



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



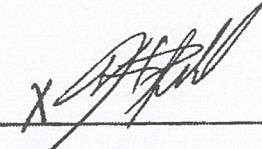
**Diseño del sistema de automatización del proceso de mezcla  
en planta de producción de briquetas de carbón vegetal,  
*Corral Viejo***

Trabajo de graduación presentado por  
Scarlett María Pérez López  
para optar el grado académico de Licenciada en Ingeniería Mecánica

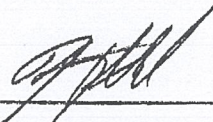
Guatemala,  
2013

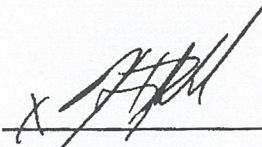
**Diseño del sistema de automatización del proceso de mezcla  
en planta de producción de briquetas de carbón vegetal,  
*Corral Viejo***


Vo.Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Carlos Antonio Poitevin Paz)

Tribunal Examinador:

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Víctor Hugo Ayerdi Bardales)

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Carlos Antonio Poitevin Paz)

(f)   
\_\_\_\_\_  
(Raúl Eduardo Loarca Velásquez)

Fecha de Aprobación: Guatemala, 2 de diciembre de 2013

## PREFACIO

El presente trabajo tiene la finalidad de funcionar como una guía para la automatización del proceso de mezcla mediante el cual, se producen briquetas de carbón vegetal en la planta *Corral Viejo*.

Las ventajas de automatizar un sistema son significativas, ya que aumenta los niveles de producción, reduce tiempos muertos y desperdicios, mejora la calidad del producto y permite controlar las variables que afectan el óptimo desempeño del procedimiento. Por consiguiente, se espera que la información proporcionada en el escrito sea de gran utilidad para la empresa *Fomentos, S.A.*

Quiero extender mi más sincero agradecimiento al ingeniero Carlos Poitevin, por el tiempo y apoyo que brindó como asesor; a los ingenieros Víctor Ayerdi y Raúl Loarca, por los consejos brindados en la revisión de este diseño; y, a todos los colaboradores de la planta *Corral Viejo* que contribuyeron en el desarrollo de las pruebas para que el proyecto fuera posible.

## CONTENIDO

PREFACIO .....	V
LISTADO DE FIGURAS .....	VII
LISTADO DE CUADROS .....	IX
RESUMEN .....	X
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS .....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	3
IV. MARCO TEÓRICO .....	4
A. PROCESO DE FABRICACIÓN DE BRIQUETAS .....	4
B. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL AGLUTINANTE .....	8
C. PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA HUMEDAD .....	9
V. ANTECEDENTES .....	12
A. BREVE RESEÑA DE LA EMPRESA .....	12
VI. METODOLOGÍA .....	13
VII. RESULTADOS .....	15
A. PRUEBAS DE LABORATORIO .....	15
B. PRUEBAS EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN .....	19
C. FÓRMULA DE LA MEZCLA .....	22
D. SISTEMA DE SUMINISTRO DE INGREDIENTES .....	24
E. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DESCARGA DE INGREDIENTES .....	39
F. SISTEMA DE MEZCLA .....	45
G. SISTEMA DE CONTROL .....	54
H. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	57
I. DISCUSIÓN .....	66
VIII. CONCLUSIONES .....	68
IX. RECOMENDACIONES .....	69
X. BIBLIOGRAFÍA .....	70
XI. ANEXOS .....	71
XII. GLOSARIO .....	91

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Briqueta .....	4
Figura 2: Carbón vegetal.....	4
Figura 3: Merma de carbón.....	4
Figura 4: Criba vibratoria.....	5
Figura 5: Molino .....	5
Figura 6: Mezcla de ingredientes.....	6
Figura 7: Transporte de mezcla hacia máquina de compactación .....	6
Figura 8: Máquina de compactación (Briquetera) .....	6
Figura 9: Producto compactado .....	6
Figura 10: Proceso de secado (Horno).....	7
Figura 11: Producto a la salida del horno .....	7
Figura 12: Peso y empaque del producto .....	7
Figura 13: Almidón.....	8
Figura 14: Almidón de maiz .....	8
Figura 15: Fogata .....	8
Figura 16: Preparación de aglutinante .....	8
Figura 17: Proceso de gelatinización .....	9
Figura 18: Selección de 3 briquetas para prueba .....	9
Figura 19: Briqueta triturada.....	10
Figura 20: Balanza de humedad.....	10
Figura 21: Lectura de porcentaje de humedad.....	11
Figura 22: Briqueta, prueba No.1 .....	16
Figura 23: Briqueta, prueba No.2 .....	17
Figura 24: Briqueta, prueba No.3 .....	18
Figura 25: Longitud de rosca .....	26
Figura 26: Distribución geométrica del molino con respecto a la tolva .....	28
Figura 27: Diagrama del tornillo sin fin .....	30
Figura 28: Vista frontal, carcasa del tornillo sin fin .....	31
Figura 29: Ubicación de la tolva con respecto a la mezcladora.....	40

Figura 30: Diagrama del ángulo de la tolva.....	41
Figura 31: Diagrama de cuerpo libre de la compuerta de descarga de la tolva .....	43
Figura 32: Diagrama de cuerpo libre para la compuerta de descarga de la mezcladora .....	51
Figura 33: Diagrama de flujo del sistema de control.....	55

## LISTADO DE CUADROS

Tabla 1: Información general por proceso .....	57
Tabla 2: Capacidad y rendimiento por proceso .....	58
Tabla 3: Costos fijos por proceso.....	60
Tabla 4: Costos variables proceso manual.....	61
Tabla 5: Costos variables proceso mecanizado .....	62
Tabla 6: Costo del equipo .....	63
Tabla 7: Costo de mano de obra e instalación .....	63
Tabla 8: Costos de mantenimiento.....	63
Tabla 9: Indemnización personal operativo.....	64
Tabla 10: Monto total de la inversión .....	64
Tabla 11: Utilidad por proceso .....	64
Tabla 12: Retorno de inversión.....	65

## RESUMEN

La finalidad del presente trabajo, consiste en diseñar un sistema mecánico a manera de aumentar la producción de briquetas de carbón vegetal a 450 kg/h, ya que actualmente se encuentra alrededor de 262 kg/h. Para ello, es necesario modificar la fórmula de la mezcla, reducir el tiempo del proceso y controlar las propiedades físicas de la briqueta desde el proceso de mezcla.

Como punto inicial, se presenta la memoria de cálculos empleados para el desarrollo de la fórmula de mezcla, la cual tiene como variables de entrada: la humedad y la masa de la merma y, el porcentaje de humedad requerido para la mezcla. Con base en los resultados obtenidos, se selecciona la alternativa de diseño que se acopla a las condiciones de la planta y al procedimiento de mezcla definido. El diseño del sistema automático se divide en cuatro fases: sistema de suministro de ingredientes, sistema de almacenamiento y descarga de ingredientes, sistema de mezcla y sistema de control.

Previo al desarrollo de los cálculos, se realizaron una serie de pruebas piloto con el objetivo, de determinar las unidades por ingrediente que corresponden a la mezcla y el orden más adecuado para suministrarlas. Una vez se obtienen los resultados, se procede a llevar a cabo más pruebas utilizando la línea de producción con el fin, de identificar los diversos factores que pueden afectar el desempeño del proceso diseñado.

Basado en las conclusiones de las pruebas en la línea de producción, se procede a diseñar el sistema de automatización, tomando en cuenta la estructura de la planta, los recursos disponibles, los riesgos identificados y el alcance del proyecto. Finalmente, después de una serie de cálculos se determina que al mecanizar el proceso, la productividad de la planta aumenta a 454 kg/h, lo que es equivalente al 91% de rendimiento. Además, la inversión del sistema se recupera en un tiempo menor a un año.

## I. INTRODUCCIÓN

Ubicada en el kilómetro 70 carretera a Jalapa, se encuentra la planta de producción *Corral Viejo*, cuya función es clasificar carbón vegetal y fabricar briquetas de carbón vegetal. El producto se obtiene a partir del árbol de encino, el cual se transforma por medio de un proceso de carbonización y clasificado, para separar el carbón de exportación del residuo. El residuo se utiliza para fabricar las briquetas; el proceso está dividido en cinco etapas: molido, mezcla, compactación, secado y empaque; siendo la mezcla y el secado, las etapas críticas.

Este proyecto se redacta con carácter de guía para la implementación del sistema de automatización diseñado para la planta *Corral Viejo*, así como Trabajo Profesional de Graduación, para la obtención por parte de quien lo suscribe del título de Ingeniero Mecánico.

En los documentos que se presentan a continuación, se recogen todos los datos y características que han sido obtenidos como resultado de los cálculos desarrollados y que permiten marcar las líneas directrices para la materialización de las obras e instalaciones que se proyectan. El proyecto consta de los siguientes documentos: resultados de pruebas, desarrollo de fórmula para la fabricación del producto, memoria de cálculos, análisis de factibilidad y planos del sistema.

En la redacción y cálculos realizados, se han tomado en cuenta las disposiciones, reglamentos y preceptos que corresponden a la empresa, prestando especial atención al entorno circundante de la industria. Asimismo, se presenta una propuesta para optimizar el proceso seleccionado con el fin de reproducir de forma controlada y automatizada las briquetas de carbón vegetal.

## II. OBJETIVOS

### A. GENERAL

1. Diseñar un sistema de automatización para el proceso de mezcla, a manera de aumentar la producción de briquetas a 450 kg/h.

### B. ESPECÍFICOS

1. Estandarizar la fórmula de mezcla de la briqueta.
2. Diseñar un sistema para automatizar la descarga de la merma, almidón y aserrín, para cumplir con los estándares de calidad.
3. Proyectar una reducción del 50% del reproceso por humedad, tras la automatización del proceso de mezcla.
4. Realizar un estudio de factibilidad del diseño.

### III. JUSTIFICACIÓN

El rendimiento de la briqueta de carbón vegetal depende del porcentaje de humedad que contenga, es decir, puede presentar un alto desempeño si se encuentra entre un rango de 6 y 8 por ciento de humedad. Esto se considera el punto más crítico del producto, por lo que la mezcla debe mantenerse entre un rango de 25 a 30 por ciento de humedad, previo a su ingreso a los procesos de compactación y secado.

Actualmente los niveles de productividad y calidad son bastante bajos, debido a que los porcentajes de humedad de la briqueta son mayores a 10%, posterior al proceso de secado; lo que provoca que se fraccione o se incendie adentro del horno. Esto es el resultado de la falta de control durante la fabricación del aglutinante, ya que el contenido de agua suministrado es el mismo para todas las mezclas, indiferentemente del porcentaje de humedad que contenga la merma de carbón. Por otro lado siendo un proceso manual, se desperdicia un 7% de materia prima al día, debido a que la cantidad de ingredientes suministrados a la mezcladora, depende del criterio del operario a cargo.

La situación financiera de la empresa, se ve afectada por los reprocesos y la pérdida de producto. Por consiguiente, tras analizar la situación y sus diversas causas, se concluye que la mejor solución para controlar de forma precisa la mezcla, es diseñar un sistema de automatización para la descarga y combinación de ingredientes de manera que, se reduzcan tiempos muertos y se garantice la calidad del producto.

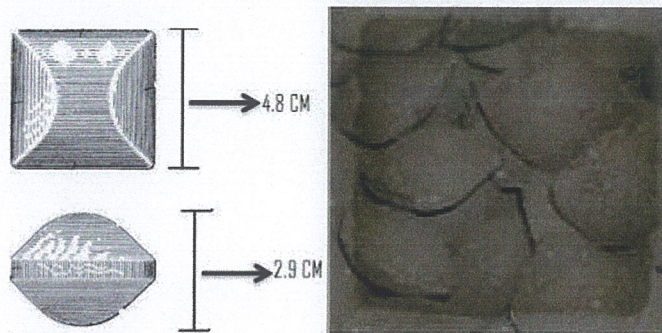
La razón por la que se decidió desarrollar este proyecto, se debe a que la causa primaria del producto no conforme, radica en la incorrecta y poco precisa fabricación de la mezcla. Por lo tanto invertir en un sistema de automatización, promete un incremento significativo en los ingresos, al aumentar la producción de briquetas por día, pues el principal cliente de la empresa, está dispuesto a comprar el total de libras producidas al mes, indiferentemente de la cantidad.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. PROCESO DE FABRICACIÓN DE BRIQUETAS

Una briqueta de carbón vegetal, es un conjunto de ingredientes compactados, los cuales son: polvo de carbón vegetal, aglutinante y aserrín. El aglutinante, es la mezcla de almidón de maíz con agua, a una temperatura entre 70 °C y 90 °C.

Figura 1. Briqueta



El proceso de fabricación inicia, cuando el carbón que proviene de las fincas, se clasifica en la planta de producción por medio de una criba vibratoria, a manera de separar el producto de exportación del producto con dimensiones menores a una pulgada.

Figura 2. Carbón vegetal



Figura 3. Merma de carbón



Figura 4. Criba vibratoria



El carbón con dimensiones menores a una pulgada, se transporta hacia el molino por medio de una banda, en donde es triturado para obtener un producto con granulometría entre 20 y 30 milímetros.

Figura 5. Molino



El polvo de carbón que se obtiene se coloca dentro de sacos, a manera de llenar cada uno con 200 libras. El operario de mezcla se encarga de transportar y descargar el saco dentro de la mezcladora (se requieren 200 libras de polvo de carbón para cada mezcla). Luego, se agregan el aglutinante y el aserrín dentro de la máquina, y se mezcla el contenido durante diez minutos.

Figura 6. Mezcla de ingredientes



Se abre manualmente la compuerta de la máquina y se descarga la mezcla sobre una banda transportadora, que se dirige hacia la máquina de compactación, conocida como briquetera.

Figura 7. Transporte de mezcla hacia máquina de compactación



La briquetera compacta la mezcla por medio de dos moldes para briqueta cuadrada tipo pillow, con dimensiones de 50mm x 50mm x 32mm cada una, lo cual genera un total de 20 briquetas por revolución.

Figura 8. Máquina de compactación (Briquetera)



Figura 9. Producto compactado



Las briquetas son transportadas al horno, en donde ocurre el proceso de cocción por medio de convección, el cual tiene un tiempo de duración de una hora. La temperatura de secado oscila entre los 120°C y los 160°C.

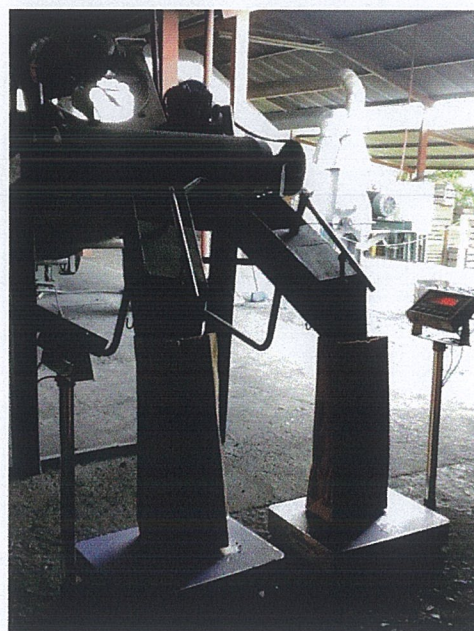
Figura 10. Proceso de secado (Horno)



Cuando las briquetas salen del horno son transportadas hacia el área de empaque, en donde el operario verifica la calidad del producto, introduce las briquetas dentro de bolsas con la presentación correspondiente y pesa cada una.

Figura 12. Peso y empaque de producto

Figura 11. Producto a la salida del horno



## B. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL AGLUTINANTE

El aglutinante, es una sustancia viscosa que se forma al mezclar almidón de maíz con agua a altas temperaturas, cuya función es adherir los ingredientes que contiene la briqueta.

Figura 13. Almidón



Figura 14. Almidón de maíz



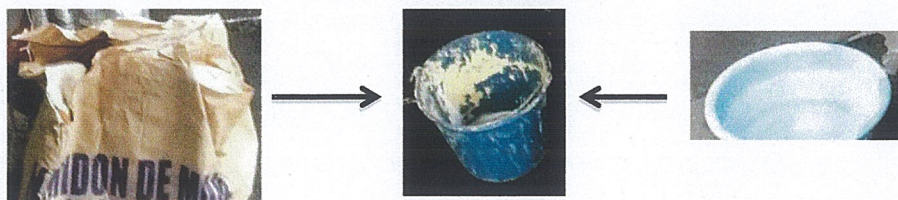
El proceso inicia cuando el encargado reúne leña para construir una fogata y coloca un recipiente de metal sobre la misma. Dentro del recipiente, suministra la cantidad de galones de agua que han sido designados para la fórmula.

Figura 15. Fogata



En un recipiente a parte, se diluyen 10 libras de almidón dentro de 1 galón de agua a temperatura ambiente.

Figura 16. Preparación de aglutinante



Cuando el agua alcanza una temperatura mayor a los 70°C, se vierte el almidón diluido y se mezclan los ingredientes de forma manual, durante cinco minutos.

Figura 17. Proceso de gelatinización



Al finalizar el tiempo de mezcla, se vierte el aglutinante dentro de un recipiente de plástico y se transporta de forma manual hacia la mezcladora, para ser suministrado al carbón y al aserrín.

### C. PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA HUMEDAD

El porcentaje de humedad es el punto crítico de la briqueta, pues define su capacidad de combustión. Por lo tanto, se llevan a cabo pruebas para determinar si el porcentaje de humedad del producto cumple con los estándares de calidad.

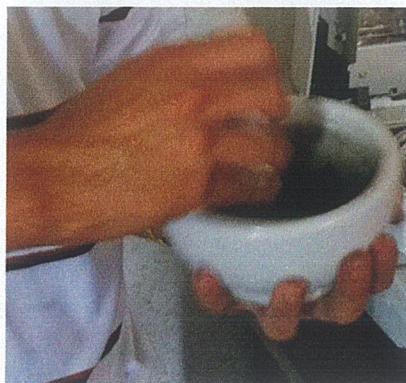
La prueba se inicia, seleccionando tres briquetas de forma aleatoria a la salida del horno para llevarlas al laboratorio de pruebas, en donde se realizan las siguientes actividades:

Figura 18. Selección de 3 briquetas para prueba



1. Se coloca una de las tres briquetas dentro de un mortero y se tritura hasta pulverizarlo.

Figura 19. Briqueta triturada



2. Luego, se coloca el polvo dentro de un colador para obtener el polvo más fino. Se toman 3 gramos de ese mismo polvo y se colocan dentro de un recipiente de aluminio.
3. Se coloca el recipiente de aluminio sobre la bandeja de prueba de la balanza de humedad. Se introduce la bandeja dentro de la máquina y se cierra la tapadera superior.

Figura 20. Balanza de humedad



4. Se programa la máquina para llevar a cabo la prueba de humedad y se espera entre 4 y 5 minutos. La máquina se detendrá automáticamente cuando se haya terminado la prueba.
5. Leer en la pantalla el nivel de humedad de la muestra.

Figura 21. Lectura de porcentaje de humedad



## V. ANTECEDENTES

### A. BREVE RESEÑA DE LA EMPRESA

Fomentos S.A., es una empresa forestal dedicada a la producción de carbón vegetal, fundada en el año 2003. Comenzó distribuyendo producto de calidad a restaurantes nacionales con lo cual, fue adquiriendo reconocimiento en el mercado. En el año 2004, un cliente norteamericano contacta a la compañía, con el objetivo de firmar un contrato para producir y exportar dos contenedores de carbón mensuales, durante un año. A partir de ese momento, la empresa se da a conocer a nivel internacional, logrando comercializar con clientes del mercado europeo.

Sin embargo, se observa que el proceso de carbonización genera pérdidas significativas debido a los desperdicios propios del carbón, por lo que se decide dar otra aplicación a los mismos, en lugar de desecharlos. Por ende, nace la idea de fabricar briquetas de carbón vegetal para exportarlas al mercado norteamericano, quienes son los mayores consumidores de este producto. Finalmente, se compra e instala la maquinaria industrial, de manera que para el año 2005, se convierte en líder y pionera de la primera planta de producción de briquetas de carbón vegetal en Centroamérica.

