) o simplemente cocerla y servirla con crema batida y fresas. Lo que el entrevistado dijo fue:

- Suena rico, parece bien la idea
- Le parece excelente la idea, muy práctica.
- Le pongo 5, porque me parece muy interesante, además el sabor dulce me parece una nueva idea, tal vez extravagante pero que puede llamar la atención.
- No veo con que se pueda combinar la pasta dulce. Creo que no la probaría
- Lo más interesante de la idea es que la pasta ya no sería un plato fuerte únicamente, sino también un postre, aunque tal vez sea un poco pesado como postre
- Tendría que probar la pasta dulce para darme una idea, lo demás me parece fabuloso.
- Las pastas con especias, es que eso es muy práctico, porque no tiene q estar agregando las especias después son por lo general ramitas y hojitas q son molestas para comer
- Pienso que es un buen producto, necesario así como necesario no pero si es práctico

- Me ahorraría tiempo, entonces creo que sería muy práctico. Pero mucho depende de la sazón de la pasta que traiga.
- f. Conociendo las características del producto, con qué frecuencia creo que ud o su familia lo consumirían

La frecuencia de consumo sería el mismo, pero mucho depende del precio del producto, que no sea elevado. Pocas personas afirmaron que aumentarían el consumo de gustarles mucho el producto. Otras personas dijeron que el consumo sería el mismo ya que su dieta está programada y entonces no cambiarían el número de veces a la semana que consumen la pasta ya sea con sabor o sin sabor.

- g. Si yo digo que además, el precio del producto es de Q3.00 ¿Estaría dispuesto a pagarlo? ¿Con qué frecuencia cree que lo compraría?, y si fuera igual al de las pastas INA actualmente, ¿con qué frecuencia?

El precio de Q3.00 a un 60% de los entrevistados les pareció correcto, si el producto es realmente lo que se ofrece en el empaque, es decir, que si se cumpla con que después de la cocción la pasta no necesite de adición de ingredientes para que se obtenga el sabor indicado. Además de que ven una ventaja en el tiempo que invierten en preparar el producto por lo que si estarían dispuestos a pagar el precio indicado. El resto de las personas preferirían pagar lo mismo que vale actualmente un paquete de pasta ya que la economía hogareña no está para aumentar los egresos, sino para que se ahorre. En todos los casos, la frecuencia de consumo sería la misma por las razones explicadas con anterioridad.

## 2. Modelo de la evaluación empleada para determinar el perfil sensorial del producto

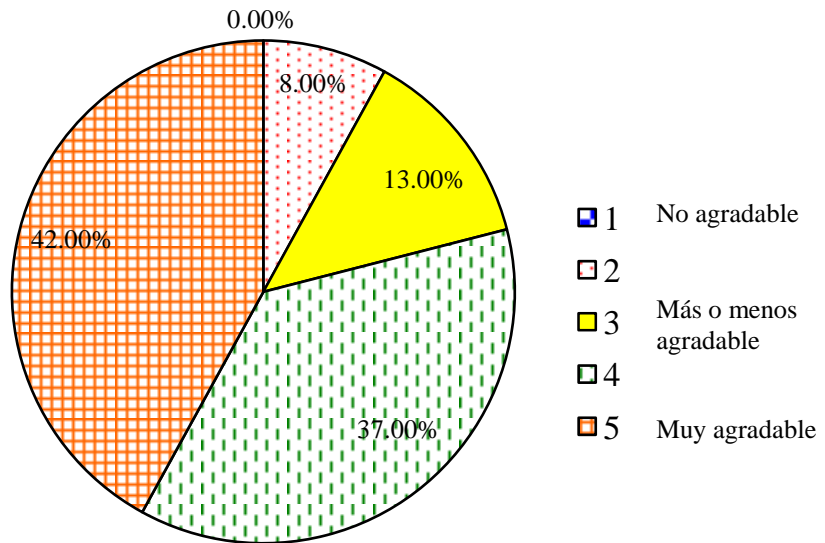
1. Superficie		
a. Manchas	Sí	No
b. Grietas	Sí	No
c. Suciedad	Sí	No
d. Apariencia física		
2. Deformaciones	Sí	No
3. Color		
4. Textura		
5. Adhesividad (fuerza requerida para remover el material que se adhiere en los dientes)		
6. Dureza (Blando, firme <i>al dente</i> , duro)		
7. Masticable (Número de veces que se requiere masticar el alimento para que se fácil de deglutir)		

