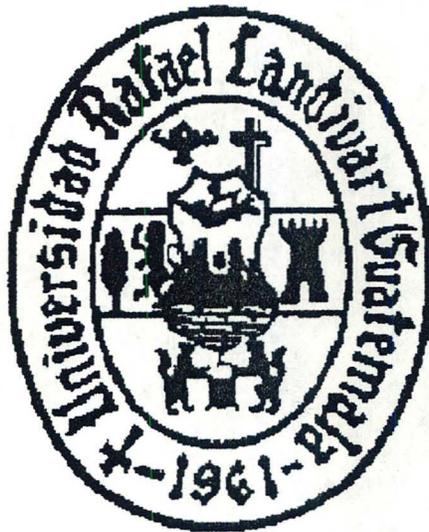


Universidad Rafael Landívar  
Facultad de Ingeniería  
Licenciatura en Ingeniería Industrial

"DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE PLANTA DE UN  
INGENIO AZUCARERO PARA LA AMPLIACIÓN DE SU CAPACIDAD PRODUCTIVA"

INFORME DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Presentado por:



JUAN LUIS GONZÁLEZ MORENO

Para optar al título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Guatemala, noviembre de 1999



Universidad Rafael Landívar  
Facultad de Ingeniería

Reg. No. CON-3019-99

NOTIFICACIÓN

A: Señor  
**Juan Luis González Moreno**  
Estudiante

DE: Ingeniero  
Carlos Alvarado Galindo  
Secretario Facultad de Ingeniería

FECHA: 29 de octubre de 1999

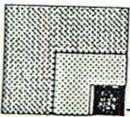
Para su conocimiento y efectos, transcribo a Ud. el punto TRIGÉSIMO del acta 19-99 correspondiente a la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería de esta Universidad celebrada el 28 de octubre de 1999, el cual literalmente dice:

**TRIGÉSIMO:** Se autorizó la impresión del informe final del trabajo de Tesis del estudiante de Ingeniería Industrial *Juan Luis González Moreno* (44631-92) titulado **“DISEÑO DE LA DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE PLANTA DE UN INGENIO AZUCARERO PARA LA AMPLIACIÓN DE SU CAPACIDAD PRODUCTIVA.”**

Atentamente,



c.c. Archivo  
Ing. Jorge Lavarreda/DECANO  
Expedientes



Guatemala, 4 de mayo de 1999

Universidad Rafael Landívar  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Atentamente me dirijo a ustedes con el fin de expresarles el interés de mi parte y de la empresa en el trabajo de investigación de Tesis del estudiante Juan Luis González, sobre el diseño de la distribución física de planta de un ingenio azucarero para la ampliación de su capacidad productiva.

Guatemala contiene alrededor de 17 ingenios azucareros, los cuales contribuyen con una gran parte de ingresos de divisas por medio de la exportación del azúcar (aproximadamente \$275 millones). Guatemala se encuentra entre los primeros cinco países que producen y exportan la mayor cantidad de azúcar a nivel mundial. Si se logran hacer más eficientes estos ingenios, el producto será de mayor calidad y los volúmenes de producción serán mayores, lo cual significará una gran ayuda a la economía del país.

Por lo tanto, estudios como este pueden ser de gran ayuda para las empresas que necesiten en un futuro ampliarse, y podrá utilizarse como una herramienta para que lo hagan de una manera eficiente y planificada.

Sin más que agregar, me suscribo ofreciéndoles mis saludos,

Atentamente,

Ing. José Domingo Rodríguez  
Jefe Molinos - PSA

## **Autoridades de la Universidad Rafael Landívar**

Rector:	Presbítero Gonzalo de Villa
Vice-Rector General:	Licda. Guillermina Herrera Peña
Vice-Rector Académico:	Dr. Charles J. Beirne, S.J.
Vice-Rector Administrativo:	Lic. Jorge Arauz Aguilar
Secretario General:	Lic. Renzo Lautaro Rosal
Director Financiero:	Ing. Carlos Vela Schippers
Director Administrativo:	Arq. Victor Paniagua
Sub-Director Administrativo:	Arq. Mario Humberto Gabriel

## Consejo de la Facultad de Ingeniería

Decano	Ing. Jorge Enrique Lavarreda
Vice-Decano	Ing. Federico Salazar
Secretario	Ing. Carlos Alvarado Galindo
Director Ingeniería Industrial	Ing. Jorge Nadalini Lemus
Director Ingeniería Mecánica Industrial	Ing. Rodolfo Guerra Tezén
Director Ingeniería Química Industrial	Ing. Luis Chávez de León
Director Ingeniería Civil Administrativa	Ing. José Carlos Gil
Director Ingeniería Información y Sistemas	Ing. Mario Sosa Castillo
Director del programa de Maestría en Administración de Empresas	Ing. Carlos Alvarado Galindo
Coordinador de carreras Técnicas	Ing. Carlos Alvarado Galindo
Representantes de catedráticos	Ing. Karin Sofia Paz Ing. Eduardo Barrios
Representantes estudiantiles	Br. Yara Argueta Br. Mario Montenegro

## **Dedicatoria**

A Dios,

A mis padres, por el apoyo y gran amor que me han brindado,

A mi esposa e hija, por ser tan adorables y representar el equilibrio de mi vida,

A mis hermanos, por ser tan especiales,

A mis familiares y amigos.

# INDICE

## I. Introducción

1.1	Introducción	1
1.2	Marco Teórico	3
1.2.1	Descripción del proceso de fabricación del azúcar de caña	3
1.2.2	Diseño de la distribución física de planta	5
1.2.3	Tipos de distribución	6
1.2.4	Principios básicos para diseñar una perfecta distribución de planta	8
1.2.5	Fases de la distribución de planta	11

## II. Planteamiento del Problema

2.1	Planteamiento del problema	16
2.2	Objetivos	18
2.2.1	General	18
2.2.2	Específicos	18
2.3	Hipótesis	18
2.3	Variables	18
2.4	Definición de variables	19
2.5	Alcances y límites	22
2.6	Aporte	23

## III. Método

3.1	Sujetos	25
3.2	Instrumentos	25
3.3	Procedimiento	26

## IV. Resultados

4.1	Resumen organizado de datos	29
4.1.1	Plano de distribución actual de planta	30
4.1.2	Diagrama de flujo de proceso – Método actual	32
4.1.3	Diagrama de circulación de actividades – Método actual	33
4.1.4	Diagrama de espacios afines – Método actual	34
4.2	Análisis de resultados	35
4.2.1	Plano de distribución propuesto de planta	39
4.2.2	Diagrama de flujo de proceso – Método propuesto	41
4.2.3	Diagrama de circulación de actividades – Método propuesto	42
4.2.4	Diagrama de espacios afines – Método propuesto	43

## **V. Discusión**

5.1	Confrontación de resultados	45
5.2	Discusión de resultados	46

## **VI. Conclusiones**

6.	Conclusiones	49
----	--------------	----

## **VII. Recomendaciones**

7.	Recomendaciones	51
----	-----------------	----

## **VIII. Referencias Bibliográficas**

8.	Referencias Bibliográficas	53
----	----------------------------	----

## **IX. Anexos**

9.	Anexos	54
	Anexo A	55
	Anexo B	56
	Anexo C	57
	Anexo D	58
	Anexo E	59
	Anexo F	60
	Anexo G	61
	Anexo H	62
	Anexo I	63
	Anexo J	64
	Anexo K	65
	Anexo L	66
	Anexo M	67
	Anexo N	68

# **I. INTRODUCCIÓN**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente existen 17 ingenios azucareros en Guatemala. El 70% de la producción total de los ingenios es exportada. El restante 30% representa la cantidad producida para ser consumida internamente en el país. Esta cuota es repartida entre todos los ingenios de acuerdo a los resultados de eficiencias y cantidades de producción, lo cual genera una intensa competencia entre las empresas, inversiones en ampliaciones, maquinaria tecnificada, mano de obra especializada, etc. La competencia se basa en varios factores, y en especial dos. El primero es la capacidad en toneladas por zafra (temporada azucarera que dura aproximadamente entre 120-180 días) que el ingenio muele y procesa. El segundo factor implica la eficiencia del ingenio, es decir, producir la mayor cantidad de azúcar en el menor tiempo posible, extrayéndole la mayor y mejor cantidad de azúcar a la caña. Los factores anteriores hacen que estas empresas amplíen su capacidad productiva para obtener una mayor cuota nacional a producir.

Al analizar el proceso productivo, en lo que respecta a la distribución física de la maquinaria que procesa la caña de azúcar, se observa que existen cuellos de botella en rutas críticas del proceso que deben ser minimizados o eliminados. Al no facilitar el flujo del proceso, se producen paros de producción que al final generan en pérdidas millonarias, debido al alto volumen de producción. Por esto es necesario diseñar eficientemente las ampliaciones de la planta para facilitar la fluidez del proceso y minimizar los paros de producción.

Este trabajo pretende servir como ejemplo de la realización del diseño de la distribución de planta, específicamente en el área de extracción de jugo de caña, optimizando el espacio y el flujo del proceso productivo de un caso particular, que puede servir como referencia a otros ingenios azucareros para que planifiquen e implementen eficientemente los diseños de las ampliaciones de su capacidad productiva.

## **1.2 MARCO TEORICO**

### **1.2.1 Descripción del proceso de fabricación del azúcar de caña**

Brevemente se resume a continuación la fabricación del azúcar, dividida en las siguientes operaciones:

- Extracción del jugo
- Clarificación y evaporación del jugo
- Cristalización
- Centrifugación
- Secado y envasado

La caña de azúcar ingresa al ingenio por medio de camiones y otros medios de transporte que provienen de las fincas donde es sembrada, quemada, y por último cortada. La caña ingresa al área de patio, donde es lavada con agua, además es cortada y desfibrada de sus tallos a través de cuchillas giratorias. Esa caña es trasladada por medio de conductores al área de extracción de jugo, la cual consta de molinos alineados en serie, compuestos de 3, 4 o 5 mazas cilíndricas que comprimen la caña y extraen el jugo. Este proceso es repetido en cada molino hasta que se obtiene la última extracción. Durante esta operación se agrega agua o jugo para optimizar la extracción. El objetivo principal es extraer la mayor cantidad de la sacarosa que contiene la caña. Al final del último molino sale el bagazo exprimido, el cual es utilizado como fuente de combustible para el área de calderas, que a su vez proporciona el vapor al ingenio. El jugo extraído fluye a través de filtros o cedazos, los cuales capturan los sólidos en el fluido.

Para purificar el jugo, es necesario eliminarle todas las impurezas. Esto se logra con el uso de cal, que actúa como agente graduador de la acidez o pH del jugo, que junto con el calor eliminan dichas impurezas. Por lo general, se suman 2 libras de cal por tonelada de caña a una temperatura de 100 °C, lo cual precipita las grasas, ceras y gomas que contiene el jugo. Para eliminar el agua es necesaria la evaporación, que se lleva a cabo

en equipos en serie que ebullicionan con un gradiente descendiente de vacíos, por lo cual la temperatura también desciende, y al final se obtiene la meladura, que está compuesta de sólidos y agua en menor cantidad.

En la cristalización se forman los granos a través de los tachos, que son intercambiadores de calor al vacío de simple efecto. La meladura proveniente de la evaporación se concentra y como resultado se obtiene una solución sobresaturada de azúcar. Luego se introducen cristales de semilla que varían según la calidad de azúcar a elaborar, que al mezclarse con la meladura se nombra masa cocida.

Los cristales y la miel de la masa cocida son separados en la centrifugación por medio del giramiento que permite que la miel atraviese las perforaciones de un mesh, mientras los cristales, lavados con agua, permanecen dentro de las centrífugas. Al final de este proceso, estos granos están ya preparados para ser transportados al área final del proceso, que consiste en el secado a través de ventiladores en grandes cilindros giratorios sobre su eje. Por último, dependiendo del producto final requerido, se procede a envasar el azúcar en sacos, o bien directamente a los silos almacenadores del azúcar a granel. En el anexo A se puede observar gráficamente lo explicado anteriormente de una manera general. Del mismo modo en el anexo B tomado del Manual Azucarero Mexicano (1992), se muestra una representación específica del proceso.