## VI. METODOLOGIA

Básicamente, la metodología aplicada en el proyecto, se orientó en realizar pruebas piloto para analizar la fórmula de la mezcla, pruebas en condiciones reales para detectar las posibles variables que afectan al proceso y, una serie de cálculos físicos y matemáticos para diseñar el sistema mecánico.

Como se mencionó anteriormente, el primer paso fue realizar tres pruebas de laboratorio, las cuales consistieron en agregar cantidades en gramos de merma, almidón, aserrín y agua dentro de un recipiente, mezclar y compactar los ingredientes, introducirlos dentro de un horno doméstico y calcular el porcentaje de humedad para analizar el comportamiento de cada mezcla y desarrollar una ecuación para explicarlo.

Por otro lado, se llevaron a cabo pruebas utilizando la maquinaria de la línea de producción para observar los factores que intervienen durante el proceso. El procedimiento consistió en agregar 200 libras de merma, 10 libras de almidón, 10 libras de aserrín y una cantidad definida de galones de agua dentro de la mezcladora, combinar los ingredientes, compactarlos e introducirlos dentro del horno. Los datos constantes fueron la masa de la merma, la masa del almidón y la masa del aserrín; los datos variables fueron los galones de agua, el tiempo de mezcla y el orden de suministro de ingredientes.

Con base en los resultados obtenidos de las pruebas piloto, se desarrolla la fórmula para determinar el contenido de agua que requiere la mezcla, tomando en cuenta la cantidad en masa de cada elemento y los porcentajes de humedad de la merma y la mezcla. Al definir y estandarizar la fórmula, se procede a diseñar el sistema más óptimo para el proceso, basado en la metodología establecida para la elaboración de la mezcla y las condiciones de la planta.

El diseño del sistema mecánico se dividió en cuatro fases, como se mencionó anteriormente. La primera fase es el sistema de suministro de ingredientes, para el

cual se decidió utilizar un tornillo sin fin que se encuentra en la planta. Los cálculos empleados en este sistema, consistieron en definir el número de vueltas que se requieren para suministrar los ingredientes, el número de vueltas y la longitud del tornillo sin fin, y las características del sistema de transmisión de potencia para generar la velocidad de giro del tornillo.

La segunda fase del sistema, es la instalación de una tolva ubicada en la parte superior de la mezcladora, de manera que se almacenen temporalmente los ingredientes antes de iniciar el proceso de mezcla. Los cálculos se basaron en verificar si el volumen de la tolva tenía la capacidad de almacenar el volumen total de ingredientes y, el análisis del sistema neumático que abre y cierra la compuerta de descarga de la misma.

En la tercera fase, se llevaron a cabo los cálculos correspondientes para el diseño del sistema de bombeo, aplicando el Principio de Bernoulli y el análisis de pérdidas en tuberías con lo que, se calculó la potencia y el caudal requeridos para proporcionar el máximo volumen de agua. Por otro lado, se realizó un análisis del sistema neumático, que abre y cierra la compuerta de descarga de la mezcladora.

La cuarta fase, es el diseño del sistema de control, cuyo desarrollo se llevó a cabo a partir de los tiempos de trabajo establecidos en las fases anteriores. Se seleccionaron los componentes electrónicos más adecuados para cada sistema, se definió el ciclo del proceso y se ejemplificó por medio de un diagrama de flujo para facilitar la programación, más adelante.

Lo más importante de un proyecto de esta categoría, es determinar la rentabilidad del mismo. Por consiguiente, se procedió a realizar el análisis de factibilidad del diseño, con base en la información financiera y los datos de productividad para el proceso manual así, como el cálculo para obtener la misma información en el caso del proceso mecanizado, de manera que se puedan comparar ambos escenarios. Con base en ello, se obtuvo el monto de la inversión inicial para determinar la tasa de retorno de la misma.

## VII. RESULTADOS

### A. PRUEBAS DE LABORATORIO

Las pruebas de laboratorio se realizaron para observar y analizar el comportamiento del contenido de agua dentro de la mezcla, a manera de poder definir una fórmula para calcular el volumen de agua que requiere la misma, según el porcentaje de humedad que contenga la merma y el porcentaje de humedad que requiera la mezcla. A continuación, se describe cada una de las pruebas:

#### 1. Primera prueba:

##### Materiales:

- 1 Balanza de humedad
- 1 Báscula
- 1 Recipiente plástico
- 1 Horno doméstico
- 35.3 gramos de merma de carbón con 12% de humedad
- 11.2 gramos de almidón
- 13 gramos de agua a temperatura ambiente

##### Procedimiento:

- a. Se realizó una prueba de humedad para la merma de carbón
- b. Se introdujeron los gramos de merma y almidón dentro del recipiente plástico y se mezclaron por cinco minutos
- c. Se agregó el contenido de agua dentro del recipiente plástico
- d. Se mezcló todo el contenido durante cinco minutos
- e. Se colocó la mezcla sobre la báscula y la lectura mostró: 59.3 gramos
- f. Se colocó la mezcla sobre la balanza de humedad y la lectura mostró: 28.89%
- g. Se compactó la mezcla de forma manual para crear una briqueta

- h. Se ingresó la briqueta dentro del horno, a una temperatura de 120 °C y un tiempo de secado de diez minutos
- i. Se determinó el porcentaje de humedad de la briqueta utilizando la balanza de humedad. La lectura mostró: 8%

Resultados: la briqueta cumple con los estándares de calidad para el porcentaje de humedad pero, el centro se muestra gelatinoso, lo que indica que el calor no logró penetrar en el interior de la misma.

Figura 22. Biqueta, prueba No.1



## 2. Segunda prueba:

### Materiales:

- 1 Balanza de humedad
- 1 Báscula
- 1 Recipiente plástico
- 1 Horno doméstico
- 35 gramos de merma de carbón con 12% de humedad
- 10 gramos de almidón
- 16 gramos de agua a 80 °C

### Procedimiento:

- a. Se realizó una prueba de humedad para la merma de carbón
- b. Se introdujeron los gramos de merma y almidón dentro del recipiente plástico y se mezclaron por cinco minutos.
- c. Se agregó el contenido de agua dentro del recipiente plástico

- d. Se mezcló todo el contenido durante diez minutos
- e. Se colocó la mezcla sobre la báscula y la lectura mostró: 61 gramos
- f. Se colocó la mezcla sobre la balanza de humedad y la lectura mostró: 33%
- g. Se compactó la mezcla de forma manual para crear una briqueta
- h. Se ingresó la briqueta dentro del horno, a una temperatura de 120 °C y un tiempo de secado de diez minutos.
- i. Se determinó el porcentaje de humedad de la briqueta utilizando la balanza de humedad. La lectura mostró: 10%

Resultados: la briqueta no cumple con los estándares de calidad para el porcentaje de humedad y muestra baja resistencia a la fractura.

Figura 23. Briqueta, prueba No.2



### 3. Tercera prueba:

#### Materiales:

- 1 Balanza de humedad
- 1 Báscula
- 1 Recipiente plástico
- 1 Horno doméstico
- 35 gramos de merma de carbón con 12% de humedad
- 10 gramos de almidón
- 10 gramos de aserrín
- 16 gramos de agua a 80 °C

**Procedimiento:**

- a. Se realizó una prueba de humedad para la merma de carbón
- b. Se introdujeron los gramos de merma y almidón dentro del recipiente plástico y se mezclaron por cinco minutos.
- c. Se agregó el contenido de agua dentro del recipiente plástico
- d. Se mezcló todo el contenido durante cinco minutos
- e. Se colocó la mezcla sobre la báscula y la lectura mostró: 71 gramos
- f. Se colocó la mezcla sobre la balanza de humedad y la lectura mostró: 28%
- g. Se compactó la mezcla de forma manual para crear una briqueta
- h. Se ingresó la briqueta dentro del horno, a una temperatura de 240 °C y un tiempo de secado de veinte minutos.
- i. Se determinó el porcentaje de humedad de la briqueta utilizando la balanza de humedad. La lectura mostró: 8%

Resultados: la briqueta se muestra seca, cumple con los estándares de calidad para el porcentaje de humedad y muestra alta resistencia a la fractura.

Figura 24. Briqueta, prueba No.3

**4. Observaciones:**

El porcentaje de humedad que contiene la mezcla, depende de la masa total de agua, es decir, el agua suministrada más, el contenido de agua de la

merma. A continuación se ejemplifica lo mencionado para la mezcla de la primera prueba:

- Porcentaje de humedad merma x masa merma =  $(0.12)(35.3) = 4.24 \text{ g}$
- Contenido de agua suministrada = 13 g

$$\text{Porcentaje de humedad de la mezcla} = \frac{\text{masa agua total}}{\text{masa total de la mezcla}} \quad (\text{Ec.1})$$

$$28.89\% = \frac{\text{masa agua total}}{59.5 \text{ g}}$$

$$\text{masa}_{\text{agua total}} = (28.89\%)(59.5\text{g}) = 17.19 \text{ g}$$

Si restamos la masa total de agua y la masa de agua de la merma, tenemos:

$$17.13 - 4.24 = 12.89 \text{ g}$$

Lo que es equivalente a la cantidad de agua suministrada a la mezcla. El mismo comportamiento, se observa en las pruebas 2 y 3; por lo tanto, la masa del agua total es equivalente a:

$$m_{\text{aguatotal}} = m_{\text{aguasuministrada}} + m_{\text{aguamerma}} \quad (\text{Ec.2})$$

## B. PRUEBAS EN LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Las pruebas en condiciones reales, se realizaron con el fin de establecer el nuevo procedimiento del proceso de mezcla y analizar los factores que pueden afectar negativamente el desempeño del proceso mecanizado.

### 1. Primera prueba:

Ingredientes:

- 100 libras de merma con 16.67% de humedad

- 5 libras de almidón
- 2 galones de agua
- 5 libras de aserrín

Procedimiento:

- a. Se realizó una prueba de humedad a la merma
- b. Se agregó agua a 80 °C, dentro de la mezcladora
- c. Se agregó el almidón
- d. Se mezcló todo el contenido durante diez minutos
- e. Se agregaron la merma y el aserrín
- f. Se mezcló nuevamente todo el contenido durante diez minutos

Resultados: al suministrar primero el contenido de agua dentro de la mezcladora, no ocurre el proceso de gelatinización y se generan pérdidas a causa de las aberturas por donde evacua la misma. La briqueta se mostró húmeda y poco resistente a la fractura.

2. Segunda prueba:

Ingredientes:

- 100 libras de merma con 16.67% de humedad
- 5 libras de almidón
- 3 galones de agua
- 5 libras de aserrín

Procedimiento:

- a. Se realizó una prueba de humedad a la merma
- b. Se agregaron la merma y el almidón
- c. Se mezclaron durante diez minutos
- d. Se agregó el aserrín y el agua a 80 °C
- e. Se mezcló todo el contenido durante diez minutos

Resultados: el tiempo de mezcla provocó que las partículas de merma disminuyeran su granulometría por debajo de los 20 milímetros, lo que ocasiona que la briqueta se cristalice en las orillas y logre secarse en el centro. La briqueta se mostró húmeda y poco resistente a la fractura.

3. Tercera prueba:

Ingredientes:

- 100 libras de merma con 16.67% de humedad
- 5 libras de almidón
- 4 galones de agua
- 5 libras de aserrín

Procedimiento:

- a. Se realizó una prueba de humedad a la merma
- b. Se agregaron la merma y el almidón
- c. Se mezclaron durante cinco minutos
- d. Se agregó el aserrín y el agua a 90 °C
- e. Se mezcló todo el contenido durante diez minutos

Resultados: la briqueta se mostró consistente, con alta resistencia a la fractura y con un porcentaje de humedad de 30%.

4. Cuarta prueba:

Ingredientes:

- 200 libras de merma con 16.67% de humedad
- 8 libras de almidón
- 6 galones de agua
- 8 libras de aserrín

Procedimiento:

- a. Se realizó una prueba de humedad a la merma
- b. Se agregaron la merma, el almidón, el agua a 90 °C y el aserrín
- c. Se mezcló todo el contenido durante diez minutos

Resultados: la briqueta se mostró consistente, con alta resistencia a la fractura y con un porcentaje de humedad de 27.8%.

### C. FÓRMULA DE LA MEZCLA

El porcentaje de humedad de la mezcla debe encontrarse entre un rango de 25% a 30%, para cumplir con los estándares de calidad. Dicho porcentaje, depende de la masa de merma dentro de la mezcla, del porcentaje de humedad de la merma y de la cantidad de agua que se agregue a la mezcla. Por consiguiente, es necesario determinar una fórmula que pueda calcular la cantidad de agua que debe suministrarse, dependiendo de la masa de la merma, el porcentaje de humedad de la merma y el porcentaje de humedad al cual se requiera que llegue la mezcla.

Para ello, se lleva a cabo el siguiente planteamiento, con el objetivo de desarrollar una fórmula que tome en cuenta todos los parámetros mencionados anteriormente.

Con base en la teoría, el porcentaje de humedad se calcula tomando en cuenta la ecuación 1 (pag.19):

$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{\text{masa total de agua}}{\text{masa total mezcla}} \quad (\text{Ec.1})$$

$$\%h_{mz} = \frac{m_{at}}{m_T} \quad (\text{Ec.1})$$

Si se considera que  $m_T$  es la masa total de la mezcla y  $m_{at}$ , la masa total de agua, entonces utilizando la ecuación 2 (pag.19):

$$m_{at} = m_a + m_{\%am} \quad (\text{Ec.2})$$

En donde,  $m_{\%am}$  es la masa de agua que contiene la masa total de merma y  $m_a$  es la masa de agua que se suministró a la mezcla; entonces, el contenido de agua total es la suma del agua en masa que contiene la merma y el agua en masa suministrada.

La masa total de la mezcla es la sumatoria de: la masa de la merma ( $m_m$ ), la masa del almidón ( $m_{al}$ ), la masa del aserrín ( $m_{as}$ ) y, la masa de agua suministrada ( $m_a$ ). La masa del aserrín es equivalente a la masa del almidón, la cual representa el 5% de la masa total de la merma.

$$m_T = m_m + m_{al} + m_{as} + m_a \text{ (Ec.3)}$$

$$m_{as} = m_{al} = 0.05m_m \text{ (Ec. 4)}$$

Por lo tanto,

$$m_T = m_m + 0.05m_m + 0.05m_m + m_a$$

$$m_T = 1.1m_m + m_a$$

Despejando la masa total en la ecuación 1 (pag.19) y sustituyendo  $m_T$ , se obtiene:

$$m_{at} = \%h_{mz} (1.1m_m + m_a)$$

Entonces,

$$m_{at} = 1.1\%h_{mz}m_m + \%h_{mz} m_a$$

$$m_a + m_{\%am} = 1.1\%h_{mz}m_m + \%h_{mz} m_a$$

$$m_a + \%h_m m_m = 1.1\%h_{mz}m_m + \%h_{mz} m_a$$

$$m_a + \%h_{mz} m_a = 1.1\%h_{mz}m_m - \%h_m m_m$$

$$m_a (1 - \%h_{mz}) = m_m (1.1\%h_{mz} - \%h_m)$$

$$m_a = m_m \frac{(1.1\%h_{mz} - \%h_m)}{(1 - \%h_{mz})}$$

$$m_a = m_m \frac{(s\%h_{mz} - \%h_m)}{(1 - \%h_{mz})} \text{ (Ec.5)}$$

En donde  $s$ , es una constante que depende de la masa de almidón y aserrín suministrada a la mezcla, con respecto a la masa de merma como se muestra a continuación:

$$s = m_m + m_{al} + m_{as}$$

$$s = m_m + 0.05m_m + 0.05m_m$$

$$s = (m_m + 0.05m_m + 0.05m_m)/m_m$$

$$s = 1.1$$

Fórmulas definidas:

- $m_{almidón} = 0.05m_{merma}$  (El porcentaje puede cambiar, según lo decida la empresa)
- $m_{aserrín} = m_{almidón}$
- $m_{agua} = m_m \frac{(s\%hmz - \%hm)}{(1 - \%hmz)}$
- $m_T = m_m + m_{al} + m_{as} + m_a$
- $m_{at} = m\%_{am} + m_a$
- $V_{agua} = \frac{m_{agua}}{\rho_{agua}}$

Especificaciones:

- $m_{merma} = 200 \text{ lb}$
- $s = 1.1$
- $\rho_{agua \text{ a } 90^\circ\text{C}} = 8.05 \text{ lbs/gal}$  (Anexo A)
- Temperatura del agua:  $90^\circ\text{C}$  (+/-  $5^\circ\text{C}$  de tolerancia)
- Rango de porcentaje humedad de la mezcla: 25% - 30%
- Rango de porcentaje humedad de la merma: 12% - 20%
- Tiempo de mezcla: 11 minutos

#### D. SISTEMA DE SUMINISTRO DE INGREDIENTES

El sistema de suministro es básicamente, un tornillo sin fin helicoidal que transporta los ingredientes (merma, almidón y aserrín) hacia una tolva colocada sobre la mezcladora.

Dentro de la planta se tiene un tornillo sin fin con las dimensiones que se especifican a continuación:

- Diámetro interno del tornillo: 7.375 plg
- Diámetro de paso del tornillo: 7.25 plg
- Diámetro del eje del tornillo: 2.375 plg
- Paso axial: 6 plg
- Longitud del tornillo: 17.22 pies
- Espesor:  $\frac{1}{16}$  plg

Se debe determinar el volumen total de los ingredientes que pasará a través del tornillo, con el objetivo de calcular el número de vueltas que se requieren para transportar todo el contenido; además se debe calcular la longitud del tornillo, dependiendo de la ubicación del molino con respecto a la tolva.

