



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948**

**FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA QUIMICA**



TRABAJO DIPLOMA

Título: “Desarrollo del Archivo Tecnológico de la Planta Piloto “José Martí””.

Autor: Armando Villegas López

Tutores: Ing. Ramón Martínez Corona

Dr. Luis Gómez Rodríguez

Asesor: Dr. Raúl Fajardo García

Curso 2004-2005

“Año de la Alternativa Bolivariana Para Las Américas”

Resumen

El presente trabajo se encaminó a la realización de estudios tecnológicos y de ingeniería para la confección del Archivo Tecnológico de la Planta Piloto “José Martí”. Para esto primeramente se realizó una rigurosa revisión de la literatura, en los temas referentes a plantas pilotos y al proceso de obtención de azúcar, teniendo en cuenta tanto el proceso tradicional como las tendencias actuales en esta industria.

En la segunda parte del trabajo se llevó a cabo la identificación de la Planta Piloto y la comparación de la misma con plantas comerciales de su tipo, del territorio central del país, en cuanto a la forma en que está implementado el proceso azucarero en cada caso.

Posteriormente se realizó la caracterización tecnológica del proceso azucarero y en particular la caracterización del proceso de obtención de azúcar crudo, llegando a establecer el mapa de tratamientos para el proceso de obtención de crudo en general y en particular el modo en que se conduce el mismo en la Planta Piloto Azucarera.

Por último se confeccionó el archivo tecnológico de la Planta Piloto “José Martí”, para lo que se realizó una identificación del equipamiento a partir de dividir la planta en secciones, se elaboró entonces una biblioteca de símbolos para los equipos, se tomaron y computaron sus datos técnicos y se conformaron los esquemas representativos de la instalación.

Toda la información recopilada es de gran importancia para el desempeño de la Planta Piloto, tanto en su componente docente como investigativo, pues hasta ahora no se disponía de un documento que la contuviera.

Indice

Introducción -----	1
Capítulo I: Análisis de la Literatura -----	4
1.1- Aspectos Relativos a las Plantas Pilotos -----	4
1.1.1- <i>Definición y Funciones</i> -----	4
1.1.2- <i>Disposición y Tamaño</i> -----	6
1.1.3- <i>Modo de Operación</i> -----	7
1.1.4- <i>Diseño e Instrumentación</i> -----	7
1.1.5- <i>Equipos y Datos</i> -----	8
1.2- Aspectos Relativos al Proceso Tecnológico Azucarero -----	9
1.2.1- <i>El Azúcar de Caña</i> -----	12
1.2.2- <i>La Caña de Azúcar</i> -----	13
1.2.3- <i>El Proceso de Obtención de Azúcar de Caña</i> -----	15
1.2.3.1- <i>Procedimientos Clásicos</i> -----	16
1.2.3.2- <i>Tendencias Actuales en el Desarrollo del Proceso de Obtención de Azúcar Crudo</i> -----	28
Capítulo II: Identificación de la Planta Piloto -----	41
2.1- Antecedentes de la Planta Piloto Azucarera “José Martí” -----	41
2.2- Identificación de la Planta Piloto -----	42
2.2.1- <i>Localización y Ubicación</i> -----	42

2.2.2- Descripción y Distribución Espacial-----	42
2.3- Analogías y Diferencias de la Planta Piloto Azucarera y las Plantas Comerciales-----	48
2.3.1- Análisis de las Tecnologías Implementadas en las Plantas Comerciales de Azúcar del Territorio Central-----	49
2.3.2- Análisis Comparativo con la Planta Piloto Azucarera-----	51
Capítulo III: Análisis Tecnológico para la Planta Piloto Azucarera----	53
3.1- Caracterización General de la Obtención de Azúcar Comercial---	53
3.2- Caracterización General de la Obtención de Azúcar Crudo-----	55
3.2.1- Análisis y Síntesis del Proceso Químico Tecnológico-----	56
3.2.2- Análisis y Síntesis del Sistema Químico Tecnológico Integrado-----	73
Capítulo IV: Análisis de la Ingeniería de la Planta Piloto Azucarera---	79
4.1- Definición de las Secciones en la Planta Piloto-----	79
4.2- Identificación del Equipamiento-----	82
4.3- Especificaciones del Equipamiento-----	85
4.4- Aspectos Generales de las Principales Interconexiones-----	95
4.5- Aspectos Generales de la Instrumentación-----	97
4.6- Desarrollo de Esquemas Tecnológicos-----	98
4.6.1- Definición de Símbolos Básicos para el Equipamiento-----	98
4.6.2- Desarrollo de Esquemas por Secciones-----	102

<i>4.6.3- Conformación del Esquema Tecnológico General</i> -----	111
<i>4.6.4- Desarrollo de Esquemas Tecnológicos Especializados</i> -----	112
Conclusiones -----	113
Recomendaciones -----	115
Bibliografía -----	116
Anexos -----	

Introducción

En las condiciones actuales en las que se encuentra Cuba, se impone la necesidad de un mayor aprovechamiento del potencial científico-técnico y concentrar los esfuerzos en las direcciones principales del desarrollo económico, así como fortalecer los vínculos entre la docencia, la investigación y la producción.

Desde hace más de dos siglos la industria azucarera ha sido considerada la industria nacional por excelencia y la principal fuente de empleo de la nación cubana, pues ha constituido uno de los sectores primordiales del desarrollo sostenido de nuestra economía.

En nuestro país la caña de azúcar constituye la materia prima fundamental para la fabricación de azúcar crudo y refino, productos que tradicionalmente han sido y siguen siendo un alimento básico en la dieta de cada familia cubana.

El proceso de fabricación de azúcar a partir de caña, tiene como objetivo fundamental la adecuada separación de la sacarosa de los no azúcares presentes en el jugo producto de la molienda de la caña, con el fin de alcanzar un rendimiento elevado y un producto final de óptima calidad.

Como ya es conocido en los últimos tiempos la industria azucarera en nuestro país se ha visto grandemente afectada producto de varios factores, que van desde los problemas económicos hasta las afectaciones climatológicas y fundamentalmente la tendencia general a la disminución de los precios del azúcar en el mercado mundial, debido a la producción en otros países de derivados del producto y azúcares sintéticos que se ofertan a precios muy bajos, todo lo que ha provocado una muy difícil situación en este sector de nuestra economía.

Por todo ello desde hace algún tiempo se viene trabajando en una serie de soluciones para el problema. Se comenzó entonces a establecer la diversificación de la industria, buscando la posibilidad de elaborar en los ingenios otros productos de alto valor agregado. Se llevó a cabo y se continúa desarrollando, la tarea Alvaro Reinoso, que trajo la desaparición de muchas de las fábricas azucareras que existían en el país.

Con esta situación las fábricas de azúcar que conforman en la actualidad la industria azucarera cubana, están comprometidas con el aumento de su eficiencia técnica-económica, lo que implica un aumento del recobrado, del rendimiento industrial y la disminución del costo de producción.

Teniendo en cuenta la importancia que juegan en lo anteriormente mencionado la modernización de la tecnología azucarera y la ingeniería química aplicada dentro de este proceso, la Planta Piloto “José Martí” enclavada en los predios de la Universidad Central de Las Villas debe intensificar su papel como instrumento docente, científico y productivo, reorientando su actividad y como parte de ello se emprende este trabajo.

Situación Problémica.

En la Universidad Central de Las Villas se encuentra situada una Planta Piloto Azucarera con más de 40 años de existencia. Como Planta Piloto al fin, la instalación ha sido utilizada intermitentemente y específicamente durante la última década se ha visto afectada por las irregularidades propias del desajuste experimentado por nuestra economía. Por ello también, se ha visto sometida a diversas modificaciones, desarrolladas a la vez por diferentes especialistas, todo lo cual ha conducido a la actual inexistencia de una documentación técnica actualizada y confiable sobre los procesos que aquí se conducen y los medios técnicos que se utilizan. Dicha documentación es de suma importancia por las siguientes razones:

- Necesidad de disponer de una documentación técnica exacta y confiable que permita el desarrollo de las investigaciones (como Planta Piloto) con métodos modernos de planificación y organización del proceso científico, facilitando el empleo de la Dirección Integrada de Proyectos y del Análisis de los Sistemas de Procesos.
- Necesidad de disponer de una documentación técnica didácticamente adecuada para que la Planta cumpla con los propósitos docentes que puede desempeñar en el contexto del Centro de Educación Superior al que se asocia.
- Necesidad de disponer de una documentación técnica que facilite la rápida y eficaz familiarización con el proceso y las instalaciones para operadores y personal técnico responsabilizado en su funcionamiento.

La **Hipótesis** planteada para este Trabajo.

Mediante el empleo de las modernas técnicas de la Computación y las posibilidades reales que ofrece la Planta Piloto Azucarera “José Martí” de la UCLV, se puede elaborar una documentación técnica; rápida, exacta, confiable y eficaz que contribuya al desarrollo de los planes docente – investigativos concebidos para dicha planta.

En este sentido se plantea como **Objetivo General**:

Desarrollar un Levantamiento Tecnológico actualizado de la Planta Piloto “José Martí”

Para ello se establecen los siguientes **Objetivos Parciales**:

- 1ro. Identificar las particularidades del Proceso Tecnológico Azucarero implementado en la Planta Piloto con respecto a los elementos típicos establecidos para el mismo en las instalaciones existentes en Cuba para la producción comercial.
- 2do. Desarrollar un estudio conceptual del Sistema Químico Tecnológico establecido, definiendo toda la estructura tecnológica existente o disponible.
- 3ro. Elaborar la documentación técnica básica de la Instalación.

Capítulo I: Análisis de la Literatura

1.1-Aspectos Relativos a las Plantas Pilotos.

1.1.1-Definición y Funciones.

El punto de vista de la ingeniería química ejecuta generalmente la estabilidad de la aplicación limitada en términos de Planta Piloto. La Planta Piloto representa un incremento en los equipos de laboratorios, los que han sido utilizados durante la etapa de investigación de un proyecto o puede representar plantas comerciales idénticas, excepto en tamaño.

De los análisis se deja ver, que la Planta Piloto es una unidad de menor tamaño que la comercial y en ella son obtenidos datos cuantitativos para la construcción de una planta química procesando airoosamente.

Una Planta Piloto no es más que un estudio preliminar del desarrollo del proceso, obteniendo datos para el diseño de una Planta comercial.

La Planta Piloto es entonces una etapa preliminar en el desarrollo de un proceso que da suficiente material para permitir balances de materiales y energía moderados, con el objetivo de determinar las características del proceso y viabilizar el aprovechamiento más útil.

Las Plantas Pilotos son básicamente instalaciones de pequeñas dimensiones. Las funciones de estas son pertenecer a la esfera del desarrollo de los procesos tecnológicos (Brizuela, 1987), ya sea para mejorar una planta existente o para desarrollar un nuevo proceso.

Una Planta Piloto puede usarse con el fin de reproducir o replicar una Planta industrial que aún no ha sido construida, mediante ella se obtiene información para el diseño y pronóstico del comportamiento de la Planta industrial. De los resultados de las investigaciones que se realizan se obtiene:

- Rendimientos de productos terminados y características físico-químicas de los mismos con lo que se puede evaluar su calidad.
- Correlaciones de diseño.

- Efecto de condiciones de operación sobre el rendimiento y calidad de los productos terminados.
- Influencia del esquema tecnológico sobre los parámetros técnico -económicos del proceso.
- Influencia de otros factores de fundamental importancia.

En la Planta Piloto se obtienen los datos prácticos necesarios para realizar el diseño de la nueva planta industrial, en el cual puede incurrirse en una serie de errores como son:

- Introducir factores numéricos adimensionales en ecuaciones sin experimentación previa, utilizar valores de variables de operación tomados de la literatura, habiendo sido medidos por métodos diferentes en los que se emplearon, propiedades físico - químicas obtenidas en la literatura, así como ecuaciones empíricas válidas solo para procesos en equipos específicos. Cuando se utiliza una Planta Piloto rigurosamente muchos de estos errores pueden evitarse.

Otra de las aplicaciones de una Planta Piloto consiste en reproducir o replicar una instalación industrial existente. En este caso la planta es empleada para evaluar el efecto que provocarán, los cambios en las condiciones de operación del esquema tecnológico, que se producirán en el proceso.

La operación de toda Planta debe ser optimizada para lo cual es necesario ajustar o modificar las condiciones de operación a través de un conjunto de cambios experimentales, todo lo que sería muy costoso de realizar en la propia Planta industrial, pudiendo provocar reducción en la producción, incremento en el costo de esta, afectaciones en la calidad del producto y aún en la seguridad de la planta, por lo que se prefiere realizar las corridas en la Planta Piloto, antes de ejecutarlas a nivel industrial.

El uso de las Plantas Pilotos unido a la modelación matemática pueden proporcionar una disminución considerable en los costos de operación y construcción (Keen, 1993; Jerri Jone, 1993).

Aun después que una nueva planta industrial ha sido construida y se encuentra produciendo, la Planta Piloto correspondiente a esta, puede seguirse utilizando en el estudio del proceso y su modificación con vistas a la optimización.

Puede usarse además, para entrenar a los trabajadores en caso de procesos peligrosos y para resolver algunas situaciones imprevistas surgidas en el diseño y construcción de la nueva planta. (Brizuela, 1987).

Los estudios de Planta Piloto ahorran tiempo y dinero en varios proyectos comerciales debido a los datos de diseños que ellas prevén. (M. A. Ulowets, 1986).

La Planta Piloto es muy utilizada en la industria de procesos químicos como un instrumento para probar nuevas tecnologías, equipos o aplicación de sistemas específicos, tales pruebas ayudan a discernir sobre los requerimientos del proceso antes de proceder con una instalación comercial de alto costo.

El propósito, en fin de una Planta Piloto, es el de obtener datos para una Planta comercial, además dar una visión clara del funcionamiento de una futura empresa, si esta es descubierta demasiado tarde en el entrenamiento, los datos obtenidos no son apropiados para el desarrollo óptimo de diseño de la planta. En este caso puede ser necesario modificar el programa de planta o hacer investigaciones adicionales pero resultará más costoso el proceso.

1.1.2-Disposición y Tamaño.

Si la Planta Piloto es dada para permanecer instalada, debe estudiarse la disposición de los equipos cuidadosamente. Los equipos deben ser localizados de forma tal que den libre acceso al personal y a las instalaciones requeridas.

El tamaño y el propósito de la Planta Piloto, han sido muy discutidos y puede puntualizarse de cualquier modo, ya que el equipo seleccionado será capaz de dar la repuesta requerida y el tamaño requerido en la escala. Debe seleccionarse entonces el tamaño idóneo de una Planta Piloto por razones económicas, ya que el costo de operación y el capital invertido están en fusión del tamaño.

1.1.3-Modo de Operación.

Las investigaciones en el laboratorio son generalmente a batch, ahora cuando esté terminado el trabajo debe decidirse si la investigación en Planta Piloto debe ser continua, a batch o combinando ambos métodos. En un proyecto donde se pretenda

que grandes cantidades sean procesadas diariamente, se realiza una pequeña selección y el modo de operación usado es generalmente el continuo.

1.1.4-Diseño e Instrumentación.

El éxito de una unidad piloto en estos instantes es algo difícil y en muchos casos más difícil que en la unidad comercial. Los datos más ventajosos para este diseño están sujetos a variaciones cuando el trabajo de la Planta Piloto tiene que reducir los problemas, por esta razón el diseño de una Planta Piloto puede ser suficientemente flexible permitiendo amplias variaciones en las condiciones de operación y fácil arreglo de los equipos. Problema de fácil manejo sobre grandes escalas traen dificultades a escala pequeña.

La información que debe ser requerida de la Planta Piloto para permitir que el proceso de ingeniería complete el diseño de una Planta Comercial, depende del tipo de planta que se ha comenzado a considerar.

La Planta Piloto puede ser diseñada para mostrar los rasgos característicos del proceso. Las consideraciones técnicas usadas en el diseño de una Planta Piloto e interpretación de los resultados incluyen:

- Similitud física y química para la operación comercial expuesta.
- Transferencia de calor y masa.
- Modelo del proceso.

La base principal de todo trabajo en Planta Piloto es que los datos obtenidos en un modelo pequeño, pueden ser escalados a escala comercial.

Para instrumentar una Planta Piloto, los ingenieros en instrumentación juegan un papel importante en la obtención de datos e información sobre el proceso para un mejor diseño, facilitando la producción.

Como la Planta comercial no es más que una copia de la Planta Piloto, luego la situación del diseño por multiplicación es mejor, aunque un programa de Planta Piloto incluye análisis cuidadosos de la base química y principales procesos de ingeniería.

Los puntos de medición adecuados y la instrumentación describen si el lugar tomado para la planificación futura es importante o no. Por varias razones no todos los puntos de medición pueden ser equipados con instrumentos. A la hora de instrumentar una planta se debe hacer un examen de lo costeable y seguro de dicha instalación o sea, una prevención sobre la inversión. Informaciones considerables aparecieron en la literatura describiendo el uso de datos de sistema y computadoras en conjunto con la Planta Piloto. Desde luego, la Planta Piloto es construida de una información mínima y las referencias serán el producto de ese sistema.

1.1.5-Equipos y Datos.

La selección de los equipos requiere correr varias etapas en Planta Piloto y esto es complicado no solamente por la variedad de equipos en cada etapa, como es el caso de la unidad comercial, sino por la necesidad de escalar.

La respuesta más obvia es, por supuesto, el uso de equipos en Planta Piloto que sean indicados, excepto por tamaño, para ser utilizados a escala comercial. Las experiencias transcurridas, sean personal o de procedencia técnica, como las publicaciones y reportes, deben ser utilizadas para la selección, y los equipos serán los que han sido previamente escalados, si eso no es posible, entonces el equipo puede tener relaciones muy pequeñas con los equipos que se empleen en la Planta comercial y esto generaría problemas. Algunas veces la selección de equipos es parte del propósito general de una Planta Piloto y entonces los equipos deben ser más flexibles que si fueran para ser usados en un propósito específico.

Teniendo la ventaja de cada equipo, el diseño requerido puede ser reducido y el tiempo necesario para poner en operación la planta es considerablemente pequeño.

El tamaño de los equipos puede establecerse por el uso de balances de materiales y energía, como fue para los datos desarrollados en la investigación en Planta Piloto.

Con algunas nuevas aplicaciones, el tiempo para probar los objetivos descritos aproximadamente es lento y puede resultar costeable. Los equipos más pequeños son más rápidos, más fáciles, más baratos, etc. y resulta entonces una técnica útil y da cierta información. Ahora, existen sus limitaciones definidas las cuales no son

confiables para el escalamiento en grandes aplicaciones, luego en estos casos los equipos grandes dan mejores resultados aunque el proceso resulta menos económico.

El beneficio total de la Planta Piloto, solo depende de los datos obtenidos exhaustivamente. Esto es importante ya que decide verdaderamente la ventaja que requiera la información para permitir los cálculos. La información puede ser usada para el diseño y construcción de la Planta comercial. Se requiere hacer varias corridas para asegurar que los datos obtenidos son reproducibles, conjuntamente con la recolección de datos se puede hacer un análisis e interpretación de los mismos.

Una demora en el análisis de los datos puede traer desventajas económicas y baja calidad para el proceso. La información debe ser analizada inmediatamente de ser obtenida.

1.2-Aspectos Relativos al Proceso Tecnológico Azucarero.

A nivel internacional se conoce la existencia de dos tipos de productos que se emplean ampliamente para lograr el sabor dulce en la elaboración de alimentos; la Sacarosa (azúcar de origen natural) y los llamados Edulcorantes sintéticos. La Sacarosa a su vez es obtenida fundamentalmente a partir de dos materias primas naturales; la Remolacha Azucarera (fundamentalmente en Europa) y la Caña de Azúcar (en América y Asia). En nuestro país la producción del azúcar se conduce a partir de la Caña, siendo su procesamiento industrial uno de los procesos químico tecnológico más difundido a lo largo de todo el territorio, principalmente el destinado a obtener Azúcar Crudo.

En la figura 1.1 se distinguen estadios característicos del Proceso Tecnológico Azucarero, así como importantes cualidades que se asocian como consecuencia de las transformaciones a las que se somete la Materia Prima original para alcanzar entonces el producto final. De aquí se distinguen, además de la Caña de Azúcar y el Azúcar Crudo como cualidades extremas, otras que pueden disponer de importantes aplicaciones o considerarse fuente potencial para la obtención de los llamados derivados, las cuales no pueden excluirse de cualquier análisis al que es sometido dicho proceso tecnológico en su conjunto. Del mismo modo, en la figura 1.1 se pueden identificar cinco macroetapas del Proceso Azucarero Básico a través de las cuales podemos desarrollar la interpretación y descripción del mismo.

La articulación del Proceso Tecnológico Azucarero y las Industrias de sus Derivados conforman en conjunto la Industria Azucarera en Cuba. Este elemento no debe ser descartado en cualquier concepción con la que se maneje una Planta Piloto para dicho Proceso aún cuando en principio la misma esté orientada hacia la producción de azúcar como objetivo principal.

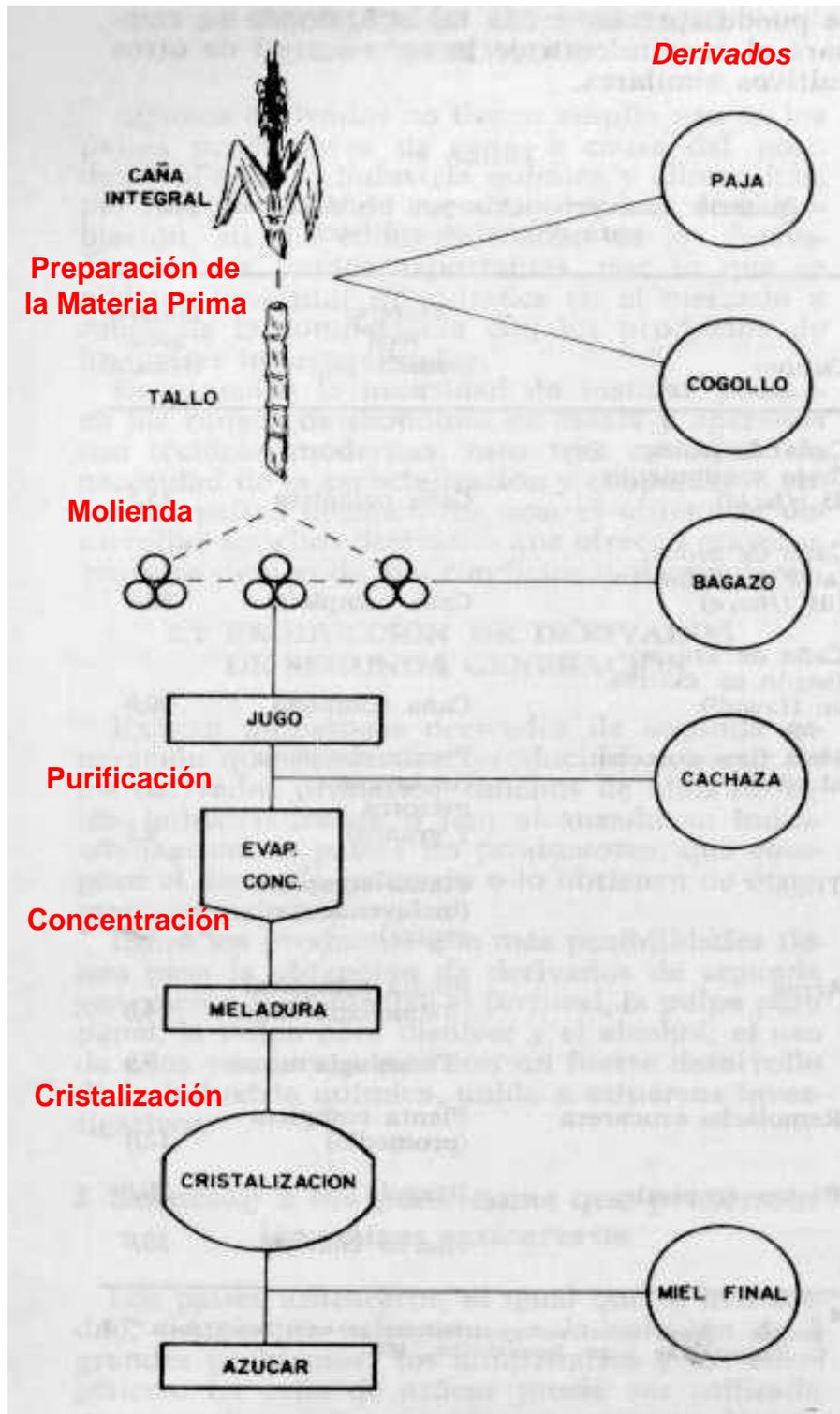


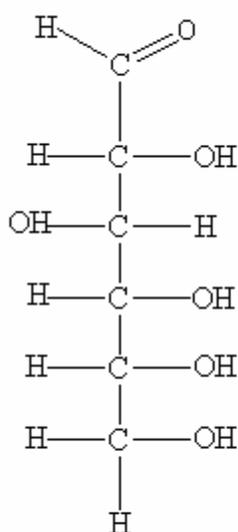
Figura 1.1: Componentes fundamentales de la Industria Azucarera

1.2.1-El Azúcar de Caña.