## **1.2.2 Diseño de la distribución física de planta**

Los avances en la tecnología y la rapidez con la que se ha acrecentado la competencia mundial han impuesto cambios significativos en los procesos de planeación de la ampliación y distribución de las plantas. Esto busca como fin el equilibrio productivo de la maquinaria o de las cadenas de montaje. El éxito de las operaciones depende de la distribución física de las instalaciones, y ésta involucra el flujo de los materiales, tiempos, y, por ende, la productividad. El diseño de la distribución física es la ubicación o configuración de los departamentos, de las estaciones de trabajo y del equipo, que constituyen el proceso de conversión, en otras palabras, es el ordenamiento espacial de los recursos físicos que se emplean para fabricar el producto.

Según Maynard y Capmany (1982), el término distribución de planta significa unas veces la disposición existente, otras veces el nuevo plan de distribución propuesto, y a menudo, el área en estudio o el trabajo para realizar una distribución de planta. Por tanto, la distribución de planta puede ser una instalación existente, un proyecto o un trabajo.

El objetivo principal del diseño de la distribución de planta es lograr una disposición del equipo y área de trabajo que sea la más económica para la operación a que se destina, sin embargo, segura y satisfactoria para el proceso y para los empleados, y que a su vez consiga como fin fabricar un producto a un costo suficientemente bajo para venderlo con beneficio en un mercado de competencia.

Los objetivos básicos del diseño de la distribución física de planta son:

1. Integración global de todos los factores que afectan a la distribución.
2. Mínimas distancias en el movimiento de materiales.
3. Circulación del trabajo a través de la planta.
4. Utilización efectiva de todo el espacio.
5. Seguridad para los obreros.
6. Disposición flexible que pueda ser fácilmente reajustada.

### 1.2.3 Tipos de distribución

Al ampliar la capacidad de una planta y distribuirla, se ven afectados los costos de operación y la eficacia. Para determinar estos factores, es preciso considerar cómo pueden aplicarse los distintos tipos de diseño de distribución de planta en diversas situaciones. La función operacional tanto en la manufactura como en los servicios, puede dividirse en dos tipos fundamentales: intermitente y continua. En el caso de un ingenio azucarero, la operación es continua, debido a que éstas se caracterizan por un alto volumen de producción, por equipos de uso especializado, por operaciones de capital intensivo, por una mezcla de productos restringida, y por productos estandarizados para la formación de inventarios.

Los tres diseños fundamentales para la distribución de una planta son: el orientado al proceso, el orientado al producto y el de componente fijo. En un ingenio azucarero, la distribución de la planta esta orientada al producto, ya que se fabrica un producto estandarizado. Además, cada una de las unidades en producción requiere de la misma secuencia de operaciones de principio a fin, los centros de trabajo y los equipos respectivos quedan alineados idealmente para ofrecer una secuencia de operaciones especializada que habrá de originar la fabricación progresiva del producto. Las ventajas de esta distribución incluyen:

1. Reducción en la manipulación del material.
2. Utilización más efectiva de trabajo:
  - a) Por mayor especialización
  - b) Por facilidad de entrenamiento
  - c) Por suministro de mano de obra más amplio (semiespecializado y sin especialización)
3. Control más sencillo:
  - a) De una producción que permite menos papeleo.
  - b) Sobre obreros, y con menor número de problemas interdepartamentales
  - c) Supervisión más fácil.

Everett y Ebert (1991), afirman que el buen diseño es determinado por tres preguntas que deben hacerse los elaboradores del mismo, que son: si el diseño se centra en alcanzar un nivel deseado de capacidad productiva, si la secuencia es técnicamente factible, y si la línea es eficiente.

Para responder estas preguntas se deben tener algunos conceptos claros, detallados a continuación. Para verificar si el diseño satisface el nivel deseado de capacidad, se debe analizar la capacidad diseñada a aumentar, la cual refleja el volumen de output objetivo que quiere ser logrado por período de tiempo en las circunstancias normales de producción, tomando en cuenta eficiencia y utilización de la planta. Sólo si las condiciones reales coincidieran con las ideales empleadas en la determinación de la capacidad diseñada, podría ésta considerarse como medida de la capacidad disponible. Esta capacidad relacionará las horas reales de trabajo con la eficiencia y utilización diseñadas. Todo esto será puesto a prueba cuando las condiciones reales se den, por lo que probablemente se tendrán que hacer ajustes para minimizar el margen de error.

La segunda pregunta trata sobre la secuencia del proceso y la flexibilidad de la capacidad de las unidades productivas a planificar y controlar. En el caso de empresas con procesos caracterizados por la utilización intensiva de equipos de capacidad poco flexible, como los ingenios azucareros, el uso y aprovechamiento de ésta se vuelve vital y los aumentos requieren mucho tiempo y coste. Por otra parte, no sólo la complejidad de los procesos y las rutas, que también deben ser tomados en cuenta.

Una ruta es la sucesión de operaciones necesarias para la elaboración de un ítem. Esta comienza en la operación en que se incorpora la primera materia prima o el componente semiterminado, a partir de los cuales se elabora.

La última pregunta que debe hacerse se refiere a la eficiencia de la línea. La producción en línea o en serie es una disposición de los lugares de trabajo en la que las operaciones que van sucediéndose están localizadas en contigüidad inmediata una de otra; en la que el material circula continuamente y a una velocidad uniforme por una serie de

operaciones balanceadas, que permite la ejecución total y simultánea; avanzando las piezas trabajadas a lo largo de un camino razonablemente directo hasta su terminación. El balanceo de línea es la asignación de actividades a las estaciones de la línea, de manera que los tiempos de trabajo sean iguales en todas las estaciones tanto como sea posible. Estos balanceos aplican más a la producción por ensambles o departamentos.

#### **1.2.4 Principios básicos para diseñar una perfecta distribución de planta**

1. *Planear el total y después los detalles.* Empezar con la distribución física de la planta como un total y después acabar en los detalles. Primero, determinar las condiciones generales en relación con el volumen de producción previsto. Establecer el grado de relación de estas áreas con cada una de las demás, considerando únicamente el movimiento del material para tener una pauta básica y sencilla de circulación. A continuación, desarrollar una distribución general de conjunto. Solamente después de aprobada la distribución de conjunto debe procederse a la disposición detallada dentro de cada área, es decir, a la posición exacta de las máquinas, para luego llegar al plan detallado de distribución.
2. *Seguir los ciclos del desarrollo de la distribución, haciendo solaparse las fases sucesivas.* Los ciclos del desarrollo de la distribución siguen una secuencia de cuatro fases. La primera fase consiste en determinar dónde debe situarse la distribución; dónde deben colocarse las funciones de que debe disponerse. La segunda fase es planear una distribución de conjunto para la nueva área de producción. A continuación viene el plan detallado de distribución y, finalmente, la instalación.
3. *Planear el proceso y maquinaria de acuerdo con las necesidades del material.* Las especificaciones de fabricación determinan ampliamente los procesos a utilizar. Y es necesario conocer las cantidades o proporciones de producción para poder calcular qué procesos se necesitarán. El proceso y maquinaria se edificarán de acuerdo con las necesidades de los materiales.

4. *Planear la distribución de acuerdo con el proceso y la maquinaria.* Después de seleccionar los procesos de producción adecuados, empieza la planificación de la distribución. Habrá que considerar las necesidades del equipo en sí : peso, tamaño, forma, movimientos hacia atrás y hacia adelante, etc. El espacio y la situación de los procesos de producción o de la maquinaria son el corazón y centro del diseño de la distribución.
  
5. *Planear la edificación de acuerdo con la(s) distribución(es).* Cuando la maquinaria, equipo de servicios y distribución deban ser más permanentes que el edificio, éste deberá hacerse de acuerdo con la distribución más eficiente. No hay que hacer más concesiones de las necesarias al factor edificio. Cuando la distribución vaya a ser menos permanente que la edificación, debe seguirse, a pesar de ello, la misma máxima fundamental, alternándola únicamente leyendo distribuciones en lugar de distribución. Como ya se sabe que van a producirse cambios, se hará un diseño de planta que cubra los fines generales, planeando el edificio de acuerdo con diversos proyectos de distribución que puedan ocuparle sucesivamente.  
Cuando la distribución vaya a aplicarse a un edificio ya existente, se fijarán determinadas características importantes de la estructura. En estos casos siempre hay que diseñar las modificaciones del edificio de acuerdo con la distribución.
  
6. *Comprobar la distribución .* Cuando se haya desarrollado una fase del proyecto, hay que lograr su aprobación antes de ir demasiado lejos en el diseño del siguiente. De este modo se evitan posteriores quebraderos de cabeza y se asegura la integración de cada área en los diseños generales de conjunto. Se debe comprobar cada fase de la distribución antes de presentarla para su aprobación. Esta comprobación asegurará que el diseño está bien planeado y mostrará mejoras que se puedan introducir.

7. *Planear con ayuda de otros y vender el diseño.* El diseño y la planeación de la distribución representan un negocio cooperativo. No podrá lograrse la solución óptima si no se consigue la cooperación de todas las personas interesadas. Se deben solicitar

ideas y así atraerlas al proyecto de expansión. Algunas veces la parte más dura del trabajo es lograr que otros lo compren. Puede ser interesante; pero hay que recordar que sigue siendo un compromiso. Significa cambios de personal. Por tanto, es necesario invertir tiempo para interesar al personal en el proyecto para luego invertir tiempo en la preparación del diseño final que será presentado a quienes en definitiva invertirán su dinero en ella.

### 1.2.5 Fases de la distribución de planta

- *Conseguir datos reales.* Al intentar conseguir los datos adecuados en cualquier proyecto de distribución en planta, hay que insistir en las características, que son más importantes. La lista siguiente indicará el camino a seguir para llegar a ellas y sobre las que hay que hacer mayor hincapié.
  1. Características en que intervienen los costos de operación mas elevados
  2. Características que serán más costosas de instalar o redistribuir.
  3. Características en las que interviene la seguridad o peligro de los obreros.
  4. Características en que intervienen los aspectos de espacio o situación, como posiciones clave de recepción, embarque, etc.

Al reunir los datos deben cubrirse tanto las condiciones futuras como las pasadas o presentes: previsiones a largo plazo, variaciones temporales, tendencias de la industria, etc. Después de haber estudiado e instalado cuidadosamente una distribución, es difícil amontonar características olvidadas o adicionales, a menos de haber planeado deliberadamente un espacio excesivo con planes de contingencia. Existen diversos procedimientos para registrar o anotar los datos de la maquinaria como son:

1. Dimensiones:
  - a) Ancho
  - b) Longitud
  - c) Altura
  - d) Expansión, juego o carrera de la máquina.
2. Peso
3. Exigencias especiales del proceso:
  - a) Instalación de cañerías
  - b) Desagües
  - c) Aspiración y ventilación
  - d) Conexiones o enlaces
  - e) Soportes o fundaciones

- f) Defensas o separaciones
- g) Acondicionamiento
- h) Movilidad
- i) Espacio de acceso a espacios libres
- j) Controles o paneles de control del trabajo y operaciones.

Los datos correspondientes a las máquinas en sí deben conservarse y tenerlos disponibles para futuras referencias. Una ingeniería de planta bien dirigida debe tener al día los datos de la distribución de maquinaria y equipo y un inventario de existencias.