8. Olor
9. Sabor
10. Aroma

## Resultados del panel sensorial

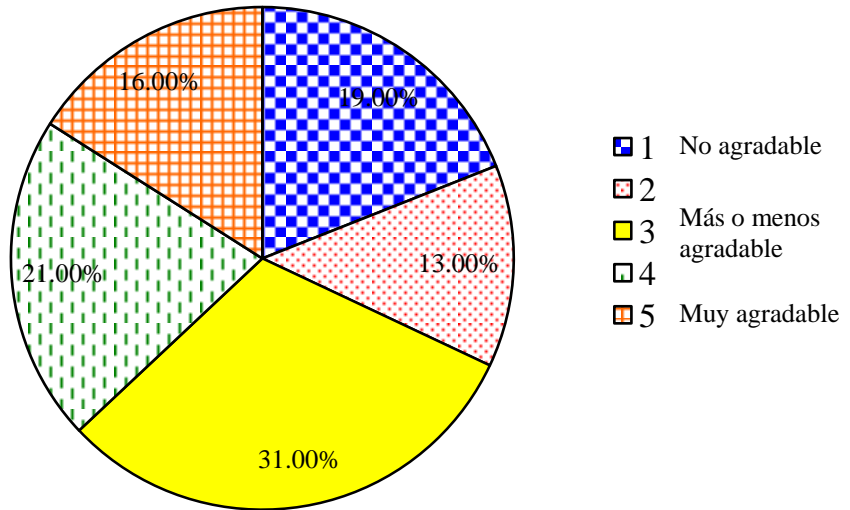
Gráfica 3

Nivel de aceptabilidad del producto sabor a vainilla con cliente interno



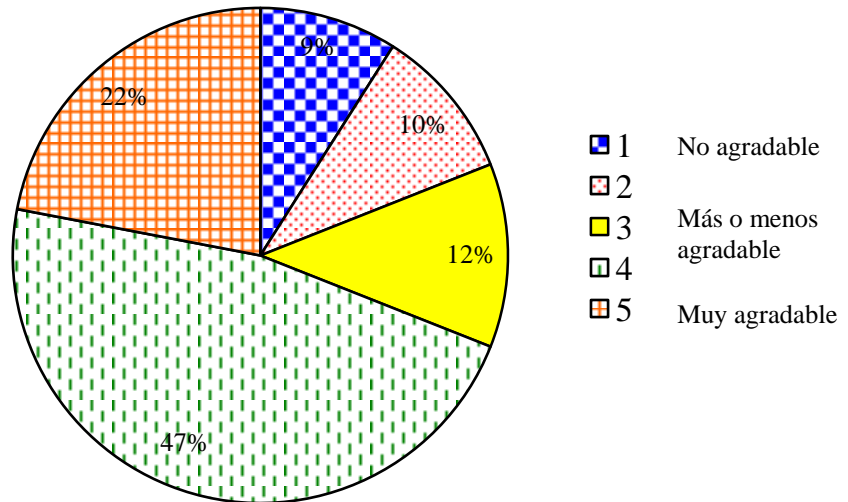
Gráfica 4

Nivel de aceptabilidad del producto sabor a chile con cliente interno

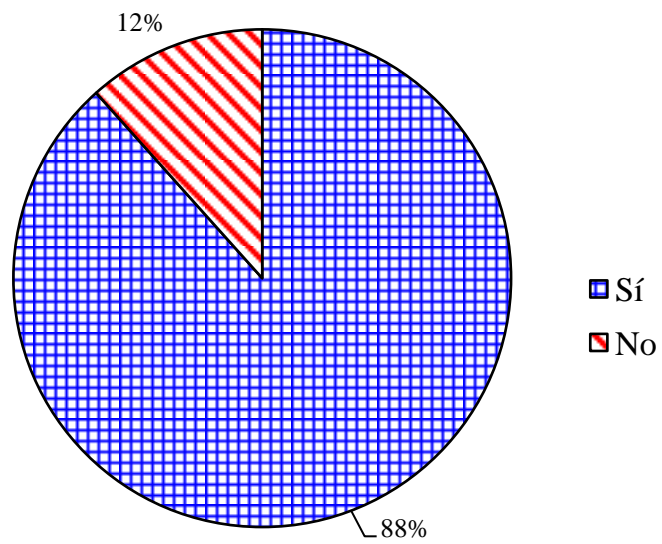