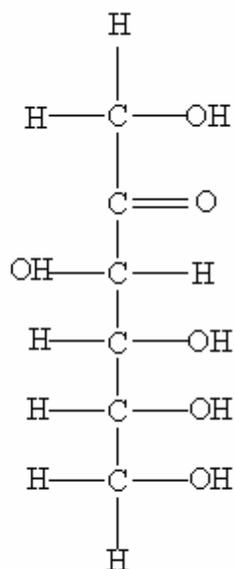
El azúcar o más bien, la sacarosa como se conoce comercialmente es un compuesto orgánico de la familia de los carbohidratos, en este caso de los polisacáridos y específicamente de los disacáridos. La sacarosa tiene como fórmula molecular $C_{12}H_{22}O_{11}$ y está formada por dos monosacáridos, una molécula de glucosa y una de fructuosa unidas mediante un enlace glucosídico, que une el C_1 de la glucosa con el C_2 de la fructosa. Lo anterior hace que la sacarosa sea un azúcar no reductor ya que ambos grupos carbonílicos están bloqueados. Sin embargo, si se hidroliza la sacarosa, acción que se logra con facilidad en presencia de ácidos o enzimas, la molécula se escinde en glucosa y fructuosa (ver figura 1.2).

Figura 1.2: Estructuras de la Sacarosa.

glucosa (aldohexosa)



fructuosa (cetohehexosa)



Una consecuencia de la ruptura del enlace glucosídico en la sacarosa (es decir el proceso de hidrólisis) es el cambio bastante notable en la rotación específica de la luz polarizada. La sacarosa es dextrógira, su poder rotatorio específico es de (+) $66,5^\circ$ pero la mezcla en partes iguales de glucosa y fructuosa es levógira (-) 20° . Hay pues una

inversión en el poder rotatorio cuya explicación está en el predominio del valor levógiro de la fructuosa (-) 92° sobre el valor dextrógiro de la glucosa de (+) 52,7°.

Este cambio de rotación específica de la luz polarizada desde el valor positivo de la sacarosa a la magnitud negativa del producto de su hidrólisis se le denomina “inversión de la sacarosa”. De ahí el nombre de “azúcar invertido” a los productos formados por hidrólisis de la sacarosa.

Físicamente la sacarosa es un sólido blanco cristalino de temperatura de fusión de 160 °C. Es muy soluble en agua, a la que comunica un sabor dulce, agradable al paladar. Esta propiedad edulcorante le da una gran utilización en la fabricación de dulces y caramelos, a los que se une además un alto poder como alimento energético.

El proceso de obtención del azúcar en nuestro país se lleva a cabo mediante procesos tecnológicos aplicados al jugo de la caña, fundamentalmente, pues la vía química para síntesis de este producto es complicada y antieconómica para ser utilizada como medio de obtención del producto comercial.

1.2.2-La Caña de Azúcar.

El cultivo de la caña de azúcar lo introdujeron en el continente americano los conquistadores españoles en 1493 durante el segundo viaje de Cristóbal Colón. Originalmente la gramínea fue plantada en la isla de Santo Domingo y poco después gracias a las condiciones agroclimáticas, se extendió rápidamente en las variadas geografías del Nuevo Mundo, particularmente en Cuba (1512), Puerto Rico (1515), México (1524) y Perú (1529). (GEPLACEA, 1991).

La caña de azúcar es una gramínea del género *Saccharum*, presenta aspecto de hierba, pero se diferencia de ésta por su alto contenido de azúcares. Se cultiva en zonas tropicales y subtropicales, influyendo en su rendimiento agrícola y de azúcares las condiciones climáticas, los suelos y las variedades que se siembran. Los rendimientos de la caña de azúcar comparados con otras plantas similares, son superiores en términos de materia seca y en contenido de carbohidratos. Aunque el rendimiento de la caña es muy variado es posible obtener 32 t/ha de materia seca y aproximadamente 22 t/ha de carbohidratos. (Noa. S. H, 1981).

La caña de azúcar es una materia prima con características relevantes que la sitúan como la planta comercial de mayores rendimientos en materia verde, energía y fibra, obtenidos en ciclos de tiempo menores que otras especies.

La caña de azúcar en condiciones de atenciones culturales medias puede producir 100 ton. de materia verde/ha.año las cuales expresadas en términos energéticos significan 13 t de petróleo o 75 000 Mcal de energía metabolizable por su gran capacidad de fijación de la energía a través de la fotosíntesis y su posibilidad de crecer en condiciones de clima y suelo en que otras plantas tienen dificultades. (Lara M. A, 1999).

Considerando como base el período de un año, la caña resulta una de las plantas más eficientes del mundo en la conversión de energía solar en energía almacenada, cuando se cosecha en lugares donde existen condiciones climáticas adecuadas para su crecimiento. Considerando la caña en términos de materia seca su valor calórico esta alrededor de 4000 Kcal./kg.

La caña de azúcar está compuesta básicamente por fibra vegetal (bagazo) y jugo (agua, azúcares y no azúcares), en la tabla 1.1 se indican sus componentes básicos.

La programación de cortes es una tarea técnica organizativa fundamental para optimizar el rendimiento azucarero. En el proceso de elaboración de la misma se requiere valorar integralmente la incidencia de un conjunto de factores agrotécnicos como *variedades, cepas, edades, suelos, e índice de madurez*, que determinan en un momento dado, un nivel de calidad de la materia prima.

**1.2.3- El
Proceso de
Obtención
de Azúcar de
Caña.**

Componente	Valores medios en %
Azúcares totales	10.0 a 15.0
Fibra en caña	11.0 a 16.0
Agua	70.0 a 75.0
Sales ¹	≈ 0.5
Cuerpos nitrogenados	≈ 0.4
Ceras, grasas y ácidos.	≈ 0.6

Se distinguen

Tabla 1.1 Composición de la caña de azúcar.

¹ Incluye las sales inorgánicas (cenizas) y las orgánicas.

tres tipos fundamentales de Azúcar de Caña, según el proceso empleado; el Azúcar Crudo, el Azúcar Blanco Directo y el Azúcar Blanco Refino. Las dos primeras se logran a partir de la Caña por procedimientos aproximadamente semejantes, sin embargo convencionalmente la última se produce por tratamientos sobre la primera. La figura 1.3 muestra de forma general la secuencia del Proceso Tecnológico de obtención de Azúcar Comercial. En la misma se precisan las cinco macroetapas identificadas como más importantes en la literatura convencional y las corrientes de materiales más sobresalientes.

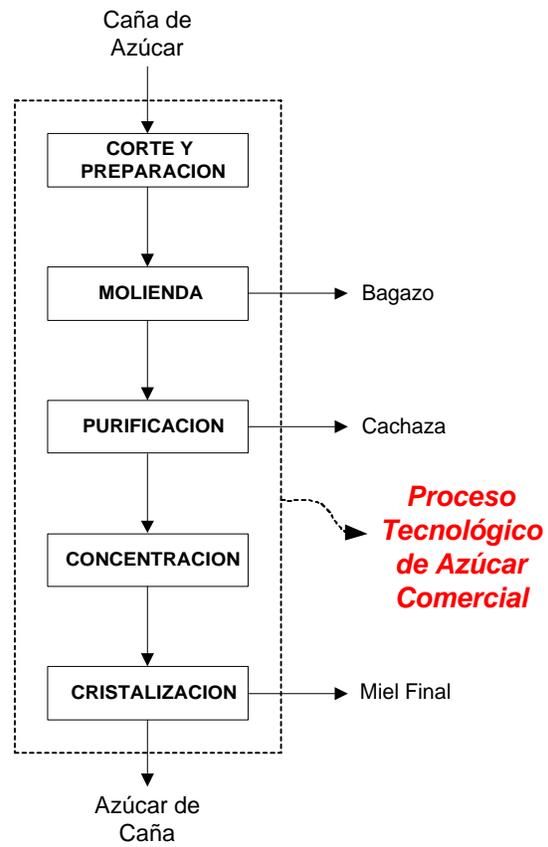


Figura 1.3: Secuencia general del Proceso Tecnológico Azucarero.

1.2.3.1- Procedimientos Clásicos.

➤ Aspectos generales de la etapa de Preparación de la Caña.

La caña de azúcar, como materia prima de origen natural, tiene que ser cultivada y cosechada de forma intensiva para garantizar un volumen de biomasa capaz de sostener una alimentación ininterrumpida durante el período de zafra. La agrotecnia cañera es factor fundamental para lograr una materia prima abundante y con calidad.

El corte de la caña, manual o mecanizado, constituye el punto de partida en la secuencia de transformaciones para obtener el azúcar contenido en la misma. Al no todos los componentes del vegetal disponer de igual contenido de sacarosa, tratamientos de beneficio deben ser ejecutados con el fin de incorporar al proceso fabril (Ingenio Azucarero) solo las partes útiles. Hojas, cogollo, raíces, tierra y fauna acompañante deben ser eliminados mediante diversas acciones.

En los llamados Centros de Acopio se dispone de medios capaces de lograr tal beneficio. El corte mecanizado también facilita la separación de macro contaminantes. El subproducto fundamental que se genera de estos tratamientos es la Paja de Caña.

Entonces la caña semitratada es generalmente transportada en camiones y carros de ferrocarril hasta el basculador de la Fábrica de Azúcar, la que cuenta con varias esteras trasportadoras de caña.

Aquí se produce la segunda fase de la preparación de la caña (sin y con extracción de jugo), que tiene como objetivo fundamental romper la corteza exterior de la caña y llegar hasta las celdas donde se encuentra contenida la sacarosa para facilitar su extracción.

Para esto la caña es conducida por las esteras y sometida a un proceso de trituración por medio de la acción de dos juegos de cuchillas picadoras, que golpean ininterrumpidamente sobre el colchón en la estera de caña. El diseño de estas cuchillas es muy versátil, aunque los más populares en Cuba por sus resultados son los del tipo diente de sierra, el número de machetes dependerá del ancho de la estera.

Estas cuchillas picadoras de caña son accionadas por motores o turbinas que le imprimen velocidades que van desde las 600 hasta las 900 r.p.m. y se sitúan de forma tal que la distancia libre entre la punta de la cuchilla y la estera sea en la primera alrededor de 4 plg (100 mm) y la segunda hasta un mínimo de 1.5 plg (32 mm).

Posteriormente el colchón de caña así preparada se alimenta a una desmenuzadora o molino desmenuzador, culminando así el proceso de preparación, en otras latitudes se utiliza con muy buenos resultados desfibradoras de martillos antes del molino desmenuzador.

El grado de preparación se mide por % de celdas rotas, de la masa fibrosa al salir de los equipos de preparación; se considera ya una buena preparación cuando se alcanza un 85 % de celdas rotas, y un óptimo cuando oscila en el rango de 90 a 92 % .

➤ ***Aspectos generales de la etapa de Molienda de la Caña.***

En los molinos se realiza la molienda de la caña, cada molino tiene tres masas: cañera, bagacera, y superior. A medida que se va moliendo, el jugo de los últimos se añade a

los primeros y toda el agua a consumir se vierte en los últimos molinos, constituyendo el agua de imbibición, esta debe ser añadida a una temperatura de 70-80 °C para impedir el desarrollo de algunos tipos de microorganismos así como una mayor destrucción de los azúcares (Maria Teresa, 1985). Un porciento del Bagazo producido es llevado a los hornos por el conductor de bagazo donde es quemado para producir vapor en las calderas.

Al jugo extraído en los molinos se le separa mecánicamente el bagacillo en el colador rotatorio o parabólico, situado a continuación del tren de molinos comenzando así la etapa de fabricación de azúcar. Este colado constituye la primera operación del proceso de purificación. Esto es necesario puesto que el jugo extraído en el molino es acompañado de determinadas cantidades de bagacillo producto a la preparación de la caña. La cantidad de bagacillo debe ser tal que la eficiencia en su remoción permita que el jugo crudo en la fábrica tenga como máximo 5 g/L de bagacillo en suspensión. El jugo mezclado obtenido debe tener una pureza de 80 %, su brix debe ser de 15.5, un pH = 5.53, y un contenido de tierra de 5 %. El jugo obtenido en los molinos es incorporado al proceso (Eloy López, 1998).

Los parámetros óptimos de esta etapa son (Morrell, 1985):

1. Temperatura del agua de imbibición ----- 70 – 80 °C
2. Cantidad de agua de imbibición ----- 25 – 30 % masa de caña
3. Humedad del bagazo a la salida de los molinos ----- 50 %
4. Pol en bagazo a la salida de los molinos ----- 2 – 3 %
5. Extracción del jugo mezclado ----- 95 %

➤ **Aspectos generales de la etapa de Purificación de Jugos.**

La purificación es un conjunto de operaciones lógicas que permite eliminar de los jugos la mayor cantidad de impurezas disueltas y en suspensión. De modo general está compuesta por etapas de calentamiento, alcalización, sedimentación y filtración. (Morrell, 1985).

Se definen como objetivos primordiales de la purificación los siguientes:

- ◆ Obtener un jugo clarificado de alta calidad.
- ◆ Lograr la separación de la mayor cantidad de impurezas disueltas en el jugo.
- ◆ Que la operación se realice en el menor tiempo posible (Roldán, 1996).

Dentro de las operaciones que conforman la etapa de purificación de jugos de caña, ya referidas, podemos describir:

Remoción primaria.

Tiene como objetivo principal separar parte del bagacillo que se encuentra en suspensión en el jugo, así como eliminar grandes cantidades de tierra, arena y otros sólidos insolubles. Esta operación adquiere gran importancia en la fábrica, pues evita la introducción en el proceso de considerables cantidades de materias extrañas. (Honing, 1987; Hugot, 1980; Gómez, 1982).

Para esta operación pueden utilizarse los siguientes equipos:

- a) Decantadores simples
- b) Coladores :
 - Parabólicos
 - Horizontales y fijos
 - Rotatorios
 - Vibratorios
- c) Hidrociclones.

Siendo los coladores del tipo parabólico y rotatorio los más difundidos en la industria azucarera cubana actual. Esta etapa debe garantizar que el jugo contenga como máximo 5 g/L de bagacillo en suspensión. (Peláez, 1985).

Calentamiento del jugo.

El calentamiento del jugo tiene como objetivos principales lograr que el jugo alcance una temperatura óptima de 102 – 106 °C, eliminar microorganismos presentes en este, además de acelerar la reacción de CaO con los compuestos activos del guarapo y por

lo tanto obtener en el menor tiempo posible partículas de tamaño y densidad suficientes para ser decantadas en la clarificación, bajo la acción de la fuerza de gravedad. (Acosta, 1994).

El calentamiento de los jugos acelera la formación de partículas de tamaño y densidad mayores debido a que incrementa la velocidad de movimiento. También disminuye la viscosidad y la densidad del jugo. (Honing, 1987; Spencer, 1969).

En esta etapa tienen lugar transformaciones físicas, debido al calentamiento del jugo para facilitar la clarificación, además el vapor de agua condensa al ceder su calor al jugo. (Morrell, 1985).

Posteriormente al calentamiento, el jugo es colectado en el tanque flash, su operación es a presión atmosférica. Aquí el jugo no podrá mantener una temperatura superior a la de su punto de ebullición a esa presión, entonces hierve. Con esta operación de flasheo se persiguen los siguientes objetivos:

- ◆ Homogenizar la temperatura del jugo a la entrada del clarificador.
- ◆ Eliminar gases y aires incondensables que puedan revolver el clarificador.
- ◆ Regular la velocidad de entrada del jugo al clarificador.
- ◆ Evaporar cierta cantidad de agua sin tener que ceder su calor.

Alcalización.

El objetivo de esta operación es neutralizar los ácidos presentes en el jugo, utilizando como producto el CaO, reconocido universalmente como el defecador básico. Mediante la adición de cal al jugo se obtiene un hidrato en suspensión, el cual al decantar arrastra consigo una gran cantidad de sólidos insolubles. Debe darse una importancia básica a la necesidad de incrementar el pH del jugo hasta cerca de la neutralidad, ya que a partir de este, la inversión de la sacarosa resulta insignificante. (Morrell, 1985).

La cal, además, ayuda a la separación de algunos constituyentes del jugo, a la separación de materiales extraños y la mayor separación posible de las sustancias que sean perjudiciales en la cristalización del azúcar. (Díaz, 1999).

Entre los cambios fundamentales que ocurren durante la clarificación del jugo podemos destacar: el cambio de pH causado por la cal, la coagulación de algunos coloides y la formación de compuestos solubles e insolubles de calcio. (Honing, 1987).

Dentro de los objetivos que se persiguen en esta operación encontramos:

- ◆ Neutralizar la acidez del jugo.
- ◆ Lograr que se produzca la reacción del ácido fosfórico – cal.
- ◆ Lograr que tengan lugar las reacciones entre la cal y otros componentes del jugo que ayudarán a la posterior sedimentación.

Se demuestra que, de la calidad del jugo mezclado, la cantidad de cal utilizada y el método empleado para mezclarla con el guarapo dependerá la efectividad del proceso de alcalización, por lo que se hace necesario el estudio de diferentes alternativas.

Dentro de estos procedimientos de defecación más comunes están:

- Alcalización en frío
- Alcalización en caliente
- Alcalización fraccionada
- Alcalización fraccionada y doble calentamiento
- Clarificación compuesta

A continuación detallamos la alcalización en caliente, procedimiento más extendido:

El jugo crudo se calienta a 100 – 102 °C, se le añade entonces lechada de cal de 3-5 °Bé, hasta un pH de 7.6 – 8.0, dejándose luego asentar. Se estima que el consumo de cal disminuye de un 15 – 20 % con respecto a la alcalización en frío, al ser más efectivas las reacciones producto del incremento de la temperatura, hay una menor formación de incrustaciones y es mayor la eliminación de coloides. Su principal desventaja es la posibilidad que existe de inversión y destrucción de sacarosa al ser calentado el jugo en medio ácido. (Honing, 1987).

Los parámetros óptimos de operación de ésta etapa son (Morrell, 1985):

1. Adición de lechada de cal al jugo mezclado ----- 400 – 600 g de CaO / TC
2. Densidad de la lechada de cal ----- 3 – 5 ° Bé
3. El pH del jugo alcalizado ----- 7.4 – 7.6

Clarificación.

La clarificación es una operación de sedimentación cuyo interés principal es lograr un jugo claro para ser enviado al proceso. Puede considerarse como una etapa fundamental en el proceso de purificación. Esta es una operación unitaria que consiste en separar una suspensión en sus componentes. Las partículas sólidas descienden y se acumulan en el fondo, obteniéndose por la parte superior el jugo claro. (Gómez, 1982).

Del tanque flash el jugo pasa al clarificador, donde se completa la reacción química que había comenzado con la alcalización y se produce la separación de los sólidos coagulados por sedimentación, de forma que se obtenga un jugo claro, brillante y transparente. En este se resumen todas las operaciones de calentamiento y alcalización, con la separación en dos corrientes: la de los lodos que son reprocesados y tratados en la estación de filtros y la de jugo clarificado que se envía hacia la estación evaporadora para su concentración. (Spencer, 1969).

Dentro de los objetivos de la clarificación tenemos los siguientes:

- a) Obtener un volumen mínimo de cachaza, lo más concentrado posible.
- b) Obtener un jugo claro en suspensión, pH neutro y sin caída de pureza.
- c) Obtener la máxima precipitación, coagulación, velocidad de sedimentación, eliminación de los coloides y no azúcares.
- d) Concluir la operación de forma que las pérdidas de sacarosa y los costos de producción sean mínimos.

En el clarificador ocurren transformaciones físicas y químicas: Físicas, ya que ocurre una separación de los sólidos coagulados (lodos) del jugo alcalizado, obteniendo ese jugo clarificado y químicas porque se consolida la reacción del ácido fosfórico del jugo

con el óxido de calcio para formar el hidróxido de calcio que a través de la coagulación-floculación precipita hacia el fondo.

Filtración.

La cachaza obtenida en los clarificadores contiene jugo que es necesario recuperar mediante la filtración. Esta es una operación unitaria de suma importancia ya que permite la separación sólido líquido de un modo sencillo. El lodo o cachaza que sale del clarificador se acondiciona con vistas de recuperar el mayor porcentaje de estos y obtener una cachaza con gran agotamiento. (Gómez, 1999).

Esta va a un tanque donde se le adiciona bagacillo como medio filtrante y posteriormente pasa a la filtración. Los equipos empleados para esta operación son filtros rotatorios al vacío, que tienen como objetivo agotar el lodo para recuperar el jugo que todavía le queda. En estos la cachaza pasa a través del medio filtrante por diferencia de presión, obteniéndose un jugo claro, mientras que queda retenida la torta, compuesta por los precipitados, bagacillo y sales insolubles. (Hugot, 1980).

El jugo filtrado obtenido es recirculado al tanque de jugo mezclado, debido a la cantidad de sólidos insolubles que presenta, dado esto por los altos volúmenes de materias extrañas y mecanización de las cosechas. (Peláez, 1985).

Con la operación de filtración concluimos con la etapa de purificación y se pasa entonces a concentrar el jugo purificado.

➤ **Aspectos generales de la etapa de Concentración del Jugo.**

En esta operación del proceso se lleva a cabo la evaporación del 73 al 75 % del agua presente en Evaporadores a simple y múltiple efecto. Lográndose con este proceso concentrar el jugo desde 15.5 hasta 65 °Brix.

Se consideran equipos a simple efecto a los vapor cell y pre evaporadores; como múltiple efecto a los dobles, triples, cuádruples y quíntuples efectos, los cuales son capaces de aprovechar varias veces la misma cantidad de calor. La forma diseño y arreglos de los esquemas de evaporación, aunque dependen de la capacidad del ingenio, presiones de operación y diseño de los equipos, responden siempre al

principio de obtener la mayor evaporación posible con la menor cantidad de equipos; buscando además el más bajo consumo de vapor para mantener la meladura en el rango de 60 a 65 °Brix.

De la correcta operación de la estación de evaporación dependerá el que el ingenio pueda asumir la molienda horaria, pues los tachos no podrán procesar la meladura floja correspondiente a ella; también determinará la máxima recolección de los condensados para la reposición necesaria del agua de alimentar las calderas y para usos tecnológicos.