Primero se calcula el volumen de paso, como se muestra a continuación:

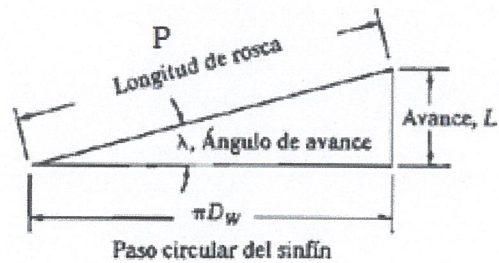
$$V_{\text{paso}} = \pi(r_1^2 + r_2^2)L \quad (\text{Ec.6})$$

En donde L es el avance que equivale a  $L = N_v P_x$  (Ec.7), siendo  $N_v$  el número de espiras y  $P_x$  el paso axial. Los radios  $r_1$  y  $r_2$  se obtienen despejando el perímetro (longitud de rosca) de la ecuación que se muestra a continuación:

$$P = 2\pi r \quad (\text{Ec.8})$$

Y P es la hipotenusa que se forma del triángulo que se muestra en la siguiente figura:

Figura 25. Longitud de rosca



Entonces,  $r_1$  que comprende el radio formado por el diámetro de paso, se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\pi D_p &= \pi(7.25) = 22.78 \text{ plg} \\ L &= (1 \text{ espira}) (6 \text{ plg}) = 6 \text{ plg} \\ P &= \sqrt{22.78^2 + 6^2} = 23.56 \text{ plg} \\ r &= \frac{P}{2\pi} = \frac{23.56}{2\pi} = 3.75 \text{ plg}\end{aligned}$$

Para  $r_2$  que comprende el radio formado por el diámetro del eje, se calcula así:

$$\pi D_p = \pi(2.375) = 7.46 \text{ plg}$$

Por medio de una relación entre el triángulo descrito por los datos del diámetro de paso y el triángulo descrito por los datos del diámetro del eje, se obtiene el paso para el radio 2,

$$\begin{aligned}\frac{22.78 \text{ plg}}{7.46} &= \frac{6 \text{ plg}}{x}, \text{ donde } x = 1.97 \text{ plg} \\ L &= (1 \text{ espira}) (1.97 \text{ plg}) = 1.97 \text{ plg} \\ P &= \sqrt{7.46^2 + 1.97^2} = 7.72 \text{ plg} \\ r &= \frac{P}{2\pi} = \frac{7.72}{2\pi} = 1.23 \text{ plg}\end{aligned}$$

Por lo tanto,

$$\begin{aligned}V_{\text{paso}} &= \pi(3.75^2 + 1.23^2)(6) = 236.58 \text{ plg}^3 \\ 236.58 \text{ plg}^3 &\left(\frac{1 \text{ pies}^3}{1728 \text{ plg}^3}\right) = 0.137 \text{ pies}^3\end{aligned}$$

Ahora bien, teniendo el volumen de paso, se procede a calcular el volumen total de los ingredientes a transportar:

Se sabe que,

$$V_{\text{ingredientes}} = V_{\text{merma}} + V_{\text{almidón}} + V_{\text{aserrín}} \quad (\text{Ec.9})$$

Masas:

- Merma = 200 lb = 90.72 kg
- Almidón = 10 lb = 2.27 kg
- Aserrín = 10 lb = 2.27 kg

Densidades (Anexo B):

- Merma = 500 kg/m<sup>3</sup>
- Almidón = 1400 kg/m<sup>3</sup>
- Aserrín = 300 kg/m<sup>3</sup>

Entonces, se calcula el volumen de cada elemento empleando la siguiente ecuación:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (\text{Ec.10})$$

$$V_{\text{merma}} = \frac{90.72}{500} = 0.1814 \text{ m}^3 \left( \frac{35.28 \text{ pies}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 6.4 \text{ pies}^3$$

$$V_{\text{almidón}} = \frac{2.27}{1400} = 0.0016 \text{ m}^3 \left( \frac{35.28 \text{ pies}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 0.056 \text{ pies}^3$$

$$V_{\text{aserrín}} = \frac{2.27}{300} = 0.0076 \text{ m}^3 \left( \frac{35.28 \text{ pies}^3}{1 \text{ m}^3} \right) = 0.268 \text{ pies}^3$$

$$V_{\text{ingredientes}} = 6.4 + 0.056 + 0.268 = 6.72 \text{ pies}^3$$

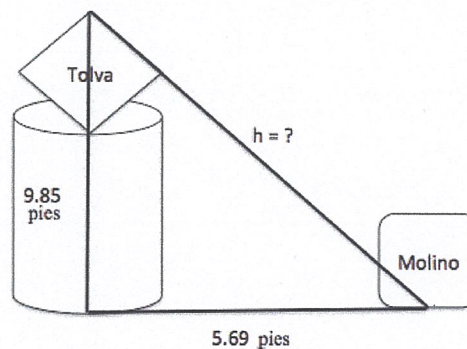
Conociendo el volumen de paso y el volumen total de ingredientes que serán transportados, se calcula el número de vueltas del tornillo de la siguiente manera:

$$\text{No.revoluciones} = \frac{V_{\text{ingredientes}}}{V_{\text{paso}}} \quad (\text{Ec.11})$$

$$\text{No.revoluciones} = \frac{6.72 \text{ pies}^3}{0.137 \text{ pies}^3} = 49$$

El siguiente paso es, calcular la longitud del tornillo sin fin. A continuación, se muestra un diagrama de la ubicación del molino con respecto a la tolva (el diseño de la tolva se mostrará en el siguiente inciso):

Figura 26. Distribución geométrica del molino con respecto a la tolva



El tornillo sin fin es  $h$ , la hipotenusa, por lo que por medio del Teorema de Pitágoras se calcula dicho dato:

$$h^2 = a^2 + b^2 \quad (\text{Ec.12})$$

En donde  $a$  es igual a 5.69 pies y  $b$  es igual a 9.85 pies, por lo tanto:

$$h = \sqrt{5.69^2 + 9.85^2} = 11.38 \text{ pies}$$

$$11.38 \text{ pies} \left( \frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pies}} \right) = 136.56 \text{ pulg}$$

Empleando la ecuación 11 (pag.28) se obtiene:

$$\text{No. espiras} = \frac{136.56}{6} = 22.76$$

Resumen de diseño:

- Longitud tornillo: 11.38 pies
- Paso axial: 6 plg
- No. espiras: 22.76
- Diámetro del eje del tornillo: 2.375 plg
- Espesor:  $\frac{1}{16}$  plg
- El tornillo debe completar dos ciclos para depositar el volumen total de ingredientes a la tolva

Ahora bien, tras haber obtenido los datos necesarios para el diseño del tornillo sin fin, se procede a realizar el análisis de deflexión.

El tornillo sin fin se analiza como una viga simple con carga uniformemente distribuida. De la Tabla de deflexiones y pendientes de vigas simples (Anexo C) se obtienen los siguientes datos para una viga simple con carga distribuida:

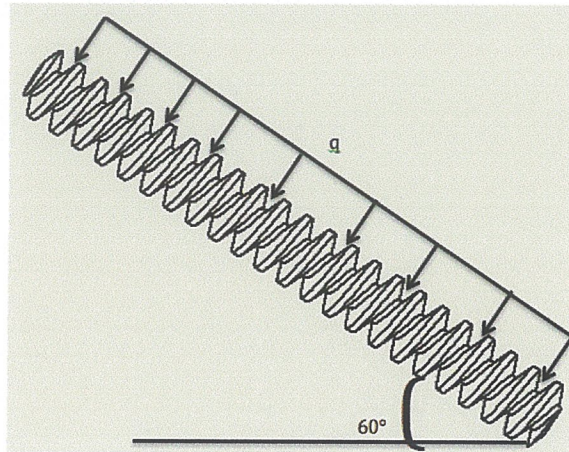
$$v = \frac{-qx}{24EI} (L^3 - 2Lx^2 + x^3) \text{ (Ec.13)}$$

$$v' = \frac{-q}{24EI} (L^3 - 6Lx^2 + 4x^3) \text{ (Ec.14)}$$

$$\delta_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI} \text{ (Ec.15)}$$

$$\theta_A = \theta_B = \frac{qL^3}{24EI} \text{ (Ec.16)}$$

Figura 27. Diagrama del tornillo sin fin



En donde,

- $q = q_y = q \cos 60^\circ$  (lb/pulg)
- $L = 11.38$  pies = 136.56 pulgadas
- $E = 200$  GPa, para el acero (Anexo D)
- $I = \frac{\pi d^4}{64}$ , se analiza como un círculo (Anexo E)
- $d = 7.25$  pulgadas
  - $x = 0$  en la posición A
  - $x = L$  en la posición B

Si el volumen por paso es equivalente a 236.58 pulgadas cúbicas, el volumen total de los ingredientes es 11,629.44 pulgadas cúbicas y la masa total de los ingredientes es 220 libras, entonces la relación de volúmenes y masas se expresa de la siguiente manera:

$$\frac{V_{\text{paso}}}{V_{\text{ingredientes}}} = \frac{m_{\text{paso}}}{m_{\text{ingredientes}}} \quad (\text{Ec.17})$$

Despejando  $m_{\text{paso}}$ , en la ecuación 17 y, sustituyendo los valores se obtiene,

$$m_{\text{paso}} = m_{\text{ingredientes}} \times \frac{V_{\text{paso}}}{V_{\text{ingredientes}}}$$

$$m_{\text{paso}} = 220 \times \frac{236.58}{11,629.44} = 4.47 \text{ libras}$$

Si el paso es de 6 pulgadas y la carga se expresa como libras/pulgada, entonces:

$$q = \frac{4.47 \text{ libras}}{6 \text{ pulgadas}} = 0.75 \text{ libras/pulgada}$$

Por lo tanto, el valor de la componente vertical de la carga es,

$$q_y = 0.75 \cos 60^\circ = 0.375 \text{ libras/pulgada}$$

La inercia se calcula como:

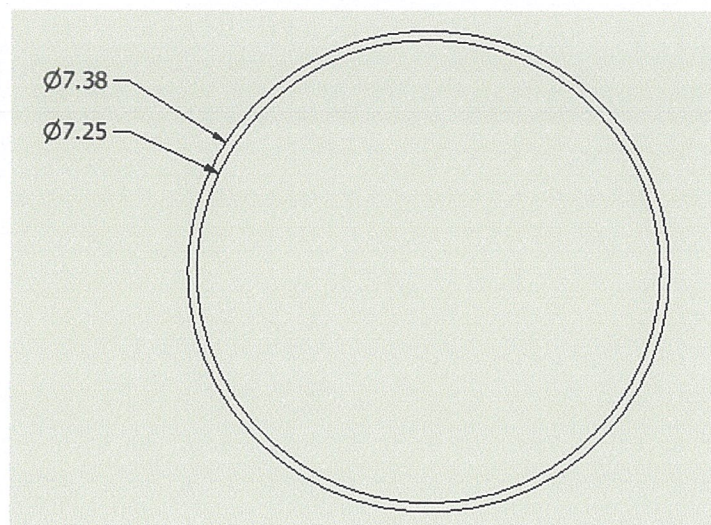
$$I = \frac{\pi(7.25)^4}{64} = 135.62 \text{ plg}^4$$

Ahora, se procede a calcular la deflexión máxima y los ángulos en A y B, tomando en cuenta que no debe sobrepasar las 0.0625 pulgadas.

Las 0.0625 pulgadas, se obtienen al restar el diámetro interno del cilindro y el diámetro de paso del tornillo, y dividir el resultado dentro de dos.

$$\frac{Di-Dt}{2} = \frac{7.375-7.25}{2} = 0.0625 \text{ plg (Ec.18)}$$

Figura 28. Vista frontal, carcasa del tornillo sin fin



$$\delta_{\max} = \frac{5(0.375)(136.56)^4}{384(2,000,000,000)(135.62)} = 6.26 \times 10^{-6} \text{ plg}$$

$$\delta_{\max} < 0.0625 \text{ (cumple)}$$

$$\theta_A = \theta_B = \frac{(0.375)(136.56)^3}{24(2,000,000,000)(135.62)} = 1.47 \times 10^{-7} \text{ rad}$$

Con base en los resultados obtenidos, se comprueba que la deflexión del sistema que soporta la carga de los ingredientes, no es significativa.

Una vez que se obtienen los resultados para el diseño del tornillo sin fin, se procede a calcular el sistema de transmisión de potencia para movilizarlo. Para ello, se utilizará un motor que se encuentra sin uso dentro de la planta, cuyas especificaciones son las siguientes:

- Potencia: 3 hp
- Trifásico
- Voltaje: 220V
- Corriente: 9.5A
- Velocidad de giro: 900 rpm

La velocidad de salida para impulsar el tornillo sin fin, debe ser de 50 rpm, ya que el tornillo debe completar el ciclo con 49 vueltas en un minuto, como tiempo máximo. Tomando en cuenta que, la relación entre la velocidad de giro del motor y la velocidad de giro tornillo es de 18, se debe contemplar una caja reductora para el diseño.

El primer paso consiste en diseñar el sistema de transmisión de potencia del motor a la caja reductora. Para ello, se utilizarán dos poleas que se encuentran dentro de la planta cuyos diámetros son:

- Polea 1:  $3 \frac{7}{16}$  plg
- Polea 2:  $4 \frac{3}{4}$  plg

Por lo tanto, la relación de velocidades es la siguiente:

$$R = \frac{D2}{D1} = \frac{n1}{n2} \quad (\text{Ec.19})$$

$$R = \frac{4.75}{3.4375} = 1.3$$

Despejando la ecuación 19 para  $n_1$ , se obtiene:

$$n_2 = \frac{n_1}{\frac{D2}{D1}} = \frac{900}{1.3} = 692.3 \text{ rpm}$$

Ahora, se procede a diseñar la transmisión de bandas en V, con base en las características de las poleas:

1. Se calcula la potencia de diseño, seleccionando un factor de servicio igual a 1, tomado de la Tabla de Factor de Servicio (Anexo F) para un motor que trabaja menos de 6 horas al día y que impulsa un tornillo sin fin con una carga ligera. Entonces, la potencia de diseño es:

$$P = \text{factor} \times \text{potencia} \quad (\text{Ec.20})$$

$$P = (1)(3 \text{ hp}) = 3 \text{ hp}$$

2. Se selecciona la sección de la banda, con base a la Tabla de selección de Bandas en V (Anexo G), tomando en cuenta la potencia de diseño y la velocidad de giro del motor. La banda a utilizar es una 3V.
3. La potencia nominal se determina a partir de la Tabla de capacidad para Bandas 3V (Anexo H), para una banda 3V con velocidad de giro de 900 rpm. Por lo tanto, la potencia nominal es de 2 hp.

4. Cálculo de la distancia entre centros:

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1) \text{ (Ec.21)}$$

$$4.75 < C < 3(4.75 + 3.4375)$$

$$4.75 < C < 24.56$$

La distancia entre centros debe ser mayor a 4.75 pulgadas y menor a 24.56 pulgadas. Por lo tanto, se seleccionará una distancia entre centros de 20 pulgadas.

5. Se calcula la longitud de la banda:

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \text{ (Ec.22)}$$

$$L = 2(20) + 1.57(4.75 + 3.4375) + \frac{(4.75 - 3.4375)^2}{4(20)} = 52.87 \text{ pulgadas}$$

6. Se selecciona una longitud en la Tabla de Longitudes de Bandas (Anexo I) para calcular la distancia real entre centros:

$$B = 4L - 6.28(D_2 + D_1) \text{ (Ec.23)}$$

Se ha seleccionado una longitud de 53 pulgadas para una banda 3V, la cual se aproxima a 52.87 pulgadas.

$$B = 4(53) - 6.28(4.75 + 3.4375) = 160.58$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16} \text{ (Ec.24)}$$

$$C = \frac{160.58 + \sqrt{160.58^2 - 32(4.75 - 3.4375)^2}}{16} = 20.06 \text{ pulgadas}$$

$$C = 20.06 \text{ pulgadas}$$

7. Se calcula el ángulo de contacto de la banda en la polea menor:

$$\theta_1 = 180 - 2 \arcsen \left[ \frac{(D_2 - D_1)}{2C} \right] \text{ (Ec.25)}$$

$$\theta_1 = 180 - 2 \arcsen \left[ \frac{(4.75 - 3.4375)}{2(20.06)} \right] = 176.24^\circ$$

8. Se determinan los factores de corrección para el ángulo de contacto y la longitud de la banda:

- (Anexo J) para ángulo de contacto:  $C_\theta = 0.98$
- (Anexo K) para longitud:  $C_L = 0.97$

9. Se calcula la potencia nominal corregida y la cantidad de bandas que se requieren:

$$P_{\text{corregida}} = P_{\text{nominal}} C_\theta C_L \text{ (Ec.26)}$$

$$P_{\text{corregida}} = (2)(0.98)(0.97) = 1.9 \text{ hp}$$

$$\text{No. bandas} = P_{\text{diseño}} / P_{\text{corregida}} \text{ (Ec.27)}$$

$$\text{No. bandas} = 3/1.9 = 1.57 \text{ (2 bandas)}$$

#### Resumen de diseño:

- Entrada: 3 hp a 900 rpm
- Factor de servicio: 1
- Potencia de diseño: 3 hp
- Banda: sección 3V, 53 pulgadas de longitud, 2 bandas
- Poleas:
  - Motriz: 3.4375 pulgadas de diámetro, 3V, 2 ranuras
  - Conducida: 4.75 pulgadas de diámetro, 3V, 2 ranuras

- Velocidad real de salida: 692.3 rpm
- Distancia entre centros: 20.06 pulgadas

El segundo paso, consiste en diseñar el sistema de transmisión de potencia de la caja reductora al torillo sin fin. Para ello, se utilizarán dos ruedas dentadas, llamadas catarinas, que se encuentran dentro de la planta cuyos diámetros son:

- Catarina 1: 4  $\frac{3}{4}$  plg
- Catarina 2: 5  $\frac{3}{4}$  plg

Por lo tanto, la relación de velocidades es la siguiente:

$$R = \frac{D_2}{D_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (\text{Ec.19})$$

$$R = \frac{5.75}{4.75} = 1.2$$

Despejando la ecuación 19 (pag.33) para  $n_1$ , se obtiene:

$$n_1 = n_2 \times \frac{D_2}{D_1} = 50 \times 1.2 = 60 \text{ rpm}$$

Se procede a diseñar la transmisión por cadena:

1. Se calcula la potencia de diseño con la ecuación 20 (pag.33), tomando el factor de servicio de la Tabla de factor de servicio para cadenas (Anexo L) el cual tiene un valor de 1, ya que la carga a impulsar es ligera y el motor es eléctrico.

$$P = (1)(1) = 1 \text{ hp}$$

2. Se consulta la Tabla capacidad cadena No.40 (Anexo M) para una cadena simple de rodillos número 40, con el objetivo de determinar la capacidad de potencia:

- Cadena No. 40
- Velocidad mínima: 50 rpm
- Paso: 0.5 pulgadas
- Capacidad: 1.08 hp
- No. Dientes: 45
- Tipo A: lubricación manual o por goteo

3. Se calcula el número de dientes para la catarina 2:

$$N_2 = N_1 \times \frac{D_2}{D_1} \text{ (Ec.28)}$$

$$N_2 = (45)(1.2) = 54 \text{ dientes}$$

4. Se calcula la velocidad de salida esperada, para determinar si cumple con la establecida anteriormente:

$$n_2 = n_1 \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \text{ (Ec.29)}$$

$$n_2 = 60 \left( \frac{45}{54} \right) = 50 \text{ rpm (cumple)}$$

5. Distancia entre centros:

Lo recomendable es que se encuentre entre un rango de 30 a 50 pasos. Por lo tanto, se seleccionará: 30 pasos.

6. Longitud de cadena:

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C} \text{ (Ec.30)}$$

$$L = 2(30) + \frac{54+45}{2} + \frac{(54-45)^2}{4\pi^2(30)} = 109.57 \text{ pasos}$$

Cada paso equivale a 0.5 pulgadas, por lo tanto:

$$109.57 \text{ pasos (0.5 pulgadas)} = 59.78 \text{ pulgadas de largo}$$

7. Distancia teórica entre centros:

$$C = \frac{1}{4} \left( L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left( L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right) \text{ (Ec.31)}$$

$$C = \frac{1}{4} \left( 109.57 - \frac{54+45}{2} + \sqrt{\left( 109.57 - \frac{54+45}{2} \right)^2 - \frac{8(54-45)^2}{4\pi^2}} \right) = 30 \text{ pasos}$$

$$C = 30 \text{ pasos (0.5 pulgadas)} = 15 \text{ pulgadas}$$

8. Ángulo de contacto:

$$\theta_1 = 180 - 2 \arcsen \left[ \frac{(D_2 - D_1)}{2C} \right] \text{ (Ec.25)}$$

$$\theta_1 = 180 - 2 \arcsen \left[ \frac{(5.75 - 4.75)}{2(30)} \right] = 178^\circ$$

$$\theta_2 = 180 + 2 \arcsen \left[ \frac{(D_2 - D_1)}{2C} \right] \text{ (Ec.32)}$$

$$\theta_2 = 180 + 2 \arcsen \left[ \frac{(5.75 - 4.75)}{2(30)} \right] = 182^\circ$$

Resumen de diseño:

- Paso: ½ pulgada
- Longitud: 59.78 pulgadas
- Distancia entre centros: 15 pulgadas
- Características de catarinas:

- $D_1$ : 4  $\frac{3}{4}$  pulgadas,  $N_1$ : 45 dientes
- $D_2$ : 5  $\frac{3}{4}$  pulgadas,  $N_2$ : 54 dientes
  
- Características cadena:
  - Hilera simple
  - No. 40
  - Tipo A: lubricación seca

Una vez definidos ambos sistemas de transmisión, se deben determinar las características de la caja reductora, tomando en cuenta que la salida debe ser de 60 rpm, empleando la ecuación 18 (pag.31):

$$\frac{n_2}{n_3} = \frac{692.3}{60} = 11.54 = 12$$

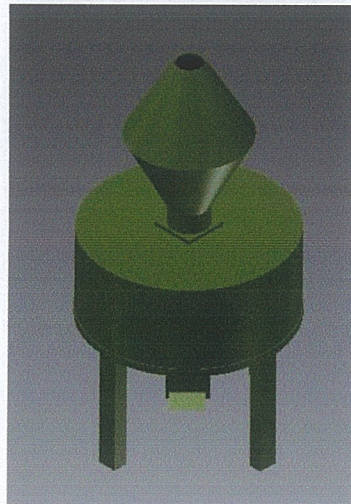
Resumen de diseño:

- Tipo: engranaje helicoidal
- Potencia: 1 – 3 hp
- Velocidad de giro: 50 - 707 rpm
- Torque de salida: 150 Nm
- Relación requerida: 12
- Potencia del motor: 3 hp

## E. SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DESCARGA DE INGREDIENTES

Los ingredientes transportados por medio del tornillo sin fin, son suministrados a la tolva que se instalará en la parte superior de la mezcladora.