El diseño de la distribución es fundamentalmente una disposición de espacio. Cuando se ha determinado las necesidades del material y del equipo, se puede empezar a diseñar el espacio necesario. Hay que calcular el espacio para las áreas siguientes:

1. Maquinaria y equipo: incluir el área entre máquinas y acceso para personal.
  2. Material en espera.
  3. Servicios o actividades auxiliares y especiales.
  4. Pasillos, escaleras y montacargas.
- *Determinar la circulación.* El corazón de cualquier distribución es la secuencia de operaciones como base de la circulación de material. Después de reunir los datos, es aquí donde debe iniciarse el verdadero análisis del diseño. El diagrama de operaciones es el más útil de todos los dispositivos de planeamiento de la distribución. En el anexo C, tomado de Niebel (1990), se muestra un ejemplo de este diagrama.  
Niebel (1990) define el diagrama de operaciones como la secuencia cronológica de todas las operaciones de taller o en máquinas, inspecciones, márgenes de tiempo y materiales a utilizar en un proceso de fabricación o administrativo, desde la llegada de la materia prima hasta el empaque o arreglo final del producto terminado. Señala la entrada de todos los componentes y subconjuntos al ensamble con el conjunto principal. De igual manera que un plano o dibujo de taller presenta en conjunto detalles de diseño como ajustes, tolerancias y especificaciones, todos los detalles de fabricación o administración se aprecian globalmente en un diagrama de operaciones

de proceso. Antes de que se pueda mejorar un diseño se deben examinar primero los dibujos que indican el diseño actual del proceso. Análogamente, antes de que sea posible mejorar un proceso de manufactura, conviene elaborar un diagrama de operaciones que permita comprender perfectamente el problema, y determinar en qué áreas existen las mejores posibilidades de mejoramiento. El diagrama de operaciones de proceso permite exponer con claridad el problema, pues si no se plantea correctamente un problema, difícilmente podrá ser resuelto.

De este mismo autor se toma el anexo D, en el cual se ejemplifican los símbolos utilizados en estos diagramas.

- *Hacer el diagrama de circulación.* En la determinación de la circulación interviene el establecimiento de la situación relativa de los departamentos de trabajo. El diagramado de circulación lleva consigo la localización de esos departamentos y la indicación del camino de circulación. Cuando se dibuja a escala el diagrama de circulación y se indican en él todas las funciones, se convierte en esencia en el diseño de la distribución de planta. La circulación puede ser en línea recta, en zig-zag, en forma de U, circular y angular. Los planos de la circulación pueden tener la entrada y la salida opuestas, idénticas, o por las esquinas. Además se puede dibujar la circulación vertical del material, lo cual es común en plantas que tienen varios pisos o niveles y en los cuales el material sube y bajo por los mismo hasta llegar al almacenaje o embarque. Debe hacerse un diagrama de circulación de actividades afines y luego uno de espacios afines. De Maynard y Capmany (1982) se toman los anexos E, F y G, que muestran gráficamente los planos y diagramas mencionados en este párrafo.
- *Visualizar el diseño.* Personas experimentadas en distribución saben que el camino para lograr un buen diseño es llegar a comprender claramente lo que se está desarrollando. Deben visualizar cómo será la distribución y cómo funcionará y deberá disponer de un dibujo claro. El objeto de la visualización es ayudar a desarrollar una buena distribución. Después de recoger la información necesaria sobre las diversas características y consideraciones que han de intervenir, determinar y diagramar la circulación y concebir los distintos modos de disponer

estas características físicas, se comprueban viendo cuál será su apariencia actual. Se hace una reproducción del esquema, que puede ser tridimensional, para ver si es tan buena como se piensa. Se ajustan y cambian las disposiciones. Este es el momento de mover el equipo sin que costo alguno. Aquí es donde hay espacio para aceptar sugerencias e ideas de los involucrados en el proceso. Esas mejoras sugeridas se ensayan al mover los modelos o valorando las ideas. Cuando se ha decidido la disposición final, se ajusta de acuerdo con ella el diseño, dejándolo listo para reproducirlo.

Todos estos principios y fases son resumidas en un esquema o checklist que se muestra en el anexo N, el cual facilita su utilización.

## **II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La necesidad de ampliar la capacidad productiva en un ingenio azucarero crece año con año, impulsada por la ambición de lograr mayores utilidades para la empresa. Estas utilidades pueden ser logradas con una zafra productiva que otorgue al ingenio con una mayor cuota de producción nacional, así como la obtención de clientes internacionales para aumentar el volumen de producción a exportar. Para llevar a cabo una ampliación productiva es necesario diseñarla adecuadamente, planificarla y por último, una buena implementación y seguimiento del plan.

En Guatemala la mayoría de los ingenios azucareros deciden ampliar su capacidad productiva conforme avanza la temporada de zafra, donde van localizando áreas de problemas como capacidad instalada insuficiente y mala distribución de la planta que pueden causar horas perdidas de trabajo y tiempo de ocio que luego resultan en pérdidas para la empresa. La cantidad de dinero que se pierde por minutos de paro de la producción es enorme, lo cual se debe a los altos volúmenes producidos.

El proceso de decisión de ampliación es casi siempre acelerado y contra el reloj, ya que al terminar la zafra, tienen aproximadamente 6 meses para desarmar la maquinaria, darle mantenimiento, y realizar las ampliaciones o cambios en planta que sean requeridos, para luego armar, hacer pruebas y estar listos para el inicio de la siguiente zafra. Por lo tanto, son también aceleradas las compras de maquinaria y equipo, movimiento de tierras, obras civiles, contratación de personal, subcontratación, planeación de horas extras de trabajo, etc. Por supuesto lo más importante de todo también es acelerado: el diseño de la nueva distribución de planta. En ella está basado todo lo anteriormente mencionado, cuánta maquinaria comprar, dónde colocarla, qué obra civil será necesaria, qué recursos extras se requerirán, y en fin la lista es interminable en cuanto a los factores que se ven afectados debido a un mal diseño y una deficiente planificación de la implementación. Es común observar empresas que sólo llegan a un simple esbozo del diseño, el cual va siendo modificado subjetivamente conforme la ampliación se está llevando a cabo. El resultado de esto se empieza a ver cuando los ingenios que no realizaron cambios están por empezar y los que decidieron ampliarse van a la mitad del camino. Al final, inician su producción semanas después de

lo planificado, lo cual resulta también en pérdidas debido a la inutilización de la caña de azúcar que ya está preparada para el proceso, tiempo de ocio, y acortamiento de la zafra, lo cual depende del factor climático.

Entonces, se plantea la siguiente interrogante, ¿el no hacer un diseño de la distribución física en el área de extracción de jugo de caña fundamentado en los principios básicos del mismo afecta el flujo del proceso productivo y ocasiona la utilización inefectiva del espacio, causando también problemas en su planeación e implementación?

## **2.1 Objetivos**

### **2.1.1 General**

Diseñar la distribución del área de extracción de jugo de caña que comprende la disposición física de las posibilidades industriales en este sector de un ingenio azucarero, de manera de optimizar el espacio y el flujo del proceso productivo, a manera de facilitar su futura planeación de la implementación, y la implementación en sí.

### **2.1.2 Específicos**

- Integrar globalmente los factores que afectan a la distribución en el área a mejorar.
- Circular el trabajo a través de la planta.
- Utilizar efectivamente todo el espacio del área a trabajar.
- Brindar satisfacción y seguridad para los operarios a través del diseño.
- Disponer de una flexibilidad para que la planta pueda ser fácilmente reajustada.

## **2.2 Hipótesis**

Debido a que este es un trabajo descriptivo de investigación no se plantea una hipótesis.  
(Achaerandio, 1993)

## **2.3 Variables**

- Espacio
- Maquinaria
- Movimiento
- Servicios
- Edificio
- Mano de Obra
- Cambio
- Capacidad
- Tiempo

## 2.4 Definición de las variables

### **Espacio**

#### Definición conceptual

Es la disposición física de cualquier objeto que ocupa cierto volumen en el universo o en una región dada.

#### Definición operacional

La cuantificación de las dimensiones de altura, largo y ancho de un objeto medido en los distintos sistemas de medición. (Ejemplo: metros, pulgadas, etc.)

### **Maquinaria**

#### Definición conceptual

Equipo y herramienta utilizada para la producción de cualquier bien. Elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos que interactúan para reproducir algo.

#### Definición operacional

Elementos alineados u organizados de tal manera que conforman una línea de producción, cada una con sus respectivas dimensiones en el espacio y su nivel de dependencia de otras máquinas.

### **Movimiento**

#### Definición conceptual

Transporte interno e interdepartamental y la manipulación en las diferentes operaciones que forman parte en un proceso productivo.

#### Definición operacional

Dimensiones necesarias para el flujo de equipo y personal que se traslada a través de la planta, y que sea libre y sin restricciones.

## **Servicios**

### Definición conceptual

Equipo auxiliar necesario para el proceso, relacionado con el personal, el material y a la maquinaria.

### Definición operacional

Cantidad y dimensiones de accesos a la planta, fuentes de agua potable, tableros de avisos, equipo de primeros auxilios, altavoces, oficinas, extinguidores, etc.

## **Edificio**

### Definición conceptual

Región construida de distintos materiales para albergar los elementos necesarios para distribuir un proceso de producción.

### Definición operacional

Volumen que define los límites a los cuales está restringida la distribución de todos los factores dentro de la planta.

## **Mano de Obra**

### Definición conceptual

Recurso humano necesario para la operación de la maquinaria y equipo dentro de la planta, así como otras actividades como inspección, mantenimiento, supervisión y planeación.

### Definición operacional

Ocupación del personal dentro de la planta, así como su movimiento dentro de ella. Precauciones en cuanto al acercamiento a cierto tipo de maquinaria.

## **Cambio**

### Definición conceptual

Versatilidad, flexibilidad y expansión del equipo utilizado. Posibilidad de acoplar, aumentar o disminuir capacidades del equipo.

Definición operacional

Contingencias para prever con las posibilidades de la colocación de los distintos elementos dentro de la planta, así como consideración de márgenes de error y opciones que permitan flexibilidad entre dichos elementos, eliminando la rigidez.

**Capacidad**

Definición conceptual

La razón máxima de conversión para la combinación de producto existente en las operaciones de una organización.

Definición operacional

Cantidad de volumen de producción que la distribución actual tiene y la cantidad deseada a conseguirse con una ampliación en el proceso, y todo lo que conlleva a alcanzar este nivel de producción.

**Tiempo**

Definición conceptual

Cantidad de días, horas, minutos, u otra medida para establecer la diferencia entre dos ocurrencias o actividades.

Definición operacional

Cantidad de días requeridos para modificar o reemplazar un sitio de trabajo existente. Incluye el lapso para deshacer la condición que existe y el lapso para establecer la nueva condición.

## **2.5 Alcances y Límites**

Esta investigación es una guía para elaborar el diseño de la distribución física del área de extracción de jugo de caña que se relacione con los recorridos y el flujo del proceso, localización de departamentos y áreas de congestión. Lo que es distribución de recursos como líneas de agua, electricidad y vapor, no serán evaluadas. Tampoco se analizará lo que son balances de línea, balances de cargas, fuerzas y presiones. El alcance del estudio será sobre la distribución física, restringido al diseño de la ampliación del área de extracción de jugo de caña (molinos), de un ingenio azucarero. La calidad del jugo extraído es medida mediante análisis químicos, los cuales estiman la eficiencia del mismo y la humedades del bagazo para prepararlo para la combustión. Este análisis químico no será evaluado en esta investigación.

Uno de los límites será obtener los diseños de la distribución actual, y que la misma haya sido actualizada con los cambios hechos a través de los años. Otra de las complicaciones podrá venir por la veracidad de los datos, falta de manuales de los fabricantes de las maquinarias y equipos, y datos sobre las obras civiles realizadas. Por otra parte, se puede tener limitaciones en cuánto a tiempo de entrevista con los superintendentes de planta de los ingenios, así como con los operarios y mecánicos.

## 2.6 Aporte

La aplicación de los principios básicos para diseñar una distribución física de planta de manera planificada, confirma los conceptos de ingeniería industrial como productividad, calidad, administración, ingeniería de métodos, ingeniería de plantas, etc.

La importancia de esta investigación para el país de Guatemala es evidente, ya que contiene 17 ingenios azucareros, los cuales contribuyen con una gran parte de ingresos de divisas por medio de la exportación del azúcar (aproximadamente \$275 millones), especialmente a Rusia, Perú, Canadá y Estados Unidos. Guatemala se encuentra entre los primeros cinco países que producen y exportan la mayor cantidad de azúcar a nivel mundial. Si se logran hacer más eficientes estos ingenios, el producto será de mayor calidad y los volúmenes de producción serán mayores, lo cual significará una gran ayuda a la economía del país. Todo esto depende del mercado mundial del azúcar, esto es, como se comporte la oferta y la demanda de este producto.