➤ ***Aspectos generales de la etapa de Cristalización del Azúcar.***

La operación conocida en el ingenio como cocción del azúcar es esencialmente el proceso de cristalización, que se efectúa en evaporadores al vacío de efecto sencillo, diseñados para la manipulación de materiales viscosos y llamados tachos de vacío. El tacho de vacío, por tanto, viene a ser un cristizador evaporativo, esto es, un cristizador en que el grado de súper saturación o sobresaturación se controla y mantiene por medio de la evaporación del disolvente, en tanto que el material disuelto cristaliza. (Alewjin, W. F, 1959).

Los tachos pueden ser de dos tipos: de calandria, de serpentines o de ambos (siendo en nuestro caso del primero). Estos constan de un vaso cilíndrico vertical de hierro fundido con fondo cónico para facilitar la salida de la masa cocida o templada estando cerrada en su parte inferior por una válvula denominada de descarga. La masa cocida no es más que una masa concentrada o magma de cristales de azúcar y miel que se produce en el tacho. En estos se concentra la meladura por evaporación hasta un nivel de sobresaturación que permita la obtención del grano de azúcar de diferentes formas, siguiendo la cocción de distintas templeas hasta llegar a un tamaño conveniente.

Cuando el jugo se concentra, su viscosidad aumenta rápidamente con el brix y, al llegar a los 77-80 Brix comienzan a aparecer cristales modificándose la naturaleza del material al pasar progresivamente del estado líquido a una condición en parte sólida y en parte líquida, el material pierde su fluidez progresivamente, de manera que es

necesario emplear métodos diferentes para manejarlo, en éstas condiciones el material recibe el nombre de “masa cocida”.

La cristalización se realiza en el cristizador por la disminución de solubilidad de la sacarosa a temperaturas más bajas. De este modo se logra la cristalización por enfriamiento, a diferencia de la concentración por evaporación bajo condiciones sustancialmente isotérmicas en el tacho de vacío. El interés se concentró al principio en facilitar tiempo para la continuación de la cristalización. Sin embargo, es la reducción de la temperatura, más bien que el tiempo, lo importante. Prueba de ello es que los cristizadores con enfriamiento de agua se han generalizado en los últimos años, con vista a lograr la reducción de la temperatura necesaria, en tiempo más corto que el que es posible por el simple enfriamiento con aire natural. (Jenkins G.H, 1971).

La ventaja de revolver el material en un cristizador radica en que la masa cocida se mantiene en continuo movimiento de manera que los cristales de azúcar se desplazan libremente en el licor madre y está continuamente en contacto con mieles sobresaturadas. La sacarosa contenida en las mieles, por tanto, puede cristalizar sobre cristales ya existentes, en lugar de formar nuevos núcleos. De ahí que la acción de revolver garantice un grado más uniforme aún de sobresaturación, así como una temperatura más uniforme.

En la práctica, es conveniente para que los cristales se formen en el licor madre, que exista una sobresaturación considerable, la cual disminuye en la proporción en que los cristales se forman y crecen en el licor madre.

En dicha operación se distinguen tres zonas en la fase sobresaturada:

1. La zona meta estable: Próxima a la saturación; los cristales existentes crecen, pero no se pueden formar nuevos.
2. Zona intermedia: En esta pueden formarse nuevos cristales, pero solo en presencia de los existentes.
3. Zona lábil: En esta los cristales existentes crecen y pueden formarse nuevos aun en ausencia de cristales. (Hugot, 1980).

En las soluciones de sacarosa, a diferencia de algunos otros solutos, la amplitud de las diferentes zonas es suficiente para permitir el uso de las distintas zonas en el proceso de cristalización. Así, con un control apropiado, suele formarse el número necesario de núcleos de cristal y, con el mantenimiento de la solución en la zona meta estable por el resto de la carga, tales cristales pueden hacerse engordar sin formación de cristales adicionales. Por este medio se puede aplicar un buen control en lo que respecta al tamaño y la uniformidad de los cristales. (Jenkins, G.H, 1971).

La velocidad de cristalización en las masas cocidas depende de:

- a) La viscosidad.
- b) Temperatura (influye en la viscosidad) .
- c) La sobresaturación.
- d) La pureza.

El proceso de cocción del azúcar se puede considerar solamente en términos del trabajo total de los tachos y las centrifugas. (Jenkins, 1971).

La sacarosa se cristaliza de la meladura en tres etapas:

La masa cocida primera o A consiste esencialmente en desarrollar los cristales de un pie de semilla con meladura procedente de los efectos. Esta meladura se concentra, en definitiva, al máximo contenido de cristal que se puede lograr, para formar la masa cocida primera o A. Esta templa se descarga en un mezclador, para pasar después a las centrifugas, donde el licor madre se separa, en tanto que el azúcar sale como azúcar crudo acabado que se designa como azúcar A, el licor madre separado viene a constituir la miel primera o A. Esta forma la base de la masa cocida de segunda o B a partir de un pie de semilla, la cual pasa, en su oportunidad, a las centrifugas, para producir, a su vez, una nueva porción de azúcar crudo acabado y la miel segunda o B, que forma la base para la masa cocida tercera o C. Esta es la masa cocida final o de agotamiento, y al descargarse del tacho, pasa a un cristalizador para completar la cristalización hasta donde sea posible, por enfriamiento. (Jenkins, 1971).

En el cristalizador, lo mismo que en tacho, los granos siguen absorbiendo (cristalizando) la sacarosa disuelta y sobresaturada disponible en la miel y lo hace de una manera

muy económica para la fábrica ya que el costo de revolver las paletas del cristizador es mucho menor que el costo de vapor consumido en el tacho. Al respecto debe pensarse que una economía en la casa de calderas equivale a un ahorro en el consumo de bagazo como combustible en los hornos, el cual puede utilizarse como materia prima en otras industrias o ser quemado cuando fuese necesario.

En la misma proporción en que los granos de la masa ganan en peso y tamaño, la miel se empobrece o agota, es decir disminuye su concentración y pureza. Al disminuir la cantidad de sacarosa sobresaturada disminuiría también el grado de sobresaturación de la miel, sino fuera por el hecho de que la masa cocida va al mismo tiempo enfriándose y haciéndose menor la cantidad de sacarosa que el agua de la miel puede mantener en solución, y nuevas cantidades de sacarosa (de la miel) pasan al estado de sobresaturación y se ponen en condiciones de ser absorbidas (cristalizadas) por el grano existente. Este enfriamiento puede ser natural o forzado, el enfriamiento natural es debido a la interacción con el aire atmosférico, y el forzado se realiza a través de tuberías de agua que pasan, en ciertos cristizadores por dentro del tubo central que sirve de eje al agitador. (Manual de información técnica, 1990).

Es necesario aclarar que debido a que siempre hay que dejar sin evaporar una pequeña cantidad de agua, a fin de que las impurezas se mantengan disueltas formando la miel es imposible cristalizar de una vez toda la sacarosa disuelta en la miel, por tal razón en la miel queda disuelta una importante cantidad de sacarosa y con ella se hace una segunda masa cocida, esta operación se repite hasta que la cantidad de impurezas sea tanta que imposibilite la cristalización de la sacarosa que queda disuelta. Estructurándose así los sistemas de masas cocidas.

Existen diferentes sistemas de masas cocidas siendo los más frecuentemente utilizados en Cuba, el sistema clásico de tres masas cocidas y el de doble semilla.

Por último se pasa al área de centrifugación, aquí es fundamental controlar el agua de lavado, esta operación tiene como objetivo separar debido a la fuerza centrífuga los cristales de la miel. El azúcar comercial la forma el azúcar de primera, obtenida de la masa cocida A y el azúcar de segunda es obtenida de la masa cocida B, ambas se unen y mediante elevadores y conductores se traslada hasta el almacén. Las mieles

obtenidas se bombean hacia los tachos para ser utilizados en el proceso. La miel final se almacena en tanques. En esta área se debe controlar el tiempo de centrifugación y la cantidad de agua necesaria para cada templa (el tiempo de centrifugación y la cantidad de agua deben controlarse de acuerdo a la calidad de la masa), pues cuando el agua es excesiva se produce un lavado innecesario del azúcar con la consiguiente pérdida del rendimiento de la misma y se produce además un incremento en la pureza de la miel, cuando la cantidad de agua no es suficiente no ocurre un lavado adecuado lo que provoca el aumento del color y la disminución de su pol.

Esta azúcar obtenida en las centrífugas es sometida a un proceso de secado y es enviada al piso de azúcar, donde puede ser envasada para su almacenamiento o simplemente guardada a granel en la torva de azúcar.

1.2.3.2-Tendencias Actuales en el Desarrollo del Proceso de Obtención de Azúcar Crudo.

➤ *Compactación del proceso tecnológico.*

Reducción del tiempo de residencia de los jugos.

El proceso tradicional de producción de azúcar crudo esta diseñado para trabajar con grandes volúmenes de materiales. Esto trae como consecuencias grandes pérdidas de sacarosa debido a reacciones químicas y microbiológicas, sobre todo en los jugos. También los altos volúmenes de materiales en proceso en la casa de calderas le restan operatividad a la fábrica de azúcar y se incrementan el consumo energético y los gastos por mantenimiento. Si se logra la racionalización de los equipos y depósitos y se sustituyen equipos grandes por otros más pequeños el proceso de fabricación de azúcar crudo se torna eficiente y alcanza alta calidad. Se puede afirmar, según las investigaciones realizadas, que cien toneladas de material en proceso por cada mil arrobos de caña molida es suficiente para la producción de azúcar crudo, independientemente de la capacidad del ingenio.

De esta manera nació en la provincia de Villa Clara la idea de implantar la **compactación** del proceso de fabricación de azúcar crudo para alcanzar más eficiencia y calidad. Esta es una tecnología para la producción de azúcar crudo con volúmenes

mínimos de materiales durante el proceso. Para lograr esta tecnología se han combinado creativamente resultados tecnológicos destacados, medidas de disciplina tecnológica y resultados alcanzados dentro y fuera de Cuba. (Editorial Revista Centro Azúcar, 2000).

Se introducen nuevos equipos y procedimientos en las distintas áreas del Central, los que de forma resumida son:

- Área de molinos: Colador rotatorio y bombas intupibles.
- Clarificadores: Clarificador de bajo tiempo de residencia (BTR), preparación adecuada de la lechada de cal (Planta de Beneficio) y adición de floculante.
- Tachos y cristalizadores: Sonda intermedia, saturoscópio, calentador de semilla, calentamiento de mieles y enfriamiento de las masas cocidas de tercera.
- Área de filtros: Instalación de premezclador de cachaza-bagacillo. Esto permite mejorar la mezcla y operar con un mínimo de cachaza líquida. Menos pérdidas de azúcar por retención de cachaza.
- Tecnología de elaboración de masas comerciales: Instalación de un equipo de cristalizar confiable. Control del tamaño y cantidad de cristales. Sistema de acondicionamiento del magma, basado en tratamiento con vapor a la masa cristalina antes de entrar en el tacho (calentador de semilla).
- Tecnología de enfriamiento de las masas cocidas de tercera: se aplica una modificación a los cristalizadores convencionales tipo Blanchard para lograr los efectos de una agitación violenta por incremento de la velocidad en el eje del equipo, facilita la transferencia de masa y acelera el agotamiento del licor madre. Se realiza en operación continua. Se reduce el proceso de agotamiento convencional de 30 a 3 horas. Se reduce el volumen de materiales y se libera espacio en la industria.

Todas esas técnicas, equipos y procedimientos están pensados para disminuir hasta su mínima expresión el tiempo de retención de la materia prima, todo concebido como una operación continua, con el menor tiempo posible de duración. Es una tecnología exigente en cuanto a su operación y sus resultados tienen una marcada incidencia en la

disminución de las pérdidas de azúcar en el proceso y en la calidad del producto final. La introducción de este conjunto de innovaciones tecnológicas posibilita un nivel de desarrollo en el proceso que permite alcanzar una remoción de los materiales inferior a las 24 horas, desde la entrada de la caña hasta la salida convertida en azúcar comercial. (Editorial Revista Centro Azúcar, 2000).

La aplicación de la Compactación del Proceso de Producción de Azúcar Crudo ha permitido alcanzar los resultados siguientes:

- 1- La industria azucarera de la provincia de Villa Clara ha alcanzado un nivel de desarrollo en el proceso de producción que le permite una remoción inferior a las 24 horas, que es el 50 % del valor histórico de este parámetro.
- 2- El equipamiento se ha reducido y las operaciones se han simplificado, lo que ha permitido a la industria alcanzar altos niveles de eficiencia en el proceso y de calidad en el producto terminado.
- 3- Han mejorado de manera importante las condiciones de trabajo al liberarse áreas de la industria por racionalización de equipos.
- 4- Han aumentado la eficiencia energética y de mantenimiento, lo que se traduce en sobrantes de bagazo, entrega de energía al sistema Electroenergético Nacional y la disminución de los costos.
- 5- Aumento de los parámetros de protección del medio ambiente debido a la disminución importante de residuales azucarados.
- 6- La dinámica respuesta de la eficiencia de la fábrica ante la problemática agroindustrial la convierte en una importante herramienta para la dirección del CAI.
- 7- Se alcanzan importantes resultados económicos positivos en la provincia de Villa Clara, tales como:

Recuperación Industrial: 88.75 %; en 1999 (con la aplicación de la compactación a varios centrales) fue de 91.20 % (11 980 t más de azúcar producidas, con un valor de \$1 902 400.00). (Editorial Revista Centro Azúcar, 2000).

Incorporación de intercambiadores de calor compactos y eficientes

La producción de azúcar está económicamente en gran medida supeditada a los gastos de energía calorífica. Los productores de azúcar en todo el mundo pueden conseguir reducir este primer costo gracias al intercambiador de calor Alfa-Laval, que es elemento principal de una cadena de equipos térmicos de ingeniería que la División Técnica del Grupo ha desarrollado.

En un número importante de industrias se han reconocido las ventajas de estos intercambiadores, que se pueden utilizar para calentamiento, refrigeración y recuperación de calor en las fábricas de azúcar, centrales lecheras, cervecerías y otras industrias de alimentación y bebidas espumosas, también en procesos técnicos, mecánicos, químicos, en centrales de energía y a bordo de buques.

Estos intercambiadores se caracterizan por sus elevados coeficientes de transmisión del calor. Una superficie de transmisión está comprendida en un volumen muy reducido, obteniéndose la máxima eficiencia térmica, menor pérdida por radiación así como una instalación más simple. Por todas estas razones son denominados intercambiadores de calor compactos (ver especificaciones técnicas en Anexo I).

En el caso de la industria azucarera se pueden utilizar dos tipos de intercambiadores de calor compactos, de placas y espirales.

Intercambiador Compacto de Placas

Estos intercambiadores están basados en un paquete variable de placas de canales estándar que puede adaptarse a las necesidades requeridas. Las placas de metal corrugado constituyen la superficie transmisora de calor; están sujetas entre sí formando un bastidor separadas por juntas, las cuales actúan como sellado. Las placas están provistas de orificios que posibilitan el intercambio de calor al flujo entre los pares alterados de placas. Normalmente se dispone de manera que el fluido circule a contracorriente (ver figura 1.4).

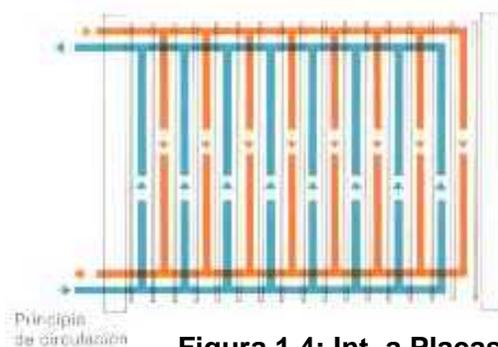


Figura 1.4: Int. a Placas

Ventajas:

- 1- Son adecuados para la mayoría de las funciones de calentamiento y refrigeración en las refinerías de azúcar.
- 2- El bastidor de placas puede fácilmente aumentarse o reagruparse a fin de adaptarse a nuevas posibilidades térmicas o de capacidad.
- 3- La inspección y limpieza de todas las placas puede realizarse deslizándolas en el bastidor.
- 4- El empleo de materiales de gran calidad como el acero inoxidable y caucho sintético elimina el riesgo de contaminación del producto.
- 5- El alto valor del coeficiente superficie/volumen así como el grado de turbulencia ocasionado por las corrugaciones de las placas aseguran una efectividad máxima.

Intercambiadores de Calor Espiral

Estos intercambiadores están formados por dos chapas metálicas que se enrollan alrededor de un eje central hasta tomar la forma de una espiral doble. Los cantos de la espiral están serrados mediante tapas con pernos. (Ver figura 1.5). Los intercambiadores de este tipo son muy utilizados en la industria azucarera para el calentamiento del jugo bruto y del alcalizado en el proceso de purificación.

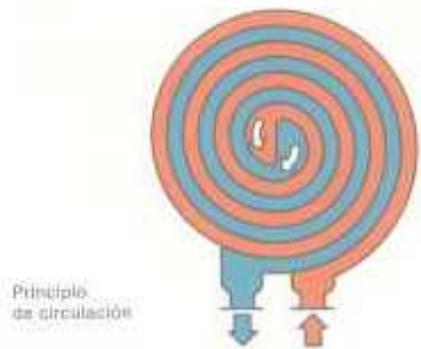


Figura 1.5: Int. de Placas en Espiral

Ventajas:

- 1- La sección rectangular de cada paso en la espiral puede ser dimensionada según se necesite, para lograr la transferencia térmica requerida con una superficie mínima.
- 2- Tiene solo un canal para cada medio, lo que le proporciona un alto efecto de autolimpieza, puesto que de sedimentar algo sobre la superficie provoca un

estrechamiento, que se traduce en un aumento de la velocidad del flujo que tiende a arrastrar consigo los depósitos formados, por lo que este intercambiador se hace extremadamente adecuado para fluidos excesivamente sucios o que llevan sólidos.

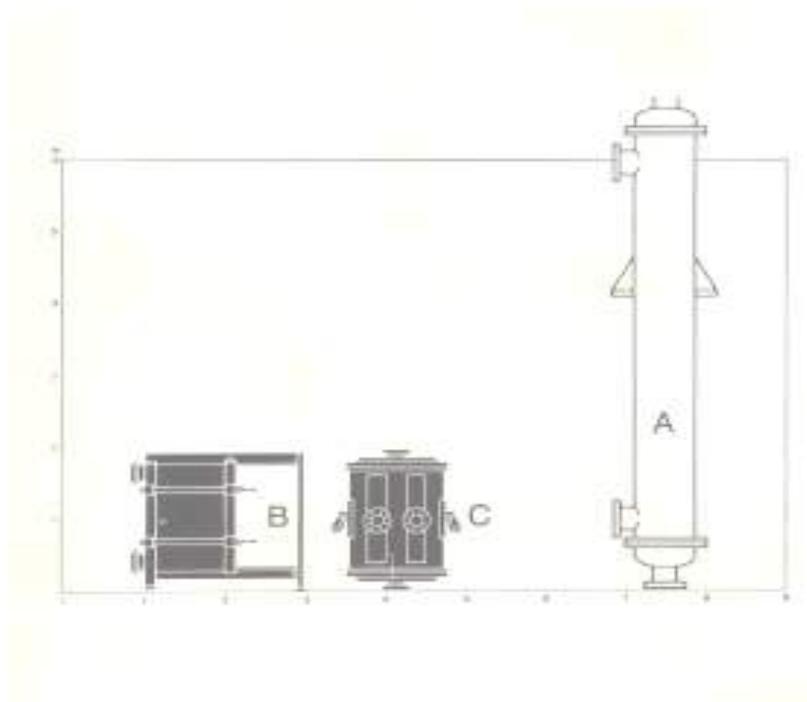
- 3- Abriendo las tapas se tiene fácil acceso a los dos canales para realizar inspección o limpieza mecánica. Además abriendo la unidad se pueden limpiar los canales por separado mediante soluciones limpiadoras.
- 4- Requiere un espacio mínimo ya que el diseño es muy compacto, solo necesita espacio de servicio para abrir las tapas.

Ejemplo comparativo:

Las áreas de superficie de transferencia son:

	m ²	ft ²
Intercambiador de calor de envolvente y tubos -----	125	1350
Intercambiador de placa -----	60	645
Intercambiador de espiral -----	90	670

La figura 1.6 permite interpretar mejor la diferencia de tamaño entre Intercambiadores



equivalentes.

Figura 1.6: Comparación de tamaño de Intercambiadores equivalentes.

Los intercambiadores compactos pueden insertarse en el proceso azucarero tradicional, se propone para esto un esquema dividido en macroetapas orientando donde se pueden ubicar estos equipos en cada caso. (Valdés A.; Gómez O., 1985).

Proceso de extracción tradicional del azúcar, a partir de la caña.

En este proceso se ubican dos primeros intercambiadores del tipo espiral en la macroetapa de purificación del jugo, uno para calentar el jugo bruto o mezclado a la entrada de la etapa de alcalinización y otro para calentar el jugo alcalinizado antes de su entrada al clarificador, se utiliza también un intercambiador de placas para calentar el jugo clarificado previo a su entrada a la batería de evaporadores y se utilizan además cuatro intercambiadores de placas más para la cristalización y centrifugación, uno para calentar el jugo concentrado a la entrada del primer tacho y los tres restantes para calentar las distintas mieles o jarabes que se obtienen producto de la separación del cristal de azúcar en la centrífuga, miel A, miel B y miel C. (Ver esquema en Anexo I).

En nuestro país se realizó la instalación y operación de dos intercambiadores espirales de la firma Alfa Laval, para el incremento de la temperatura del jugo mezclado, en el central Pablo Noriega de 1000 t/d de capacidad, perteneciente al instituto cubano de investigaciones azucareras, con el propósito de evaluar su comportamiento en el sistema de purificación de los jugos.

Las pruebas se realizaron en tres ciclos de trabajo usando vapores de escape de los primeros vasos de la batería de evaporadores. En el primer ciclo se usó vapor de escape del primer vaso, mientras que en el segundo y tercer ciclo, el vapor usado fue vapor de escape del segundo vaso.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios; desde el punto de vista térmico se logró una lenta disminución del coeficiente global de transferencia de calor en función del tiempo, lo que indica una baja razón de formación de incrustaciones debido a la

remoción producida por el esfuerzo constante del jugo sobre las paredes del canal del calentador.

La caída hidráulica de presión se produjo por la fricción del fluido con las paredes de la canal, por los pernos espaciadores, por el continuo cambio de dirección del fluido y por la fuerza centrífuga creada al circular el jugo por la canal de la espiral, ocasionando estas fuerzas un bajo régimen de deposición de las incrustaciones.

De manera general se logró la ampliación del ciclo establecido para la limpieza de los equipos de calentamiento del jugo mezclado al operar la fábrica con los calentadores compactos espirales. (Valdés A.; Gómez O. 1985).

➤ ***Intensificación de la purificación.***

Empleo de aditivos en la etapa de purificación.

Utilización de floculantes.

La amplia variedad de impurezas que trae el jugo se refleja, en ocasiones, en frecuentes revolturas en el clarificador y dificultades en la filtración de la cachaza, debido fundamentalmente al alto contenido de materias insolubles, al alto brix de los jugos, a la formación de flóculos pequeños y poco densos y a la presencia de sustancias orgánicas como gomas y dextranas las cuales aumentan la viscosidad del medio. Todas estas dificultades señaladas se pueden resolver si se procesan jugos de buena calidad y/o con una buena operación en la fábrica, aunque algunas veces se requiere del empleo de agentes químicos que logren mejorar las propiedades sedimentacionales del jugo.