Figura 29. Ubicación de tolva con respecto a mezcladora



Lo importante para este sistema, es determinar si el volumen de la tolva tiene la capacidad necesaria para almacenar el volumen total de ingredientes y, diseñar el sistema de descarga de estos hacia la mezcladora.

La tolva tiene las siguientes características:

- Altura total: 45 plg
- Diámetro superior: 7.125 plg
- Diámetro central: 30 plg
- Diámetro inferior: 10 plg
- Altura total cilindro: 6 plg
- Altura de placa a cilindro: 5 plg
- Material: acero

Capacidad de almacenamiento de la tolva:

$$V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 h \quad (\text{Ec.33})$$

$$V_{\text{troncocono}} = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr) \quad (\text{Ec.34})$$

$$V_{\text{cilindro}} = \pi \left(\frac{10}{2}\right)^2 (5) = 392.69 \text{ plg}^3$$

$$V_{\text{troncocono1}} = \frac{1}{3}\pi \left(\frac{45-6}{2}\right)(15^2 + 3.5625^2 + (15 \times 3.5625)) = 5,945 \text{ plg}^3$$

$$V_{\text{troncocono2}} = \frac{1}{3}\pi \left(\frac{45-6}{2}\right)(15^2 + 5^2 + (15 \times 5)) = 6,636.6 \text{ plg}^3$$

$$V_{\text{total}} = 392.69 + 5,945 + 6,636.6 = 12,974.30 \text{ plg}^3$$

$$12,974.30 \text{ plg}^3 \left(\frac{1 \text{ pies}^3}{1,728 \text{ plg}^3}\right) = 7.5 \text{ pies}^3$$

Se comprueba que la tolva tiene la capacidad para almacenar los 6.72 pies<sup>3</sup> (pag.27) del volumen total de los ingredientes.

Ahora bien, el ángulo que describe el tronco del cono, debe ser igual o mayor a 60 grados, para lograr que los ingredientes se descarguen por completo. El cálculo se desarrolla a continuación:

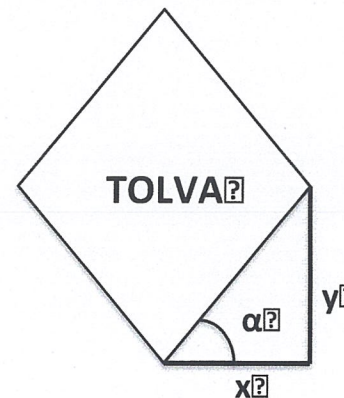
$$\alpha = \arctan\left(\frac{y}{x}\right) \quad (\text{Ec.35})$$

$$y = \frac{h_{\text{total}} - h_{\text{cilindro}}}{2} = \frac{45-6}{2} = 19.5 \text{ plg}$$

$$x = \frac{d_{\text{cono}} - d_{\text{cilindro}}}{2} = \frac{30-10}{2} = 10 \text{ plg}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{19.5}{10}\right) = 62.85^\circ$$

Figura 30. Diagrama del ángulo de la tolva



Con el objetivo de analizar si el ángulo de la tolva efectivamente permite la descarga de los ingredientes sin que estos se atasquen, se realizaron dos pruebas que se describen a continuación:

1. Primera prueba:

- a. Se introdujeron 200 libras de merma con 12% de humedad, 10 libras de almidón y 10 libras de aserrín dentro del molino.
- b. El molino trituró los ingredientes durante 5 minutos, los cuales fueron transportados y descargados de forma manual, dentro de la tolva con la compuerta cerrada.
- c. El operario se encargó de abrir la compuerta para permitir la descarga de los ingredientes.

Resultado: El tiempo de descarga fue de 40 segundos. No se observó problema de obstrucción de los ingredientes.

2. Segunda prueba:

- a. Se introdujeron 200 libras de merma con 20% de humedad, 10 libras de almidón y 10 libras de aserrín dentro del molino.
- b. El molino trituró los ingredientes durante 5 minutos, los cuales fueron transportados y descargados de forma manual, dentro de la tolva con la compuerta cerrada.
- c. El operario se encargó de abrir la compuerta para permitir la descarga de los ingredientes.

Resultado: El tiempo de descarga fue de 57 segundos. No se observó problema de obstrucción de los ingredientes.

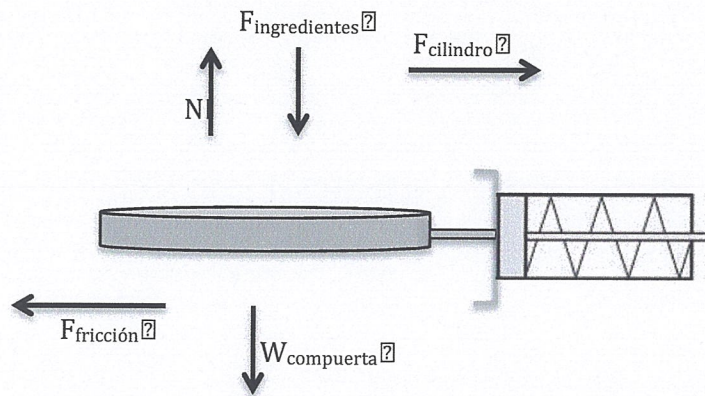
Por lo tanto, el diseño de la tolva cumple con la capacidad de almacenamiento y con el ángulo de descarga.

La segunda fase del sistema de almacenamiento y suministro de ingredientes, consiste en diseñar el sistema de descarga de estos hacia la mezcladora. Para ello, se ha decidido colocar una placa cilíndrica a una pulgada de la altura total del cilindro de la tolva, la cual será desplazada por

medio de un cilindro neumático, cuyas características se calculan a continuación:

### Diagrama de cuerpo libre

Figura 31. Diagrama de cuerpo libre de la compuerta de descarga de la tolva



Primero se analizan las fuerzas que actúan en el plano x y luego las que actúan en el plano y:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$F_{cilindro} - F_{fricción} = 0$$

$$F_{cilindro} = F_{fricción} \quad (\text{Ec.36})$$

Sabemos que,

$$F_{fricción} = \mu N \quad (\text{Ec.37})$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$N - F_{ingredientes} + W_{compuerta} = 0$$

$$N = F_{ingredientes} + W_{compuerta}$$

En donde,

$$\mu_{estático} = 0.15 \quad (\text{Anexo N})$$

$$F_{\text{ingredientes}} = F_{\text{merma}} + F_{\text{almidón}} + F_{\text{aserrín}} = 200 + 10 + 10 = 220 \text{ lbf}$$

El peso de la compuerta se calcula de la siguiente manera:

- Diámetro = 10 plg = 0.254 m
- Espesor (t) =  $\frac{3}{16}$  plg = 0.00476 m
- Material: acero con  $\rho = 7,850 \text{ kg/m}^3$

$$V = \pi r^2 t = \pi \left( \frac{0.254}{2} \right)^2 (0.00476) = 0.00024 \text{ m}^3$$

Despejando la masa en la ecuación 10 (pag.27), se obtiene:

$$m = \rho V = (7,850) \times (0.00024) = 1.884 \text{ kg}$$

$$1.884 \text{ kg} \left( \frac{2.204 \text{ lbs}}{1 \text{ kg}} \right) = 4.15 \text{ lbf}$$

Entonces,

$$N = 220 + 4.15 = 224.15 \text{ lbf}$$

$$F_{\text{cilindro}} = F_{\text{fricción}} = (0.15) \times (224.15) = 33.62 \text{ lbf}$$

Se sabe que el diámetro del cilindro ubicado bajo la tolva es de 10 pulgadas, por lo tanto, la placa tendrá un diámetro de 11 pulgadas, de manera que la carrera del pistón sea equivalente al diámetro del cilindro.

Características del cilindro:

- Fuerza a desplazar por el cilindro: 33.62 lbf
- Carrera del pistón: 10 plg

Características de la placa:

- Diámetro: 11 plg
- Espesor:  $\frac{3}{16}$  plg
- Material: acero

## F. SISTEMA DE MEZCLA

Una vez que se encuentran los ingredientes dentro de la mezcladora, se suministra el agua caliente, cuyo volumen oscila entre los tres y ocho galones, calculados a partir del siguiente análisis:

Sabiendo que:

- El porcentaje de humedad de la merma se encuentra entre 12% y 20%
- El porcentaje de humedad de la mezcla debe estar entre 25% y 30%
- La masa de la merma es de 200 lbs

Se toma el mínimo porcentaje de humedad de la merma que es 12% y el porcentaje máximo de la mezcla que es 30% para calcular el volumen máximo de agua. Empleando las fórmulas definidas en el inciso C (pag.24):

$$m_{\text{amax}} = 200 \times \frac{((1.1 \times 0.3) - 0.12)}{(1 - 0.3)} = 60 \text{ lbs (Ec.5)}$$

$$V_{\text{amax}} = \frac{60 \text{ lbs}}{8.05 \text{ lbs/gal}} = 7.45 \text{ galones (Especificaciones en inciso C, pag.24)}$$

Cuando la humedad máxima de la merma es de 20% y la humedad mínima de la mezcla es de 25%, se calcula el volumen mínimo de agua, empleando las ecuaciones del inciso C (pag.24):

$$m_{\text{amin}} = 200 \times \frac{((1.1 \times 0.25) - 0.2)}{(1 - 0.25)} = 20 \text{ lbs (Ec.5)}$$

$$V_{\text{amin}} = \frac{20 \text{ lbs}}{8.05 \text{ lbs/gal}} = 2.5 \text{ galones (Especificaciones en inciso C, pag.24)}$$

El ciclo máximo de suministro de agua debe durar un minuto, es decir, sesenta segundos. Por lo tanto, el caudal máximo es:

$$Q_{\max} = \frac{V_{\max}}{t} \quad (\text{Ec.38})$$

$$V_{\max} = 8 \text{ gal} \left( \frac{0.1337 \text{ pies}^3}{1 \text{ gal}} \right) = 1.0696 \text{ pies}^3$$

$$Q_{\max} = \frac{1.0696 \text{ pies}^3}{60 \text{ s}} = 0.018 \text{ pies}^3/\text{s}$$

Ahora que se conoce el caudal, se deben determinar la potencia de la bomba y la configuración para la instalación de la tubería.

$$P = \gamma Q_{\max} h_b \quad (\text{Ec.39})$$

En donde,

- $\gamma = 60.12$  es el peso específico del agua a  $90^\circ\text{C}$  (Anexo A)
- $Q = 0.018 \text{ pies}^3/\text{s}$
- $h_b = ?$ , es la altura de la bomba

Se aplica el Principio de Bernoulli para calcular  $h_b$ :

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_b = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \Sigma h_L \quad (\text{Ec.40})$$

Observar Anexo X: Plano sistema de bombeo. El sistema está conformado por:

- $L_1, L_2, L_3$  y  $L_4 = 118 \text{ plg}$
- $L_5 = 112.5 \text{ plg}$
- $L_6 = 47 \text{ plg}$
- $L_7 = 19.125 \text{ plg}$
- 6 codos a  $90^\circ$

- 1 válvula
- 1 expansión
- 1 contracción

No existe presión inicial y velocidad inicial; tampoco existe presión final y velocidad final, por lo tanto:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_b = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + \Sigma h_L$$

Despejando para  $h_b$ :

$$h_b = (z_2 - z_1) + \Sigma h_L \quad (\text{Ec.41})$$

En donde:

$$\Sigma h_L = \left( f \frac{L}{D} + 6K_b + K_v + K_e + K_E + K_C + K_E \right) \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec.42})$$

- $f$ : coeficiente de resistencia
- $V$ : velocidad
- $L$ : longitud total del sistema

Pérdidas del sistema (Anexo O):

- $K_b$ : pérdidas en codos roscados a  $90^\circ$
- $K_v$ : pérdida en válvula
- $K_e$ : pérdida en entrada de tubo
- $K_C$ : pérdida en contracción a  $60^\circ$
- $K_E$ : pérdida en expansión a  $20^\circ$

Sustituyendo los valores en la ecuación 42, se obtiene:

$$\Sigma hL = (f \frac{L}{D} + 6(0.9) + 0.2 + 0.12 + 0.3 + 0.08 + 0.1) \frac{V^2}{2g}$$

De la ecuación 42 (pag.47), se desconoce la velocidad, el coeficiente de resistencia y la longitud total del sistema. Entonces,

$$V^2 = \left(\frac{Q}{A}\right)^2 \quad (\text{Ec.43})$$

Para el sistema, se utilizarán siete tubos con las siguientes características (Anexo X):

- Diámetro interno: 1 plg
- Diámetro externo: 1.125 plg
- Longitud: 9.83 pies
- Material: acero

El área de cada tubo es,

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (\text{Ec.44})$$

$$A = \frac{\pi}{4} (0.0833)^2 = 0.00545 \text{ pies}^2$$

Por lo tanto,

$$V^2 = \left(\frac{0.018}{0.00545}\right)^2 = 10.91 \text{ pies/s}$$

Ahora, se debe encontrar el coeficiente de resistencia por medio de la Figura para Coeficientes de resistencia (Anexo N). Pero primero, se calcula el número de Reynolds y luego la rugosidad relativa, como se muestra a continuación:

$$\text{Re} = \frac{VD}{\nu} \quad (\text{Ec.45})$$

De la Tabla de propiedades del agua (Anexo A), se obtiene la viscosidad cinemática  $\nu$  para el agua, a una temperatura de 90°C

$$Re = \frac{(10.91)(0.0833)}{0.341 \times 10^{-5}} = 266,511 = 2.67 \times 10^5$$

La rugosidad se obtiene de la Tabla de rugosidades (Anexo P), para el acero en pulgadas:

$$\frac{Ks}{D} \quad (\text{Ec.46})$$

$$\frac{Ks}{D} = \frac{0.002}{1} = 0.002$$

Entonces,  $f = 0.024$ , tomando en cuenta el valor del número de Reynolds y la rugosidad del tubo (Anexo M)

La longitud total del sistema es:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 \quad (\text{Ec.47})$$

$$L = 118 + 118 + 118 + 118 + 112.5 + 47 + 19.125 = 650.625 \text{ plg} = 54.22 \text{ pies}$$

$$\Sigma hL = \left[ (0.024) \frac{(54.22)}{(0.0833)} + 6(0.9) + 0.2 + 0.12 + 0.3 + 0.08 + 0.1 \right] \frac{10.91^2}{2(32.2)} = 40.33 \text{ pies}$$

Empleando las ecuaciones 39 (pag.46) y 41 (pag.47),

$$z_2 = \frac{47}{12} \text{ pies} = 3.92 \text{ pies}$$

$$z_1 = 0 \text{ pies (nivel del suelo)}$$

$$h_b = (3.92 + 40.33) = 44.25 \text{ pies}$$

$$P = (60.12)(0.018)(44.25) = 47.88 \frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{s}}$$

$$P = 47.88 \frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{s}} \left( \frac{1 \text{ hp}}{550 \frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{s}}} \right) = 0.1 \text{ hp}$$

Con base en los resultados de los cálculos, se determina que se requiere una potencia de 0.1 hp para el sistema. Por lo tanto, se puede utilizar una bomba de 0.25 hp pero no son muy comerciales, de manera que se selecciona una bomba de 0.5 hp, que puede ser aprovechada si en algún momento se modifica la cantidad de ingredientes en la mezcla.

Características de la bomba:

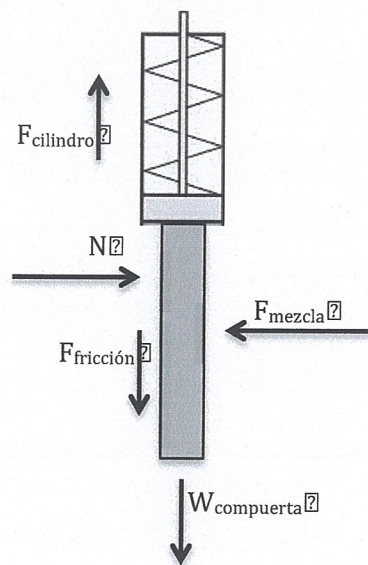
- Potencia: 0.5 hp
- Caudal: 8 gpm
- Tamaño de descarga: 1 plg

Después de suministrar el agua caliente, la mezcladora trabaja durante diez minutos más, para luego descargar la mezcla sobre la banda transportadora que se dirige hacia la briquetera. Para ello, se diseña el sistema de descarga:

Características de la compuerta:

- Largo: 8 ¼ plg
- Ancho: 8 ¼ plg
- Espesor:  $\frac{3}{16}$  plg
- Material: acero

Figura 32. Diagrama de cuerpo libre para la compuerta de descarga de la mezcladora



Primero se analizan las fuerzas que actúan en el plano x y luego las que actúan en el plano y:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$N - F_{mezcla} = 0$$

$$N = F_{mezcla} \text{ (Ec.48)}$$

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{cilindro} - W_{compuerta} - F_{fricción} = 0$$

$$F_{cilindro} = W_{compuerta} + F_{fricción} \text{ (Ec.49)}$$

Se calcula el peso de la compuerta:

- Largo = 8.25 plg = 0.20955 m
- Ancho = 8.25 plg = 0.20955 m
- Espesor (t) =  $\frac{3}{16}$  plg = 0.00476 m
- Material: acero con  $\rho = 7,850 \text{ kg/m}^3$

$$V = l^2 t \quad (\text{Ec.50})$$

$$V = (0.20955)^2(0.00476) = 0.000209 \text{ m}^3$$

Despejando la masa en la ecuación 10 (pag.27):

$$m = \rho V = (7,850) \times (0.000209) = 1.64 \text{ kg}$$

$$1.64 \text{ kg} \left( \frac{2.204 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \right) = 3.62 \text{ lbf}$$

La fuerza ejercida por la mezcla hacia la compuerta es:

$$F_{\text{mezcla}} = \rho_{\text{mezcla}} g h_{\text{mezcla}} A_{\text{perpendicular}} \quad (\text{Ec.51})$$

$$\rho_{\text{mezcla}} = \% \rho_{\text{merma}} + \% \rho_{\text{almidón}} + \% \rho_{\text{aserrín}} + \% \rho_{\text{agua}} \quad (\text{Ec.52})$$

$$\% = \frac{V_{\text{ingrediente}}}{V_{\text{total}}} \quad (\text{Ec.53})$$

Tomando los volúmenes obtenidos en el inciso C (pag.24) y el volumen de agua calculado, sabemos que:

- $V_{\text{mezcla}} = 7.79 \text{ pies}^3$
- $V_{\text{merma}} = 6.4 \text{ pies}^3$
- $V_{\text{almidón}} = 0.056 \text{ pies}^3$
- $V_{\text{aserrín}} = 0.268 \text{ pies}^3$
- $V_{\text{agua}} = 1.0696 \text{ pies}^3$

Calculando el porcentaje con la ecuación 53 (pag.52), se obtiene:

- $\%_{\text{merma}} = 82.16\%$
- $\%_{\text{almidón}} = 0.72\%$
- $\%_{\text{aserrín}} = 3.44\%$
- $\%_{\text{agua}} = 13.70\%$