La sociedad se verá beneficiada de igual manera, ya que el crecimiento de los ingenios generará más empleos, especialmente en la costa sur del país. Asimismo, el sector agrícola verá un aumento en la demanda de caña de azúcar, que a su vez genera también más empleos. Pueden ser incluidos también todos los proveedores de los ingenios, los cuales conforman una lista interminable de sectores y empresas que proveen a los ingenios de los insumos y servicios necesarios para operar. Y por supuesto, la población del país entero gozará de un producto de buena calidad a un precio adecuado.

Por último, para los ingenios esto podría ser un ejemplo a consultar para que los encargados de elaborar los diseños de las distribuciones de planta, ya sea para ampliar su capacidad productiva, o simplemente para hacer más eficiente su capacidad actual. De esta forma lograrán un mejor flujo del proceso y más orden y control, que en conjunto se reflejarán en más producción con más altas eficiencias. Estos son sólo algunos de los beneficios que pueden ser obtenidos si se elabora un óptimo diseño de la distribución física de la planta de un ingenio azucarero.

### **III MÉTODO**

### **3.1 Sujetos**

Para esta investigación se medirán todo tipo de maquinarias utilizadas en el proceso de la extracción del jugo de caña de azúcar. Algunos de estos mecanismos están colocados en orden sucesivo debido a la dependencia de unos sobre otros, y de la dirección del flujo del proceso. Algunos de los mecanismos a medirse serán turbinas, reductores de engranajes, molinos de extracción, conductores, etc. Además se medirán tanques de depósito de material en proceso, recipientes para traslado o espera de materiales puestos de trabajo, dimensiones del espacio disponible en el edificio existente, así como del requerido para las ampliaciones, y cualquier otro equipo auxiliar que sea utilizado. Todo lo anterior y mucho más será necesario para someter esas características particulares al proceso del diseño de la distribución de la planta, dependiendo de la capacidad de ampliación deseada.

### **3.2 Instrumentos**

Existen diversos procedimientos para registrar o anotar los datos requeridos para llevar a cabo una distribución de planta. Para recolectar los datos sobre la maquinaria y el equipo se utilizarán cintas métricas u otros aparatos de medición (si en caso no estuvieran los manuales del fabricante que generalmente incluye los layouts y medidas), y para llevar un control se llenará una hoja de datos de distribución de maquinaria y equipos, como la que se muestra en el anexo H tomado de Maynard y Capmany (1982), utilizada como registro de características y necesidades de la maquinaria.

Para tomar los datos de la disposición del espacio se utilizarán hojas como la mostrada en el anexo I, también tomado de Maynard y Capmany (1982), donde se tienen necesidades de espacio para la operación, así como los mostrados en los anexos K y L.

### 3.3 Procedimiento

Debido a que el acceso al ingenio azucarero ya estaba autorizado, se procedió a una serie de visitas para la toma de datos, fotografías y demás información que fue necesaria para iniciar la recolección y agrupación de los mismos. Esto tomó aproximadamente tres semanas debido a la gran extensión del área a diseñar. Para esto se contó con la ayuda del personal del ingenio y del libre acceso a la bibliografía de manuales y diseños del mismo. Se utilizaron las hojas mencionadas en los instrumentos para llevar un orden en la toma de datos, los cuales fueron trasladados a una hoja electrónica para su tabulación y análisis. Se intentó llevar estas dos actividades simultáneamente para evitar pérdidas de información o el mal manejo de ellas.

Estas hojas electrónicas fueron debidamente almacenadas en una computadora con sus respectivas copias para mayor seguridad. Los datos que no pudieron ser conseguidos en los manuales de los fabricantes de las maquinarias, tuvieron que ser tomados directamente en el campo. Este trabajo fue menos costoso, ya que la mayoría del equipo tenía sus manuales, y en este tipo de empresas es vital tener a la mano toda esa información para cualquier tipo de emergencias que puedan surgir.

En las siguientes dos semanas se llevó a cabo la integración de todos los datos recabados. Para esto fue necesario consultar la teoría descrita en el primer marco de esta investigación, en lo que se refería a las fases de la distribución de planta, lo cual sirvió como una guía de cómo proceder mientras se preparaban los datos para la siguiente etapa, que fue la elaboración del primer diseño de la distribución de planta.

El primer diseño fue como un borrador y estuvo totalmente fundamentado en la teoría descrita en el primer marco sobre los principios básicos para diseñar una perfecta distribución de planta. De este diseño se imprimieron varias copias y se discutió con ingenieros de planta, operarios, e ingenieros. De esta forma se recibió valiosa retroalimentación de personas con experiencia, que fueron tomadas en cuenta para ir realizando ajustes durante aproximadamente una o dos semanas más.

Básicamente se hicieron cambios en el diseño a base de prueba y error con simulaciones sobre diversos escenarios, para analizar a fondo la flexibilidad del diseño y las posibilidades de realizar cambios. En algunos casos ocurrieron cambios drásticos en la colocación de cierta maquinaria, pero afortunadamente, estos cambios fueron borrados sobre un papel. Existen casos donde esos mismos cambios se hacen derribando paredes o cualquier otro trabajo civil que resulta muy costoso y en pérdida de tiempo y de producción. Llegar al diseño final tomó alrededor de 3 semanas.

Las últimas 4 semanas del proyecto constaron del análisis, confrontación y discusión de los resultados. En este tiempo se analizó el diseño actual con el primero, que era de alguna manera el más teórico. Se compararon ciertas variables en su estado teórico contra el real, y de esto salieron las conclusiones y recomendaciones finales para quienes en un futuro consulten este trabajo, y que probablemente tengan a su cargo el diseño y la implementación de una nueva distribución de planta para aumentar capacidades de producción, o simplemente para optimizar la distribución actual.

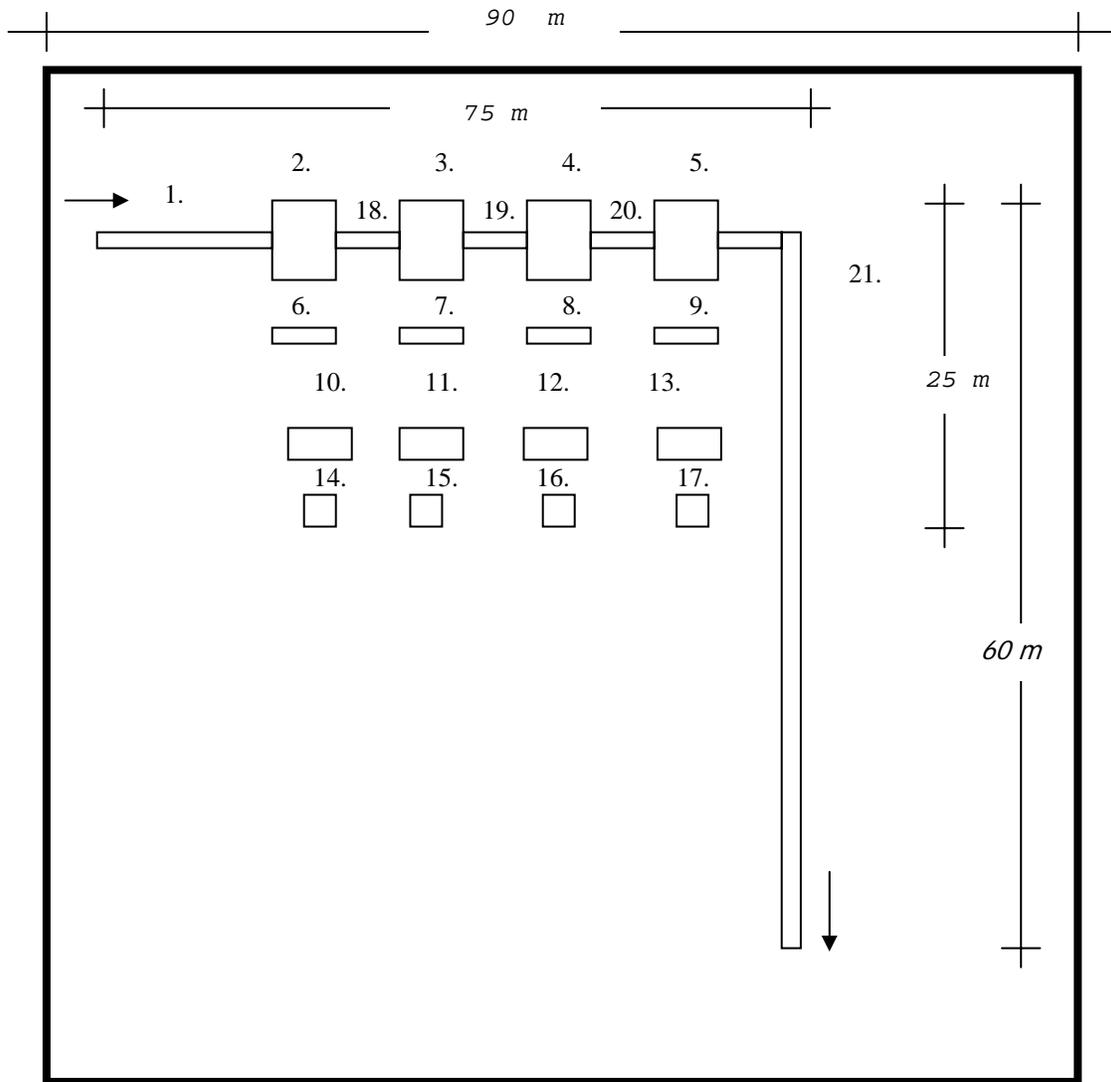
La proyección de la duración del resto del trabajo de investigación fue de aproximadamente 12 semanas. Un diagrama Gantt de esta programación puede ser observada en el anexo J.

## **IV RESULTADOS**

#### **4.1 Resumen de Resultados**

A continuación se presentan los datos que servirán para analizar la situación actual y la propuesta. Se utilizaron Planos de Distribución de Planta, Diagramas de Flujo de Proceso, Diagramas de Circulación de Actividades, Diagrama de Espacios Afines. Todos estos datos fueron recabados directamente en el ingenio azucarero X localizado en la costa sur de Guatemala. Se planificaron visitas durante tres semanas y se contó con la colaboración del personal del ingenio para recabar los datos necesarios y elaborar los siguientes diagramas. Las medidas, valores de producción y tiempos, fueron alterados por un factor. Esto con el fin de mantener confidencial la información proveída por el ingenio X. Actualmente, el ingenio X tiene una capacidad de molienda de 3,000 toneladas de caña de azúcar diarias operando las 24 horas del día. Los cuatro molinos que se tienen actualmente son de la misma capacidad, contando con 3 mazas cada uno y cada maza tiene un diámetro de 0.6 m. El patio de caña tiene una capacidad máxima de recibir aproximadamente 5,000 toneladas de caña de azúcar diarias, por lo cual está actualmente holgado y además existe suficiente oferta de caña por parte de los agricultores para crecer. Asimismo, la fábrica y el área de secado y envasado están siendo actualmente subutilizadas, ya que entre ambas pueden llegar a procesar más de 11,000 sacos diarios, los cuales son, ya sea despachados a furgones, o almacenados en las dos bodegas del ingenio. He allí la necesidad de ampliarse en el área de extracción del jugo, o sea los molinos.