Los floculantes son uno de los agentes químicos que se utilizan para mejorar los problemas antes mencionados, los mismos son sustancias de alto peso molecular, solubles en agua y pueden ser de origen natural o sintéticos. Los de origen natural pueden estar constituidos por derivados de almidón o por extractos de plantas que contienen unidades de galactourónico. Los de procedencia sintética son polímeros que tienen gran longitud de cadena y elevada afinidad con las superficies sólidas, entre la amplia gama de este tipo de floculante pueden citarse los no iónicos, aniónicos y catiónicos. (Morales, Serapio; Flores, Pedro M, 1975).

Los floculantes se adicionan al jugo alcalizado en forma líquida, en polvo o peletizado, con el objetivo de conglomerar los flóculos que han sido formados como consecuencia del proceso de clarificación aplicado. (Morales, Serapio; Flores, Pedro M, 1975).

Utilización de zeolitas.

Las zeolitas son materiales heterogéneos y micro porosos que se presentan en forma de roca y sus componentes fundamentales son el silicio y el aluminio, que suelen estar combinados con cationes de sodio, potasio, calcio, magnesio y otros. Este mineral es capaz de adsorber no azúcares como proteínas, fosfatos, polisacáridos, dextranas y sustancias coloidales y la magnitud de esta adsorción depende del pH siendo los valores óptimos entre (4-5). (Hernández Lugones, J. María y Pérez Morffí, J. Miguel, 1990; Carrobello, Caridad, 1989; Martínez, Eugenio, 1983).

La utilización de las zeolitas data desde hace algunos años y su empleo fue tan variado que se le llamó el mineral del siglo. En la etapa de purificación en la industria azucarera se comenzó a emplear desde 1976 como agente clarificante de jugos y meladuras de caña de azúcar en sustitución de productos de importación (Carrobello, Caridad 1989).

Cuba cuenta con un alto potencial de reservas de zeolitas naturales de alta calidad que en su forma catiónica tienen propiedades tales como capacidad de adsorción, efecto tamiz, selectividad e intercambio iónico.

La presencia de iones calcio en los jugos clarificados produce altos niveles de incrustación en los equipos de evaporación lo cual se traduce en un consumo adicional de energía, así como en el incremento de cenizas en el producto final, entre otras cosas. Raquel Fernández recoge en su trabajo los resultados preliminares de laboratorios del tratamiento a jugos de caña clarificados con zeolitas naturales como agentes intercambiadores de cationes, produciendo la descalcificación, obteniéndose una remoción de iones calcio del 39% y disminuyendo el contenido de color en un 25%. (Raquel Fernández, 1986).

El estudio de las propiedades físico-químico de las zeolitas naturales reveló que las mismas poseían partículas con carga negativa, lo que justifica su carácter de

intercambio catiónico y una alta capacidad adsorbente y filtracional. (Hernández Lugones, J. María y Pérez Morffí, J. Miguel, 1990; González López, Gretel, 1999).

Cambios en las propiedades del jugo.

Utilización del mezclador jugo-vapor.

El tratamiento con vapor a alta presión, es considerado como uno de los métodos para la intensificación del proceso de purificación, y se aplica de forma general con el propósito de mejorar la clarificación del jugo y la calidad del azúcar producido.

El equipo diseñado para llevar a cabo esta tarea es conocido como mezclador vapor-jugo, el cual está caracterizado por ser un tubo cilíndrico con un extremo cónico, en el cual por el centro de la parte cilíndrica penetra el tubo conductor del jugo mezclado y de forma perpendicular entra el vapor directo que sale por toberas especialmente dispuestas. (Carrazana Ruiz, Librado; Gómez Rodríguez, Luis./s.n/; Hdez Lugones, J. María; Pérez Morffí, J. Miguel, 1990; Martínez Alonso, Nelson./s.n/; García Bello, David, Ojeda Cesar, Raúl, 1985).

El shock producido por el vapor al jugo, produce por efecto mecánico y de temperatura microlocalizadas la coagulación y desnaturalización de las proteínas, ya que el mayor porcentaje de estas sustancias tienen su punto isoeléctrico a un pH=5.5, que es donde el sistema tiene un mínimo de estabilidad.

Como se ha señalado, mediante el tratamiento de los jugos con vapor de alta presión, ocurre una desnaturalización instantánea de los coloides, lo cual da lugar a la formación de conglomerados voluminosos y densos, que precipitan y sedimentan rápidamente. (González López, Gretel, 1999).

Utilización del campo eléctrico.

En épocas recientes se ha comenzado a estudiar técnicas de purificación basadas en la aplicación del campo eléctrico, las mismas pueden resumirse en tres grandes grupos: Electrodiálisis, reactores electroquímicos y electrofiltración. (Castellanos Estupiñán, Jesús E, Pérez Padilla, Antonio, 1998; Castellanos Estupiñán, Jesús E, Fajardo García, Raúl, 1997).

En este campo la electrofiltración es la que mejores resultados ha ofrecido, la misma se define como la combinación de dos efectos: la electrodiálisis y la polarización inducida, o sea, que en una misma instalación se aplica la desmineralización de los sustratos utilizando membranas de intercambio iónico y entre estas se coloca un material con características dieléctricas capaz de polarizarse y retener en su superficie otros compuestos eléctricamente cargados, y que deben ser eliminados del medio que se está procesando. (González López, Gretel, 1999).

En la industria azucarera se aplica como variante de la electrofiltración la polarización inducida, la cual se consigue manteniendo un material con características de dieléctrico dentro de un conductor eléctrico por un tiempo determinado. Al ser sometido a éste procedimiento, el dieléctrico se polariza manteniendo durante algún tiempo estas condiciones, las que le confieren propiedades de adsorbente de compuestos eléctricamente cargados. (Fajardo García, Raúl, Castellanos Estupiñán, Jesús E, 1994).

Introducción de nuevos equipos.

Introducción de nuevos clarificadores y filtros.

El perfeccionamiento de los equipos tecnológicos, está orientado hacia la obtención de nuevos aparatos o modificaciones de los ya existentes que logren reducir el tiempo de residencia, incrementen la productividad y disminuyan las afectaciones que se puedan producir como son la destrucción de los azúcares reductores, aumento del color y pérdidas de sacarosa por inversión. (Gómez Rodríguez, Luis. 1986; Hdez Lugones, J. María, Pérez Morffí, J. Miguel, 1990).

Dentro de los equipos que se han desarrollado y probado en la industria azucarera se encuentran:

- Los clarificadores de simple bandeja o de bajo tiempo de retención (CBTR), los cuales presentan la ventaja de mantener bajos volúmenes de jugo en proceso y, por tanto, como indica su nombre, un bajo tiempo de retención (45 minutos). Además, son capaces de eliminar las zonas muertas, las corrientes de cortocircuito y la remezcla. Estos equipos son sencillos, de fácil construcción y

montaje y se puede liquidar (vaciar) en cada parada del ingenio, y para esto sólo consume 1/3 de la energía que se utiliza actualmente.

- Los clarificadores de árboles de cono, los cuales aumentan las superficies de sedimentación para un mismo volumen de tanque, disminuyendo el tiempo de residencia.
- Los nuevos modelos de filtros, los que logran filtrados de calidad similares a los filtros prensas, evitando la recirculación de los filtrados. (González López, Gretel, 1999).

Utilización de membranas.

Una membrana se define como la interfase de separación de dos fases, la cual controla selectivamente el transporte de materiales entre ambas.

Desde 1960 comenzaron a aparecer a escala industrial procesos de separación que se basan, o al menos están auxiliados, por el uso de membranas.

En la época actual es una práctica cotidiana el uso de la purificación de jugos de frutas, el fraccionamiento de la leche en sus componentes básicos, el tratamiento de residuales, la desalinización de agua, por este medio. También los especialistas en producción azucarera han reconocido las ventajas de estas técnicas y han empezado a incorporarlas a la práctica o, al menos estudian las ventajas que estas técnicas ofrecen. Los procesos con membranas son competitivos frente a muchos procesos clásicos de separación, por su reducido consumo energético, su característica tecnológica limpia y su reducido costo total al compararlos con la inversión necesaria para otros procesos. (Zamora Báez, Alexis. et.al, 2000).

Capítulo II: Identificación de la Planta Piloto

2.1- Antecedentes de la Planta Piloto Azucarera “José Martí”.

A principios de 1961, algunos alumnos y profesores de la Escuela de Ingeniería queriendo dotar al alumnado de un medio práctico de conocer el desenvolvimiento de

una unidad industrial, idearon el montaje de una pequeña planta azucarera o parte de la misma, por ser la industria más desarrollada en el país, la cual sería instalada en una nave de la Facultad de Tecnología.

Su primer equipamiento lo recibió de la provincia de Sancti Spíritus, exactamente del antiguo central Elvira el cual se encontraba fuera de servicio.

Trasladados los equipos a la Universidad, se consideró cual sería la ubicación de los mismos con vistas a la construcción de una planta que sirviera exclusivamente para la docencia. En esa época no se pensaba en una planta que fuera experimental y cumpliera su papel como tal.

Posteriormente se decidió la construcción de una nave exclusivamente para el montaje de los equipos y surgieron las primeras ideas para que la planta fuera verdaderamente modelo de sistema clásico de producción, aunque electrificada en gran parte e instrumentada en lo posible.

Fue fundada en el año 1964, y recibió el nombre de “José Martí” porque se puso en funcionamiento un 28 de Enero. A lo largo de estos años ha desarrollado diferentes funciones tanto docentes como investigativas y productivas. Ha transitado por diferentes épocas del desarrollo de nuestra industria azucarera, pero en los últimos años, ha jugado un papel importante en la consolidación de una tecnología para la producción de azúcar ecológica, y la evaluación de cañas de diferentes variedades y de otras sustancias químicas.

Las circunstancias actuales que afectan el desarrollo de la industria azucarera cubana, han determinado que muchas fábricas, inefectivas económicamente, cierren definitivamente y otras deban buscar en la diversificación una manera de compensar sus pérdidas, por lo que es un reto para la Planta Piloto Azucarera sostener su importante función investigativa.

2.2- Identificación de la Planta Piloto.

2.2.1-Localización y Ubicación.

La planta se encuentra enclavada en la provincia de Villa Clara, en el municipio de

Santa Clara, específicamente en áreas de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.

La ubicación de la Planta Piloto en nuestra Universidad está plenamente justificada por sus funciones específicas, que determinan que la misma esté situada cerca de los centros de investigación correspondientes.

Según lo anterior, se escogió para la ubicación de la planta un terreno situado en la parte posterior derecha del edificio de Tecnología donde se levantó la nave.

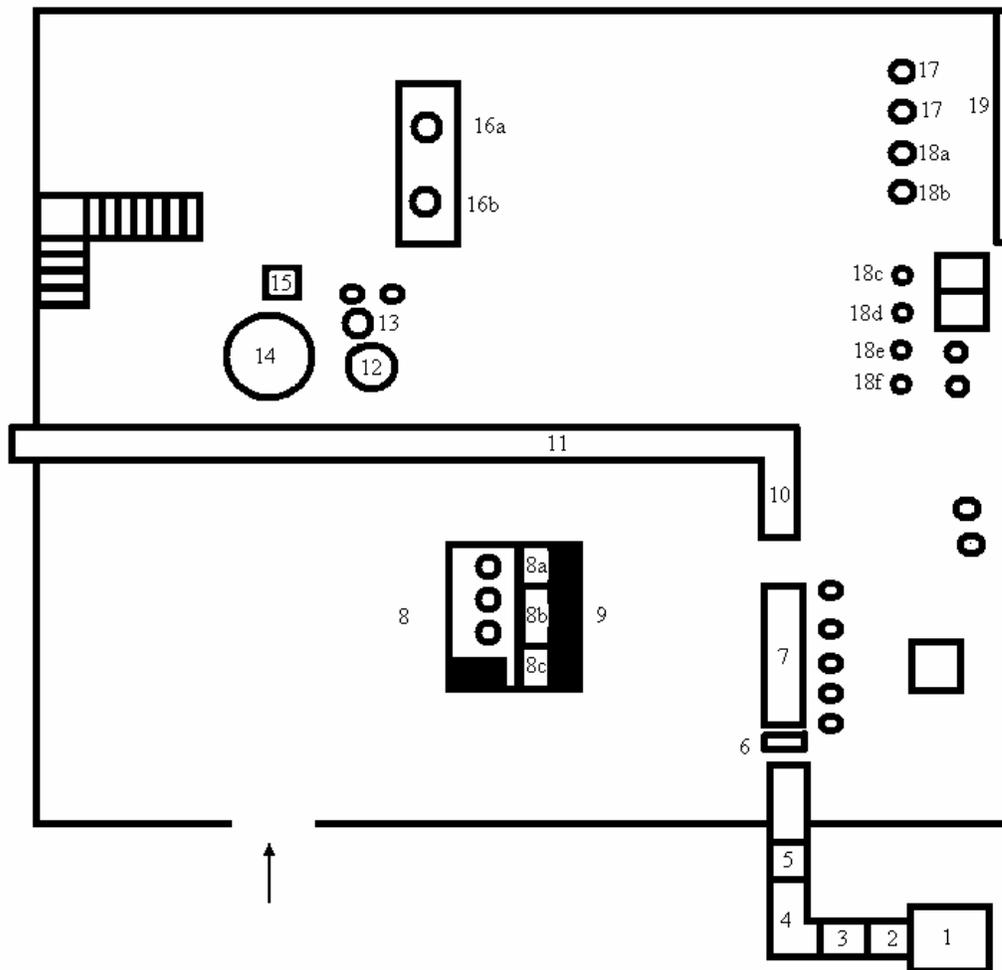
2.2.2-Descripción y Distribución Espacial.

La Planta Piloto está formada por un edificio central de tres plantas, un área de calderas o generación de vapor, un laboratorio, una casa de bagazo y los exteriores.

En la planta baja del edificio central (ver figura 2.1) se encuentran los equipos correspondientes a la recepción y preparación de la caña, la molienda de la caña, el sistema de extracción de aire y se encuentran además una serie de bombas para el transporte de los fluidos manejados, las zanjas de residuales y la parte inferior del clarificador y las centrifugas así como los correspondientes transportadores de bagazo y azúcar. En la tabla 2.1 se encuentran la numeración asignada en los dibujos para los equipos representados.

En la primera planta se encuentran ubicados los equipos relacionados con el calentamiento del jugo para su clarificación y los equipos para el crecimiento de los cristales de azúcar (cristalizadores), además de los equipos para la adición de la lechada de cal y la parte superior del clarificador. (figura 2.2).

En la segunda planta (figura 2.3) se encuentran los equipos correspondientes a la operación de filtración, a la concentración del jugo y la formación del cristal de azúcar (tachos), así como una batería de condensadores barométricos, los tanques de almacenamiento y alimentación de las distintas aguas, mieles y meladura del proceso, el reductor de vapor y una batería de semilleros y graneros.

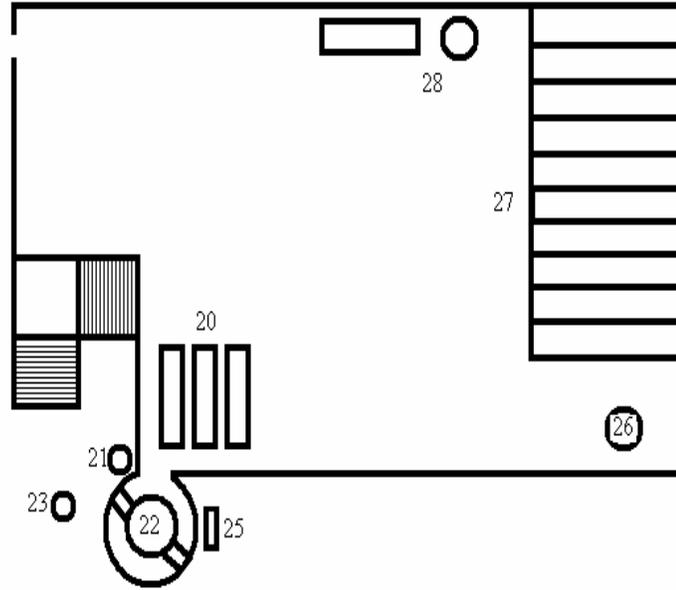


Planta baja.

Figura 2.1: Distribución de equipos en Planta Baja.

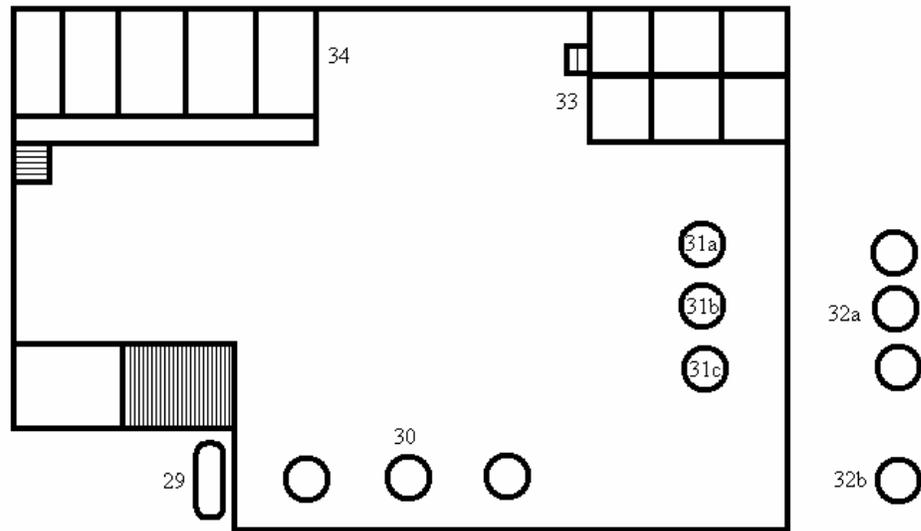
En los exteriores del ingenio (figura 2.4) se encuentran ubicados dos tanques de preparación de lechada de cal, dos tanques de almacenamiento de potasa para limpieza, dos tanques para el almacenamiento de miel final, un tanque de almacenamiento de petróleo, tres tanques para el almacenamiento de agua y un enfriadero de agua tipo piscina.

Entre la planta baja y la primera planta, en un área elevada adyacente a la nave principal, se encuentra el laboratorio de análisis químico.



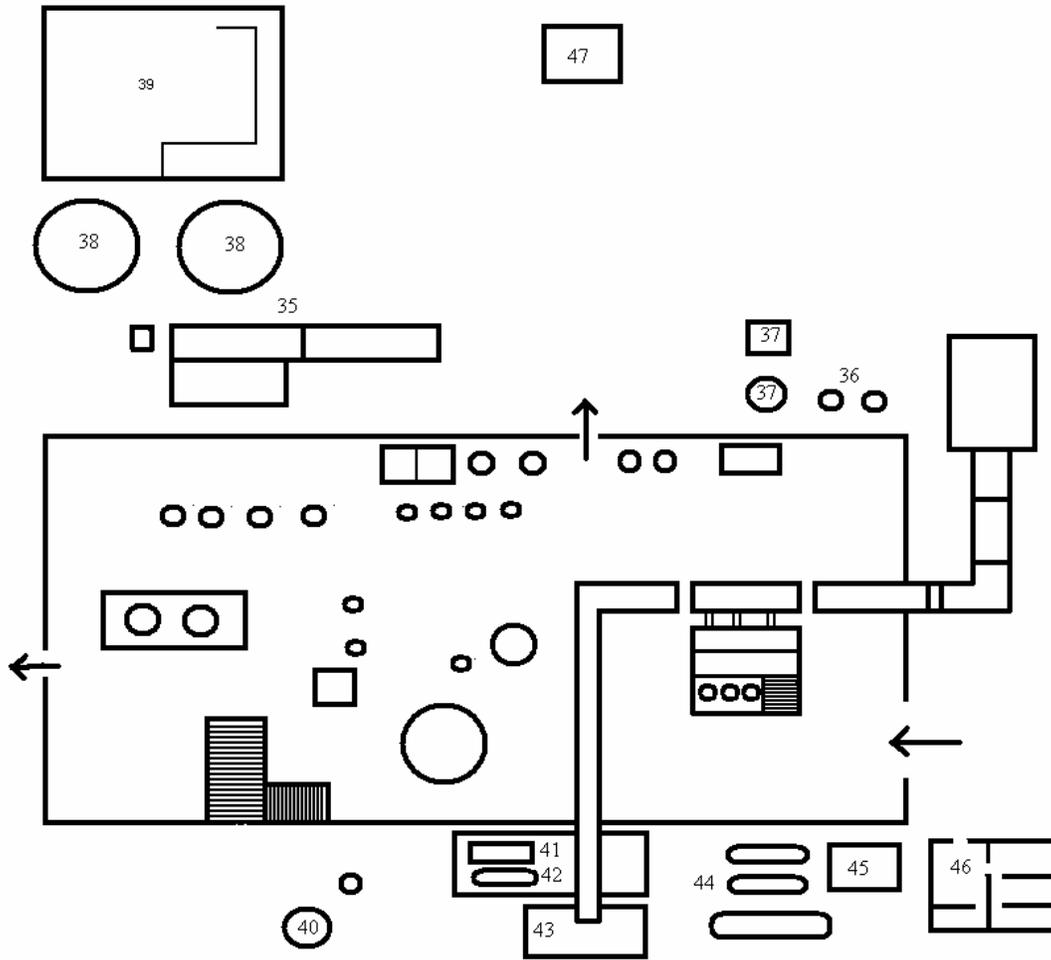
Primera planta.

Figura 2.2: Distribución de equipos en Primera Planta.



Segunda planta.

Figura 2.3: Distribución de equipos en Segunda Planta.



Exteriores

Figura 2.4: Distribución de equipos en Exteriores.

En el área de calderas o generación de vapor se encuentran dos calderas, una caldera que usa como combustible petróleo y una caldera bagacera.

La casa de bagazo se utiliza para el almacenamiento del bagazo que no es directamente quemado en la caldera bagacera.

Tabla 2.1: Códigos para los equipos representados en las figuras 2.1 a la 2.4.

Código	Equipo identificado.
(1)	Embudo de caña.
(2)	Estera alimentadora.
(3)	Cuchillas primarias.
(4)	Estera elevadora.
(5)	Cuchillas secundarias.
(6)	Electroimán.
(7)	Tándem.
(8)	Tanques de guarapo: 8a, 8b, 8c.
(9)	Colador parabólico y rastrillo de bagacillo.
(10 y 11)	Conductores de bagazo.
(12)	Tanque de jugo mezclado.
(13)	Tanque de mezcla de arcilla.
(14)	Clarificador.
(15)	Tanque de jugo claro.
(16)	Centrífugas: 16a, 16b.
(17)	Bombas de vacío.
(18a)	Bomba de rechazo.
(18b)	Bomba de inyección.
(18c)	Bomba de enfriamiento de los cristalizadores.
(18d)	Bomba de agua de retorno a los tachos y agua de calentamiento de los cristalizadores
(18e)	Bomba de agua de retorno de los evaporadores.
(18f)	Bomba de meladura.
(19)	Zanja de residuales.
(20)	Calentadores.
(21)	Tanque flash.
(22)	Sistema de transmisión de movimiento al eje del clarificador.
(23)	Clarificador.
(24)	Bomba de cachaza.
(25)	Distribuidor de cal.
(26)	Bomba auxiliar de vacío.
(27)	Cristalizadores.
(28)	Compresor de aire.
(29)	Reductor de vapor.
(30)	Evaporadores.
(31)	Tachos: 31a, 31b, 31c.
(32)	Condensadores: 32a, 32b.
(33)	Semilleros y Graneros.
(34)	Tanques de aguas, de miel y meladura.
(35)	Tanques de condensado.
(36)	Tanques de preparación de lechada de cal.
(37)	Tanques de potasa.
(38)	Tanques de miel final.
(39)	Enfriadero.
(40)	Tanque de petróleo.
(41)	Caldera de vapor de petróleo.
(42)	Caldera de vapor de bagazo.