Tomando las densidades descritas en el inciso C (pag.24) y empleando la ecuación 52 (pag.52),

$$\rho_{\text{mezcla}} = (82.16\%)(500\text{kg/m}^3) + (0.71\%)(1400\text{ kg/m}^3) + (3.44\%)(300\text{ kg/m}^3) + (13.70\%)(965\text{ kg/m}^3) = 563.26\text{ kg/m}^3$$

Para encontrar la altura de la mezcla, se divide el volumen de la mezcla dentro del volumen de la mezcladora. (Anexo X)

$$h_{\text{mezcla}} = \frac{V_{\text{mezcla}}}{V_{\text{mezcladora}}} h_{\text{mezcladora}} \quad (\text{Ec.54})$$

En donde,

$$V_{\text{mezcladora}} = V_{\text{cilindro}} = \pi r^2 h \quad (\text{Ec.33})$$

$$V_{\text{mezcladora}} = \pi(2.132)^2(1.97) = 28.13\text{ pies}^3$$

$$h_{\text{mezcla}} = \frac{7.79}{28.13} (1.97\text{ pies}) = 0.5455\text{ pies} = 0.1663\text{ m}$$

El área perpendicular es:

$$A_{\text{perpendicular}} = A_{\text{compuerta}} = l^2 \quad (\text{Ec.55})$$

$$A_{\text{compuerta}} = (0.20955)^2 = 0.044\text{ m}^2$$

Entonces,

$$F_{\text{mezcla}} = (563.26)(9.81)(0.1663)(0.044) = 40.43\text{ N} \times \frac{1\text{ lbf}}{4.4482\text{ N}} = 9.09\text{ lbf}$$

Por lo tanto,

$$F_{\text{fricción}} = \mu N$$

$$N = F_{\text{mezcla}} = 9.09\text{ lbf}$$

$$F_{\text{cilindro}} = W_{\text{compuerta}} + F_{\text{fricción}} = 3.62 + (0.15)(9.09) = 4.94 \text{ lbf}$$

Características del cilindro:

- Fuerza a desplazar por el cilindro: 5 lbf
- Carrera del piston: 8 plg

## G. SISTEMA DE CONTROL

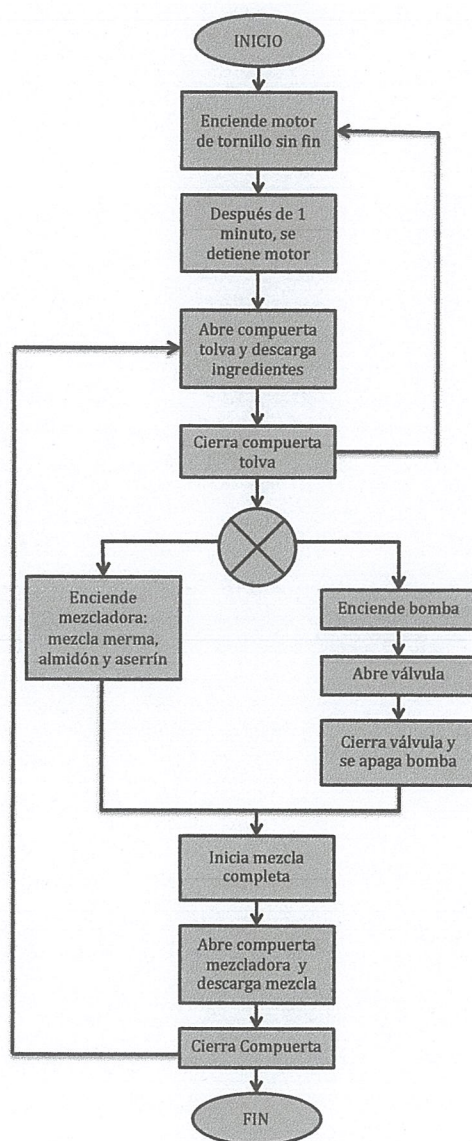
### 1. Ciclos de trabajo

- Motor tornillo sin fin
  - Conexión directa a PLC
  - Tiempo de giro del tornillo: 1 minuto
  - Entrada: Orden PLC
- Compuerta de tolva
  - Conexión a PLC por medio de compresor
  - Tiempo de descarga: 1 minuto
  - Entrada: Abre cada 16 minutos
- Mezcladora
  - Conexión directa a PLC
  - Tiempo de mezcla: 11 minutos
  - Se mantiene encendida 8 horas por turno
  - Entrada: Al encender el motor del tornillo sin fin
- Sistema de bombeo
  - Bomba:
    - Conexión directa a PLC
    - Tiempo de bombeo: 1 minuto
    - Entrada: Cierre de compuerta de la tolva
  - Válvula:
    - Conexión directa a PLC
    - Tiempo de apertura: 58 segundos
    - Entrada: 2 segundos después de encender la bomba

- Compuerta de mezcladora
  - Conexión a PLC por medio de compresor
  - Tiempo de descarga: 5 minutos
  - Entrada: 10 minutos después de que se apaga la bomba
- Paro de emergencia:
  - Detiene todo el sistema

## 2. Diagrama de flujo

Figura 33. Diagrama de flujo del sistema de control



### 3. Descripción

- a. El PLC envía una señal al motor del tornillo sin fin, para que encienda y comience a transportar los ingredientes hacia la tolva, durante un minuto.
- b. Al finalizar la descarga, se apaga el motor y se envía una orden al compresor para que el cilindro de la compuerta de la tolva retroceda y abra, para descargar el contenido, durante un minuto.
- c. Cierra la compuerta de la tolva y simultáneamente, por orden del PLC ocurre lo siguiente:
  - Se enciende nuevamente el motor del tornillo sin fin para transportar los ingredientes a la tolva y mantenerlos almacenados hasta que se termine el ciclo de la mezcla anterior.
  - La mezcladora inicia su ciclo para combinar merma, almidón y aserrín.
  - Se enciende la bomba para suministrar el agua a temperatura de 90°C. Dos segundos después, se envía una orden a la válvula para que abra y permita el paso de agua durante 58 segundos.
- d. Se apaga la bomba, cierra la válvula y se envía una orden al compresor para que el cilindro de la compuerta de la mezcladora retroceda y abra, para descargar la mezcla durante cinco minutos.
- e. Cierra la compuerta de la mezcladora, y se envía una orden a la compuerta de la tolva para que abra e inicie nuevamente el ciclo de mezcla.

Tomando en cuenta que hay actividades que se llevan a cabo de forma paralela, el ciclo del proceso como tal, inicia con la descarga de los ingredientes a la mezcladora y finaliza, con el cierre de compuerta de la misma. Por lo tanto, el tiempo del proceso es de 17 minutos: un minuto de

descarga de ingredientes, once minutos de mezcla y cinco minutos de descarga.

## H. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Con base en los cálculos y las características propias de cada sistema, se procede a verificar la factibilidad del diseño. Como primer punto, se debe calcular la cantidad de mezclas a producir por turno para el proceso manual y para el proceso mecanizado, basado en la información que se detalla a continuación:

Tabla 1. Información general por proceso

PROCESO MANUAL			PROCESO MECANIZADO		
Producción			Producción		
Mezclas por turno	18		Mezclas por turno	28	
Mezclas por hora	2		Mezclas por hora	4	
Libras por mezcla	278		Libras por mezcla	293	
Libras de merma	200		Libras de merma	200	
Libras de almidón	10		Libras de almidón	10	
Libras de aserrín	10		Libras de aserrín	10	
Libras de agua	58		Libras de agua	73	
Libras por turno	4949		Libras por turno	8273	
Capacidad briquetera (lbs/hora)	1984		Capacidad briquetera (lbs/hora)	1984	
Desperdicio de materia prima y producto			Desperdicio de materia prima y producto		
Total de desperdicios al día	7%		Total de desperdicios al día	3%	
Desperdicio por briqueta húmeda	3%		Desperdicio por briqueta húmeda	1.5%	
Desperdicio por briqueta quemada	1.5%		Desperdicio por briqueta quemada	0.2%	
Desperdicio por tamaño de briqueta	0.5%		Desperdicio por tamaño de briqueta	0.5%	
Desperdicio de merma de carbón	1%		Desperdicio de merma de carbón	0.8%	
Desperdicio de almidón	0.5%		Desperdicio de almidón	0.2%	
Tiempo del ciclo			Tiempo del ciclo		
Tiempo total	27 min	Orden	Tiempo total	17 min	Orden
Transporte de merma a tolva	1 min	1	Transporte de Ingredientes a tolva	1 min	1
Proceso de gelatinización	12 min	1	Descarga de ingredientes a mezcladora	1 min	1
Descarga de ingredientes a mezcladora	5 min	1	Proceso de mezcla	10 min	2
Mezcla de ingredientes	10 min	2	Suministro de agua a 90 grados C	1 min	2
Transporte de mezcladora a briquetera	5 min	3	Transporte de mezcladora a briquetera	5 min	3

La información referente al tiempo del ciclo de trabajo fue recolectada por medios experimentales en el caso del proceso manual, es decir, se midieron tiempos utilizando un cronómetro; en el caso del proceso mecanizado, se tomaron en cuenta los tiempos definidos en el sistema de control del inciso G (pag.54).

Los desperdicios de materia prima para el proceso manual, se obtuvieron de los registros: RE-MP-02 (Salida y saldo de material prima, Anexo R), RE-PR-09 (Producto No Conforme, Anexo S) y RE-PR-10 (Producción, Anexo T), del sistema de gestión de calidad de la empresa. En el caso del proceso mecanizado, se estima la reducción de los desperdicios con base en que, el suministro de ingredientes será más preciso y se evitarán reprocesos al controlar de mejor manera el porcentaje de humedad de la mezcla.

Ahora bien, producción se entiende de la siguiente manera:

- Libras por mezcla: sumatoria de las cantidades de ingredientes que indica la fórmula definida
- Capacidad de la briquetera: datos tomados del manual (Anexo U)
- Mezclas por hora: razón entre el total de minutos por hora, dividido el total de minutos por ciclo
- Mezclas por turno: el total de mezclas por hora multiplicado por las ocho horas que trabaja cada turno
- Libras por turno: el total de libras por mezcla multiplicado por el total de mezclas por turno

Teniendo dicha información, se calcula la producción por proceso y el porcentaje de eficiencia con respecto a la capacidad de la planta:

Tabla 2. Capacidad y rendimiento del proceso

CAPACIDAD		
CONCEPTO	MANUAL	MECANIZADO
lbs por día	9898	16546
desperdicio por día	643	529
Total lbs/h	578	1001
Capacidad total	500 kg/h	
Proceso	Producción	Eficiencia
Manual	262 kg/h	52%
Mecanizado	454 kg/h	91%

#### Cálculos:

- Libras por día: el producto de las libras por turno por los dos turnos que trabajan al día
- Desperdicio por día: el porcentaje de desperdicio por las libras por día
- Libras por hora: la diferencia entre las libras por día y el desperdicio por día, dividido entre 16 horas laboradas al día
- Capacidad: conversión de libras por hora a kilogramos por hora, al dividir el resultado dentro de 2.204 libras que contiene un kilogramo
- Eficiencia: la producción por proceso, dividido la capacidad de la planta.

Como puede observarse en los resultados, la producción aumenta a 454 kg/h debido a la mecanización del proceso de mezcla.

#### 1. Costos fijos:

Se entiende como, la sumatoria de los salarios del personal que interviene directa e indirectamente en el proceso. Al mecanizar el proceso, se prescinde de los servicios laborales del operario de mezcla y el operario de aglutinante con lo que, se presenta un ahorro de Q4,000.00 mensuales; además, se puede ofrecer un mejor salario al operario de merma, sin aumentar los costos del proceso mecanizado con respecto al proceso manual.

#### 2. Costos variables:

Representan los gastos de: energía eléctrica, agua, desperdicios de materia prima y desperdicios de producto.

Tabla 3. Costos fijos por proceso

PROCESO ACTUAL				
Salarios				
Descripción del puesto	Cantidad	Sueldo mensual/persona	Prestaciones	Sueldo total
Operario de merma	2	Q 2,500.00	Q 775.00	Q 6,550.00
Operario de aglutinante	2	Q 2,500.00	Q 775.00	Q 6,550.00
Operario de mezcla	2	Q 2,500.00	Q 775.00	Q 6,550.00
Aseguramiento de calidad	2	Q 4,000.00	Q 1,240.00	Q 10,480.00
Jefe de turno	2	Q 3,000.00	Q 930.00	Q 7,860.00
Técnico	1	Q 4,000.00	Q 1,240.00	Q 5,240.00
			Total	Q 43,230.00

PROCESO MECANIZADO				
Salarios				
Descripción del puesto	Cantidad	Sueldo mensual/persona	Prestaciones	Sueldo total
Operario de merma	2	Q 3,500.00	Q 1,085.00	Q 9,170.00
Aseguramiento de calidad	2	Q 4,000.00	Q 1,240.00	Q 10,480.00
Jefe de turno	2	Q 3,000.00	Q 930.00	Q 7,860.00
Técnico	2	Q 4,000.00	Q 1,240.00	Q 10,480.00
			Total	Q 37,990.00

Tabla 4. Costos variables proceso manual

PROCESO MANUAL (Mensual)			
Energía eléctrica			
Precio	GTQ	1.98	/kWh
Equipo	Consumo (kW)	Horas de trabajo por día	Costo (Q/día)
Molino	19	0.5	Q 18.81
Tornillo sin fin	2	0.5	Q 1.98
Mezcladora	6	6	Q 71.28
Banda transportadora	1	3	Q 5.94
			Consumo diario Q 98.01
			Consumo mensual Q 2,156.22
Agua			
Precio del agua	GTQ	1.12	/m3
Mezcla con almidón		0.94	m3
Consumo diario	GTQ	1.05	
Consumo mensual	GTQ	23.18	
Desperdicios de materia prima			
Materia prima	Costo por libra	Costo por desperdicio	
Merma de carbón vegetal	Q 1.12	Q 79.64	
Almidón	Q 2.08	Q 3.70	
		Total diario	GTQ 83.34
		Total mensual	GTQ 1,833.53
Desperdicios de briqueta			
Briqueta	GTQ 277.16	Costo por libra	
Total por mes	GTQ 6,097.47	GTQ	0.56
Total costos variables			
		GTQ	10,110.40

Tabla 5. Costos variables proceso mecanizado

PROCESO MECANIZADO (Mensual)			
Energía eléctrica			
Precio	1.98 Q/kWh		
Equipo	Consumo (kW)	Horas de trabajo por día	Costo (Q/día)
Molino	19	14	Q 526.68
Tornillo sin fin	2	1	Q 3.96
Mezcladora	6	16	Q 190.08
Banda transportadora	1	5	Q 9.90
		Consumo diario	Q 730.62
		Consumo mensual	Q 16,073.64
Agua			
Precio del agua	Q 1.12	/m3	
Mezcla con almidón	1.71	m3	
Consumo diario	GTQ 1.91		
Consumo mensual	GTQ 42.08		
Desperdicios de materia prima			
Materia prima	Costo por libra	Costo por desperdicio	
Merma de carbón vegetal	Q 1.12	Q	101.20
Almidón	Q 2.08	Q	2.35
		Total diario	GTQ 103.54
		Total mensual	GTQ 2,277.98
Desperdicios de briqueta			
Briqueta	GTQ 203.85	Costo por libra	
Total por mes	GTQ 4,484.60	GTQ	0.56
Total costos variables	GTQ	20,600.31	

Se observa un incremento en los costos variables, debido al aumento en el consumo de energía eléctrica por el tiempo de utilización de las máquinas y, al incremento de los desperdicios de materia prima.

## 3. Inversión inicial:

Tabla 6. Costo del equipo

MANO DE OBRA E INSTALACIÓN						
Descripción	Horas	Horas Extra	No. Trabajadores	Costo hora/hombre	Costo hora/extra	Costo total
Instalación de tornillo sin fin	48	40	3	GTQ 25.00	GTQ 50.00	Q 9,600.00
Instalación del sistema de transmisión	40	20	2	GTQ 25.00	GTQ 50.00	Q 4,000.00
Instalación tolva	16	10	2	GTQ 25.00	GTQ 50.00	Q 1,800.00
Instalación sistema neumático	50	40	3	GTQ 25.00	GTQ 50.00	Q 9,750.00
Instalación de sistema de bombeo	128	126	5	GTQ 25.00	GTQ 50.00	Q 47,500.00
Instalación sistema de control	24	8	2	GTQ 25.00	GTQ 50.00	Q 2,000.00

Tabla 7. Costo de mano de obra e instalación

EQUIPO				
Cantidad	Descripción	Aplicación	Costo Unitario	Costo Total
1	Tornillo sin fin (Longitud: 11.38", Paso: 6", No. Vueltas: 22.76, Diámetro: 7.25"Espesor: 1/16")	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 9,280.00	Q 9,280.00
1	Cilindro tornillo sin fin (Longitud: 12", Dinterno: 7 3/8", Dexterno: 8 1/4")	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 5,700.00	Q 5,700.00
1	Motor 3Hp, trifásico, 220 V, 9.5 amp, 900 rpm	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 19,600.00	Q 19,600.00
1	Caja reductora helicoidal, 1-2.66 hp, 50-707 rpm, relación: 14:1	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 22,400.00	Q 22,400.00
1	Polea 3 7/16" x 1 1/16" con tratamiento térmico	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 115.00	Q 115.00
1	Polea 4 3/4" x 15/16" con tratamiento térmico	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 187.90	Q 187.90
1	Sprocket 4 3/4" x 1 13/16" tratamiento térmico	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 120.00	Q 120.00
1	Sprocket 5 3/4" con tratamiento térmico	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 150.00	Q 150.00
2	Bandas, sección 3VX, largo: 53"	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 240.00	Q 480.00
1	Cadena Hilera simple, No. 40, paso: 1/2", largo: 59.78", Tipo A	Sistema de Suministro de Ingredientes	Q 80.00	Q 80.00
1	Tolva (construcción)	Sistema de Descarga de Ingredientes	Q 15,000.00	Q 15,000.00
1	Cilindro neumático con sensor (Fuerza: 35 lbf, Carrera: 10", Presión: 20-120 psi)	Sistema de Descarga de Ingredientes	Q 6,760.00	Q 6,760.00
7	Tubos roscados de acero (Longitud: 10", Diámetro: 1", Espesor: 1/8")	Sistema de Bombeo	Q 500.00	Q 3,500.00
1	Bomba de 0.5 hp, 40 lts/min, axial, 220V	Sistema de Bombeo	Q 1,985.00	Q 1,985.00
6	Codos roscados a 90 grados	Sistema de Bombeo	Q 136.00	Q 816.00
1	Válvula solenoide con timer	Sistema de Bombeo	Q 6,800.00	Q 6,800.00
1	Expansión concéntrica a 20 grados	Sistema de Bombeo	Q 280.00	Q 280.00
1	Contracción concéntrica a 60 grados	Sistema de Bombeo	Q 280.00	Q 280.00
1	Cilindro neumático con sensor (Fuerza: 5 lbf, Carrera: 8", Presión: 20-120 psi)	Sistema de Mezcla	Q 5,760.00	Q 5,760.00
1	Compresor de 2 hp, presión: 20-120 psi, lubricado, 25 litros	Sistema de Mezcla	Q 5,032.00	Q 5,032.00
1	PLC Siemens	Sistema de Mezcla	Q 15,700.00	Q 15,700.00
			Total	Q 120,025.90