### 4.1.1 Plano De Distribución Actual de Planta

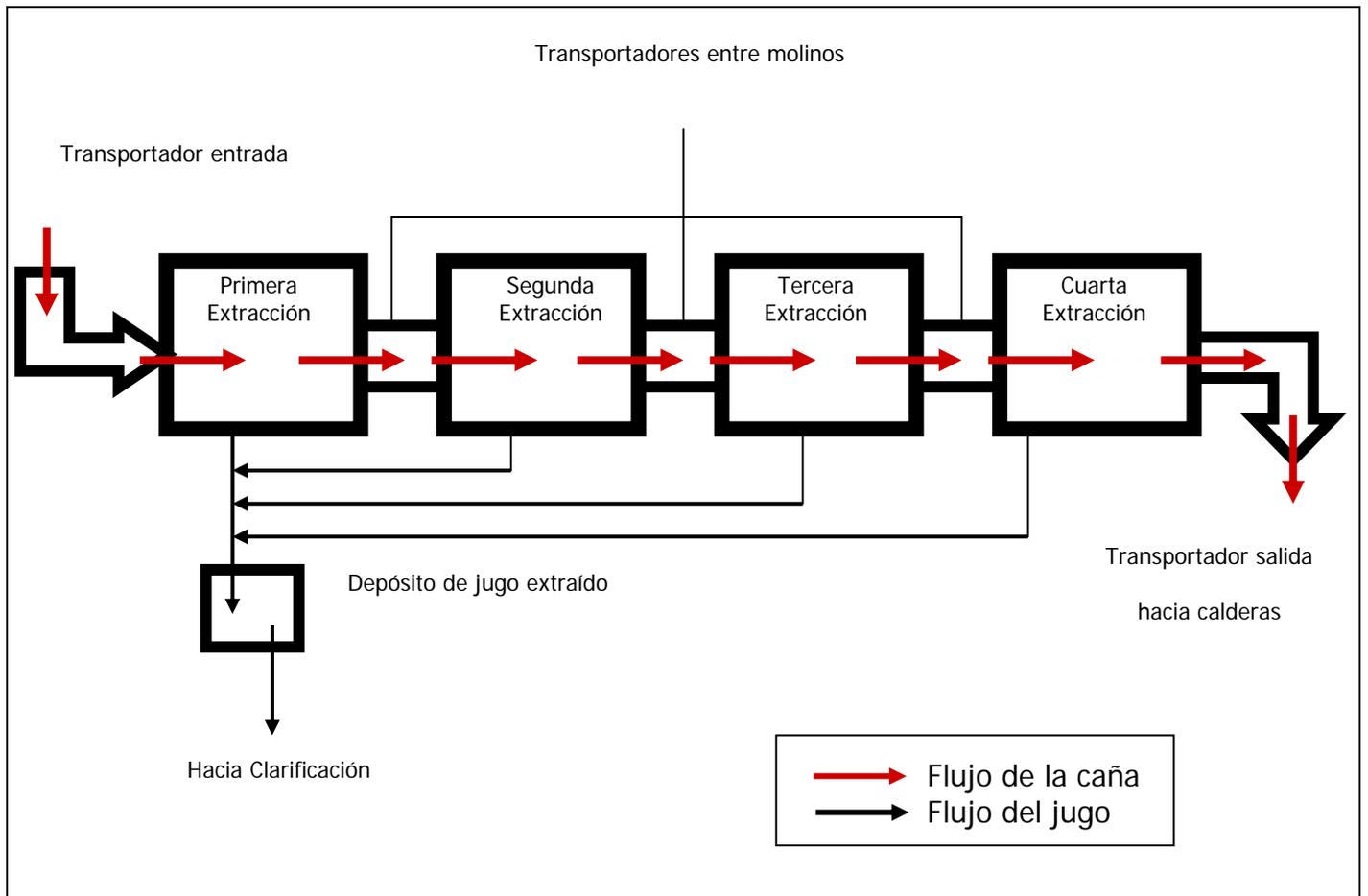


## **Nomenclatura del Plano de Distribución de Planta Actual**

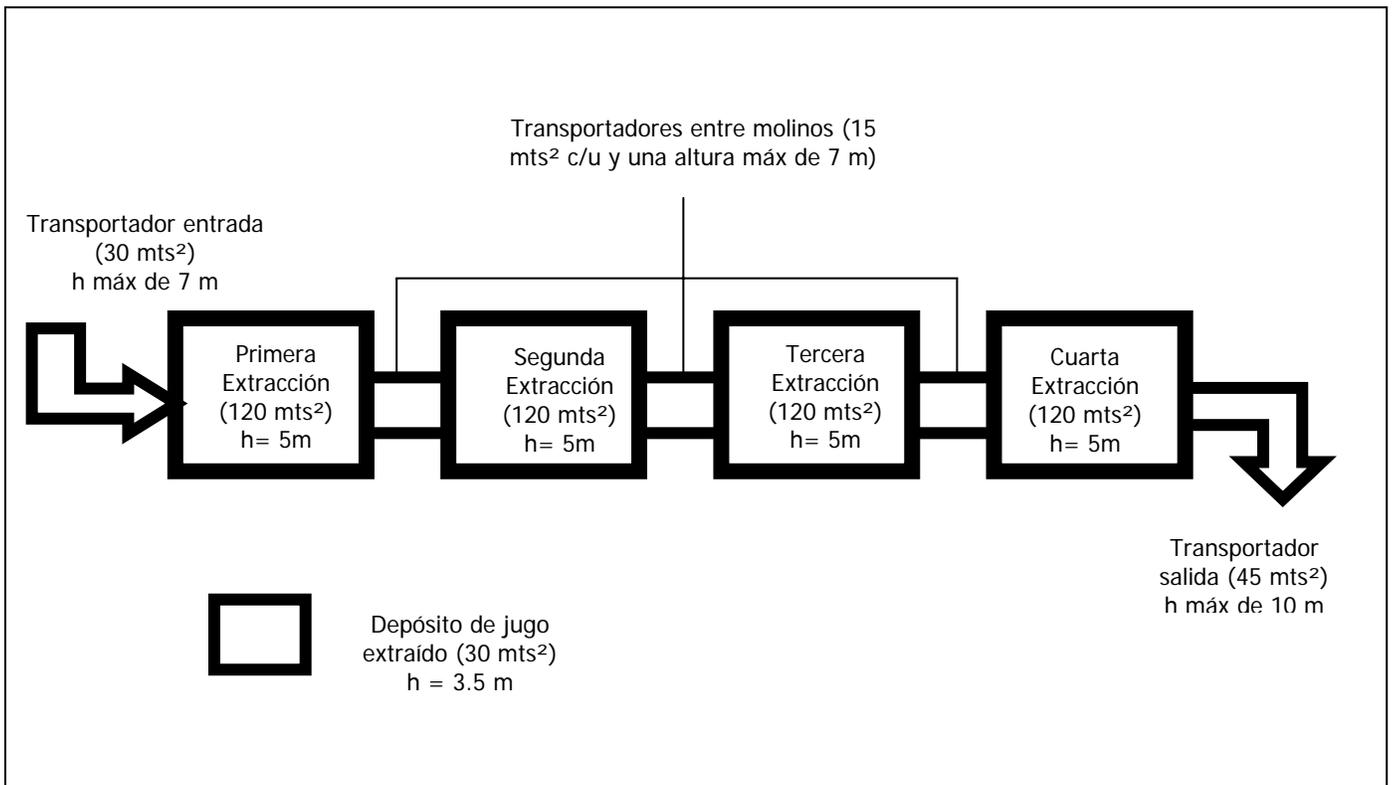
1. Transportador de entrada de caña de azúcar a los molinos
2. Primer molino de extracción
3. Segundo molino de extracción
4. Tercer molino de extracción
5. Cuarto molino de extracción
6. Reductor de baja velocidad del molino #1
7. Reductor de baja velocidad del molino #2
8. Reductor de baja velocidad del molino #3
9. Reductor de baja velocidad del molino #4
10. Reductor de alta velocidad del molino #1
11. Reductor de alta velocidad del molino #2
12. Reductor de alta velocidad del molino #3
13. Reductor de alta velocidad del molino #4
14. Turbina del molino # 1
15. Turbina del molino # 2
16. Turbina del molino # 3
17. Turbina del molino # 4
18. Transportador de bagazo del molino # 1 al # 2
19. Transportador de bagazo del molino # 2 al # 3
20. Transportador de bagazo del molino # 3 al # 4
21. Transportador de salida de bagazo hacia calderas

#### **4.1.2 Diagrama de Flujo de Proceso – Método Actual**

### 4.1.3 Diagrama de Circulación de Actividades – Método Actual



#### 4.1.4 Diagrama de Espacios Afines – Método Actual



## 4.2 Análisis de Resultados

En el Plano de Distribución Actual de la Planta se observa que la planta cuenta con gran espacio libre disponible. Aproximadamente se utiliza 40% del espacio disponible. La razón del espacio libre es que los accionistas del ingenio X siempre tuvieron en mente ampliar su capacidad productiva después de recuperada la inversión inicial. Por lo tanto, se dejó previsto espacio abundante para una futura ampliación en maquinaria y capacidad conforme la demanda se los exigiera. Este espacio extra permite una excelente ventilación y pasillos amplios y libres.

En el Diagrama de Flujo de Proceso Actual del Ingenio X se observa que el tiempo total de las operaciones y transportes es de 14.26 minutos, desde que la caña de azúcar entra al proceso hasta que el bagazo es transportado hacia las calderas para producir vapor. Al analizar a fondo el esquema del flujo actual, no se observan demoras innecesarias, ni transportes de más, ni inspecciones que retrasen el tiempo de producción. Todo lo anterior se debe al tipo de proceso que conlleva la extracción del jugo de caña de azúcar. El flujo es continuo y es un solo producto, por lo tanto en el área de molinos de un ingenio azucarero no existen inspecciones, sino sólo operaciones y transportes, lo cual lo hace tener un flujo muy productivo del proceso. Los retrasos que se dan son a causa de la falta de alimentación de caña de azúcar al proceso y de las paradas por daños a las masas, coronas, conductores, u otro equipo mecánico, lo cual depende de otras variables que no se discutirán en esta investigación.

El Diagrama de Circulación de Actividades Actual muestra tanto el flujo de la caña de azúcar, como el del jugo extraído de la misma. Básicamente es un flujo en serie para la caña y paralelo para el jugo. No hay barreras ni restricciones de flujo del diseño en sí. Son los factores de alimentación del proceso y de maquinaria los que causan las demoras y retrasos. Sin ellos el flujo debería ser constante durante las 24 horas de producción.

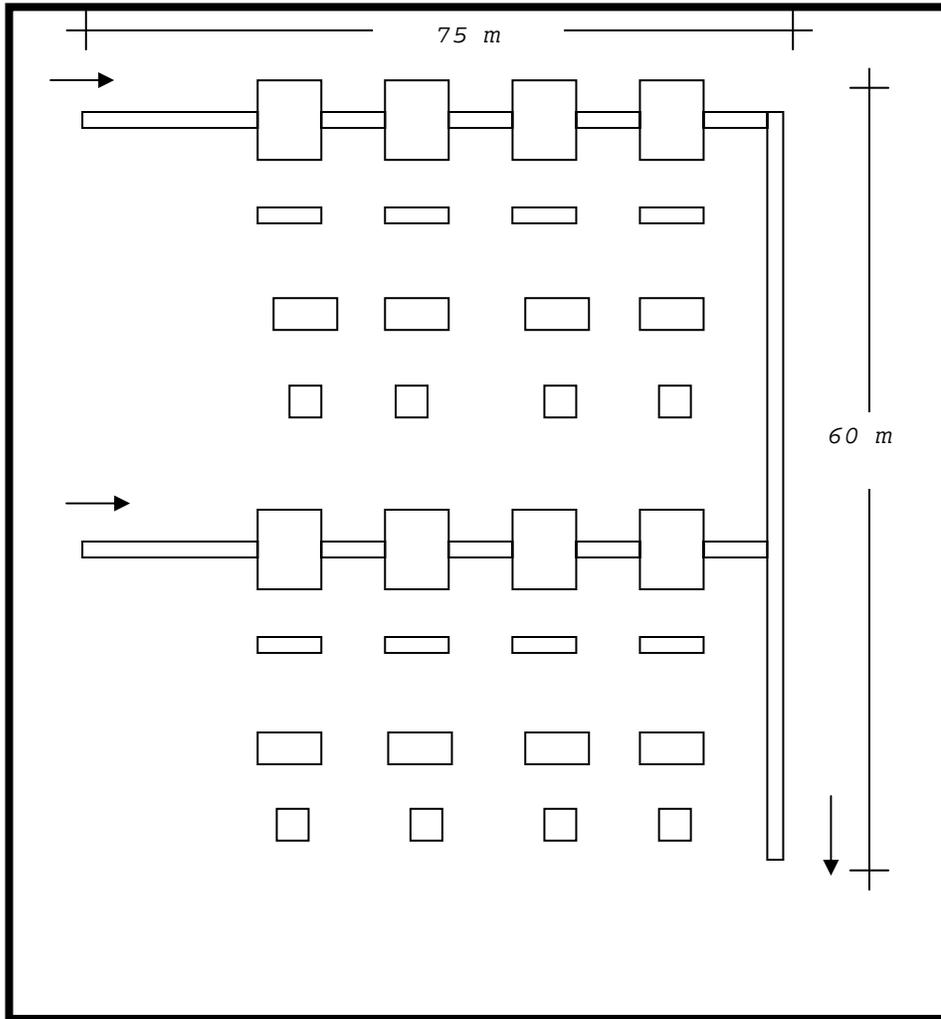
El Diagrama de Espacios Afines Actual señala que la maquinaria utilizada en este tipo de planta es bastante grande con amplias áreas, y debido a que es un proceso en línea, los equipos van conectados entre sí, hasta llegar al final de la extracción. Esto da como

consecuencia que el tránsito, tanto de personas, como de materiales y herramientas, sea bastante libre. Por la altura de los molinos (5 mts), se utiliza una plataforma o nivel intermedio con pasarelas para alcanzar los puntos altos del molino. Por lo tanto, no se considera una planta con muchos espacios confinados, exceptuando los internos de los molinos y transportadores, y por lo general, se puede tener un flujo constante de herramienta, material y personal a través de la misma.