(43)	Casa de bagazo.
(44)	Pailones de agua.
(45)	Trapiche.
(46)	Oficinas.
(47)	Caseta de control de recepción de la caña.

2.3-Analogías y Diferencias de la Planta Piloto Azucarera y las Plantas Comerciales.

Para este análisis se tomó una muestra de ocho ingenios de la zona central del país y se pudo observar los puntos en común y las diferencias en cuanto al modo de conducirse el proceso en cada caso, tanto por los tratamientos aplicados como por los equipos utilizados para este fin.

En la tabla 2.2 aparece resumida toda la información recopilada. En ella se han situado las diferentes Fábricas en la primera columna de modo tal que cada fila se corresponde con la información correspondiente a cada uno, con la distinción que estas filas se conforman de dos celdas, una sobre la otra, la superior contiene los tratamientos tecnológicos implementados y la inferior describe el equipo que lo ejecuta. De esta manera, la fila de tratamientos presenta aproximadamente la secuencia del Proceso que desarrolla cada Ingenio, mientras la fila de equipos expone una descripción del esquema de flujo a través de los equipos que lo constituyen. Las columnas se ordenan por tratamientos tecnológicos de forma tal que facilita la comparación del Proceso en las diferentes Plantas de Azúcar, agrupados por las macroetapas que las diversas fuentes bibliográficas consultadas utilizan para exponer el proceso de obtención de azúcar crudo.

En la propia tabla 2.2 se incluyó, como una fila más, la Planta Piloto Azucarera para con ello facilitar la comparación de sus características tecnológicas con la muestra de Plantas Comerciales analizadas.

2.3.1-Análisis de las Tecnologías Implementadas en las Plantas Comerciales de Azúcar del Territorio Central.

Haciendo un análisis por etapas de la implementación del proceso en cada caso, se pudo observar que la etapa de molienda en todos los Ingenios es similar; todos utilizan imbibición compuesta y las diferencias que presentan se manifiestan en cuanto al

número de molinos que conforman el tándem.

Tabla 2.2: Resumen de Tecnología de obtención de Azúcar Crudo implementada.				
Ingenio Azucarero	Etapas Tecnológicas			
	Molienda			
	Desmenuzado	Extracción	Mezclado	Colado
Chiquitico Fabregat	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	1 <i>Desmenuzadora</i>	<i>Tándem de 6 molinos</i>		<i>Colador rotatorio</i>
Quintín Banderas	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	1 <i>Desmenuzadora</i>	<i>Tándem de 6 molinos</i>		<i>Colador rotatorio</i>
Efraín Alfonso	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	1 <i>Desmenuzadora</i>	<i>Tándem de 4 molinos</i>		<i>Colador rotatorio</i>
José María Pérez	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	1 <i>Desmenuzadora</i>	<i>Tándem de 6 molinos</i>		<i>Colador rotatorio</i>
Perucho Figueredo	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	Molino Desmenuz.	<i>Tándem de 5 molinos</i>		<i>Colador rotatorio</i>
5 de Septiembre	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	1 <i>Desmenuzadora</i>	<i>Tándem de 6 molinos</i>		<i>Colador rotatorio</i>
Melanio Hernández	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	1 <i>Desmenuzadora</i>	<i>Tándem de 5 molinos</i>		<i>Colador rotatorio</i>
Obdulio Morales	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	1 <i>Desmenuzadora</i>	<i>Tándem de 5 molinos</i>		
Planta Piloto J. Martí	Jugo primario	Imbibición compuesta	Jugos primario y secundario	
	2 <i>Desmenuzadora</i>	<i>Tándem de 3 molinos</i>		<i>Colador parabólico</i>

**Tabla 2.2: Resumen de Tecnología de obtención de Azúcar Crudo implementada.
(Cont.)**

Ingenio Azucarero	Etapas Tecnológicas			
	Purificación			
	Métodos Convencionales			
Chiquitico Fabregat	Calentamiento	Alcalización	Sedimentación	Colado
	6 <i>Calentadores</i>	<i>Tanque Flash</i>	<i>Clarific. de bandejas</i>	<i>Malla de acero inoxidable</i>
Quintín Banderas	Calentamiento	Alcalización	Sedimentación	Colado
	6 <i>Calentadores</i>	<i>Tanque flash</i>	<i>Clarificador BTR.</i>	Malla de acero inoxidable
Efraín Alfonso	Calentamiento	Alcalización	Sedimentación	Colado
	5 <i>Calentadores</i>	<i>Tanque flash</i>	<i>Clarific. de bandejas</i>	<i>Malla de acero inoxidable</i>
José María Pérez	Calentamiento	Alcalización	Sedimentación	Colado
	5 <i>Calentadores</i>	<i>Tanque flash</i>	<i>Clarificador BTR.</i>	<i>Malla de acero inoxidable</i>
Perucho Figueredo	Calentamiento			
	5 <i>Calentadores</i>			
5 de Septiembre	Calentamiento	Alcalización	Sedimentación	Colado
	5 <i>Calentadores</i>	<i>Tanque flash</i>	<i>Clarificador BTR.</i>	<i>Malla de acero inoxidable</i>
Melanio Hernández	Calentamiento	Alcalización	Sedimentación	Colado
	6 <i>Calentadores</i>	<i>Tanque flash</i>	<i>Clarificador BTR.</i>	<i>Malla de acero inoxidable</i>
Obdulio Morales	Alcalización	Calentamiento	Sedimentación	Colado
	<i>Tanque de jugo mezclado</i>	3 <i>Calentadores</i>	<i>Clarificador BTR.</i>	<i>Malla de acero inoxidable</i>
Planta Piloto J. Martí	Calentamiento	Alcalización	Sedimentación	Colado
	3 <i>Calentadores</i>	<i>Tanque flash</i>	<i>Clarific. de bandejas</i>	<i>Malla de acero inoxidable</i>

**Tabla 2.2: Resumen de Tecnología de obtención de Azúcar Crudo implementada.
(Cont.)**

Ingenio Azucarero	Etapas Tecnológicas			
		Concentración		Cristalización
Chiquitico Fabregat		Preevaporación	Evaporación múltiple	Sistema de tres masas cocidas
		<i>1 Evaporador</i>	<i>4 Vasos Evaporadores</i>	<i>7 Tachos, 6 cristalizadores y 3 centrifugas.</i>
Quintín Banderas	Calentamiento	Preevaporación	Evaporación múltiple	Sistema de tres masas cocidas
	<i>1 Calentador</i>	<i>1 Evaporador</i>	<i>5 Vasos Evaporadores</i>	<i>Tachos, cristalizadores y 3 centrifugas.</i>
Efraín Alfonso		Preevaporación	Evaporación múltiple	Sistema de tres masas cocidas
		<i>1 Evaporador</i>	<i>4 Vasos Evaporadores</i>	<i>Tachos, cristalizadores y 2 centrifugas.</i>
José María Pérez		Preevaporación	Evaporación múltiple	Sistema de tres masas cocidas
		<i>2 Evaporadores</i>	<i>5 Vasos Evaporadores</i>	<i>6 Tachos , 5 cristalizadores y 2 centrifugas.</i>
Perucho Figueredo		Preevaporación	Evaporación múltiple	Sistema de tres masas cocidas
		<i>1 Evaporador</i>	<i>4 Vasos Evaporadores</i>	<i>6 Tachos , cristalizadores y centrifugas.</i>
5 de Septiembre	Calentamiento	Preevaporación	Evaporación múltiple	Sistema de tres masas cocidas
	<i>Calentadores</i>	<i>1 Evaporador</i>	<i>4 Vasos Evaporadores</i>	<i>Tachos, cristalizadores y 2 centrifugas.</i>
Melanio Hernández		Preevaporación	Evaporación múltiple	Sistema de doble semilla
		<i>2 Evaporadores</i>	<i>2 cuádruple efecto</i>	<i>7 Tachos , 5 cristalizadores y 6 centrifugas.</i>
Obdulio Morales		Preevaporación	Evaporación múltiple	Sistema de tres masas cocidas
		<i>1 Evaporador</i>	<i>4 Vasos Evaporadores</i>	<i>7 Tachos , 6 cristalizadores y 3 centrifugas.</i>
Planta Piloto J. Martí			Evaporación múltiple	Sistema de tres masas cocidas
			<i>3 Vasos Evaporadores</i>	<i>3 Tachos , 7 cristalizadores y 2 centrifugas.</i>

Para el caso de la etapa de purificación todos los ingenios utilizan la alcalización en caliente excepto uno de ellos, y la diferencia fundamental está también dada en cuanto a los equipos ya que el número de calentadores es variable y algunos Ingenios utilizan clarificadores BTR y floculante, mientras que otros utilizan clarificadores de bandejas.

En lo correspondiente a la etapa de concentración todos los ingenios utilizan una evaporación previa y una evaporación múltiple en una batería de evaporadores, las divergencias en esta etapa radican también en cuanto al equipamiento debido al número de equipos utilizados en la preevaporación y la evaporación en cada caso.

Por último al analizar la etapa de cristalización se observó que la misma tiene como característica el uso en casi todos los ingenios de un sistema de tres masas cocidas con la excepción de que en uno de ellos el sistema utilizado es un sistema de doble semilla, las diferencias fundamentales en esta etapa radican por lo general en la variación del número de equipos en cada Ingenio tanto para el caso de los tachos, cristalizadores como para el número de centrífugas en cada Fábrica.

2.3.2-Análisis Comparativo con la Planta Piloto Azucarera.

Haciendo un análisis comparativo entre la planta piloto y las plantas comerciales tomadas en la muestra, se observó un comportamiento similar en el desarrollo del proceso, por lo general la Planta Piloto es muy semejante a un Central de escala industrial en todo aunque presenta algunas atipicidades. Una peculiaridad de la planta que lo diferencia de otros centrales y de lo referido en la literatura es el tamaño reducido de su equipamiento, debido al carácter experimental de esta fábrica. Así también vemos que el material de construcción empleado es el acero al carbono, cuando en algunos casos se sugiere el empleo de acero inoxidable como material constructivo, lo que se justifica por problemas de economía del proceso. También podemos considerar las mismas circunstancias económicas como explicación para la existencia en la mayoría de los intercambiadores de calor (calentadores, evaporadores y tachos) de tubos fluse de acero en lugar de tubos de cobre. En el número y tipo de equipos utilizados también se presentan diferencias. Para el colado del jugo mezclado a la salida del tándem en la planta piloto se utiliza un colador parabólico mientras que en las plantas comerciales el equipo utilizado es un filtro rotatorio, además la planta cuenta

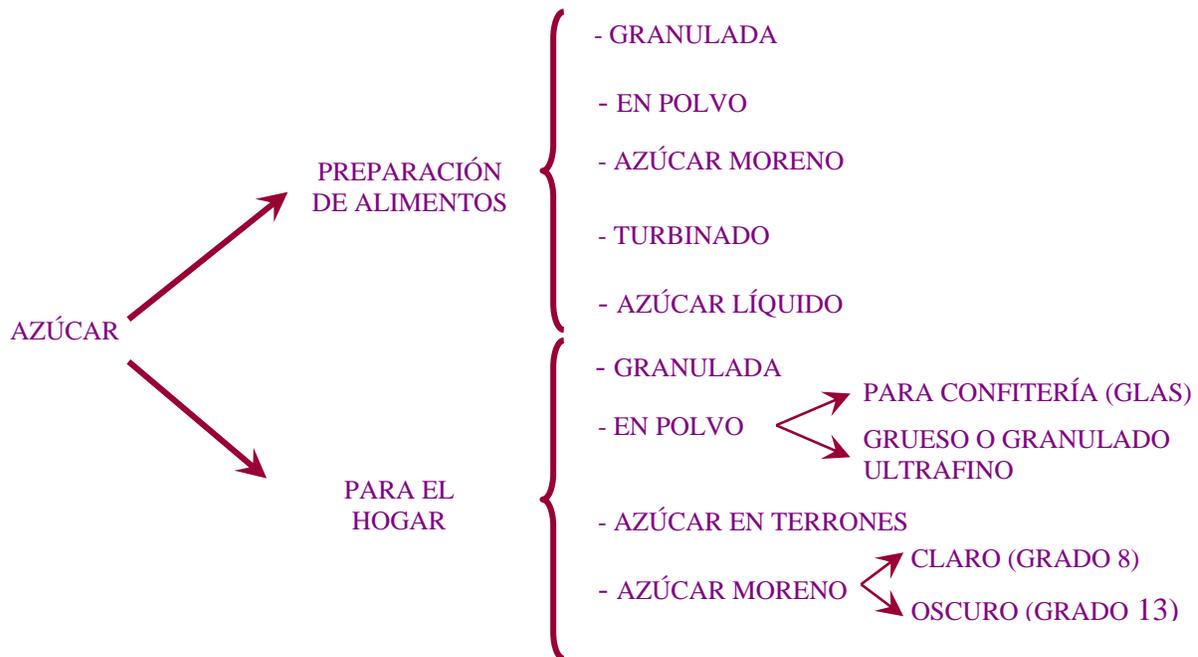
para la clarificación con un clarificador de bandejas y en la mayoría de los ingenios analizados se utilizan para este fin clarificadores BTR.

Capítulo III: Análisis Tecnológico para la Planta Piloto Azucarera

3 .1-*Caracterización General de la Obtención de Azúcar Comercial.*

A nivel mundial se producen varios tipos de azúcar, y las materias primas utilizadas son fundamentalmente la Caña de azúcar y la Remolacha azucarera, teniendo el proceso de producción sus particularidades para cada caso.

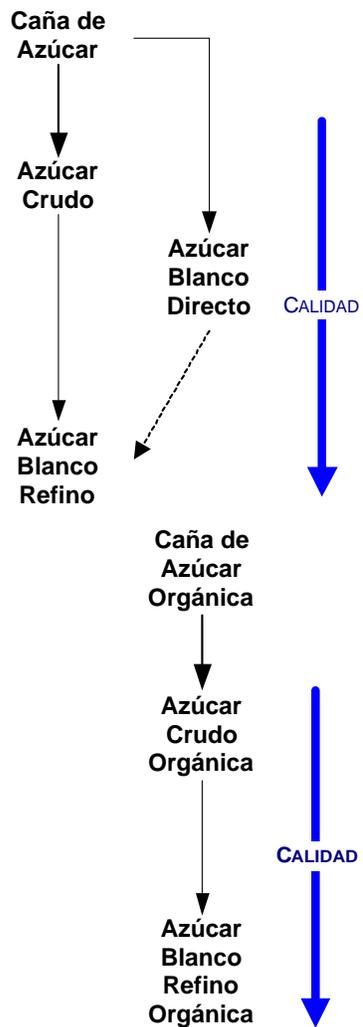
Se puede considerar de forma muy elemental, que por medio de un proceso casi tradicional se logra el **Azúcar Crudo**, que es básicamente una materia prima para refinerías u otros procesos que así lo requieran; en esta clasificación se pueden producir varios tipos de azúcares en función de las especificaciones que soliciten los diferentes mercados. A continuación se presenta una posible clasificación de los tipos de azúcar:



En Cuba toda la Azúcar es obtenida a partir de la Caña y específicamente los diferentes tipos de azúcar elaborados son:

- **Azúcar Crudo:** Se define como **azúcar crudo**, al obtenido directamente a partir del jugo de la caña sin aplicar procedimientos o aditivos especiales para su blanqueo.

- **Azúcar Blanco Directo:** Este tipo de azúcar se elabora con la ayuda del CO₂ o SO₂ productos que se añaden en la macroetapa de purificación, para eliminar color.
- **Azúcar Blanco Refino:** Esta azúcar se elabora a partir de un proceso tecnológico de refinamiento que parte de azúcar crudo de alta calidad como materia prima.



La figura 3.1 establece el vínculo entre las cualidades fundamentales antes definidas y a la vez se ha representado la dirección en la que se incrementa la calidad. Se observa que el Azúcar Blanco Refino puede obtenerse partiendo también del Blanco Directo, pero en la práctica industrial esta posibilidad no se utiliza.

Además de los tipos de azúcar antes mencionados, existe la llamada **Azúcar Orgánica o Ecológica**. Este tipo de azúcar se elabora teniendo en cuenta una serie de requisitos que debe cumplir la caña en el proceso de cultivo fundamentalmente, sobre todo en cuanto a la utilización de productos químicos como fertilizantes y herbicidas ya que los productos utilizados con estos fines deben ser de tipo orgánicos, de modo tal que no incorpore contaminantes químicos. Puede ser Azúcar Crudo Orgánica o Blanco Refino Orgánica (ver figura 3.2). Esta última solo se logra si además de partir de una Azúcar Crudo Orgánica en el proceso de refinación se emplean métodos químico físicos de decoloración que no involucran agentes químicos contaminantes.

Si se integran todas las combinaciones que actualmente se practican en Cuba se puede conformar un esquema como el representado en la figura 3.3, donde además se han señalado las condiciones que se practican en la Planta Piloto.

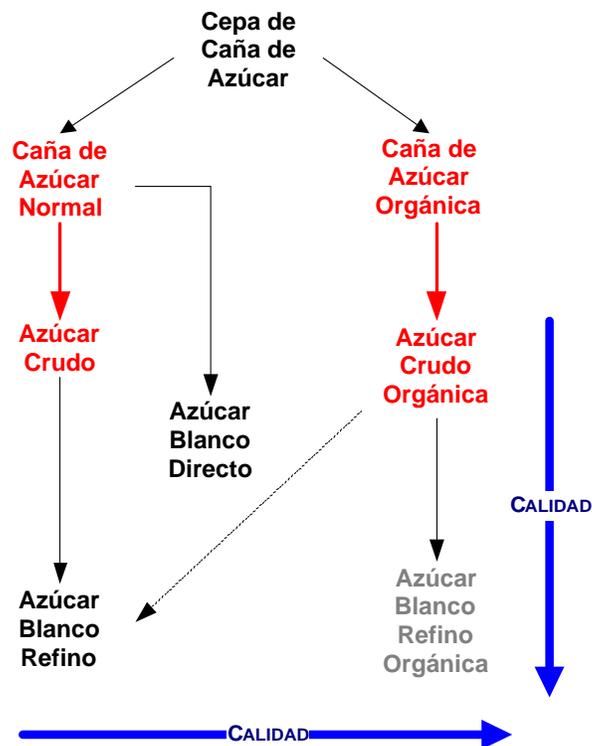


Figura 3.3

3.2-*Caracterización General de la Obtención de Azúcar Crudo.*

A continuación se desarrolla un análisis específicamente para la obtención del Azúcar Crudo, con extensiones al Azúcar Orgánica, tomando en consideración que estas son las calidades a las que responde tecnológicamente la Planta Piloto “José Martí”. El Análisis Tecnológico que a continuación se presenta ha sido confeccionado siguiendo la Metodología propuesta por **Corona, R, 2000**, la cual se fundamenta en una identificación secuencial y la sistematización, de todos los elementos asociados con el Procedimiento Tecnológico, con un análisis relativamente independiente de los medios técnicos que lo ejecutan, permitiendo reconocer toda la estructura conceptual del Sistema Químico Tecnológico, empleando como método el Análisis y la Síntesis de Procesos.

3.2.1-Análisis y Síntesis del Proceso Químico Tecnológico.

□ **Definición del Producto Final.**

El Azúcar Crudo o Sacarosa es un producto químico, formado de forma natural por el metabolismo vegetal. Atendiendo a la clasificación establecida en el epígrafe anterior, en Cuba tradicionalmente se han producido 4 tipos de azúcares crudos, en función de las especificaciones

que soliciten los diferentes mercados. Las características básicas de esas producciones son las siguientes:

El **crudo estándar** es nuestra producción principal y por ello la más voluminosa. Se caracteriza por ser un azúcar de una polarización mínima de 97.50 ° y está dirigido a un mercado muy amplio.

Se producen tres tipos de **azúcares de alta calidad**, **alta calidad** como tal, **afinado** y **crudo de consumo doméstico**. Para mercados de refinación tanto nacionales como de exportación con determinadas especificaciones de pol, color e insolubles y algún otro parámetro que por requerimientos de determinado mercado sea necesario establecer.

Calidad del Azúcar



Los indicadores fundamentales utilizados para establecer la calidad del Azúcar son:

- *Humedad*
- *Pol*
- *Azúcares reductores.*
- *Cenizas.*
- *Insolubles.*
- *Color horne.*
- *Color Un. ICUMSA*
- *Tamaño de Grano.*

Existen otros índices de calidad que a veces no están normados pero que pueden incidir sustancialmente en el proceso de refinación, tales como: filtrabilidad, contenido de polisacáridos, configuración y homogeneidad de los cristales y ausencia de conglomerados, pH, contaminantes,

otros compuestos orgánicos no azúcares y microorganismos. En el Anexo II se muestra una tabla comparativa de índices normados para el Azúcar de diferentes calidades.

En la Industria Azucarera Cubana se ha defendido un patrón de control de calidad del azúcar a partir de evaluar de forma directa el parámetro y compararlo con las especificaciones técnicas de la tabla 3.1.

Tabla No 3.1. Especificaciones de calidad de los diferentes azúcares crudos producidos en Cuba y porciento de cumplimiento.										
Tipo de Azúcar	Pol (°S)		Color (UCH)		Insolubles (%)		T.Grano (%)		Humedad (%)	
	Crudo estándar	97.80	95.00	30.0	95.00	0.06	80.00	65.0	80.00	0.50
Consumo doméstico	99.00	95.00	10.0	95.00	0.06	80.00	65.0	80.00	0.30	95.00
Afinado	99.00	95.00	10.0	95.00	0.06	80.00	65.0	80.00	0.30	95.00
Alta calidad	98.50	95.00	20.0	95.00	0.06	80.00	65.0	80.00	0.40	95.00

Especificaciones: En la columna en que aparecen los números en negritas se indican las metas de calidad en % para cada parámetro. El tamaño del grano es bajo la especificación de malla Tyler No 20. Los indicadores color, insolubles y humedad se consideran como valores máximos. El indicador pol se considera siempre mínimo.

De la comparación se obtiene el concepto de **meta de calidad**, el cual ofrece una medida clara de la estabilidad de la fábrica para cumplir ciertos patrones pues en el se considera solo el porciento de las mediciones que logran cumplir con sus especificaciones, así por ejemplo cuando se plantea que determinado parámetro se cumplió al 95 %, se está indicando que solamente un 5 % de las mediciones del día están fuera de la norma.

□ **Identificación y caracterización de la Materia Prima.**

La materia prima para la fabricación de azúcar crudo es el tallo sano de la Caña de Azúcar, perteneciente al género *Saccharum Officinarum*, libre de materia extraña y tierra. Constituye un recurso natural, de origen vegetal y por tanto de carácter renovable.

La materia prima ha de satisfacer un conjunto de requisitos mínimos de calidad para que la industria al procesarla adecuadamente, sea capaz de desarrollar una producción estable, de calidad y eficiente.

Calidad de la Caña.

Para los tecnólogos los indicadores de calidad de la caña se resumen en los siguientes aspectos:

- *Contenido de azúcar.*
- *Presencia de materias extrañas.*
- *Índice de madurez.*
- *Tiempo de corte a molienda en caña verde.*
- *Tiempo de quema a molienda en caña quemada.*

Medidos todos a la entrada del ingenio, es decir en el basculador, esta valoración ofrece una idea muy real del *potencial azucarero* de la caña que procesa la industria. En la Industria Azucarera Cubana como en el resto de los países cañeros se evalúa este potencial a partir del análisis del *jugo de la primera extracción* y se denomina genéricamente *Azúcar Recuperable*.