Tabla 8. Costos de mantenimiento

MANTENIMIENTO		
Sistema	Vida útil	Costo
Tornillo sin fin (Longitud: 11.38", Paso: 6", No. Vueltas: 22.76, Diámetro: 7.25"Espesor: 1/16")	2 años	Q 4,640.00
Motor 3Hp, trifásico, 220 V, 9.5 amp, 900 rpm	3 años	Q 6,533.33
Caja reductora helicoidal, 1-2.66 hp, 50-707 rpm, relación: 14:1	3 años	Q 7,466.67
Polea 3 7/16" x 1 1/16" con tratamiento térmico	6 meses	Q 230.00
Polea 4 3/4" x 15/16" con tratamiento térmico	6 meses	Q 375.80
Catarina 4 3/4" x 1 13/16" tratamiento térmico	6 meses	Q 240.00
Catarina 5 3/4" con tratamiento térmico	6 meses	Q 300.00
Bandas, sección 3VX, largo: 53"	6 meses	Q 480.00
Cadena Hilera simple, No. 40, paso: 1/2", largo: 59.78", Tipo A	6 meses	Q 160.00
Cilindro neumático con sensor (Fuerza: 35 lbf, Carrera: 10", Presión: 20-120 psi)	1 año	Q 6,760.00
Bomba de 0.5 hp, 40 lts/min, axial, 220V	2 años	Q 992.50
Válvula solenoide con timer	2 años	Q 3,400.00
Cilindro neumático con sensor (Fuerza: 5 lbf, Carrera: 8", Presión: 20-120 psi)	1 año	Q 5,760.00
Compresor de 2 hp, presión: 20-120 psi, lubricado, 25 litros	1 año	Q 5,032.00
Mano de obra	No aplica	Q 18,600.00
	Total	Q 60,970.30

Tabla 9. Indemnización personal operativo

INDEMNIZACIÓN				
Información	Operario Aglutinante Turno 1	Operario Aglutinante Turno 2	Operario Mezcla Turno 1	Operario Mezcla Turno 2
Vacaciones proporcionales	Q 693.33	Q 693.33	Q 1,433.00	Q 1,433.00
Bono 14 proporcional	Q 876.16	Q 876.16	Q 2,074.58	Q 2,074.58
Aguinaldo proporcional	Q 1,374.79	Q 1,374.79	Q 2,924.35	Q 2,924.35
Indemnización proporcional	Q 1,603.93	Q 1,603.93	Q 3,628.43	Q 3,628.43
Deducciones legales	Q -	Q 500.00	Q 2,396.50	Q 2,396.50
Total por Operario	Q 4,548.21	Q 4,048.21	Q 7,663.86	Q 7,663.86
			TOTAL	Q 23,924.14

Tabla 10. Monto total de la inversión

Equipo	Q 120,025.90
Mano de obra	Q 74,650.00
Indemnización Operarios	Q 23,924.14
Mantenimiento: vida útil	Q 60,970.30
<b>INVERSION INICIAL</b>	<b>Q 279,570.34</b>

## 4. Retorno de inversión:

Tabla 11. Utilidad por proceso

PROCESO MANUAL		PROCESO MECANIZADO	
Descripción	Monto	Descripción	Monto
Ingresos	Q 121,949.37	Ingresos	Q 203,845.27
Costos variables	Q 10,110.40	Costos variables	Q 20,600.31
Costos fijos	Q 43,230.00	Costos fijos	Q 37,990.00
Otros	Q 54,877.22	Otros	Q 91,730.37
Utilidad antes de impuestos	Q 13,731.76	Utilidad antes de impuestos	Q 53,524.59
Impuestos (31%)	Q 4,256.84	Impuestos (31%)	Q 16,592.62
Utilidad después de impuestos	Q 9,474.91	Utilidad después de impuestos	Q 36,931.96
Total	Q 9,474.91	Total	Q 36,931.96

- Los ingresos comprenden el total de libras producidas por el costo por libra, el cual es de Q 0.56.
- Los costos fijos se obtienen del total mostrado en la Tabla 3 (pag.60).
- Los costos variables se obtienen del total mostrado en la Tabla 4 (pag.61) para el proceso manual y en la Tabla 5 (pag.62) para el proceso mecanizado.
- Otros, representa otro tipo de gastos mensuales que comprenden el 45% de los ingresos mensuales.
- La tasa de interés utilizada es del 10% anual.

Tabla 12. Retorno de inversión

Mes	Ahorro	Inversión inicial
1	Q 27,457.05	Q 279,570.34
2	Q 27,457.05	Q 254,443.04
3	Q 27,457.05	Q 229,315.74
4	Q 27,457.05	Q 204,188.44
5	Q 27,457.05	Q 179,061.14
6	Q 27,457.05	Q 153,933.84
7	Q 27,457.05	Q 128,806.55
8	Q 27,457.05	Q 103,679.25
9	Q 27,457.05	Q 78,551.95
10	Q 27,457.05	Q 53,424.65
11	Q 27,457.05	Q 28,297.35
12	Q 27,457.05	Q 3,170.05
13	Q 27,457.05	Q -

Por lo tanto, el ahorro mensual es de Q 27,457.05. La inversión se paga en trece meses.

## I. DISCUSIÓN

Los resultados de las pruebas de calidad para el producto final, no han sido satisfactorias debido a que el porcentaje de humedad sobrepasa el 8% requerido, como se muestra en las figuras (Anexo V). Una de las teorías por las cuales se considera que la calidad del producto es deficiente, supone que la estructura y la temperatura en el horno son el problema; sin embargo, analizando la situación, la causa radica en la falta de control durante la elaboración de la mezcla, puesto que el porcentaje de humedad sobrepasa el 30% requerido, (Anexo W).

Por consiguiente, uno de los objetivos específicos del proyecto está enfocado en estandarizar la fórmula de la mezcla, a manera de evitar briqueta húmeda al final de la línea de producción. Para lograrlo, fue necesario llevar a cabo diversas pruebas de laboratorio y pruebas en la línea de producción para desarrollar una fórmula que calcule el contenido exacto de agua que requiere la mezcla, según los porcentajes de humedad. Por otro lado, se demostró que el proceso de gelatinización puede ocurrir antes de mezclar el almidón y el agua con los ingredientes sólidos, o durante la combinación simultánea de los cuatro elementos, sin afectar el resultado final del producto.

Con base en las pruebas de laboratorio, se descubrió que el porcentaje de humedad de la mezcla depende del contenido total de agua, es decir, la suma de la masa de agua que contiene la merma y el agua suministrada. Por otro lado, en la prueba número uno, el centro de la briqueta se mostró viscoso debido a que la transferencia de calor, ocurrió únicamente en la parte exterior de ésta; esto sucede cuando el agua suministrada no se encuentra a una temperatura mayor a los 70 °C, de manera que el proceso de gelatinización se lleva a cabo adentro del horno, provocando que no se adhieran las partículas de los ingredientes y que el secado endurezca los granos de merma.

Los resultados de las pruebas en la línea de producción, mostraron dos factores que pueden afectar el óptimo desempeño del proceso, los cuales son: uno, el tiempo de mezcla no debe exceder los 11 minutos, ya que disminuye la granulometría de la briqueta y ello impide que el proceso de secado cumpla su función; y dos, se deben homogenizar la merma, el almidón y el aserrín durante un minuto, para evitar desperdicios de los elementos en polvo, mientras se descarga la mezcla.

Descubrir que se puede modificar el procedimiento de mezcla, facilitó el desarrollo del diseño del sistema automático, ya que haberlo diseñado aplicando el procedimiento actual, hubiese requerido una mayor inversión pues el sistema de suministro de ingredientes, tendría que haberse dividido en dos secciones: una para la merma y el aserrín, y la otra para el aglutinante; con la peculiaridad de que se hubiese necesitado un sistema muy complejo para mezclarlo, mantenerlo almacenado y transportarlo sin problemas de adhesión.

Tomando en cuenta lo descrito anteriormente, se observa que el proyecto desarrollado cumple con los objetivos propuestos, ya que se logra aumentar la eficiencia de la capacidad de la planta de 52% a 91%, se diseña un sistema de suministro de ingredientes eficaz, y se comprueba la factibilidad del diseño, pues el retorno de inversión es de trece meses.

## VIII. CONCLUSIONES

1. La capacidad de la planta es de 500 kg/h, al automatizar el proceso la producción de briquetas aumenta de 262 kg/h a 454 kg/h, lo que equivale a un rendimiento de 91%, por el hecho de: reducir diez minutos al proceso de mezcla, implementar un ciclo continuo de trabajo y aumentar la cantidad de libras de briqueta producidas por turno.
2. Se logra estandarizar la fórmula de la mezcla por medio de la ecuación desarrollada para el cálculo del contenido de agua, ya que se controlan las variables como: el porcentaje de humedad de la merma y el porcentaje de humedad de la mezcla. Además, se definen las libras de merma de carbón, almidón y aserrín que requiere la mezcla.
3. El diseño del sistema de automatización, proyecta una mejora para el control del inventario de materia prima y la calidad del producto, puesto que: se sabe con exactitud la cantidad de ingredientes que se utilizan por turno, la fórmula ha sido estandarizada y se controla la humedad de la mezcla.
4. El diseño del sistema de automatización proyecta una reducción del 50% de reprocesos por humedad, ya que del 3% de producto que se reprocesa actualmente por dicha causa, se estaría reprocesando el 1.5%.
5. Con la mecanización del proceso de mezcla aumenta la productividad por hora en la planta por lo que, incrementan los ingresos, se obtiene un ahorro mensual del 12% en mano de obra y 26% en general, que puede ser utilizado para pagar la implementación del sistema, a manera de recuperar la inversión en un año aproximadamente.

## IX. RECOMENDACIONES

1. La calidad del producto y la adhesión de los ingredientes en la mezcla, mejoran al aumentar las libras de almidón del 5% al 10%, con respecto a las libras de merma. Sin embargo, la empresa debe considerar el costo que ello implica.
2. Para evitar un desperdicio significativo de los ingredientes descargados de la tolva a la mezcladora, el ángulo del tronco de cono inferior de la estructura de la tolva, debe ser igual o mayor a 60°.
3. Para mejorar la transferencia de calor en el proceso de secado, se recomienda instalar una tolva al final de la banda transportadora ubicada a la entrada del horno, de manera que la distribución del producto sea uniforme y la altura máxima sea de dos briquetas.
4. Cuando el porcentaje de humedad de la mezcla es de 25%, se recomienda que la temperatura dentro del horno sea de 150 °C; en el caso de un porcentaje de humedad de 30%, se recomiendan 180 °C. De esta forma, se asegura que el porcentaje de humedad del producto final, se encuentre dentro de los parámetros de calidad establecidos.
5. Para garantizar el óptimo desempeño de la mezcla, el ciclo debe durar 10 minutos exactos, ya que si el tiempo fuese menor, no se logran adherir al 100% los ingredientes y si fuese mayor, disminuye la granulometría de la briqueta.
6. Eventualmente, sustituir la compuerta circular de descarga de la tolva por una compuerta rectangular, para mejorar la dirección del desplazamiento y evitar que ésta se desvíe.

## X. BIBLIOGRAFÍA

1. Cengel, Yunus. *Transferencia de Calor*. Segunda Edición. McGraw Hill. México 2004.
2. *Corral Viejo: Información de la Empresa*. <http://www.corralviejo.com>. Septiembre 2013.
3. Creus, Antonio. *Neumática e hidráulica*. Segunda Edición. Alfaomega. Colombia 2011.
4. Crowe, Clayton. Elger, Donald. Roberson, John. *Mecánica de Fluidos*. Octava Edición. Grupo Editorial Patria. México 2007.
5. Frank, Ebel. *Neumática: nivel básico*. Cuarta Edición. Esslingen: Festo Didactic KG. 2002.
6. Gere, James. Goodno, Barry. *Mecánica de Materiales*. Séptima Edición. Cengage Learning. México 2009.
7. Mott, Robert. *Diseño de Elementos de Máquinas*. Cuarta Edición. Pearson. México 2006.
8. Newman, Donald. Lavelle, Jerome. Eschenbach, Ted. *Engineering Economic Analysis*. Décima Edición. Oxford University Press. Estados Unidos 2009.
9. *Operation and Maintenance Manual for Charcoal Briquetting Machine*. Sree Engineering Works. India. 2005.
10. *Sistema de Gestión de Calidad: Fomentos, S.A.* Documentos: RE-PR-10, DG-VE-01, RE-PR-09, RE-PR-08, RE-MP-02, RE-AC-01, DG-AC-10.

## XI. ANEXOS

Anexo A: Tabla de propiedades físicas aproximadas del agua.....	72
Anexo B: Tabla de densidades para ingredientes de la briqueta .....	73
Anexo C: Deflexiones y pendientes de vigas simples .....	73
Anexo D: Módulos de elasticidad y relaciones de poisson.....	74
Anexo E: Propiedades de áreas planas.....	74
Anexo F: Factores de servicio para bandas V.....	75
Anexo G: Gráfica para selección de bandas en V industriales de sección angosta .	75
Anexo H: Capacidades de banda: 3V .....	76
Anexo I: Longitudes en pulgadas de bandas estándar 3V, 5V, 8V.....	76
Anexo J: Factor de corrección por ángulo de contacto.....	77
Anexo K: Factor de corrección por longitud de banda.....	77
Anexo L: Factores de servicio para transmisiones por cadena .....	78
Anexo M: Capacidades en caballos de fuerza .....	78
Anexo N: Capacidades en caballos de fuerza – cadena simple No.40 .....	79
Anexo O: Coeficientes de pérdida para varias transiciones y conexiones.....	79
Anexo P: Rugosidad equivalente en granos de arena, $K_s$ .....	80
Anexo Q: Coeficiente de resistencia.....	80
Anexo R: RE-MP-02 Registro de salida y saldo de bodega de materia prima.....	81
Anexo S: RE-PR-09 Registro de producto no conforme .....	81
Anexo T: RE-PR-10 Registro de producción .....	82
Anexo U: Datos Técnicos de la briquetera .....	82
Anexo V: RE-AC-01 Registro de pruebas de humedad para briqueta .....	83
Anexo W: RE-AC-01 Registro de pruebas de humedad para mezcla .....	83
Anexo X: Planos de los sistemas .....	84

A: TABLA DE PROPIEDADES FÍSICAS APROXIMADAS DEL AGUA  
(Bibliografía No. 4)

TABLA A.5 PROPIEDADES FÍSICAS APROXIMADAS DEL AGUA*					
A PRESIÓN ATMOSFÉRICA					
Temperatura	Densidad	Peso específico	Viscosidad dinámica	Viscosidad cinemática	Presión de vapor
	kg/m <sup>3</sup>	N/m <sup>3</sup>	N · s/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /s	N/m <sup>2</sup> abs.
0°C	1000	9810	1.79 × 10 <sup>-3</sup>	1.79 × 10 <sup>-6</sup>	611
5°C	1000	9810	1.51 × 10 <sup>-3</sup>	1.51 × 10 <sup>-6</sup>	872
10°C	1000	9810	1.31 × 10 <sup>-3</sup>	1.31 × 10 <sup>-6</sup>	1230
15°C	999	9800	1.14 × 10 <sup>-3</sup>	1.14 × 10 <sup>-6</sup>	1700
20°C	998	9790	1.00 × 10 <sup>-3</sup>	1.00 × 10 <sup>-6</sup>	2340
25°C	997	9781	8.91 × 10 <sup>-4</sup>	8.94 × 10 <sup>-7</sup>	3170
30°C	996	9771	7.97 × 10 <sup>-4</sup>	8.00 × 10 <sup>-7</sup>	4250
35°C	994	9751	7.20 × 10 <sup>-4</sup>	7.24 × 10 <sup>-7</sup>	5630
40°C	992	9732	6.53 × 10 <sup>-4</sup>	6.58 × 10 <sup>-7</sup>	7380
50°C	988	9693	5.47 × 10 <sup>-4</sup>	5.53 × 10 <sup>-7</sup>	12,300
60°C	983	9643	4.66 × 10 <sup>-4</sup>	4.74 × 10 <sup>-7</sup>	20,000
70°C	978	9594	4.04 × 10 <sup>-4</sup>	4.13 × 10 <sup>-7</sup>	31,200
80°C	972	9535	3.54 × 10 <sup>-4</sup>	3.64 × 10 <sup>-7</sup>	47,400
90°C	965	9467	3.15 × 10 <sup>-4</sup>	3.26 × 10 <sup>-7</sup>	70,100
100°C	958	9398	2.82 × 10 <sup>-4</sup>	2.94 × 10 <sup>-7</sup>	101,300
	slugs/ft <sup>3</sup>	lbf/ft <sup>3</sup>	lbf-s/ft <sup>2</sup>	ft <sup>2</sup> /s	psia
40°F	1.94	62.43	3.23 × 10 <sup>-5</sup>	1.66 × 10 <sup>-5</sup>	0.122
50°F	1.94	62.40	2.73 × 10 <sup>-5</sup>	1.41 × 10 <sup>-5</sup>	0.178
60°F	1.94	62.37	2.36 × 10 <sup>-5</sup>	1.22 × 10 <sup>-5</sup>	0.256
70°F	1.94	62.30	2.05 × 10 <sup>-5</sup>	1.06 × 10 <sup>-5</sup>	0.363
80°F	1.93	62.22	1.80 × 10 <sup>-5</sup>	0.930 × 10 <sup>-5</sup>	0.506
100°F	1.93	62.00	1.42 × 10 <sup>-5</sup>	0.739 × 10 <sup>-5</sup>	0.949
120°F	1.92	61.72	1.17 × 10 <sup>-5</sup>	0.609 × 10 <sup>-5</sup>	1.69
140°F	1.91	61.38	0.981 × 10 <sup>-5</sup>	0.514 × 10 <sup>-5</sup>	2.89
160°F	1.90	61.00	0.838 × 10 <sup>-5</sup>	0.442 × 10 <sup>-5</sup>	4.74
180°F	1.88	60.58	0.726 × 10 <sup>-5</sup>	0.385 × 10 <sup>-5</sup>	7.51
200°F	1.87	60.12	0.637 × 10 <sup>-5</sup>	0.341 × 10 <sup>-5</sup>	11.53
212°F	1.86	59.83	0.593 × 10 <sup>-5</sup>	0.319 × 10 <sup>-5</sup>	14.70

\*Notas: (1) El módulo volumétrico  $E_v$  del agua es aproximadamente 2.2 GP<sub>a</sub> (3.2 × 10<sup>5</sup> psi); la tensión superficial del agua y aire es aproximadamente 7.3 × 10<sup>-2</sup> N/m (5 × 10<sup>-3</sup> lbf/ft) de 10°C a 50°C.

FUENTE: Reimpreso con permiso de R. E. Bolz y G. L. Tuve, *Handbook of Tables for Applied Engineering Sciences*, CRC Press, Inc., Cleveland, 1973. Copyright © 1973 por The Chemical Rubber Co., CRC Press, Inc.