El fin de este estudio es buscar la mejor opción para ampliar la capacidad productiva en el área de molinos del ingenio X, si se cuenta con 50 millones de quetzales para invertir. Y eso puede ser resuelto por varias opciones. Tres serán tomadas como factibles en este estudio. La primera es colocar un tandem de molinos igual al existente paralelo al mismo. Esto resultaría en una doble línea de producción y doble capacidad de molienda. El plano de distribución de esta opción puede ser observado en la siguiente página. Como se puede ver, aún existe físicamente espacio para colocar esta nueva línea de producción. Sin embargo, esta opción implica una inversión bastante fuerte, tiempo de implementación extenso, mayor obra civil, más maquinaria y mano de obra. Esta opción ampliaría la capacidad del ingenio X a 6,000 toneladas diarias. Si se cuenta con el capital y el tiempo necesario, esta sería la mejor opción. Sin embargo, el tiempo y la inversión son variables críticas para el ingenio X, por lo tanto, habrá que descartar la opción de agregar otro tandem de molinos. La comparación económica de las alternativas está en el anexo M.

La segunda opción es colocar un molino al final de la línea de producción, o sea tener 5 molinos. Esto provoca una mayor extracción de jugo de caña de azúcar, que incrementaría la capacidad a aproximadamente 3,500 toneladas, debido a que se le extraería más al bagazo de la caña con una etapa más. En esta opción la inversión no es muy alta, ni tampoco el tiempo de implementación. Es más, durante los últimos meses de la zafra se podría empezar a trabajar en la obra civil y hasta montar el molino, ya que el mismo se encontraría al final de la línea de producción, no afectando el flujo continuo del proceso. Esta opción no es la óptima porque para el ingenio X, un aumento de 500 toneladas diarias no satisface sus necesidades de producción para la siguiente zafra. Entonces se descarta esta opción.

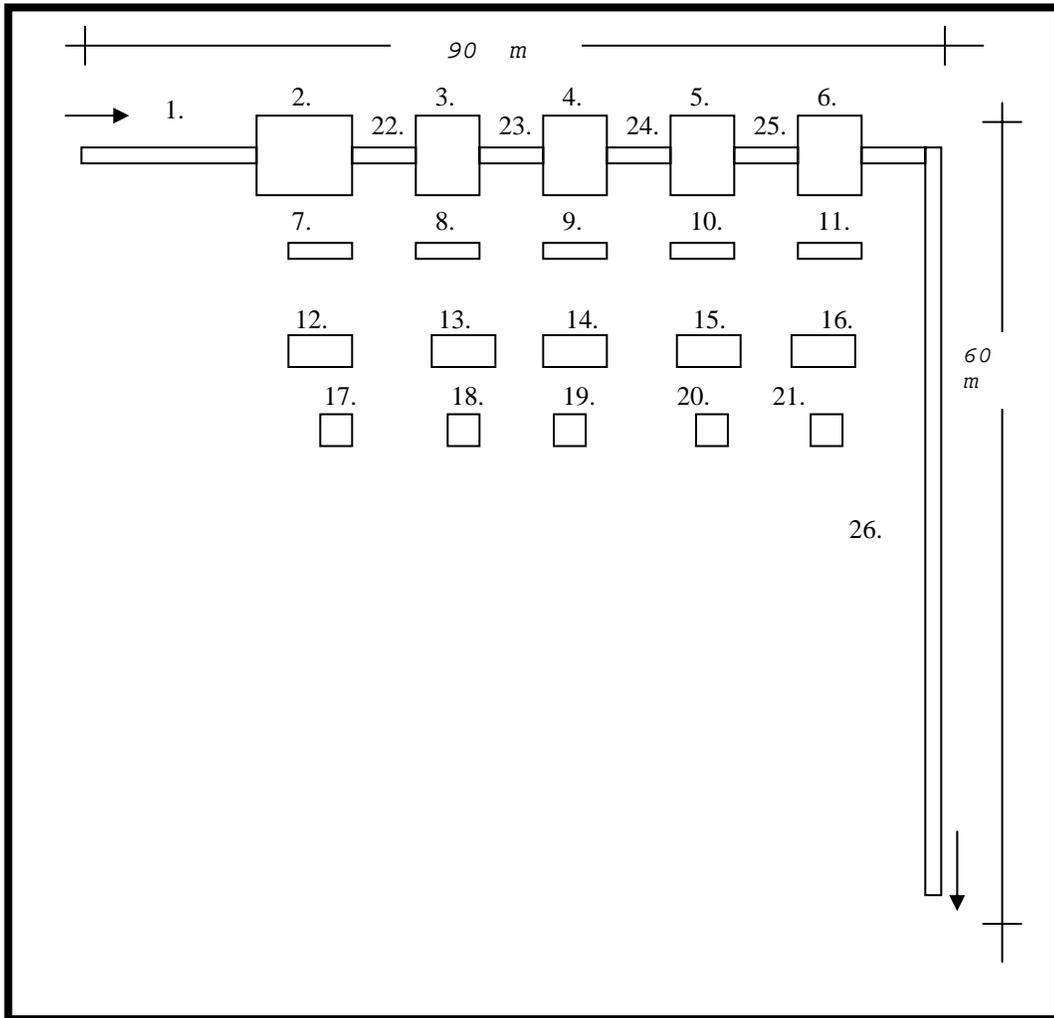
## Plano de Distribución de Planta para Dos Tandem de Molinos



La tercera opción constaría de agregar un molino a la línea de producción, sólo que esta vez sería uno de mayor capacidad de extracción (4 mazas) colocado al principio de la línea. Esta distribución puede ser observada en el Plano de Distribución de Planta Propuesto. La razón de colocarlo al principio es que debido a que en la primera extracción es donde mayor y mejor cantidad de jugo de caña se obtiene, y un molino de mayor tamaño implicaría directamente un incremento en la capacidad del proceso. Ese aumento tendría a una capacidad propuesta de aproximadamente 4,500 toneladas diarias de molienda, lo cual si satisface las necesidades del ingenio X. El incremento se da básicamente por tres razones. Primero, el molino tiene mazas con un diámetro mayor (0.8 m), segundo, tiene una maza más y tercero, se tiene una etapa más de extracción con los settings del molino más abiertos, es decir, un mayor volumen de bocado de caña de azúcar en cada molino, especialmente en el primero. La inversión es mayor que en la segunda opción, pero mucho más baja que la primera opción. Sí se podría llevar a cabo trabajo de obra civil para el último molino, que pasaría de ser el primer molino al quinto. Todo lo demás permanece igual. Entonces, el tiempo es crítico pero controlable si todo es bien planificado. Por estas razones se decide tomar esta última opción como la propuesta para este estudio, y de ella se presentarán los diagramas necesarios mostrando los cambios a continuación. Cabe mencionar que los otros cuatro molinos todavía tendrán la capacidad de ajustarse para trabajar al nuevo ritmo de producción provocado por el nuevo molino, es decir, que la línea quedará balanceada.

Existen otras opciones de solución, como lo es reintroducir el jugo de un molino al siguiente, o agregar cuartas mazas a los molinos actuales. Sin embargo la primera de ellas no proporciona el volumen de producción deseado y la segunda implica adquirir 4 nuevos molinos de cuatro mazas, lo cual supera la cantidad disponible a invertir. Y así pueden existir más, pero para este estudio se analizarán las tres ya mencionadas.