En Cuba adquiere la denominación de ***Rendimiento por los jugos.***

La estrategia o programación mensual de corte se realiza a partir de la definición del estimado movable y las tareas de corte por centro de recepción. Consiste en ordenar por meses la cosecha de la caña siguiendo los criterios siguientes:

- En la etapa de Noviembre a Diciembre se priorizan las variedades de madurez temprana, los retoños con mas de 12 meses y las áreas de suelos resecentes, secantes y de buen drenaje.
- En la etapa de Enero a Febrero se priorizan las variedades de madurez temprana e intermedia, los retoños, primaveras quedadas, fríos y las áreas de suelos secantes, resecentes y de mal drenaje.
- En la etapa de Marzo a Abril se priorizan las variedades de madurez intermedia y tardía, zonas de mal drenaje, suelos frescos y cepas de frío, socas, primaveras del año sembradas en Enero-Abril y retoños.

- El final de la zafra debe organizarse teniendo en cuenta variedades aptas a dejar quedar y áreas de caña con alto potencial productivo fundamentalmente primaveras de Mayo y Junio y suelos adecuados.

La programación operativa se confecciona decenalmente durante la ejecución de la zafra y consiste en seleccionar los campos y bloques a cortar en cada frente de corte tomando como criterio rector el mayor índice de madurez y el rendimiento guía determinados en el laboratorio.

Las Cañas que muelen los ingenios cubanos se pueden clasificar de diferentes formas:

De acuerdo a la forma de cultivo:

- 1- Caña Ecológica: Esta caña tiene la peculiaridad que es una caña que se cultiva sin aplicar productos químicos para su desarrollo, es decir que los herbicidas y fertilizantes que se le aplican son de tipo orgánico.
- 2- Caña No ecológica: Es la caña que se cultiva aplicando productos químicos como herbicidas o fertilizantes.

De acuerdo al contenido de sacarosa:

- 1- Caña de Azúcar: Es la caña que tiene un contenido elevado de sacarosa y que se procesa con el objetivo de obtener los distintos tipos de azúcar que se fabrican.
- 2- Caña Energética: Esta es la caña que tiene un alto contenido de fibra y muy bajo contenido de sacarosa y que es procesada como dice su nombre con el objetivo de obtener bagazo para alimentar a las calderas y generar energía.

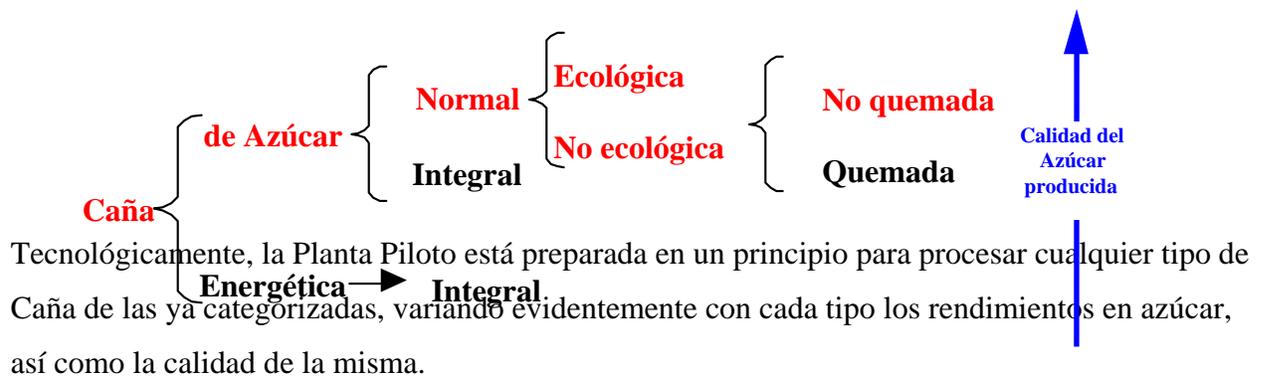
De acuerdo a la forma de cosecharla para la molienda:

- 1- Caña estándar o normal: Esta es la caña que llega a los ingenios con un índice reducido de materias extrañas y que es rica en sacarosa, es decir que llega libre de cogollo y con poca cantidad de paja.
- 2- Caña Integral: Esta es la caña que llega a los ingenios con un contenido alto de materias extrañas ya que se muele todo, tanto el cuerpo de la caña como el cogollo y la paja que trae.

Debe considerarse además la Caña Quemada, la cual es resultado de la cuestionable práctica de quemar el cañaveral antes de su corte y se caracteriza por tener menor contenido de agua, así como de hojas y cogollo.

Otra categoría también empleada es la de Caña Atrasada que se atribuye a un lote de caña que ha permanecido almacenada (sin procesar) con exceso de tiempo después del corte y se caracteriza por su disminución del contenido de sacarosa y su marcada contaminación microbiológica.

Las combinaciones de estas Categorías pueden sistematizarse según se ilustra a continuación:



Ordinariamente, la Planta Piloto opera con Caña de Azúcar Normal, tanto Ecológica como No ecológica, lo cual está señalizado en la sistematización antes presentada.

La Caña como materia prima natural y renovable puede ser cosechada por corte manual o mecanizado y en el caso del primero, puede ser beneficiada en un Centro de Acopio previo a su traslado al Ingenio, pudiendo llegar al mismo con tallo entero o cortada en tramos. La Planta Piloto está acondicionada para recibirla en cualquiera de estas condiciones.

□ **Identificación de Alternativas y Variantes Tecnológicas.**

Partiendo de las definiciones e identificaciones ya realizadas se pueden establecer como condiciones límites para el análisis del Proceso Azucarero las cualidades representadas en la figura 3.4.



Figura 3.4.

En el epígrafe 1.2 se abordaron diferentes aspectos asociados con la Tecnología Azucarera, específicamente con los tratamientos y parámetros para la obtención del Azúcar Crudo. En el epígrafe 2.2 se analizaron condiciones tecnológicas implementadas en una muestra de Plantas Comerciales de Azúcar Crudo ubicadas en la zona central del país.

A partir del análisis de todos los procedimientos descritos e implementados se desarrolló una valoración de secuencias y alternativas de tratamientos, distinguiendo cuando las diferencias son de procedimiento y cuando son de equipamiento. Así también se distinguieron las Corrientes de Procesos intermedias y colaterales, que sumado a la estructura presentada en la figura 1.3, permitió establecer cuatro estadios fundamentales, mas uno inicial y otro final, para organizar el análisis del Proceso Tecnológico (ver figura 3.5).

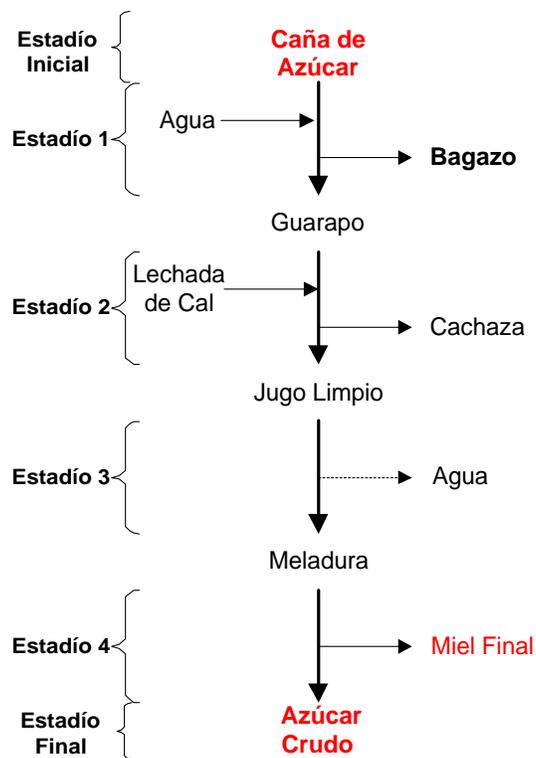


Figura 3.5.

Del análisis desarrollado se elaboraron esquemas algorítmicos con la integración de secuencias de procesos, los cuales se presentan seccionados en seis partes bien delimitadas. Las figuras 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11 muestran esos esquemas.

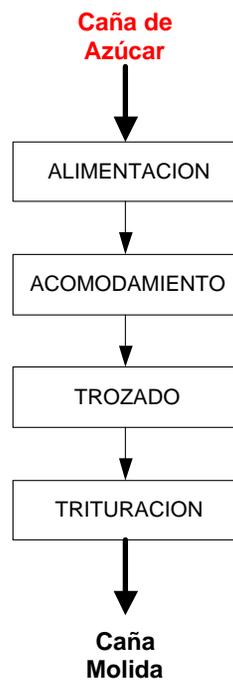


Figura 3.6: Secuencia del Estadío Inicial (Preparación de la Materia Prima).

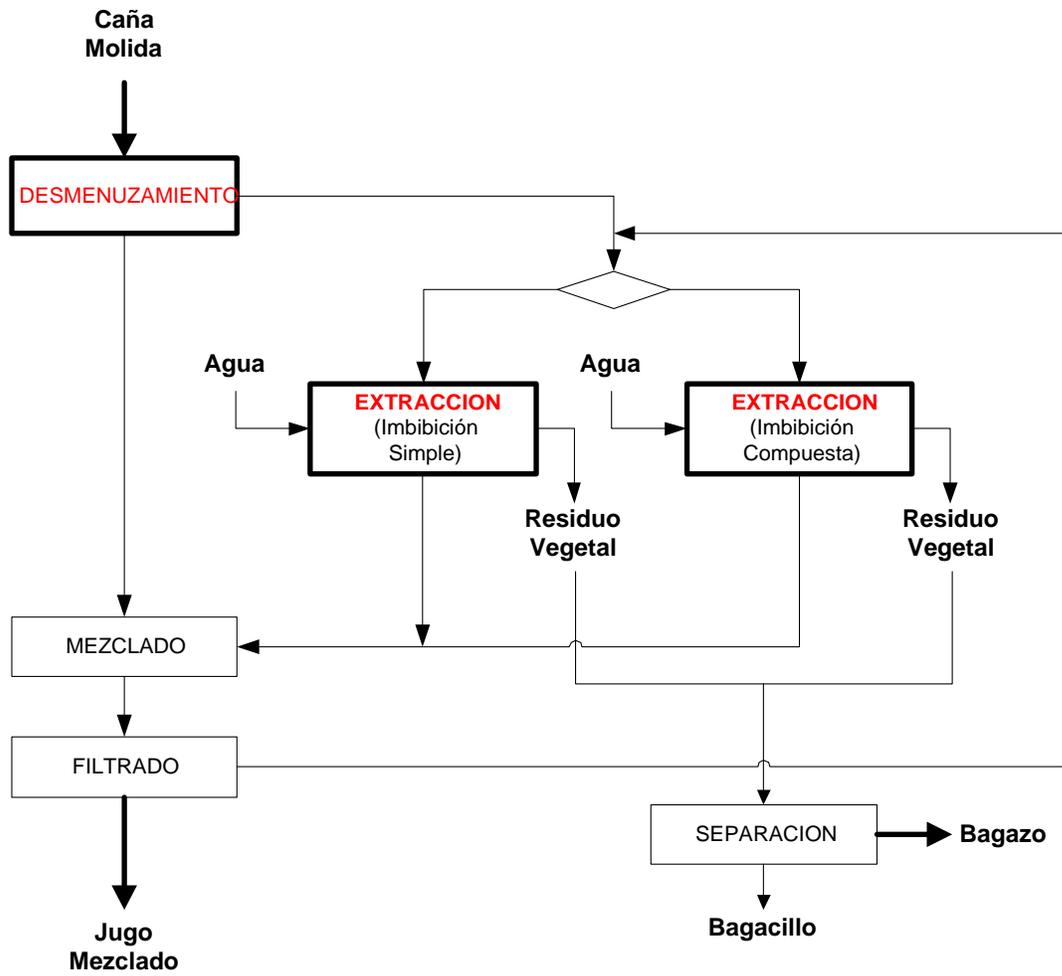


Figura 3.7: Secuencia del Estadío 1 (Extracción)

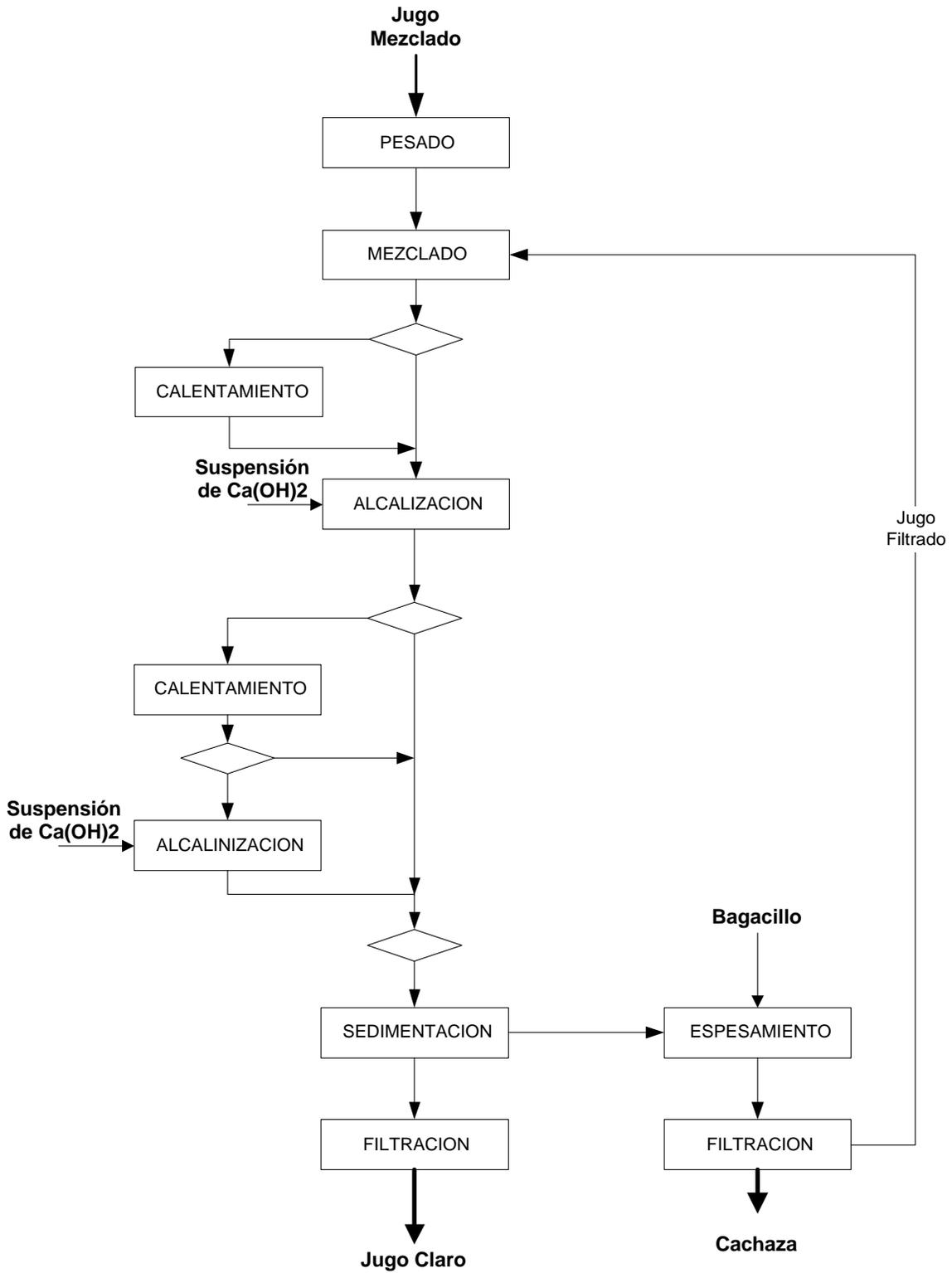


Figura 3.8: Secuencia del Estadio 2 (Purificación).

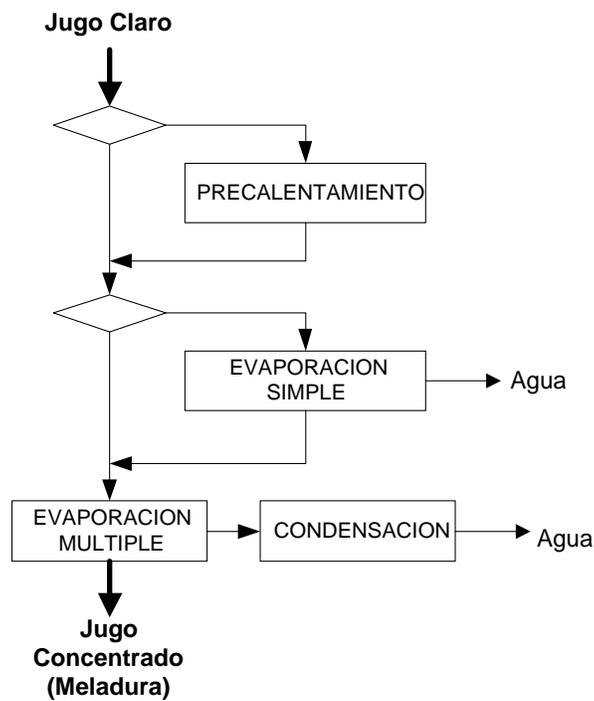


Figura 3.9: Secuencia del Estadío 3 (Concentración)

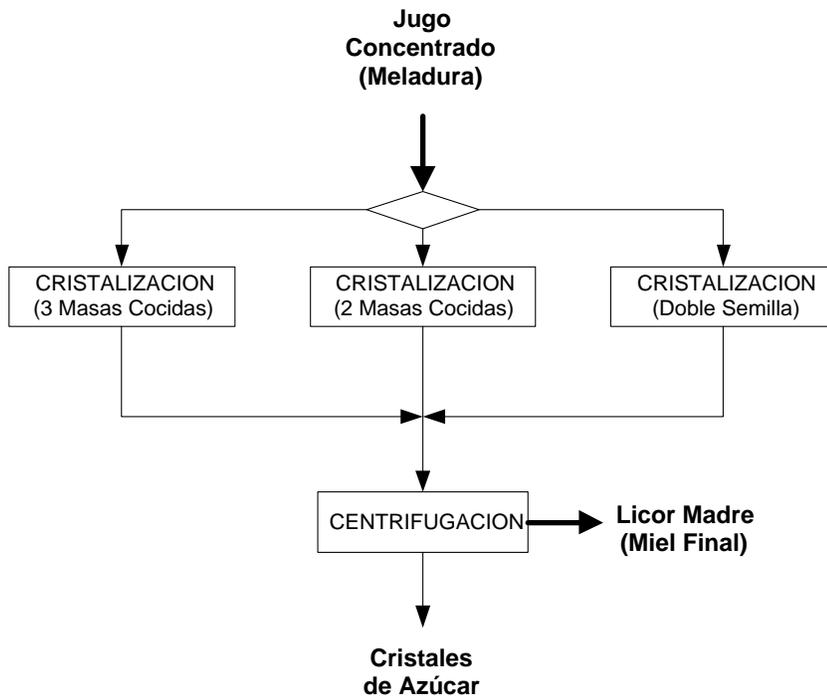


Figura 3.10: Secuencia del Estadío 4 (Cristalización).

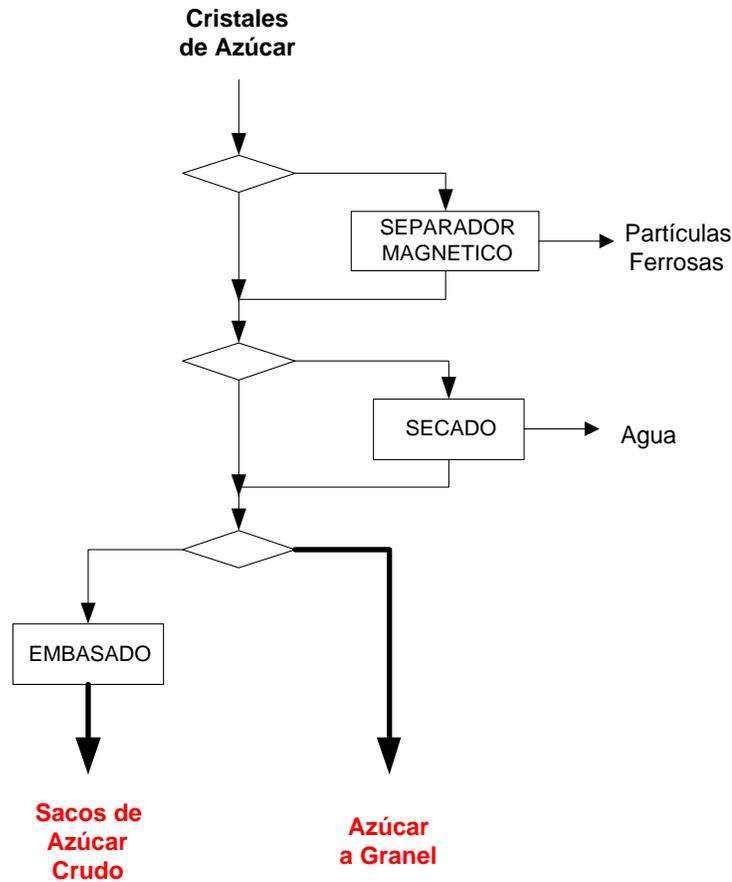


Figura 3.11: Secuencia del Estadio Final (Tratamientos Finales).

□ **Integración de Tratamientos Tecnológicos.**

En la figura 3.12 se integran todas las secciones representadas en las figuras 3.6 a la 3.11, resultando una Carta Tecnológica en la que se pueden identificar todas las combinaciones y con ellas las posibles rutas que en unión a la calidad de la Materia Prima y las características del equipamiento utilizado y a la maestría operacional, pueden producir las diferentes calidades establecidas para el Azúcar Crudo. En la Figura 3.13 se ha replicado la Carta Tecnológica de Rutas, pero en la misma se ha señalado las vías que están implementadas en la Planta Piloto Azucarera. La importancia de esta representación radica en que puede distinguirse conceptualmente las opciones que aún no están introducidas.

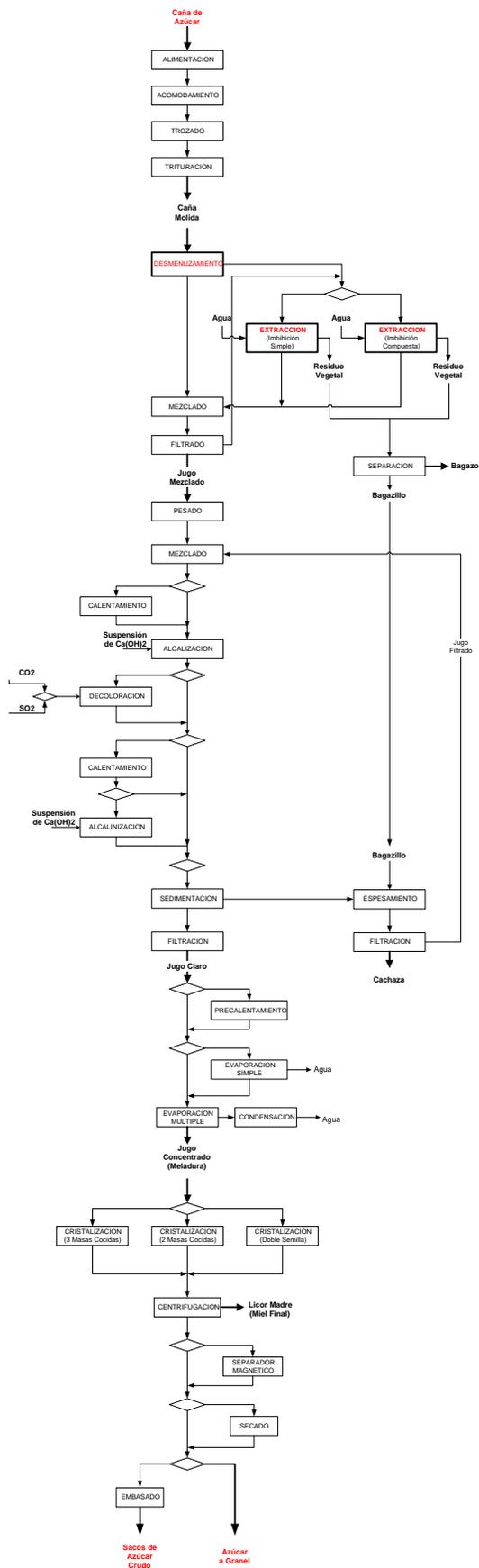


Figura 3.12: Carta Tecnológica Integrada.

en dicha Planta y que pueden ser paulatinamente consideradas para que la misma alcance la flexibilidad adecuada en correspondencia con su rol como Planta Piloto para el Proceso Azucarero, capaz de evaluar las diversas condiciones que se practican en las Plantas Comerciales.