Selección de  $\rho_{\text{agua a } 90^\circ\text{C}} = 965 \text{ kg/m}^3$

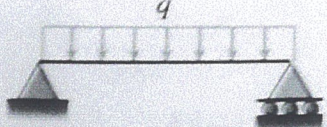
$$965 \text{ kg/m}^3 \left( \frac{2.204 \text{ lb}}{1 \text{ kg}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}^3}{264.17 \text{ gal}} \right) = 8.05 \text{ lbs/gal (Especificaciones, Pag.24)}$$

B: TABLA DE DENSIDADES PARA INGREDIENTES DE LA BRIQUETA, documento DG-AC-10 (Bibliografía No.10)

Ingrediente	Densidad
Merma	500 kg/m <sup>3</sup>
Almidón	1400 kg/m <sup>3</sup>
Aserrín	300 kg/m <sup>3</sup>

C: DEFLEXIONES Y PENDIENTES DE VIGAS SIMPLES (Bibliografía No.6)

1



$$v = -\frac{qx}{24EI}(L^3 - 2Lx^2 + x^3)$$

$$v' = -\frac{q}{24EI}(L^3 - 6Lx^2 + 4x^3)$$

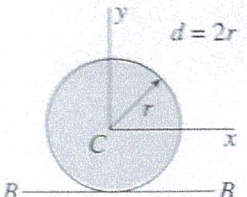
$$\delta_C = \delta_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad \theta_A = \theta_B = \frac{qL^3}{24EI}$$

D: MODULOS DE ELASTICIDAD Y RELACIONES DE POISSON (Bibliografía No.6)

TABLA N.2 MÓDULOS DE ELASTICIDAD Y RELACIONES DE POISSON

Material	Módulo de elasticidad $E$		Módulo de elasticidad $G$		Relación de Poisson $\nu$
	ksi	GPa	ksi	GPa	
Acero	28,000-30,000	190-210	10,800-11,800	75-80	0.27-0.30
Aleaciones de aluminio	10,000-1,400	70-79	3800-4300	26-30	0.33
2014-T6	10,600	73	4000	28	0.33
6061-T6	10,000	70	3800	26	0.33
7075-T6	10,400	72	3900	27	0.33
Aleaciones de magnesio	15,000-17,000	100-120	5600-6400	39-44	0.33
Aleaciones de titanio	6000-6500	41-45	2200-2400	15-17	0.35
Bronce	14,000-17,000	96-120	5200-6300	36-44	0.34
Concreto (compresión)	2500-4500	17-31			0.1-0.2
Cobre y aleaciones de cobre	16,000-18,000	110-120	5800-6800	40-47	0.33-0.36
Caucho	0.1-0.6	0.0007-0.004	0.03-0.2	0.0002-0.001	0.45-0.50
Fundición gris	12,000-25,000	83-170	4600-10,000	32-69	0.2-0.3
Latón	14,000-16,000	96-110	5200-6000	36-41	0.34
Madera (flexión)					
Abeto Douglas	1600-1900	11-13			
Roble	1600-1800	11-12			
Pino del sur	1600-2000	11-14			
Monel (67% Ni, 30% Cu)	25,000	170	9500	66	0.32
Níquel	30,000	210	11,400	80	0.31
Plástico					
Nailon	300-500	2.1-3.4			0.4
Polietileno	100-200	0.7-1.4			0.4
Roca (compresión)					
Granito, mármol, cuarzo	6000-14,000	40-100			0.2-0.3
Caliza, arenisca	3000-10,000	20-70			0.2-0.3
Tungsteno	50,000-55,000	340-380	21,000-23,000	140-160	0.2
Vidrio	7000-12,000	48-83	2700-5100	19-35	0.17-0.27

E: PROPIEDADES DE ÁREAS PLANAS (Bibliografía No.6)



Círculo (origen de los ejes en el centro)

$$A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4} \quad I_x = I_y = \frac{\pi r^4}{4} = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$I_{xy} = 0 \quad I_P = \frac{\pi r^4}{2} = \frac{\pi d^4}{32} \quad I_{BB} = \frac{5\pi r^4}{4} = \frac{5\pi d^4}{64}$$

F: FACTORES DE SERVICIO PARA BANDAS V (Bibliografía No. 7)

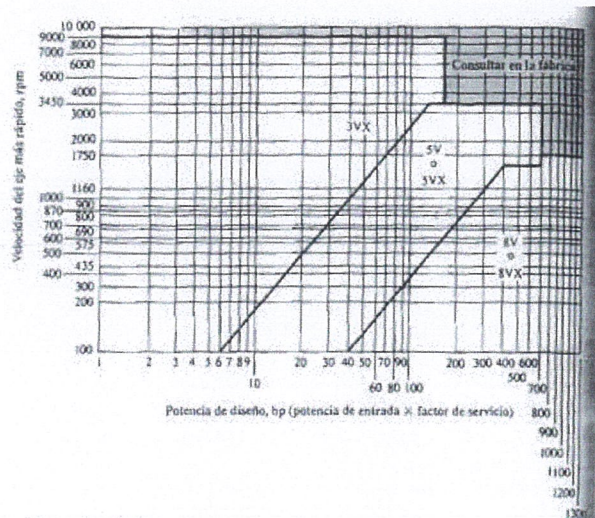
TABLA 7-1 Factores de servicio para bandas V

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal <sup>a</sup> Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional Motores de CD: bobinado en serie bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

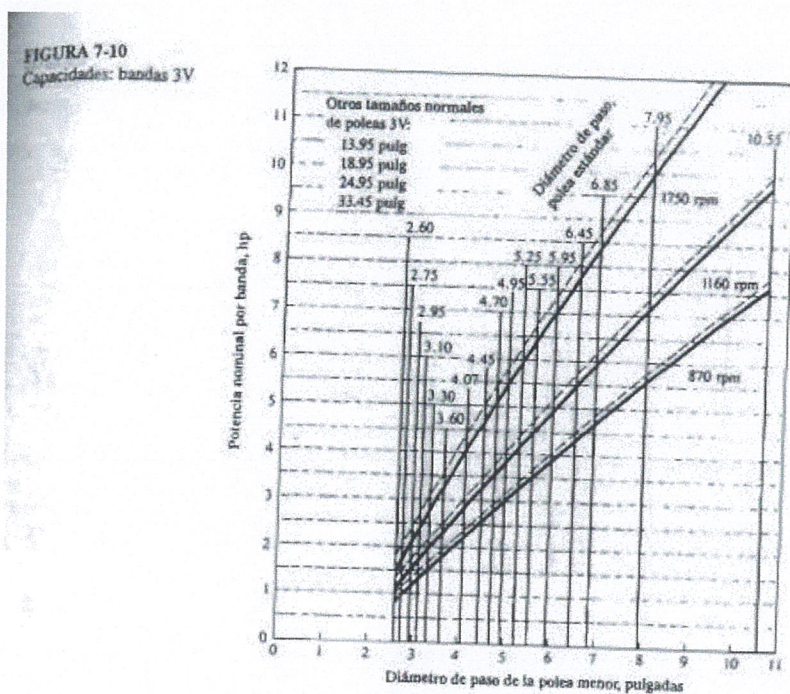
<sup>a</sup>Síncronos, fase dividida, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.  
<sup>b</sup>Monofásicos, trifásicos con par de torsión de arranque o par de torsión al paro máximo menor que 175% de par torsional con carga total.

G: GRAFICA PARA SELECCIÓN DE BANDAS EN V INDUSTRIALES DE SECCIÓN ANGOSTA (Bibliografía No.7)

FIGURA 7-9 Gráfica para la selección de bandas en V industriales de sección angosta (Dayco Corp., Dayton, OH)



## H: CAPACIDADES BANDA: 3V (Bibliografía No.7)

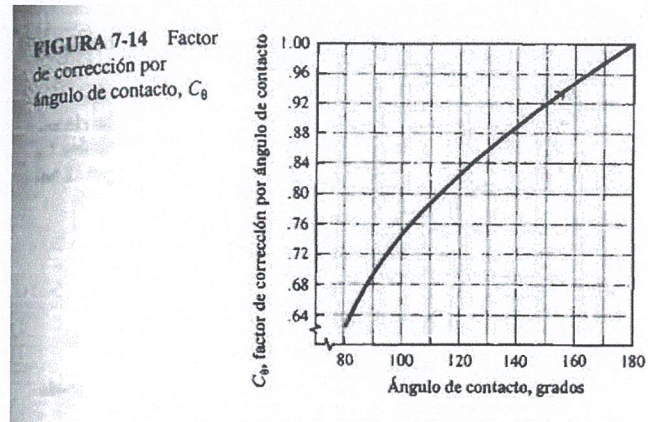


## I: LONGITUDES EN PULGADAS DE BANDAS ESTÁNDAR 3V, 5V, 8V (Bibliografía No.7)

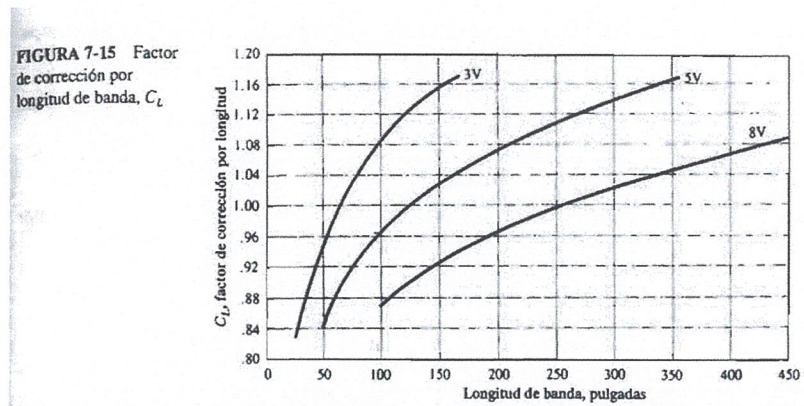
TABLA 7-2 Longitudes de bandas estándar 3V, 5V y 8V (pulgadas)

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	

J: FACTOR DE CORRECCIÓN POR ÁNGULO DE CONTACTO (Bibliografía No.7)



K: FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD DE BANDA (Bibliografía No.7)



L: FACTORES DE SERVICIO PARA TRANSMISIONES POR CADENA (Bibliografía No.7)

**TABLA 7-8 Factores de servicio para transmisiones por cadenas**

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

M: CAPACIDADES EN CABALLOS DE FUERZA – CADENA SIMPLE DE RODILLO No. 40 (Bibliografía No.7)

**TABLA 7-5 Capacidades en caballos de fuerza - Cadena simple de rodillos número 40**

Núm. de dientes	0.500 pulgadas de paso				Velocidad mínima de giro de la catarina, rev/min																				
	10	25	50	100	180	200	300	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2500	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000	9000
11	0.06	0.14	0.27	0.52	0.91	1.00	1.48	2.42	3.34	4.25	4.70	5.60	6.49	5.57	4.66	3.70	2.85	2.17	1.72	1.41	1.01	0.77	0.61	0.50	0.00
12	0.06	0.15	0.29	0.56	0.99	1.09	1.61	2.64	3.64	4.64	5.13	6.11	7.09	6.34	5.31	4.22	3.25	2.47	1.96	1.60	1.15	0.87	0.69	0.57	0.00
13	0.07	0.16	0.31	0.61	1.07	1.19	1.75	2.86	3.95	5.02	5.56	6.62	7.68	7.15	5.99	4.76	3.66	2.79	2.21	1.81	1.29	0.98	0.78	0.00	0.00
14	0.07	0.17	0.34	0.66	1.15	1.28	1.88	3.08	4.25	5.41	5.98	7.13	8.27	7.99	6.70	5.31	4.09	3.11	2.47	2.02	1.45	1.10	0.87	0.00	0.00
15	0.08	0.19	0.36	0.70	1.24	1.37	2.02	3.30	4.55	5.80	6.41	7.64	8.86	8.86	7.43	5.89	4.54	3.45	2.74	2.24	1.60	1.22	0.97	0.00	0.00
16	0.08	0.20	0.39	0.75	1.32	1.46	2.15	3.52	4.86	6.18	6.84	8.15	9.45	9.76	8.18	6.49	5.00	3.80	3.02	2.47	1.77	1.34	0.00	0.00	0.00
17	0.09	0.21	0.41	0.80	1.40	1.55	2.29	3.74	5.16	6.57	7.27	8.66	10.04	10.69	8.96	7.11	5.48	4.17	3.31	2.71	1.94	1.47	0.00	0.00	0.00
18	0.09	0.22	0.43	0.84	1.48	1.64	2.42	3.96	5.46	6.95	7.69	9.17	10.63	11.65	9.76	7.75	5.97	4.54	3.60	2.95	2.11	1.60	0.00	0.00	0.00
19	0.10	0.24	0.46	0.89	1.57	1.73	2.56	4.18	5.77	7.34	8.12	9.66	11.22	12.64	10.59	8.40	6.47	4.92	3.91	3.20	2.29	0.09	0.00	0.00	0.00
20	0.10	0.25	0.48	0.94	1.65	1.82	2.69	4.39	6.07	7.73	8.55	10.18	11.81	13.42	11.44	9.07	6.99	5.31	4.22	3.45	2.47	0.00	0.00	0.00	0.00
21	0.11	0.26	0.51	0.98	1.73	1.91	2.83	4.61	6.37	8.11	8.98	10.69	12.40	14.10	12.30	9.76	7.52	5.72	4.54	3.71	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.11	0.27	0.53	1.03	1.81	2.01	2.96	4.83	6.68	8.50	9.40	11.20	12.99	14.77	13.19	10.47	8.06	6.13	4.87	3.98	2.85	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.12	0.28	0.56	1.08	1.90	2.10	3.10	5.05	6.98	8.89	9.83	11.71	13.58	15.44	14.10	11.19	8.62	6.55	5.20	4.26	3.05	0.00	0.00	0.00	0.00
24	0.12	0.30	0.58	1.12	1.98	2.19	3.23	5.27	7.28	9.27	10.26	12.22	14.17	16.11	15.03	11.93	9.18	6.99	5.54	4.54	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.13	0.31	0.60	1.17	2.06	2.28	3.36	5.49	7.59	9.66	10.69	12.73	14.76	16.78	15.98	12.68	9.76	7.43	5.89	4.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.13	0.32	0.63	1.22	2.14	2.37	3.50	5.71	7.89	10.04	11.11	13.24	15.35	17.45	16.95	13.45	10.36	7.88	6.25	5.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	0.14	0.35	0.67	1.31	2.31	2.55	3.77	6.15	8.50	10.82	11.97	14.26	16.53	18.79	18.94	15.03	11.57	8.80	6.99	5.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.15	0.37	0.72	1.41	2.47	2.74	4.04	6.59	9.11	11.59	12.82	15.28	17.71	20.14	21.01	16.67	12.84	9.76	7.75	6.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
32	0.16	0.40	0.77	1.50	2.64	2.92	4.31	7.03	9.71	12.38	13.68	16.30	18.89	21.48	23.14	18.37	14.14	10.76	8.54	1.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
35	0.18	0.43	0.84	1.64	2.88	3.19	4.71	7.69	10.62	13.52	14.96	17.82	20.67	23.49	26.30	21.01	16.17	12.30	9.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	0.21	0.50	0.96	1.87	3.30	3.65	5.38	8.79	12.14	15.45	17.10	20.37	23.62	26.85	30.06	25.67	19.76	15.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
45	0.23	0.56	1.08	2.11	3.71	4.10	6.08	9.89	13.66	17.39	19.24	22.92	26.57	30.20	33.82	30.63	23.58	5.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Tipo A				Tipo B								Tipo C												
	Tipo A: Lubricación manual o por goteo				Tipo B: Lubricación en baño o con disco								Tipo C: Lubricación con chorro de aceite												

Fuente: American Chain Association, Naples, FL.

## N: COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO PARA DIVERSOS MATERIALES

Coeficientes de rozamiento de algunas sustancias		
Materiales en contacto	$\mu_e$	$\mu_d$
Articulaciones humanas	0,02	0,003
Acero // Hielo	0,03	0,02
Acero // Teflón	0,04	0,04
Teflón // Teflón	0,04	0,04
Hielo // Hielo	0,1	0,03
Esquí (encerado) // Nieve (0°C)	0,1	0,05
Vidrio // Madera	0,2	0,25
Caucho // Cemento (húmedo)	0,3	0,25
Madera // Cuero	0,5	0,4
Madera // Madera	0,7	0,4
Acero // Latón	0,5	0,4
Madera // Piedra	0,7	0,3
Acero // Acero	0,15	0,09
Vidrio // Vidrio	0,9	0,4
Caucho // Cemento (seco)	1	0,8
Cobre // Hierro (fundido)	1,1	0,3

## O: COEFICIENTES DE PÉRDIDA PARA VARIAS TRANSICIONES Y CONEXIONES (Bibliografía No.4)

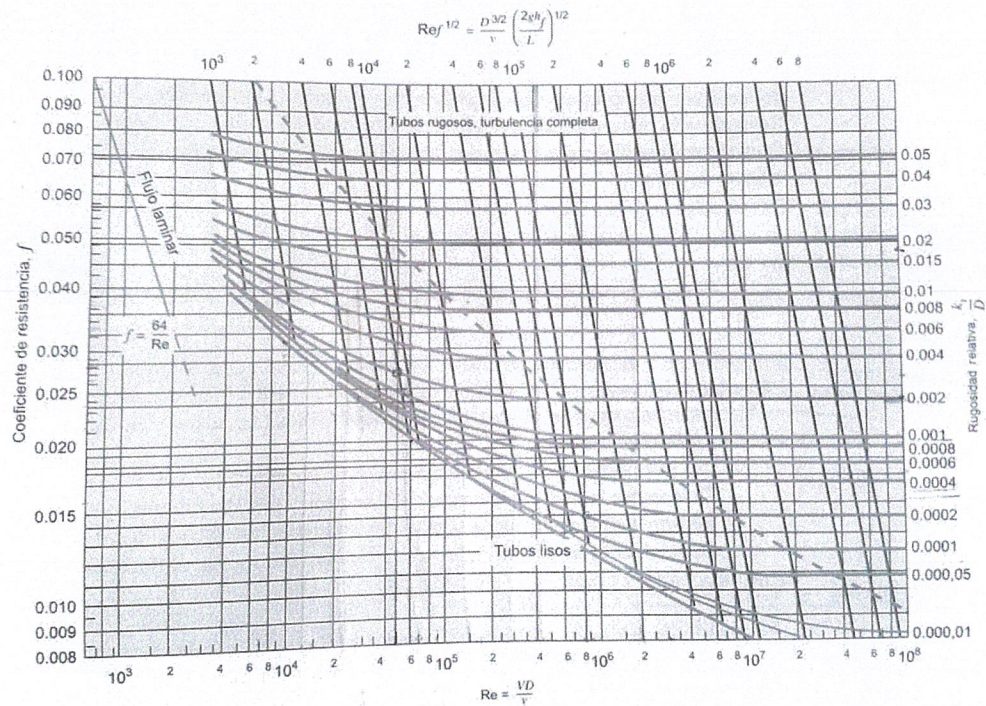
Descripción	Dibujo	Datos adicionales	K	Fuente
Entrada de tubo $h_L = K_e V^2 / 2g$		$r/d$	$K_e$	(2)*
		0.0	0.50	
		0.1	0.12	
		>0.2	0.03	
Contracción		$D_2/D_1$	$K_C$	(2)
		0.0	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 180^\circ$
		0.20	0.08	0.50
		0.40	0.08	0.49
		0.60	0.07	0.42
		0.80	0.06	0.27
		0.90	0.06	0.20
		0.90	0.06	0.10
$h_L = K_C V_2^2 / 2g$				
Expansión		$D_1/D_2$	$K_E$	(2)
		0.0	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 180^\circ$
		0.20	0.30	1.00
		0.40	0.25	0.87
		0.60	0.15	0.70
		0.80	0.10	0.41
		0.80	0.10	0.15
$h_L = K_E V_1^2 / 2g$				
Vuelta en codo 90°		Sin paletas	$K_b = 1.1$	(39)
		Con paletas	$K_b = 0.2$	(39)
Vuelta suave 90°		$r/d$	$K_b = 0.35$	(5)
		1	0.19	(15)
		2	0.16	
		4	0.21	
		6	0.28	
		8	0.32	
		10	0.32	
Conexiones roscadas para tubo	Válvula de globo; abierta por completo	$K_v = 10.0$		(39)
	Válvula de ángulo; abierta por completo	$K_v = 5.0$		
	Válvula de compuerta; abierta por completo	$K_v = 0.2$		
	Válvula de compuerta; abierta a la mitad	$K_v = 5.6$		
	Vuelta de retorno	$K_b = 2.2$		
	Tee			
	Con flujo recto	$K_v = 0.4$		
	Con salida de flujo lateral	$K_v = 1.8$		
	Codo de 90°	$K_b = 0.9$		
	Codo de 45°	$K_b = 0.4$		

P: RUGOSIDAD EQUIVALENTE EN GRANOS DE ARENA,  $K_s$  PARA VARIOS MATERIALES DE TUBO (Bibliografía No.4)

TABLA 10.2 RUGOSIDAD EQUIVALENTE EN GRANOS DE ARENA,  
 $K_s$ , PARA VARIOS MATERIALES DE TUBOS

Material de frontera	$k_s$ en milímetros	$k_s$ en pulgadas
Vidrio, plástico	liso	liso
Tubería de cobre o latón	0.0015	$6 \times 10^{-5}$
Hierro forjado, acero	0.046	0.002
Hierro fundido asfaltado	0.12	0.005
Hierro galvanizado	0.15	0.006
Hierro fundido	0.26	0.010
Concreto	0.3 hasta 3.0	0.012–0.12
Acero remachado	0.9–9	0.035–0.35
Tubo de caucho (recto)	0.025	0.001