Gráfica 5

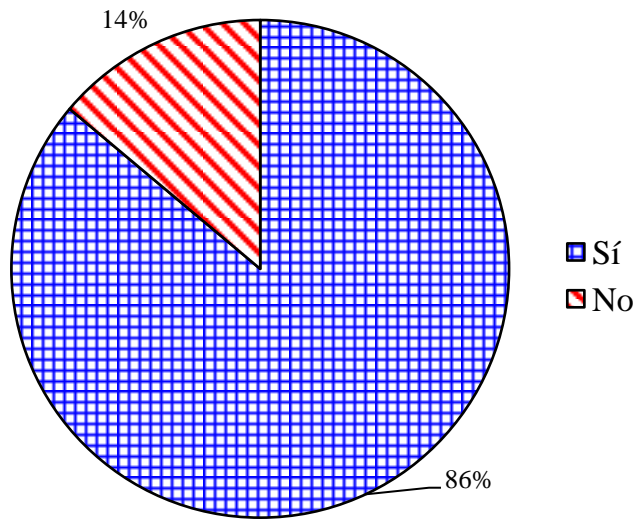
Nivel de aceptabilidad del producto sabor a especias con cliente interno



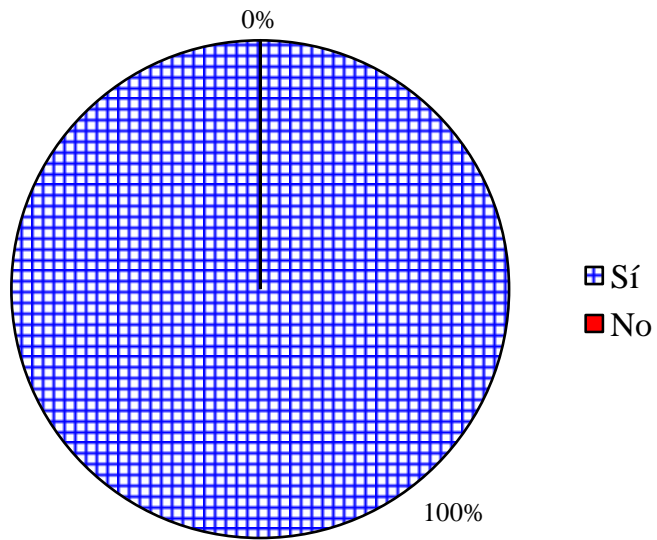
Gráfica 6  
Identificación del sabor a vainilla en la pasta



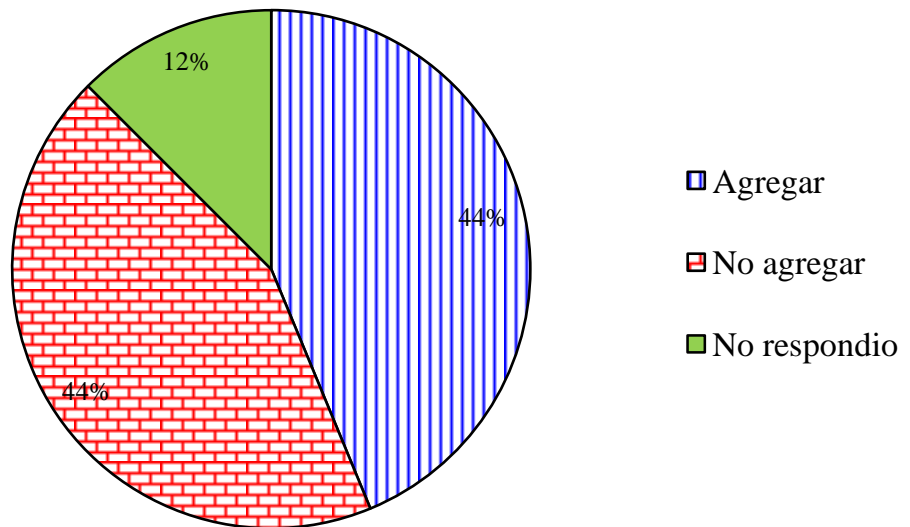
Gráfica 7  
Identificación del sabor a especias