□ **Definición de Etapas Tecnológicas Básicas.**

A través del análisis de la bibliografía y de la sistematización de tratamientos desarrollado en este Capítulo se puede considerar que el Proceso de Obtención de Azúcar Crudo está conformado por seis Etapas Básicas que se discuten a continuación:

Macroetapa de Preparación de la Materia Prima: Incluye todo el conjunto de tratamientos que aseguran que la Caña de Azúcar, cultivada y cosechada por cualquier vía, se someta al proceso de extracción de su contenido en azúcar bajo condiciones óptimas, que aseguren el buen rendimiento y la adecuada calidad sobre la base del beneficio del material inicial del proceso, eliminando en buena medida lo que no aporta azúcar y los macrocontaminantes. En su salida se logra la Caña Molida o Fragmentada.

Macroetapa de Extracción: Comúnmente llamada Molienda. Incluye los tratamientos combinados de trituración, compresión y lixiviación, así como otros que garantizan la separación del Azúcar contenido en la Caña, aislándola del vegetal agotado en un jugo cuyo solvente fundamental lo constituye el agua. De esta macroetapa resulta el Jugo Mezclado y el Bagazo.

Macroetapa de Purificación: Dispone de un grupo de tratamientos que eliminan contaminantes presentes en el jugo, que pueden entorpecer la cristalización del azúcar o contaminar finalmente la constitución de este producto. Se auxilia de dos Etapas Auxiliares; la Preparación del Medio Alcalino y la Recuperación de Azúcar desde los desechos separados. De esta macroetapa resulta el Jugo Claro y el Sedimento o Cachaza.

Macroetapa de Concentración: Se caracteriza por la aplicación de tratamientos térmicos, cuyas combinaciones responden a un uso óptimo de la energía, que producen la separación de una significativa cantidad del agua contenida en el jugo hasta lograr un nivel de concentración en azúcar muy próxima a la saturación para lograr su separación por cristalización. De esta macroetapa se obtiene la Meladura o Jugo Concentrado.

Macroetapa de Cristalización: Combina tratamientos que permiten la cristalización con adecuada pureza del azúcar y su separación efectiva a partir del máximo agotamiento favorable de la

misma en la meladura de la que se partió. De esta macroetapa se obtienen los Cristales de Azúcar y la Miel Final como un subproducto importante por sus aplicaciones.

Macroetapa de Tratamientos Finales: Conjuga diversos tratamientos, algunos optativos, que garantizan la calidad final del Azúcar Crudo producida, fundamentalmente en lo concerniente a especificidad en las normas establecidas por el mercado para este producto, así como para su adecuada transportación y almacenamiento. El producto de salida de esta macroetapa es el Azúcar Crudo Comercial.

□ **Reconocimiento de Etapas Globales del Proceso.**

Al sintetizar la estructura tecnológica del Proceso de Obtención del Azúcar Crudo puede considerarse que el Proceso Tecnológico Principal está conformado por tres Etapas Globales; Extracción, Purificación y Cristalización.

La figura 3.14 conjuga las Etapas Básicas y las Etapas Globales del Proceso.

□ **Definición Sintética del Proceso.**

El Proceso de Obtención de Azúcar Crudo es un proceso de tipo **Extractivo** porque el Producto Final está presente en la Materia Prima, por lo que dicho proceso está orientado a su Separación.

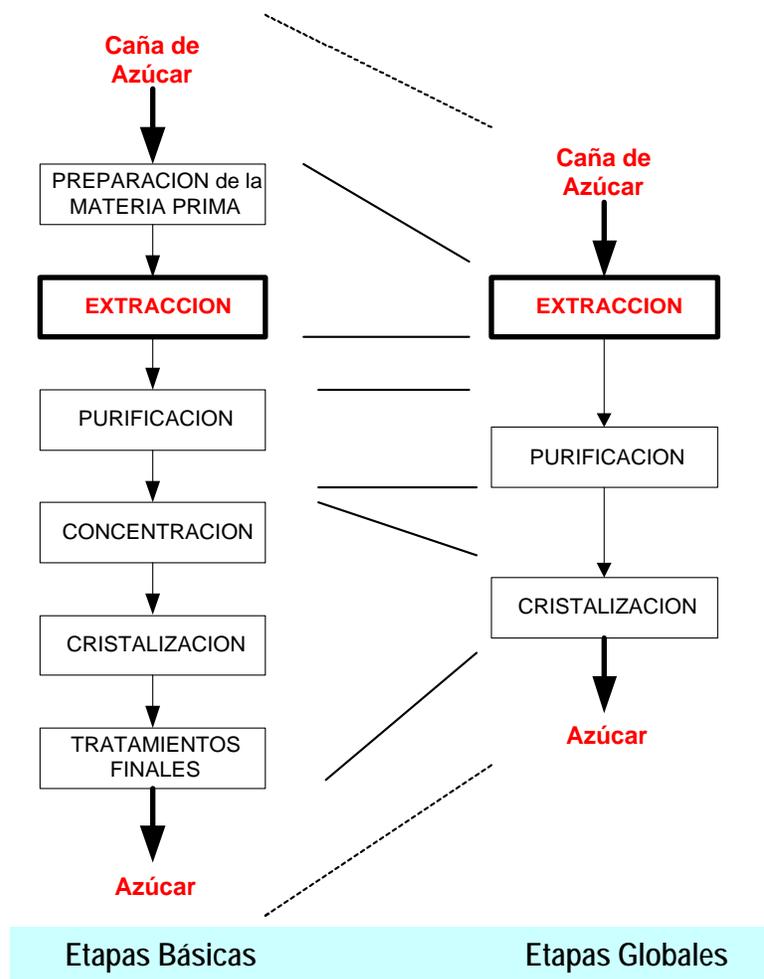


Figura 3.14.

Definición del Proceso: La Materia Prima (Caña de Azúcar) formada básicamente por Fibra, Agua y Azúcar, es sometida a un proceso de Extracción auxiliándose de un disolvente adecuado (Agua), que se encarga de solubilizar y remover al Producto deseado (Azúcar), separándose esta disolución del Vegetal Agotado (Bagazo) la cual es Purificada con el auxilio de un Agente Alcalinizante (Suspensión de Cal) aislando dichas impurezas (Cachaza) para lograr una solución azucarada (Jugo Claro) de la cual se separará el Producto Final (Azúcar Crudo) por cristalización del mismo a través de tratamientos térmicos y mecánicos que producen la salida colateralmente de Aguas Madres (Miel Final) con un alto nivel de agotamiento en el Producto Final

- **Definición de Funciones Total y Parciales del Proceso de Obtención de Azúcar Crudo (Orgánico) en la Planta Piloto “José Martí”.**

En la figura 3.15 se ha esquematizado la Función Total del Proceso de Obtención del Azúcar Crudo, describiéndose los principales vectores de entrada y salida, así como las especificaciones del Producto Final.

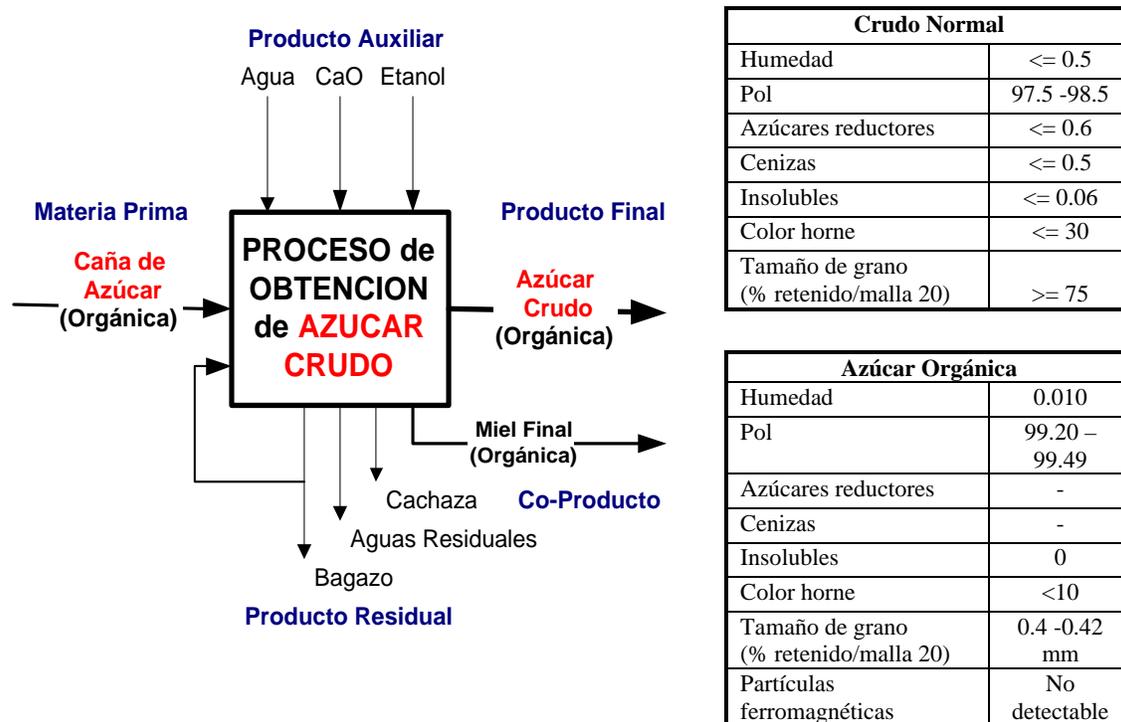


Figura 3.15: Función Total.

Las Funciones Parciales para el Proceso de Obtención del Azúcar Crudo en la Planta Piloto José Martí están establecidas en la figura 3.16, disponiéndose en la misma de los Tratamientos y los Parámetros Tecnológicos más importantes.

3.2.2- Análisis y Síntesis del Sistema Químico Tecnológico Integrado.

□ Caracterización de Productos Auxiliares y sus tratamientos.

En la tabla 3.2 se recogen aspectos fundamentales vinculados con los Productos Auxiliares utilizados en el Proceso y que se identifican en la figura 3.15. Existen otros productos que pueden emplearse para la obtención de Azúcar Crudo Normal, pero que al ser utilizados a conveniencia y en pequeñas proporciones no han sido considerados en este análisis.

Tabla 3.2: Productos Auxiliares.

Producto	Especificaciones
Agua	Se emplea como Solvente en la Extracción para recuperar el máximo de azúcar contenida en la Caña de Azúcar, en el lavado de cristales en la Centrifugación, para preparar la Suspensión Alcalina utilizada en la Purificación y en el lavado de la torta en una Operación Auxiliar de Filtración. Debe prescindir de materias extrañas y no estar contaminada microbiológicamente. No se recupera en el Proceso y sale en condensados y formando parte de la Miel Final.
CaO	Se utiliza para preparar la Suspensión Alcalina utilizada en la Purificación mediante un Proceso Auxiliar, que debe tener un contenido de óxido de calcio mayor de 85%. La calidad de la cal se mide por el contenido de CaO, que debe estar entre el 90-95% en peso y si es posible debe exigirse menos del 1 % de MgO. Deben evitarse sobre todo, cales que contengan más del 2% de MgO, Fe y Al. Esta debe mantener una densidad constante en el rango de 3-6 grados Baumé. No es recuperable y sale formando parte de la Cachaza.
Etanol	Se emplea para preparar la mezcla de cristales de azúcar que se incorporan en la Cristalización. Se utiliza en muy pequeñas cantidades. No es recuperable y sale a la atmósfera por su volatilidad en vapores producidos en los Tachos.

□ **Caracterización de Corrientes Secundarias y de Salida.**

En las Tablas 3.3 y 3.4 se precisan elementos sobre las Corrientes Secundarias y de Salida respectivamente que se presentan fundamentalmente en el Proceso de Obtención de Azúcar Crudo. Las Corrientes Secundarias (intermedias) pueden ser identificadas en la figura 3.5, mientras las Corrientes de Salida fundamentales se representaron en las figuras 3.5 y 3.15.

Es importante señalar que se produce salida de agua del Proceso pero que se incorpora fundamentalmente a otros sistemas tecnológicos asociados con el Proceso, por lo que su salida final está vinculada a las operaciones naturales que se producen (vaporización) y de limpieza en los mismos.

Tabla 3.3: Corrientes Secundarias.	
Corrientes	Características
Jugo Mezclado	Se produce en la Etapa de Extracción (también llamado Guarapo), siendo una mezcla del Jugo extraído de la Caña con el Agua de Imbibición y

	frecuentemente el Jugo Filtrado. Está compuesto por agua, sacarosa, azúcares reductores, ácidos orgánicos, pigmentos, sales orgánicas y decenas de otras sustancias. El jugo mezclado obtenido debe tener una pureza de 80%, su brix debe ser de 15.5, un pH=5.53, y un contenido de tierra de 5%.
Jugo Clarificado	Se produce en la Etapa de Purificación luego de la Clarificación del Jugo Mezclado y es la solución que será sometida a concentración para la posterior cristalización del azúcar que contiene. Debe tener una pureza de 0.5 a 1.5 unidades por encima de la del Jugo Mezclado, su brix similar a este y un pH entre 6.5 y 7.1.
Jugo Filtrado	Se genera por un Proceso Auxiliar Recuperativo y se recircula al jugo mezclado dentro de la Etapa de Purificación. Tiene una pureza entre 74 y 80 %, un Brix entre 12 y 15 y un pH de 6.7.
Meladura	Es la solución concentrada en azúcar obtenida de la Etapa de Concentración (por evaporación) del Jugo Claro. La Meladura debe tener de 82 a 86 % de pureza y 65 °Bx.

Tabla 3.4: Corrientes de Salida.

Corrientes	Características
Bagazo	Se produce en la Etapa de Extracción, correspondiéndose con el vegetal agotado o residual, en una proporción del 27 al 30 % en caña. Debe tener un Pol de 1.5 a 2.5 °S y una humedad entre 48 y 50 %. Es destinado fundamentalmente como combustible para generar energía para el propio Proceso, pero una parte es comercializada como Co-Producto por sus importantes aplicaciones.
Cachaza	Se produce por un Proceso Auxiliar Recuperativo sobre los lodos salidos del Clarificador. Está formada por fibras, azúcares, tierra, ceras, y sustancias nitrogenadas, entre las principales. Contiene del 1 al 4 % de azúcar. Debe presentar un Pol de 1.0 a 3.0 °S y una humedad entre 74 a 76 %. Es un Producto Residual del proceso de purificación de los jugos, se convierte en una dificultad para las fábricas cuando no se aprovecha, a causa de su manipulación, disposición y olor. Presenta varios usos que le inducen un valor agregado, puede utilizarse como materia prima en la producción de cera, medicamentos, alimento animal, abono mineral y orgánico, compost y biogás.

Tabla 3.4: Corrientes de Salida. (Cont.)

Corrientes	Características
Miel Final	Se produce en la Centrifugación como consecuencia de la separación de los cristales de Azúcar. Es el licor madre aparentemente agotado de Sacarosa (sometido a varias cristalizaciones). Contiene agua en un 15.96%, sacarosa 35.53%, glucosa 9.90%, fructuosa 10.04%, reductores infermentables

	4.01%, cenizas 9.57%, sustancias gomosas y coloides 8.06% y cloruros 1.25%. Es un Co-Producto del Proceso. Se utilizan en grandes cantidades como parte del alimento del ganado y las aves. A partir de las mieles se pueden obtener por fermentación y en determinadas condiciones, alcohol etílico, otros alcoholes y distintos tipos de levaduras por ejemplo la Levadura Torula tiene un alto porcentaje de proteínas y es un magnífico alimento para el ganado.
--	--

Las Aguas Residuales del Proceso están constituidas por todos los desechos líquidos originados en las operaciones y procesos de fabricación. Los volúmenes aportados, las propiedades y composición de estas aguas dependerán no solo de su origen y procedencia, sino del grado de eficiencia logrado en el proceso de fabricación y de la metodología de las operaciones industriales.

En sentido general presentan un valor de DQO de 3000 a 4000 mg/l y un flujo de 450 a 2200 m³ por cada 1000 toneladas de caña procesada. Por lo general en la mayoría de los Centrales los volúmenes de aguas residuales son altos, diferenciándose de la norma que indica que el volumen de agua residual no debe ser mayor de 0.5-0.6 m³/h, lo que resulta indicativo del uso irracional del agua y por tanto mayor consumo de agua de abasto, incidiendo negativamente en el medio y en la eficiencia de los sistemas de tratamiento.

□ **Definición de Procesos Tecnológicos Auxiliares y de Servicio.**

En las tablas 3.5 y 3.6 se presenta una descripción de los Procesos Tecnológicos Auxiliares y los Servicios Generales respectivamente que conforman el Sistema Tecnológico de Obtención de Azúcar Crudo.

Tabla 3.5: Procesos Tecnológicos Auxiliares.	
Proceso	Características
Preparación de Suspensión Alcalinizante	Se encarga de Mezclar el CaO con Agua para formar la Lechada de Cal, almacenarlo y suministrarlo para el Tratamiento de Alcalinización del Jugo en la Etapa de Purificación.
Filtración de Lodos Residuales	Es un Proceso Recuperativo que procesa los Lodos separados en el Tratamiento de Clarificación (Sedimentación), produciendo el Jugo Filtrado y la Cachaza. La importancia de este proceso radica, en su contribución al

	rendimiento industrial, al lograr separar de los lodos el azúcar que de otra forma se perdería como desecho de fábrica.
--	---

Tabla 3.6: Servicios Generales.	
Proceso	Características
Tratamiento de Agua y Red de Suministro.	Se encarga de realizar el tratamiento correspondiente para garantizar las calidades de Agua que requiere todo el Sistema Tecnológico. Así mismo almacena y distribuye el Agua tanto para el Proceso Principal, preparar la Suspensión Alcalina, la Generación de Vapor, reposición en el Sistema de Enfriamiento y para Limpieza de Instalaciones.
Generación de Vapor y Red de Vapor y Condensados.	Produce el Vapor necesario para los servicios de calentamiento en las Etapas de Concentración y Cristalización del Proceso. Utiliza tanto Fuel Oil (con Subsistema de suministro) y Bagazo (generado del propio proceso) como Combustible. Dispone de Subsistema de tratamiento para reducir impacto ambiental de los Gases de Combustión. El vapor y los condensados se circulan en un circuito cerrado.
Enfriamiento de Agua y Red de Circulación	Garantiza Agua Fresca para los servicios de enfriamiento en las Etapas de Concentración (Condensadores) y Cristalización del Proceso Principal. El agua de enfriamiento circula en circuito cerrado pero se producen importantes pérdidas por vaporización y derrame.
Generación de Vacío	Garantiza vacío en los Condensadores Barométricos en las Etapas de Concentración del Proceso Principal y en la Filtración Auxiliar a la Purificación.
Limpieza y Evacuación de Aguas Residuales	Dispone de Instalaciones para la preparación de agentes químicos empleados para la limpieza de equipos en el Proceso (Calentadores y Evaporadores) y conforma la Red que garantiza el drenaje (liquidación) de cargas y corrientes desechables del proceso, así como de las aguas empleadas para la limpieza de equipos e instalaciones.

En el caso de la Planta Piloto Azucarera, la Preparación de Lechada de Cal y de productos químicos empleados para limpieza está integrada modularmente. La Cachaza no es aprovechada, por lo que existe implementado un mecanismo de evacuación elemental, que ha sido también aplicado coyunturalmente al Bagazo sobrante.

El Sistema de Tratamiento de Agua es débil, pues el agua empleada para la Generación de Vapor no recibe los tratamientos especializados que se exigen y el agua para Proceso solo recibe los tratamientos primarios convencionales. El agua para enfriamiento no recibe tampoco tratamiento especializado, pero al ser contaminada con los condensados del Proceso Principal, como

consecuencia de arrastres se introducen contaminantes que no justifican la necesidad de dichos tratamientos.

El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales es relativamente sencillo y se auxilia de estanques de oxidación de la materia orgánica antes del vertimiento de dichas aguas al Río Ochoita.

□ **Conformación del Sistema Tecnológico Integrado.**

La figura 3.17 representa la macroestructura de la Planta Piloto “José Martí” y en la figura 3.18 se ha esquematizado todo el Sistema Tecnológico Integrado que conforma esta Fábrica de Azúcar Crudo.

Capítulo IV: Análisis de la Ingeniería de la Planta Piloto Azucarera

4.1-Definición de las Secciones en la Planta Piloto.

Toda instalación tecnológica tiene una estructura y una organización. Es típico en la Industria Azucarera que los Ingenios se seccionen por el término de Area. Así resulta común escuchar tres secciones fundamentales; Area de Maquinaria, Area de

Fabricación y Area de Generación. También se manejan términos tales como Casa de Calderas.

Sin entrar en contradicción con toda esta tradición, se desarrolló un análisis de la Planta Piloto Azucarera para definir sus secciones componentes de modo tal, que permita organizar la distribución del equipamiento y toda su codificación para que facilite la identificación del mismo, tanto en la documentación técnica correspondiente como en su existencia física.

Para lograr la definición de las secciones se consideró respetar las Areas definidas tradicionalmente, pero siendo consecuente con la macroestructura definida en el Capítulo III y distinguiendo las etapas básicas definidas para el Proceso Tecnológico Principal (PTP). Así mismo, se valoró la distribución constructiva de la Planta Piloto y la disposición física del equipamiento. Todo esto condujo a la búsqueda de un consenso entre lo práctico y lo conceptual. De este modo fueron definidas 8 Secciones, de las cuales 5 se corresponden con el PTP, y las tres restantes están asociadas a los Servicios Generales. Las áreas de Procesos Auxiliares fueron identificadas y se consideraron Subsecciones asociadas a las Secciones con las que directamente interactúan.

El código utilizado para cada sección se estableció considerando emplear dos dígitos, siempre inicializado con el 0 y a continuación un número latino comenzando por el 1. Para las Subsecciones se adoptó emplear el código de la Sección con la que mayor vínculo sostiene, y entonces acompañándolo como sufijo una letra en mayúscula comenzando siempre por la A. La tabla 4.1 presenta la relación de Secciones, su código y su alcance.

Tabla 4.1: Definición de Secciones de la Planta Piloto.		
Código	Nombre	Generalidades
01	Recepción y Preparación	Esta sección comprende desde que llega la caña al patio del ingenio hasta que entra al área de molienda en el interior del central.