Q: COEFICIENTE DE RESISTENCIA (Bibliografía No.4)







V: RE -AC-01 REGISTRO DE PRUEBAS DE HUMEDAD PARA BRIQUETA  
(Bibliografía No.10)

		REGISTRO DE PRUEBAS DE HUMEDAD (FÍSICO)	RE-AC-01 Edición: 3 Fecha de emisión: 070711
FECHA:	8/2/13		
PRODUCTO	HORA	NO. LOTE	% DE HUMEDAD
Briqueta	10:59	2081302	10.54%
Briqueta Acerin Humeda	11:15	2081302	32.38%
Briqueta	14:40	2081302	10%
			Ingrid Gutierrez
			SUPERVISADO

		REGISTRO DE PRUEBAS DE HUMEDAD (FÍSICO)	RE-AC-01 Edición: 3 Fecha de emisión: 070711
FECHA:	7/25/13		
PRODUCTO	HORA	NO. LOTE	% DE HUMEDAD
Briqueta	10:13	25071302	11.12%
Briqueta	15:33	25071302	8.36%
			Edvin Marroquin
			SUPERVISADO

W: RE-AC-01 REGISTRO DE PRUEBAS DE HUMEDAD PARA MEZCLA  
(Bibliografía No.10)

		REGISTRO DE PRUEBAS DE HUMEDAD (FÍSICO)	RE-AC-01 Edición: 3 Fecha de emisión: 070711
FECHA:	29/08/13		
PRODUCTO	HORA	NO. LOTE	% DE HUMEDAD
Mezcla	9:00	29081301	37%
Mezcla	11:00	29081301	32%
Mezcla	13:00	29081301	38%
			Ingrid Gutiérrez
			SUPERVISADO

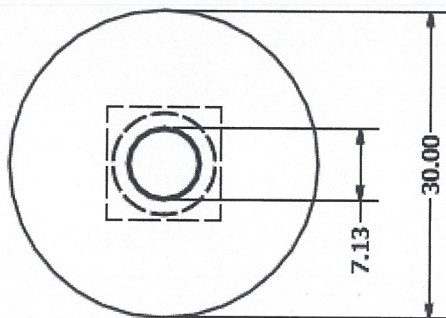
		REGISTRO DE PRUEBAS DE HUMEDAD (FÍSICO)	RE-AC-01 Edición: 3 Fecha de emisión: 070711
FECHA:	17/09/13		
PRODUCTO	HORA	NO. LOTE	% DE HUMEDAD
Mezcla	14:00	19091302	39%
Mezcla	16:00	19091302	35%
			Edvin Marroquin
			SUPERVISADO

## X: PLANOS DE LOS SISTEMAS

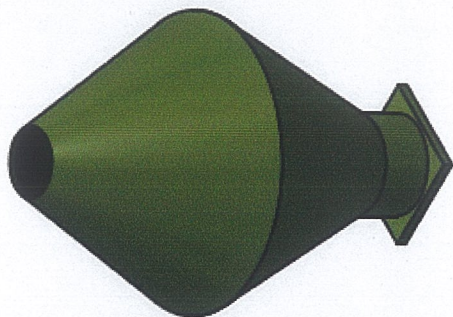
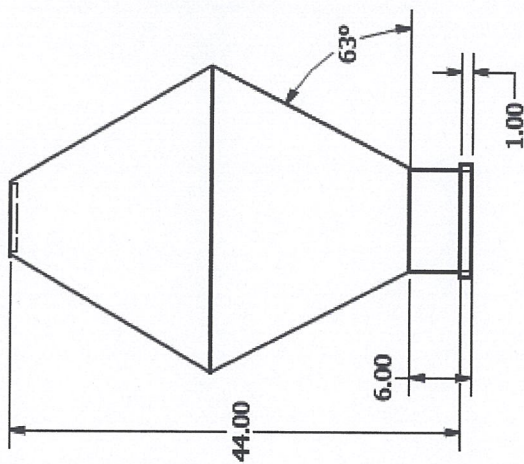
1. Tolva
2. Compuerta y base tolva
3. Mezcladora
4. Compuerta mezcladora
5. Sistema de bombeo
6. Sistema neumático



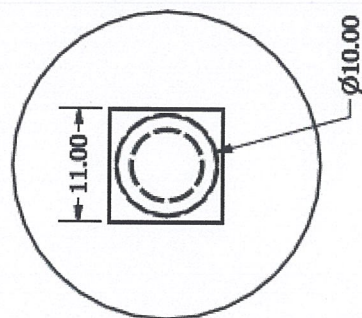
Vista Planta Superior



Vista Lateral



Vista Planta Inferior



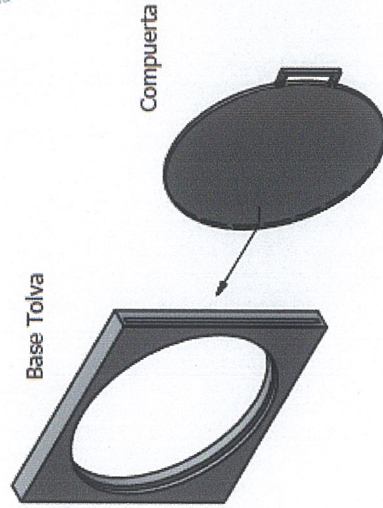
Mecanización del Proceso de Mezcla

Scarlett María Pérez López 13/10/13

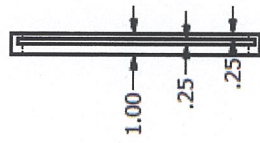
Sistema de Almacenamiento de Ingredientes: Tolva

Sistema Ingles: Pulgadas Escala 1/2

Hoja 1



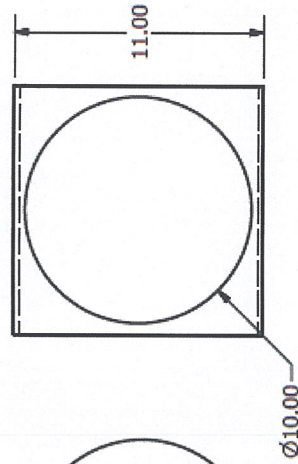
Vista Lateral Base Tolva



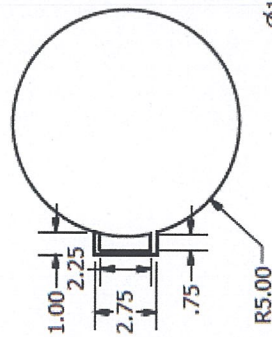
Vista Lateral Compuerta



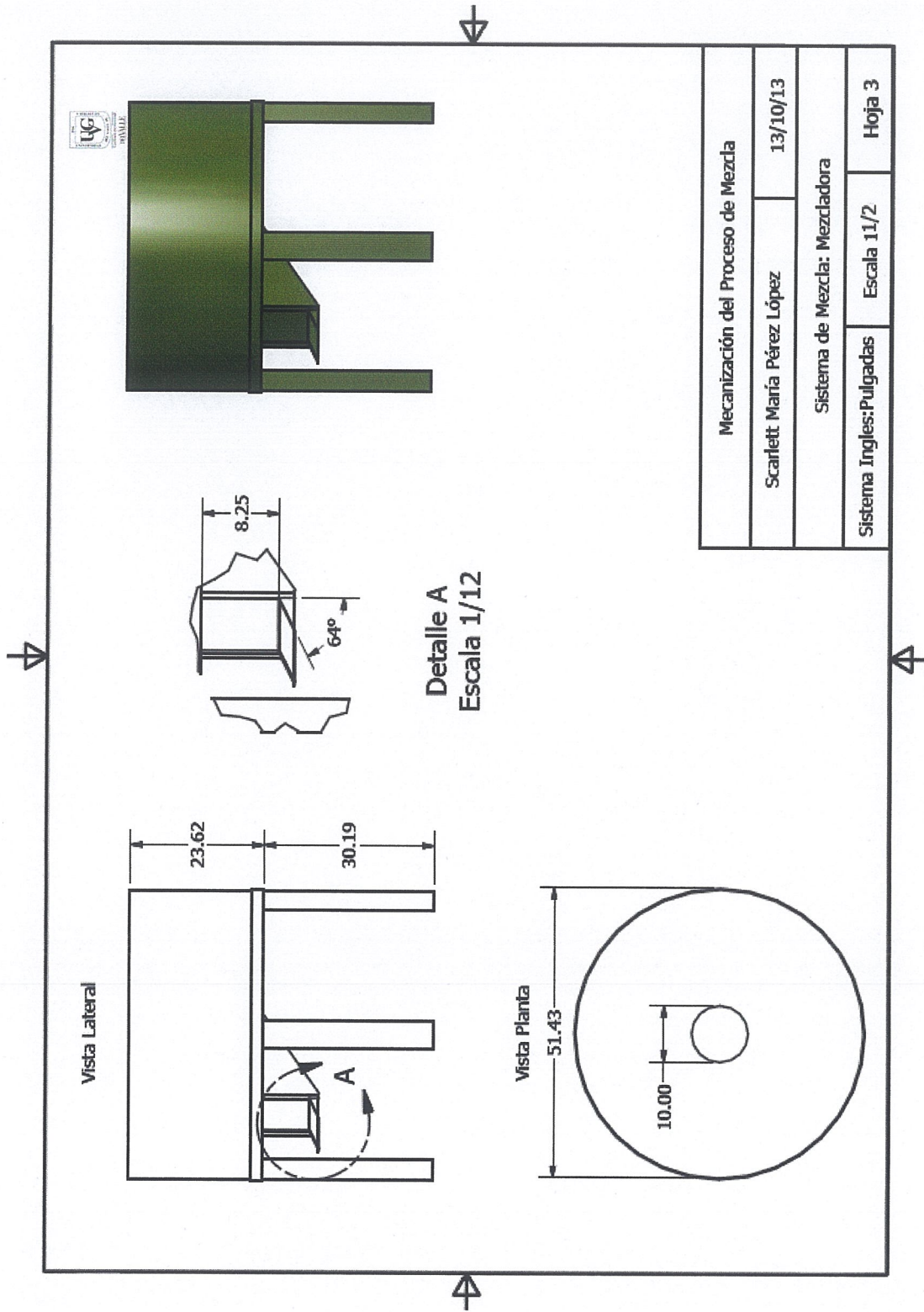
Vista Planta Base Tolva

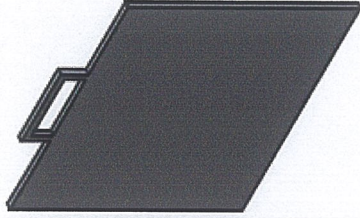


Vista Planta Compuerta

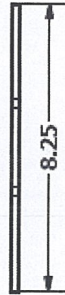


Mecanización del Proceso de Mezcla	
Scarlett María Pérez López	13/10/13
Sistema de Almacenamiento: Compuerta y Base Tolva	
Sistema Ingles: Pulgadas	Escala 1/6
Hoja 2	

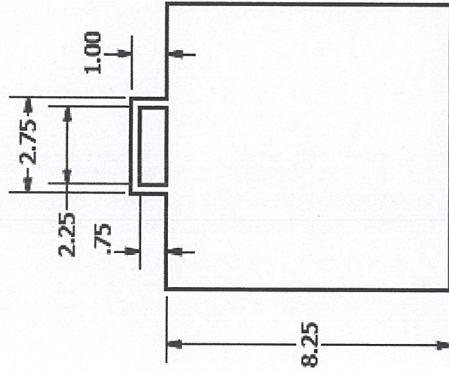




Vista Lateral



Vista Frontal

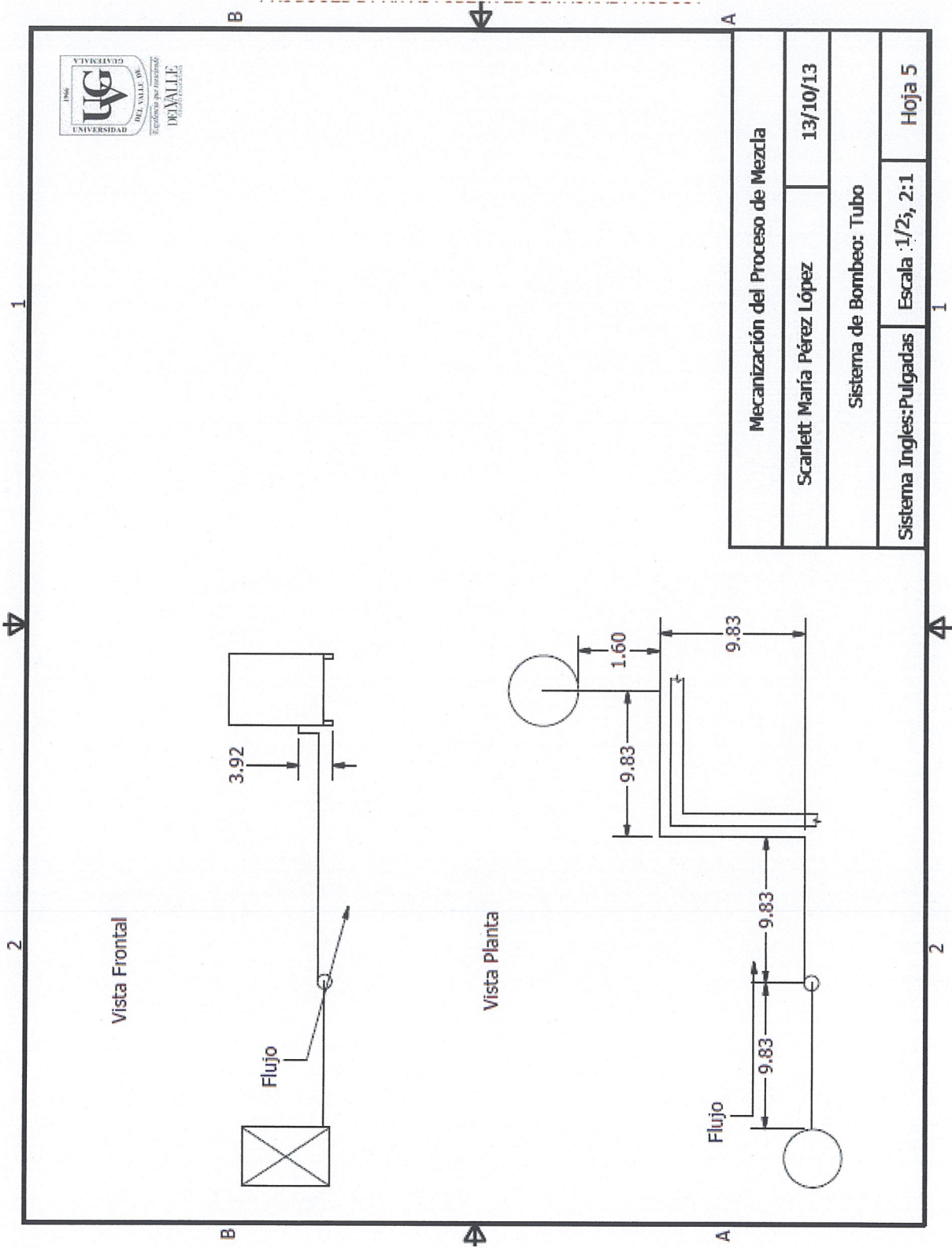


Mecanización del Proceso de Mezcla

Scarlett María Pérez López 14/10/13

Sistema de Mezcla: Compuerta Mezcladora

Sistema Ingles: Pulgadas Escala 1/2 Hoja 4

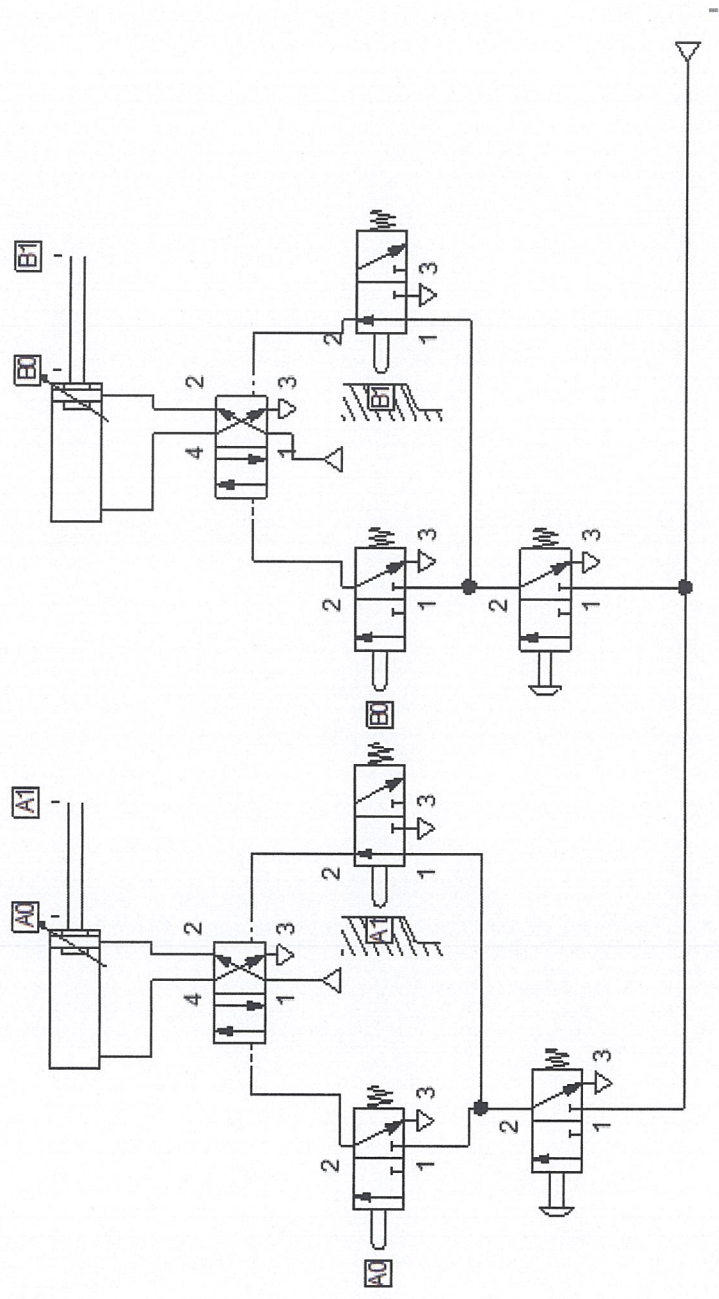


Mecanización del Proceso de Mezcla	
Scarlett María Pérez López	13/10/13
Sistema de Bombeo: Tubo	
Sistema Ingles: Pulgadas	Escala: 1/2", 2:1
Hoja 5	

**Esquema Neumático**

- A. Cilindro compuerta tova
- B. Cilindro compuerta mezcladora

A- A+ B- B+



## XII. GLOSARIO

1. **Briqueta:** conglomerado de merma de carbón, almidón, agua y aserrín, en forma de ladrillo.
2. **Almidón:** polisacárido predominante en las plantas, cuyas dos formas poliméricas son: amilosa y amilopectina.
3. **Merma de carbón:** residuo del carbón de encino, producto del proceso de carbonización.
4. **Gelatinización:** proceso de mezcla de almidón y agua a temperaturas mayores de 70°C, para formar una sustancia viscosa que funciona como aglutinante en la mezcla de la briqueta.
5. **Reproceso:** repetir el proceso de fabricación de un producto, debido a que no cumple los estándares de calidad establecidos.
6. **Punto crítico:** punto de control en las diferentes etapas de fabricación de un producto, para verificar la calidad.
7. **Capacidad calorífica:** razón entre la cantidad de energía calorífica transmitida a un cuerpo y el cambio de temperatura que experimenta.
8. **Convección:** es una de las tres formas de transferencia de calor que se produce por medio de un fluido líquido o gaseoso, que transporta el calor a través de áreas con diferentes temperaturas.
9. **Controlador lógico programable (PLC Programmable Logical Controller):** es un sistema utilizado en la automatización industrial, para controlar de forma precisa los movimientos de los elementos electromecánicos que comprenden el sistema automatizado.