#### 4.2.1 Plano de Distribución de Planta – Método Propuesto

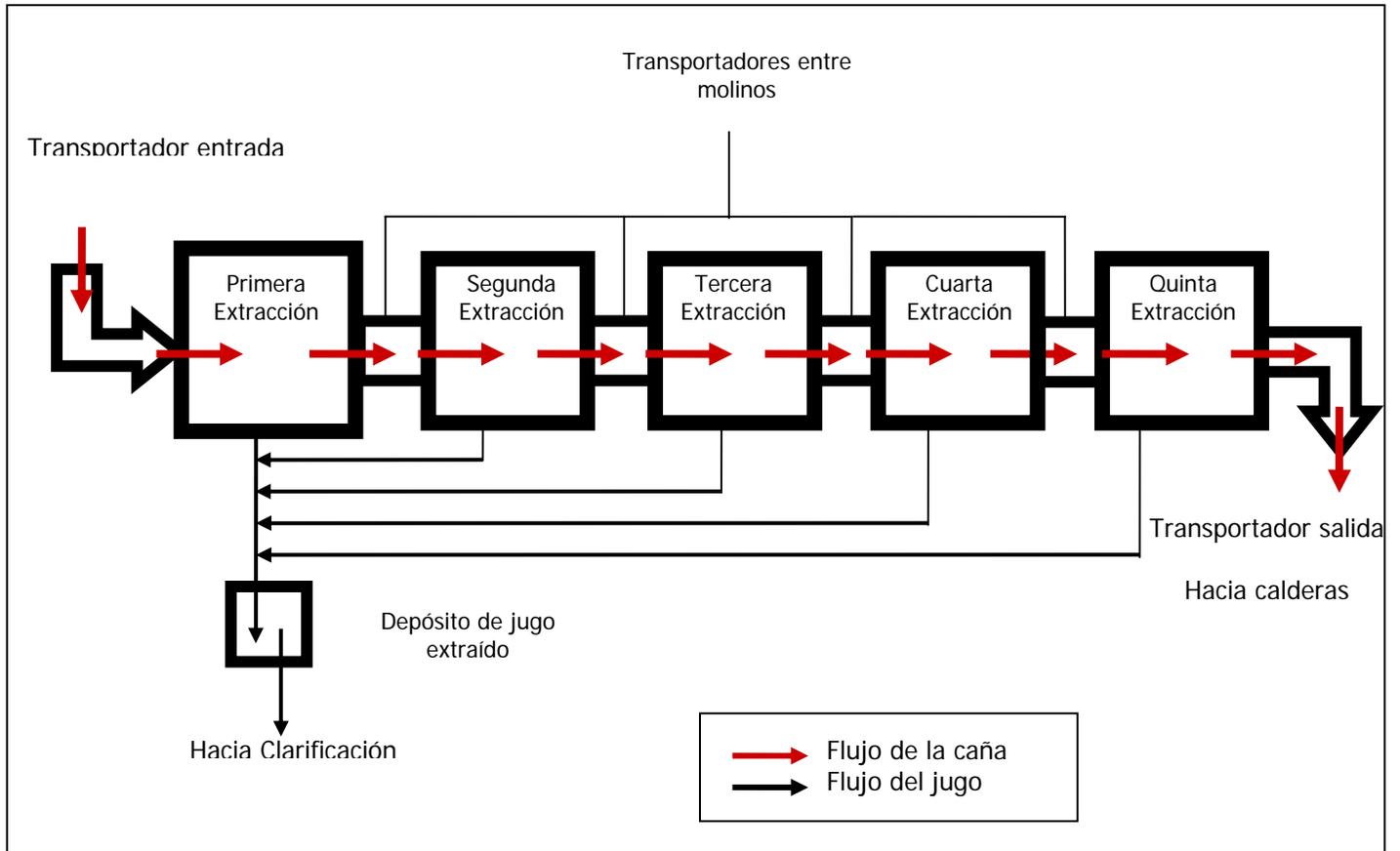


## **Nomenclatura del Plano de Distribución de Planta Propuesto**

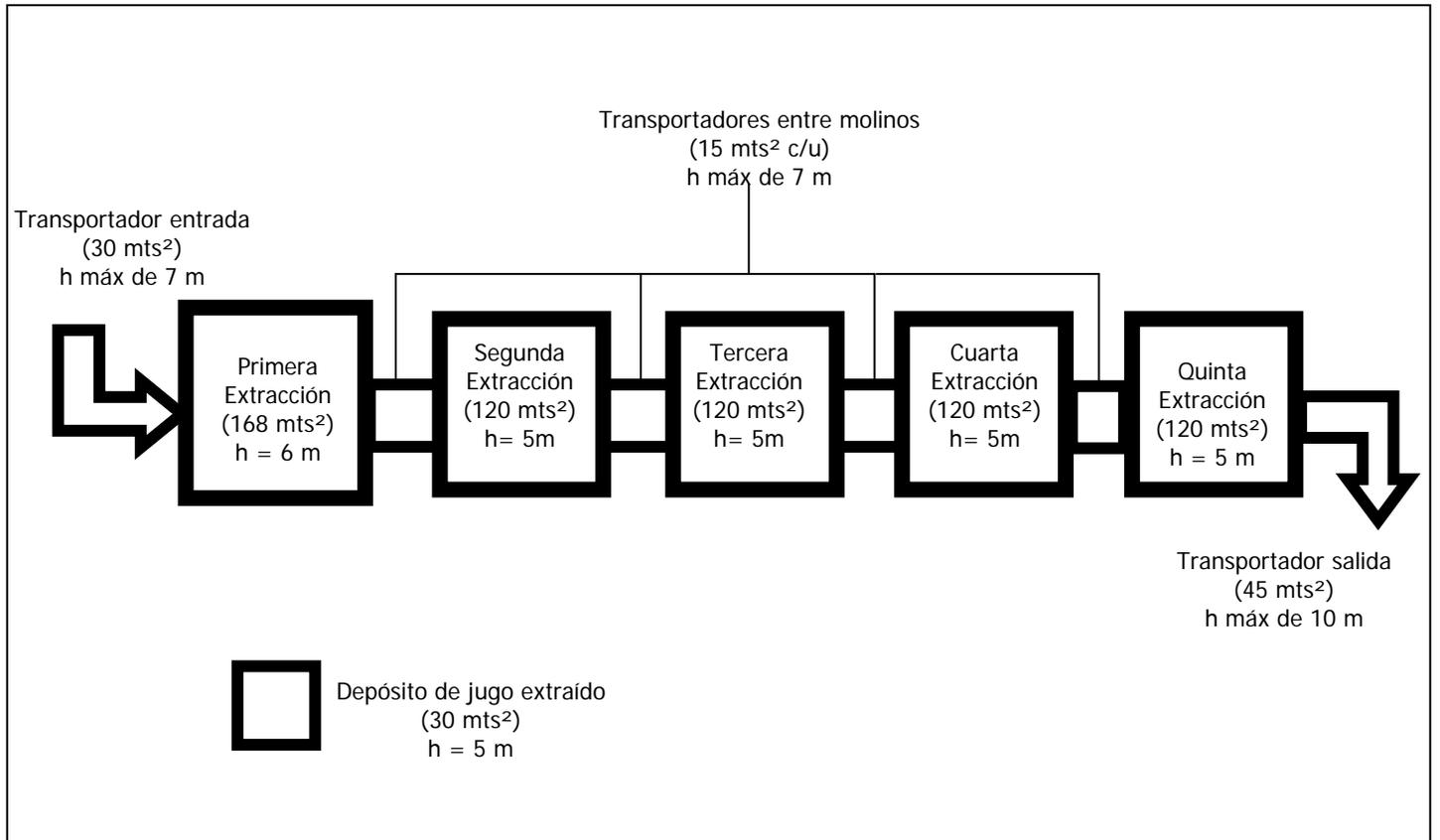
1. Transportador de entrada de caña de azúcar a los molinos
2. Primer molino de extracción
3. Segundo molino de extracción
4. Tercer molino de extracción
5. Cuarto molino de extracción
6. Quinto molino de extracción
7. Reductor de baja velocidad del molino #1
8. Reductor de baja velocidad del molino #2
9. Reductor de baja velocidad del molino #3
10. Reductor de baja velocidad del molino #4
11. Reductor de baja velocidad del molino #5
12. Reductor de alta velocidad del molino #1
13. Reductor de alta velocidad del molino #2
14. Reductor de alta velocidad del molino #3
15. Reductor de alta velocidad del molino #4
16. Reductor de alta velocidad del molino #5
17. Turbina del molino # 1
18. Turbina del molino # 2
19. Turbina del molino # 3
20. Turbina del molino # 4
21. Turbina del molino # 5
22. Transportador de bagazo del molino # 1 al # 2
23. Transportador de bagazo del molino # 2 al # 3
24. Transportador de bagazo del molino # 3 al # 4
25. Transportador de bagazo del molino # 4 al # 5
26. Transportador de salida de bagazo hacia calderas

#### **4.2.2 Diagrama de Flujo de Proceso – Método Propuesto**

### 4.2.3 Diagrama de Circulación de Actividades – Método Propuesto



#### 4.2.4 Diagrama de Espacios Afines – Método Propuesto



## V DISCUSIÓN

## **5.1 Confrontación de Resultados**

Los datos recabados en el ingenio X, específicamente los obtenidos en el área de molinos (extracción del jugo de caña de azúcar), son una guía constante de referencia sobre puntos potenciales para experimentar mejoras o retrasos en el proceso productivo. Es por eso que los diagramas utilizados en el capítulo de resultados son herramientas que facilitan la interpretación y análisis de lo que realmente está sucediendo en la planta. En un caso como éste, en el cual se necesita una ampliación de la capacidad productiva del proceso, los diagramas juegan un papel muy importante en la planificación de la misma.

Se puede observar en los resultados que, al ampliar la capacidad de extracción, se están mejorando los procesos individuales de esta distribución en línea, haciendo más productivas las operaciones del ingenio X. Este mejoramiento en productividad y aumento en producción reflejarán mayores rendimientos de los equipos, de la caña de azúcar, del jugo extraído y del ingenio como empresa.

Por último, los datos contenidos en los diagramas muestran que un análisis a fondo de los procesos productivos de cualquier planta, brindan información valiosa para la administración de los distintos factores que influyen en la producción. Con una debida documentación de los datos de estos factores, es posible no sólo planificar la ampliación requerida, sino mantener y controlar el proceso después de implementados los cambios.

## 5.2 Discusión de Resultados

El Plano de Distribución de Planta Propuesto indica los cambios realizados en el diseño actual. Se colocó un molino más al principio de la línea, el cual es de mayor capacidad que los otros cuatro. Esto hace necesario agregar un reductor de baja velocidad, uno de alta velocidad y una turbina más para mover mecánicamente al nuevo molino. Es una gran ventaja que el área de molinos tenga tanto espacio disponible para llevar a cabo esta ampliación. Hubo necesidad también de agregar un transportador entre molinos, así como correr alrededor de 18 metros más el transportador de salida de bagazo hacia calderas. Se observa que aun con los cambios realizados, existirá una gran flexibilidad para futuros cambios, incluyendo la opción mencionada anteriormente de agregar un tandem de molinos paralelo al existente. De nuevo se afirma que este espacio sin utilizar permite que haya excelente ventilación dentro de la planta, y provea mayor seguridad para los operarios en caso de emergencias, las cuales son comunes en estas fábricas.

El Diagrama de Flujo de Proceso Propuesto para el Ingenio X es el mismo, con la diferencia de la adición de un molino, o sea, 2 operaciones y 2 transportes más. Esto alarga el tiempo total (19.01 minutos), que se debe al fin de la ampliación, el cual es aumentar la producción. Este aumento en tiempo es divisible en el inicio de producción nada más, ya que después el proceso es continuo. Las distancias también aumentan, pero en sí el flujo del proceso no se ve afectado. Tampoco se agregaron demoras o almacenamientos temporales. Por lo tanto, con el uso de este diagrama se puede definir que no habrá problema con el flujo del proceso cuando se lleve a cabo la implementación del nuevo diseño de la distribución física de la planta.

Con el Diagrama de Circulación de Actividades sucede algo parecido. El único cambio que se da en él es que tanto el flujo de la caña de azúcar como el del jugo, se alargan, debido a la adición de un molino de extracción de mayor capacidad al principio del proceso. También se suma un transportador de bagazo entre molinos y uno para el traslado del jugo al depósito. Pero aun así, el recorrido es muy parecido al del actual y

se analiza que no habrá problema en la circulación de las actividades con esta ampliación. Este diagrama también muestra lo continuo que es el flujo de producción.

También hay que considerar el aspecto de la implementación de este diseño. Para eso es necesario tomar en cuenta todas las variables y optimizar la distribución de recursos para realizar efectivamente los cambios y tener la línea preparada para pruebas y luego el inicio de la zafra. Para esto es necesario el uso de herramientas como el Diagrama de Gantt. A continuación se presenta un diagrama general de las actividades necesarias para organizar la implementación de este nuevo diseño de planta para el ingenio X.

**Programación de Actividades para la Implementación del Nuevo Diseño de Distribución de Planta para el Ingenio X**

Actividad	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov
Fundir obra civil para molino # 5	█						
Recepción de equipo nuevo	█						
Instalación de tuberías y recursos mol # 5	█						
Final de zafra	█						
Desarmar molino # 1 (actual)		█					
Desarmar reductores y turbinas # 1		█					
Cambios en obra civil para molino nuevo		█	█				
Montaje molino # 5			█				
Montaje reductores y turbinas # 5			█	█			
Alineación transmisión y molino # 5					█	█	
Instalación de tuberías y recursos mol # 1			█				
Montaje molino # 1				█			
Montaje reductores y turbinas # 1				█	█		
Alineación transmisión y molino # 1					█	█	
Montaje transportador entre molinos 1 y 2						█	
Montaje transportador entre molinos 4 y 5						█	
Pruebas						█	█
Arranque de zafra siguiente							█

## **VI CONCLUSIONES**

## 6. Conclusiones

- El diseño propuesto puede ser o no el óptimo, sin embargo cumple con aumentar la capacidad productiva del ingenio X, al utilizar efectivamente el espacio y permitir un flujo continuo del proceso, que son en sí, los objetivos de este estudio.
- El criterio de redistribución de la maquinaria y equipo se basó en los límites de ciertas variables como el monto disponible a invertir y el tiempo que permite la época de no producción (mantenimiento).
- De no realizarse los diagramas señalados en este estudio y un estricto control sobre las variables y factores de producción que miden los mismos, se disminuye la posibilidad de mejorar la productividad del proceso, así como la oportunidad de detectar y evitar retrasos, demoras y fallas mecánicas.
- Debido a que el proceso de extracción de jugo de caña de azúcar es continuo y de un único producto, no contiene demoras, inspecciones, ni almacenajes temporales del diseño en sí, sino que los que se dan dependen totalmente de factores externos al diseño, como alimentación de caña de azúcar, falta de vapor, accidentes, etc.
- Ya que actualmente se utiliza aproximadamente 40% del espacio destinado para área de molinos, otras opciones de ampliación y distribución pudieron haber sido tomadas. Sin embargo, el diseño propuesto por este estudio es el que más cumple con los requisitos y limitaciones del ingenio X.
- El molino nuevo de mayor capacidad de extracción fue colocado al principio de la línea de producción, ya que en esa etapa del proceso es donde mayor y mejor cantidad de jugo es extraído, a diferencia del último molino, donde el bagazo de la caña ya contiene una menor cantidad de jugo y de menor calidad, ya que agua es agregada al mismo.
- Cuando se piensa en ampliar la capacidad productiva de cualquier proceso, es de gran ayuda utilizar lo planteado en este estudio, principalmente lo que respecta a principios básicos para diseñar la distribución, identificar el tipo de distribución que se tiene, y por último aplicar las fases que conlleva a realizar el nuevo diseño. Los diagramas utilizados también sirven como gran herramienta y fuente de información para el equipo asignado para efectuar los procedimientos del diseño de una nueva distribución de planta o de alguna redistribución.