Gráfica 8  
Identificación del sabor a Chile



Gráfica 9  
Contenido de sal en la pasta sabor a especias



## XIII. GLOSARIO

### A. Aditivo

Un aditivo es una sustancia que se utiliza en pequeñas cantidades para cambiar las propiedades de otra.

### B. Análisis de sensibilidad:

Simulaciones de escenarios mediante los cuales se busca observar los cambios en los resultados del modelo, obtenidos con base en variaciones de sus principales variables.

### C. Distribuidora

Equipo utilizado para alimentar los tornillos de extrusión. Divide el flujo de masa en dos flujos iguales. Funciona a vacío.

### D. Extrusión

En general, la acción de dar forma o moldear una masa haciéndola salir por una abertura especialmente dispuesta. Las materias primas se someten a [fusión](#), transporte, [presión](#) y deformación.

### E. Flujo de caja:

Se entiende por flujo de caja o flujo de fondos los flujos de entradas y salidas de caja o efectivo, en un período dado. Indica liquidez de la empresa o proyecto.

### F. Grupo de enfoque (*Focus group*):

Investigación cualitativa, mediante entrevista personal, en la que se reúne un grupo de 8 a 12 personas que tengan las características deseadas, y se les pregunta sus opiniones sobre una cuestión, idea o producto.

## G. Panel sensorial:

Proceso en el cual se miden, analizan e interpretan las reacciones percibidas por los sentidos de las personas hacia ciertas características de un alimento como son su sabor, olor, color y textura, por lo que el resultado de este complejo de sensaciones captadas e interpretadas son usadas para medir la calidad, propiedades organolépticas y aceptabilidad de los alimentos.

## H. Pasta:

Se denomina pasta a los **alimentos** preparados con una **masa** cuyo ingrediente básico es la **harina de trigo**, mezclada con **agua**, y a la cual se puede añadir **sal**, **huevo** u otros ingredientes, conformando un producto que generalmente se cuece en agua hirviendo. Comúnmente se utiliza la especie **Triticum durum** (trigo duro) en su elaboración.

## I. Perfil sensorial

Descripción de las características de un alimento que son percibidas a través de los sentidos (olor, aroma, sabor, textura, etc).

## J. Pre-secador

Secador utilizado para aumentar gradualmente la temperatura de la pasta y disminuir la humedad de la misma de forma gradual.

## K. Punto de equilibrio (PE):

Es el número de unidades que se deben de vender para que los ingresos sean igual a los egresos.

## L. Secador

Equipo utilizado para disminuir el contenido de humedad del aire a través de una operación de transferencia de masa (del agua de la pasta hacia el aire de secado).

## M. Silo

Son estructuras diseñadas para almacenar grano y otros materiales a granel

## N. Tasa interna de retorno (TIR)

Tasa que iguala los flujos de ingresos y egresos futuros de una inversión. Corresponde a la rentabilidad que obtendría un inversionista de mantener el instrumento financiero hasta su extinción, bajo el supuesto que reinvierte los flujos de ingresos a la misma tasa.

## O. Tornillo de extrusión:

Transportador sin fin en el cual se lleva a cabo la extrusión de la masa.

## P. Valor actual neto (VAN):

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. Es el valor presente de una inversión. Si éste es mayor que cero, mostrará cuánto se gana con el proyecto, después de recuperar la inversión, por sobre la tasa  $i$  que se exigía de retorno al proyecto; si el resultado es igual a cero, indica que el proyecto reporta exactamente la tasa  $i$  que se quería obtener después de recuperar el capital invertido; y si el resultado es negativo, muestra el monto que falta para ganar la tasa que se deseaba obtener después de recuperada la inversión.