## **VII RECOMENDACIONES**

## 7. Recomendaciones

- Evaluar a mediano o largo plazo si es rentable y si existe la demanda a un precio mundial del azúcar favorable para los productores para analizar la factibilidad de llevar a cabo el montaje de otro tandem de molinos de extracción y aumentar así la capacidad productiva del ingenio X en un 100% o más. Utilizar este estudio como un ejemplo de los pasos a seguir y factores a tomar en cuenta para realizar el diseño de la futura distribución de la planta.
- Analizar constantemente la distribución de la planta y los cambios que se hagan, retroalimentando al diseño original con el fin de optimizar el flujo de producción. Asimismo, documentar los costos incrementales por cambios realizados al diseño para que sean factores de análisis en futuras redistribuciones en la planta.
- Elaborar diseños de contingencia para poder tener flexibilidad en la implementación de la ampliación. Con esto se podrán afrontar los imprevistos que se dan al pasar de la teoría a la práctica. Al final de la implementación, es probable que se tenga un diseño mejorado del que inicialmente se tenía. Es importante tener esos márgenes de flexibilidad para evitar pérdidas grandes de dinero y tiempo.
- Involucrar a todo el personal del área de molinos, desde operarios hasta supervisores, para obtener información valiosa necesaria para elaborar el diseño de la distribución de la planta. La experiencia de este personal es indispensable para optimizar la solución a las mejoras en los diseños. Además se puede tomar como una retroalimentación de las necesidades de las características de seguridad de los mismos empleados en sus puestos de trabajo.
- Organizar debidamente la toma de los datos necesarios para realizar los diagramas requeridos para su análisis y futura aplicación al diseño final de la distribución. Con esto se conseguirán datos más reales y más útiles para el departamento de diseño. Utilizar esta toma de datos con los formatos presentados en los anexos de esta investigación.
- Realizar un diagrama de programación de actividades más detallado que el presentado en este estudio de las acciones a realizar, las fechas en que serán realizadas y además agregar la(s) persona(s) responsables de las distintas acciones. Utilizar programas en computadora ya establecidos para realizar estos diagramas, de manera que sea retroalimentado diariamente con los avances hechos a la fecha, teniendo así un buen control de la programación de la implementación del diseño de la nueva distribución de planta. Se recomienda también utilizar otros diagramas como el Pert y otras técnicas para la planificación e implementación.
- Se recomienda llevar a cabo el análisis económico-financiero de todos los proyectos de crecimiento a través de cualquiera de los métodos (Valor actual neto, punto de equilibrio, escenarios, período de recuperación, presupuestos, etc), con el fin de conocer el riesgo de todas las alternativas y prevenir problemas. Aquí es donde se debe proyectar el mercado mundial del azúcar y otras variables críticas, que afectarán al rendimiento sobre la inversión del proyecto de ampliación. Con esto se decidirá por la mejor opción o por no invertir en lo absoluto.

## **VIII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 8. Referencias Bibliográficas

Achaerandio, Luis (1995) **Iniciación a la práctica de la investigación** Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Everett, Adam y Ebert, Ronald (1991) **Administración de la producción y las operaciones** México: Editorial Prentice-Hall Hispanoamericana

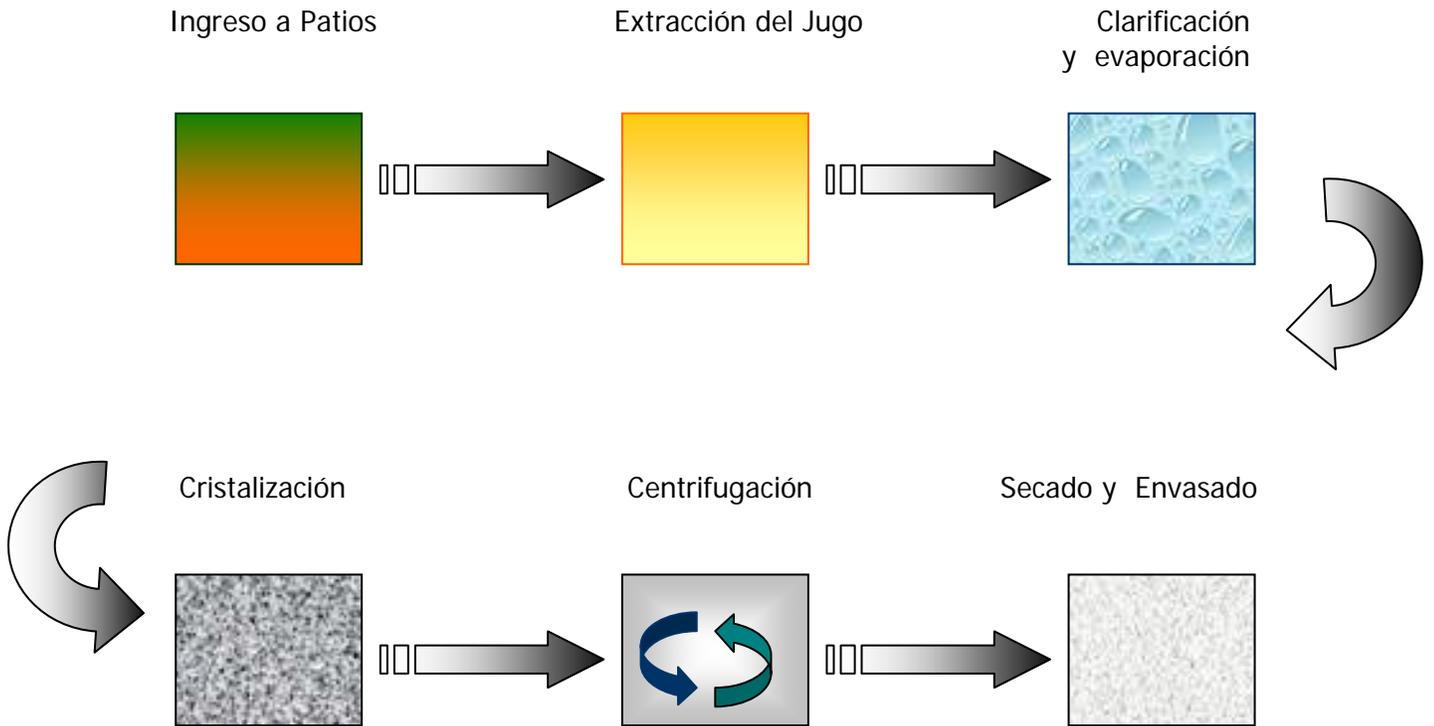
**Manual Azucarero Mexicano** (1992) México: Compañía Editora del Manual Azucarero, S.A. de C.V.

Maynard, H. y Capmany, José (1982) **Manual de Ingeniería de la Producción Industrial** España: Editorial Reverté, S.A.

Niebel, Benjamin (1990) **Ingeniería Industrial Métodos, Tiempos y Movimientos** México: Ediciones AlfaOmega, S.A. de C.V.

## **IX ANEXOS**

## Anexo A



## **Anexo B**

## Anexo C

## Anexo D

## Anexo E

## Anexo F

## Anexo G

## Anexo H

## Anexo I

## Anexo J

Programación del Procedimiento para Completar el Trabajo de Tesis													
Item	Actividad	S 1	S 2	S 3	S 4	S 5	S 6	S 7	S 8	S 9	S 10	S 11	S 12
1	Toma de datos (visitas Ingenio)	■	■	■									
2	Registro ordenado de datos		■	■	■								
3	Integración de datos				■	■							
4	Elaboración del diseño						■						
5	Entrevista con Ing. De Planta						■	■					
6	Correcciones al diseño							■					
7	Diseño final							■	■				
8	Análisis de resultados								■	■			
9	Confrontación de resultados									■	■		
10	Discusión de los resultados										■	■	
11	Conclusiones y recomendaciones											■	■
12	Revisión y entrega final												■

## Anexo K

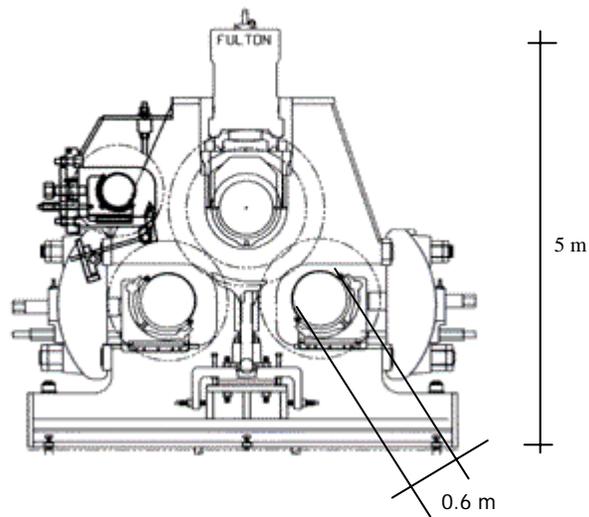
NECESIDADES ESPACIO-OPERACION							
Departamento	Tipo de Máquina	# necesitado	Superf. Ocupada	Superf. Acceso	Superf. Por máquina	Superf. Total	Altura de máquinas
Extracción de jugo	Molino Fulton	4	10x 12	3	10x15	600	5
Extracción de jugo	Reductor Lufkin	4	3x2	2	3x4	48	1.8
Extracción de jugo	Reductor Phila.	4	2x1.5	2	2x3.5	28	1.5

## Anexo L

### DATOS DE DISTRIBUCIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO

Nombre: Molino de Extracción  
Modelo: H-7856  
Fabricante: Fulton  
Altura : 5 m  
Peso: 2800 kg

---



## Anexo M

### COMPARACION ECONOMICA DE LAS OPCIONES DE SOLUCION

Item	<i>Opción 2 Tandems</i> Monto en Quetzales	<i>Opción 1 Molino al final</i> Monto en Quetzales	<i>Opción 1 Molino al principio</i> Monto en Quetzales
Molino 3 mazas	4 X 7,000,000 = 28,000,000	1 X 7,000,000 = 7,000,000	0
Molino 4 mazas	0	0	1 X 8,500,000 = 8,500,000
Obra civil	2,000,000	50,000	250,000
Mano de Obra (inst.)	1,000,000	75,000	125,000
Transportadores	5 X 50,000 = 250,000	1 X 25,000 = 25,000	1 X 25,000 = 25,000
Ampliación Patio	2,500,000	0	0
Ampliación Fábrica	10,000,000	0	0
Ampliación Bodega	500,000	0	0
Transporte	5 X 1,500,000 = 7,500,000	0	2 X 1,500,000 = 3,000,000
Lubricantes	12 X 10,000 = 120,000	3 X 10,000 = 30,000	3 X 10,000 = 30,000
Accesorios(tub)	250,000	10,000	35,000
Reductores	12 X 1,500,000 = 18,000,000	3 X 1,000,000 = 3,000,000	3 X 2,000,000 = 6,000,000
<b>TOTAL</b>	<b>70,120,00</b>	<b>10,190,000</b>	<b>17,940,000</b>

## Anexo N

### CHECKLIST DE PASOS Y FASES A SEGUIR PARA DISEÑAR UNA DISTRIBUCION DE PLANTA

<b>Item</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
Planear el total y después los detalles	<input type="checkbox"/>
Seguir los ciclos del desarrollo de la distribución	<input type="checkbox"/>
Planear el proceso y maquinaria de acuerdo a necesidades del material	<input type="checkbox"/>
Planear la distribución de acuerdo con el proceso y la maquinaria	<input type="checkbox"/>
Planear la edificación de acuerdo con la distribución	<input type="checkbox"/>
Comprobar la distribución	<input type="checkbox"/>
Planear con ayuda de otros y vender el diseño	<input type="checkbox"/>
Conseguir datos reales	<input type="checkbox"/>
Determinar la circulación	<input type="checkbox"/>
Hacer el diagrama de circulación	<input type="checkbox"/>
Visualizar el diseño	<input type="checkbox"/>