02	Molienda	Esta sección está en el interior del central y comprende desde que la caña entra a la primera desmenuzadora hasta la salida del jugo mezclado del colador parabólico, de esta sección salen dos corrientes el jugo mezclado y el bagazo que contiene el bagacillo.
03	Purificación	Esta fracción comienza con el almacenamiento del jugo en el tanque de jugo mezclado hasta que el jugo clarificado sale del tanque de almacenamiento hacia los evaporadores. La sección principal se auxilia de dos subsecciones para su funcionamiento.
03 A	Preparación y Almacenamiento de agentes químicos	En esta subsección se preparan y se almacenan los distintos agentes químicos que se utilizan tanto en la sección como en el proceso en general.
03 B	Recuperación de jugo	Esta subsección se encarga de recuperar el jugo que contiene la torta que sale del clarificador para mejorar la eficiencia del proceso.
04	Concentración y Cristalización	Esta es la sección que comprende desde la concentración del jugo clarificado hasta la formación y crecimiento de los cristales de azúcar, de aquí se obtienen las masas cocidas y se extrae agua.
05	Tratamientos finales	En esta parte se le da la terminación al producto, se separa, se pesa y se almacena directamente o se envasa para ser almacenado.
06	Almacenamiento y distribución de agua	Esta sección está formada por una batería de tanques que se encargan de almacenar las distintas aguas según sus uso y además comprende los equipos para su distribución.

Tabla 4.1: Definición de Secciones de la Planta Piloto. (Cont.)

Código	Nombre	Generalidades
07	Generación de vapor	Esta sección comprende todo lo referente a la generación del vapor, los equipos generadores y los que regulan la presión del vapor. Además tiene dos subsecciones de las cuales se auxilia para su funcionamiento.

07 A	Transportación y almacenamiento de bagazo	Esta sección auxiliar se encarga como lo dice su nombre de la transportación y del almacenamiento del bagazo así como de su suministro al equipo generador de vapor.
07 B	Almacenamiento y suministro de petróleo	Esta subsección se encarga del almacenamiento y suministro de petróleo a la caldera generadora de vapor que utiliza este combustible.
08	Enfriamiento de agua	Esta sección comprende los equipos que se encargan del almacenamiento, recirculación y tratamiento del agua para su enfriamiento.

En el caso de la sección de Molienda (Extracción) se consideró parte de ella el colador parabólico no solo por su ubicación espacial, sino también por considerar la operación que este realiza, una separación grosera para aislar el jugo del bagazo triturado que lo acompaña.

Para la Purificación se propuso considerar todo en una sola sección, pero se hizo una división para la mejor comprensión y organización del trabajo, se definieron entonces dos subsecciones de las cuales se auxilia la sección mayor, para esto se tuvo en cuenta el grado de independencia con que trabaja cada una y la distancia a que se encuentran.

En la Concentración y Cristalización se integran los equipos que tributan a las dos macroetapas por la cercanía que tienen y por la cantidad reducida de equipos que se presentan así como por la similitud en el principio de operación de la mayoría de estos.

En los Tratamientos finales se tienen tres corrientes de salida; azúcar, miel final y residuales por lo que en esta sección se concentran las zanjas de conducción de los mismos y las trampas de grasa.

Para el caso de la Generación de vapor pasa parecido a la purificación por lo que se procedió de forma similar se dividió la etapa en tres de forma que se obtuvieron dos subsecciones que posibilitan algunas de las condiciones necesarias para la generación.

4.2-Identificación del Equipamiento.

Una vez definidas las Secciones de la Planta Piloto entonces se procedió a la revisión del equipamiento correspondiente a cada una, asignándole a cada uno un Código para su identificación en toda la documentación técnica.

En la tabla 4.2 se presenta el listado general de equipos, ordenados según el flujo de producción y la estructura tecnológica en general, agrupados según las secciones a las que se integran y con el código de identificación asignado.

Tabla 4.2: Identificación del Equipamiento de la Planta Piloto.		
Sección	Equipos	Código
Recepción y Preparación - 01	Bascula de peso	101
	Tractor	102
	Alzadora	103
	Embudo de Caña	104
	Estera Alimentadora	105
	Rompe Bulto(gallegos)	106
	Cuchillas Primarias	107
	Estera Elevadora	108
	Cuchillas Secundarias	109
Molienda - 02	Electro Imán	201
	Desmenuzadora # 1	202
	Desmenuzadora # 2	203
	Molino #1	204
	Conductora Interior # 1	205
	Molino # 2	206
	Conductora Interior # 2	207
	Molino # 3	208
	Sinfín de Bagacillo	209
	Rastrillo de Bagacillo	210
	Tanque de Guarapo # 1	211
	Tanque de Guarapo # 2	212
Tabla 4.2: Identificación del Equipamiento de la Planta Piloto. (Cont.)		
Sección	Equipos	Código
Molienda - 02	Bomba de Maceración # 1	213
	Bomba de Maceración # 2	214
	Colador Parabólico	215
	Bomba de jugo del Parabólico	216
Purificación - 03	Romana de Guarapo	301
	Tanque de Jugo Mezclado	302
	Bomba de Jugo Mezclado	303
	Tanque de Mezcla de Arcilla	304
	Calentador # 1	305
	Calentador # 2	306

	Calentador # 3	307
	Tanque Flash	308
	Clarificador	309
	Equipo de Alcalización	310
	Tanque de Jugo Claro	311
	Bomba de Jugo Claro # 1	312
	Bomba de Jugo Claro # 2	313
Preparación y Almacenamiento de Agentes Químicos – 03 A	Tanque de Potasa # 1	314
	Tanque de Potasa # 2	315
	Tanque de Cal # 1	316
	Tanque de Cal # 2	317
	Bomba de Acido y Potasa	318
	Bomba de Cal	319
Recuperación de Jugo – 03 B	Premezclador (Cachaza-Bagacillo)	320
	Tolva de Cachaza	321
	Ventilador de Bagacillo	322
	Tolva de Bagacillo	323
	Filtro Rotatorio	324
	Tanque de Vacío del Filtro	325
	Bomba de Vacío del Filtro	326
	Bomba de Agua del Filtro	327
Concentración y Cristalización - 04	Evaporador # 1	401
	Evaporador # 2	402
	Evaporador # 3	403
	Condensador Barométrico	404
	Bomba de Retorno (Condensado)	405
	Bomba de Meladura	406
	Tacho # 1	407
	Tacho # 2	408
	Tacho # 3	409
	Tanque de Meladura # 1	410
	Tanque de meladura # 2	411
	Tanque de Miel A	412
	Tanque de miel B	413
	Tanque de miel C	414

Tabla 4.2: Identificación del Equipamiento de la Planta Piloto. (Cont.)

Sección	Equipos	Código
Concentración y Cristalización - 04	Condensador Barométrico # 1	415
	Condensador Barométrico # 2	416
	Condensador Barométrico # 3	417
	Disolutor de Semilla	418
	Bomba del Disolutor	419
	Cristalizador # 1	420
	Cristalizador # 2	421
	Cristalizador # 3	422
	Cristalizador # 4	423
	Cristalizador # 5	424

	Cristalizador # 6	425
	Cristalizador # 7	426
	Granero # 1	427
	Granero # 2	428
	Granero # 3	429
	Bomba de Vacío General	430
Tratamientos Finales - 05	Mezclador Comercial	501
	Centrífuga TSK (Japonesa)	502
	Centrífuga CUS-100 (Polaca)	503
	Sinfín de Azúcar	504
	Conductor de Azúcar Comercial	505
	Tolva de Azúcar Comercial	506
	Bascula de Peso	507
	Maquina de Coser Sacos	508
	Bomba de Miel A	509
	Bomba de Miel B	510
	Bomba de Miel Final	511
	Bomba de Pistón de Reserva	512
	Mingle	513
	Tanque de miel A Centrífuga	514
	Tanque de miel B y C Centrífuga	515
	Tanque de Miel Final	516
	Bomba de Embarque Miel Final	517
	Zanja # 1	518
	Zanja # 2	519
	Trampa de Grasa	520
	Bombas de Residuales	521
Almacenamiento y Distribución de Agua – 06	Tanque de Agua # 1, Calderas	601
	Tanque de Agua # 2, Calderas	602
	Tanque de Agua # 3, Calderas	603
	Tanque de Agua # 4, Agua Fría	604
	Tanque de Agua # 5, Proceso	605
	Bomba de Retorno # 1	606
	Bomba de Retorno # 2	607
	Bomba de Retorno # 3	608
Tabla 4.2: Identificación del Equipamiento de la Planta Piloto. (Cont.)		
Sección	Equipos	Código
Almacenamiento y Distribución de Agua – 06	Pailote de Agua # 1	609
	Pailote de Agua # 2	610
	Pailote de Agua Soterrado	611
Generación de Vapor - 07	Caldera # 1, de Petróleo	701
	Caldera # 2, de Bagazo	702
	Reductor de Vapor	703
	Chimenea	704
	Ciclón	705
Transportación y Almacenamiento de Bagazo – 07 A	Conductor de Bagazo # 1	706
	Conductor de Bagazo # 2	707

	Conductor de Bagazo # 3	708
	Conductor de Bagazo # 4	709
	Casa de Bagazo	710
Almacenamiento y Suministro de Petróleo – 07 B	Bomba de Alimentación # 1	711
	Bomba de Alimentación # 2	712
	Tanque de Petróleo	713
Enfriamiento de Agua - 08	Tanque de Condensado # 1	801
	Tanque de Condensado # 2	802
	Tanque de Condensado # 3	803
	Tanque de Condensado # 4	804
	Bomba de Agua de Enfriamiento	805
	Bomba de Inyección General	806
	Bomba Rechazo del Enfriadero	807
	Enfriadero	808

4.3-Especificaciones del Equipamiento.

A continuación se reseñan los datos más significativos sobre las dimensiones y capacidades de los equipos más representativos de la Planta Piloto.

Tabla 4.3: Báscula de pesar caña (101).	
Largo de la báscula	10.55 m
Ancho de la báscula	5.25 m
Largo de la romana	3.93 m
Ancho de la romana	2.88 m

Tabla 4.4: Embudo de caña (104).	
Ancho superior	2.97 m
Ancho inferior	0.90 m
Ancho de la parte inclinada	0.5 m
Largo superior	6.22 m
Largo inferior	3.90 m
Profundidad total	3.00 m
Capacidad	100 arrobas.

Tabla 4.5: Estera alimentadora (105).	
Largo	5.0 m
Ancho	0.90 m

Espesor	0.0762 m
---------	----------

Tabla 4.6: Cuchillas (107 y 109).	
Cantidad	2
Diámetro	0.28 m
Diámetro del eje de soporte	0.15 m

Separación entre cuchillas y tablillas	0.635 c m
--	-----------

Tabla 4.7: Rompe bultos (106).	
Diámetro de las paletas	0.95 m
Numero de tablillas	15.0

Tabla 4.8: Estera elevadora (108).	
Largo	12.0 m
Ancho	0.82 m
Espesor de la estera	0.33 m

Tabla 4.9: Electroimán (201).	
Diámetro	0.36 m
Ancho	0.80 m

Tabla 4.10: Tándem (202-212).	
Largo de las masas	0.381 m
Diámetro utilizable	0.305 m
Capacidad	10 000 arrobas.

Tabla 4.11: Colador Parabólico (215).	
Ancho	0.66 m
Largo de la parte curva	1.26 m
Largo de la parte recta	0.19 m
Altura	1.70 m
Área	0.82 m ²

Tabla 4.13: Tanque de jugo mezclado (302).	
Diámetro	1.12 m

Tabla 4.12: Romana de guarapo (301).		
	Tanques de pesado	Tanque de descarga
Diámetro	0.60 m	-
Largo	-	1.70 m
Ancho	-	0.71 m
Altura	0.72 m	0.46 m

Altura	1.83 m
Volumen	1.80 m ³

Tabla 4.14: Tanque de mezcla de arcilla (304).	
Diámetro	0.68 m
Altura	1.21 m

Tabla 4.15: Calentadores (305-307).	
Cantidad	3
Largo entre cabezales	3.53 m
Diámetro interior de los tubos	1.50 cm.
# de tubos	36
# de pases	12
# de tubos por pase	3
Diámetro exterior de los tubos	1.9 cm.
Superficie calórica	113 pies ²
Espesor del aislante	0.05 cm.

Tabla 4.16: Tanque flash (308).			
	Cilindro superior	Cilindro	Cilindro

		intermedio	inferior
Diámetro	0.63 m	0.79 m	0.95 m
Altura	0.60 m	0.06 m	0.40 m

Tabla 4.17: Clarificador (309).

Altura	3.71 m
Diámetro interior	2.42 m
Diámetro del cono	0.43 m
Altura del cono	0.85 m
Volumen	18.641 m ³

Tabla 4.18: Tanque de jugo clarificado (311).

Ancho	0.90 m
Largo	0.90 m
Altura	1.20 m
Volumen	0.972 m ³

Tabla 4.19: Tanques de potasa para limpieza (314 y 315).

	Tanque rectangular	Tanque cilíndrico
Diámetro	-	1.20 m
Largo	1.10 m	-
Ancho	1.10 m	-
Altura	1.25 m	1.34 m
Volumen	1.513 m ³	1.715 m ³

Tabla 4.20: Tanques de preparación de cal (316 y 317).

Diámetro	0.78 m
Altura	0.90 m
Volumen	0.52 m ³

Tabla 4.21: Premezclador cachaza- bagacillo (320).

Diámetro	0.90 m
Altura	1.0 m
Altura del embudo alimentador	0.49 m
Diámetro del embudo alimentador	0.48 m

Tabla 4.22: Filtro rotatorio (324).

Diámetro	1.46 m
Ancho	0.55 m

Tabla 4.23: Evaporadores (401-403).

Diámetro del cuerpo	1.04 m
Diámetro del cono	0.34 m
Diámetro del tubo central	0.13 m
Diámetro de los fluses	0.04 m
Altura del cono	0.205 m
Altura de los fluses	1.08 cm.
Altura total	2.23 m
Número de fluses	250

Volumen del cono	0.083 m ³
Volumen de la calandria	0.5356 m ³
Volumen del tubo central	0.0143 m ³
Volumen de los fluses	0.3393 m ³
Volumen del cuerpo	0.9769 m ³
Volumen de trabajo	0.2008 m ³
Área	101.78 m ²

Tabla 4.24: Condensador Evaporadores (404).

Altura total	1.93 m
Altura del cuerpo	1.84 m

Diámetro	0.85 m
----------	--------

Tabla 4.25: Tanques miel y meladura (410-414).

Largo	2.20 m
Ancho	1.56 m
Altura	1.22 m
Volumen	4.187 m ³

Tabla 4.26: Tachos (407-409).

Partes	Tacho #1	Tacho #2	Tacho #3
Diámetro cuerpo	1.20 m	1.21 m	1.26 m
Diámetro del cono	0.22 m	0.22 m	0.36 m
Diámetro tubo central	0.44 m	0.44 m	0.455 m
Diámetro de los fluses	0.95 m	0.95 m	0.95 m
Altura del cono	0.31 m	0.28 m	0.28 m
Altura de los fluses	0.62 cm.	0.62 cm.	0.76 cm.
Altura total	2.70 m	2.65 m	2.80 m
Número de fluses	59	58	60
Volumen del cono	0.1422 m ³	0.1592 m ³	0.1304m ³
Volumen de la calandria	0.3492 m ³	0.447 m ³	0.3536 m ³
Volumen del tubo central	0.9427 m ³	0.1238 m ³	0.0943 m ³
Volumen de los fluses	0.2549 m ³	0.3232 m ³	0.2593 m ³
Volumen del cuerpo	2.3343 m ³	2.5436 m ³	2.3924 m ³
Volumen del tacho	2.8139 m ³	3.1498 m ³	2.8478 m ³
Área de los fluses	11.8 cm ²	11.6 cm ²	15.0 cm ²

Tabla 4.27: Condensadores Tachos (415-417).

Parámetro	C. Tacho # 1	C. Tacho # 2	C. Tacho # 3
Altura total	1.93 m	1.94 m	2.16 m

Altura del cuerpo	1.83 m	1.84 m	2.06 m
Diámetro	0.78 m	0.832 m	0.813 m

Tabla 4.28: Disolutor de semilla (4.18).

Diámetro	0.98 m
Altura	1.28 m

Altura del cono	0.25 m
-----------------	--------

Tabla 4.29: Graneros (427-429) y Cristalizadores (420-426).

Ancho	1.24 m
Largo	3.07 m

Radio del cilindro	0.60 m
Altura de la parte recta	0.62 m
Altura total	1.22 m
Diámetro del eje	0.20 m
Largo de las paleta	0.48 m
Diámetro de las paletas	1.01 m (mínimo)
Número de paletas	52
Volumen de la parte curva	1.79 m ³
Volumen de la parte recta	2.268m ³
Volumen del eje	0.099 m ³
Volumen de las paletas	0.204 m ³
Volumen del cuerpo	3.981 m ³
Volumen total	4.28 m ³

Tabla 4.30: Mezclador comercial (501).

Radio de la parte curva	0.26 m
Altura de la parte recta	0.27 m
Altura total	0.53 m
Ancho	0.52 m
Largo	1.15 m

Tabla 4.31: Sinfín de azúcar (504).

Radio de la parte curva	0.30 m
Altura de la parte recta	0.20 m
Altura total	0.50 m
Ancho superior	0.70 m
Largo	3.0 m

Tabla 4.32: Conductor de banda de azúcar comercial (505).

Ancho	0.50 m
Largo	3.0 m

Tabla 4.33: Tolva de azúcar (506).

Altura total	1.50 m
Ancho	1.00 m
Largo	1.00 m

Tabla 4.34: Bascula de peso (507).

Altura total	1.00 m
Ancho de la plancha	0.60 m
Largo de la plancha	1.00 m

Tabla 4.35: Mingle (513).

Radio de la parte curva	0.30 m
Altura de la parte recta	0.20 m
Altura total	0.50 m
Ancho superior	0.70 m
Largo	3.0 m

Tabla 4.36: Tanques de miel de la centrífuga (514 y 515).

	Tanque de miel A	Tanque de miel B y C
Largo	1.03 m	0.90 m

Ancho	1.03 m	0.70 m
Altura	0.90 m	0.40 m

Tabla 4.37: Tanques de miel final (516).		
	Tanques de miel final	Tanquecito sobre un tanque de miel final
Diámetro	3.0 m	-
Altura	4.60 m	-
Volumen	32.47 m ³	2.04 m ³

Tabla 4.38: Tanques de agua (601-605).	
	Tanques de agua del proceso
Largo	3.0 m
Ancho	1.57 m
Altura	1.24 m

Tabla 4.39: Pailones de agua (609-611).			
	Pailón # 1	Pailón # 2	Pailón soterrado
Diámetro	1.10 m	1.10 m	2.40 m
Altura	6.40 m	6.40 m	6.40 m
Volumen	6.08 m ³	6.08 m ³	29.0 m ³

Tabla 4.40: Reductora de vapor (703).	
Diámetro	1.10 m
Largo	1.90 m
Volumen	1.81 m ³

Tabla 4.41: Caldera de vapor de petróleo (701).	
Presión de trabajo	10 Kg./cm ²
Capacidad de producción	4000 Kg./h
Volumen total	13 m ³
Superficie calórica	133.4 m ²
Número de pases por los tubos	3
Número de tubos del primer haz	117
Número de tubos del segundo haz	78
Diámetro de los tubos	5.7 cm.
Largo de tubos	3.65 m
Largo de la caldera	4.92 m
Ancho de la caldera	2.29 m
Altura de caldera	4.14 m

Tabla 4.42: Caldera de bagazo (702).	
Largo de la caldera	4.92 m
Ancho de la caldera	3.12 m
Altura de la caldera	5.98 m

Tabla 4.43: Conductores de bagazo (706-709).				
	Conductor #	Conductor #	Conductor #	Conductor #
	1	2	3	4

Ancho	0.60 m	0.60 m	0.60 m	0.60 m
Largo	3.50 m	12.0 m	5.0 m	12.0 m
Tabla 4.44: Tanque de petróleo (713).				
Diámetro	2.00 m			
Altura	2.50 m			
Volumen	7.85 m ³			

Tabla 4.45: Casa de bagazo (710).	
Largo	12.00 m
Ancho	6.0 m

Altura	6.0 m
--------	-------

Tabla 4.46: Tanques de condensado (801-804).			
	tanques # 1 y # 2	Tanque # 3	Tanque # 4
Ancho	1.00 m	1.00 m	0.70 m
Largo	3.00 m	2.50 m	0.70 m
Altura	1.56 m	1.56 m	1.50 m

Tabla 4.47: Enfriadero (808).	
Largo	20.75.0 m
Ancho	10.83.0 m

Número de sprays	56
Distancia entre los sprays y la pared	1.50 m
Volumen total	27.0 m ³

Bombas

1. Bomba de imbibición (1)

11. Bombas para jugo claro (1)

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 2. Bomba de maceración (2) | 12. Bomba de cachaza (1) |
| 3. Bomba de jugo mezclado (2) | 13. Bomba de vacío general (1) |
| 4. Bomba de meladura (1) | 14. Bomba de vacío filtro (1) |
| 5. Bomba de condensado (2) | 15. Bombas de miel (2) |
| 6. Bomba de repuesto de condensado (1) | 16. Bombas al parabólico (2) |
| 7. Bomba de inyección (1) | 17. Bomba de semilla (1) |
| 8. Bomba de rechazo (1) | 18. Bomba de condensado del |
| 9. Bomba de ácido y potasa (1) | tercer vaso (1) |
| 10. Bomba de cal (1) | 19. Bomba de jugo clarificado (2) |

Tabla 4.48: Datos técnicos de las bombas.

Bomba	Tipo	Marca	Carga	Flujo	País	Otros datos de interés
De imbibición		KSB				1.5" de descarga
De maceración	Centrífuga	Dimitrov	25 m	360 L/min	Bulgaria	
De maceración	Centrífuga	Dimitrov	25 m	360 L/min	Bulgaria	
De jugo mezclado			37 m	18.5 L/s		
De meladura						2.5" de descarga
De repuesto de condensado	Centrífuga	Dimitrov	25 m	360 L/min	Bulgaria	
De inyección	Centrífuga			110-200 m ³ /h		1770 R.P.M.
De rechazo						
De ácido y potasa	Centrífuga	Dimitrov	25 m	360 L/min	Bulgaria	
Tabla 4.48: Datos técnicos de las bombas. (Cont.)						
Bomba	Tipo	Marca	Carga	Flujo	País	Otros datos de interés
De cal						1.5" de descarga
Para jugo claro y turbio	Centrífuga	Dimitrov	25 m	360 L/min	Bulgaria	

De cachaza	Centrífuga	ORVL			Cubana	5" de descarga
De vacío general	Centrífuga	3P3430		126 m ³ /min	Polonia	
De vacío filtro	Centrífuga	NASH		402 "/mm		
De miel final						2.5" de descarga
Al parabólico	Centrífuga	Dimitrov	25 m	360 L/min	Bulgaria	
Al parabólico	Centrífuga	Dimitrov	25 m	360 L/min	Bulgaria	
De retorno	Centrífuga	CTR			Cuba	
De retorno	Centrífuga	CTR			Cuba	
De alimentar calderas	Multietapas	Apollo Werk	153 m	3.5 m ³ /h	RDA	
De alimentar calderas	Multietapas	Apollo Werk	153 m	3.5 m ³ /h	RDA	
De residuales	Centrífuga		20 m	60 m ³ /h		
De condensado del tercer vaso						1.5" de descarga
De condensado						1.5" de descarga
De extracción de cachaza	Cuádruple					

Los datos técnicos se recogieron en un modelo de fichas técnicas llamados Pasaportes, que utiliza el Ministerio del Azúcar para ese fin, con los datos mínimos suficientes para ser completados por parte de los funcionarios de la Planta Piloto después de concluir el proceso de renovación al que esta siendo sometida la instalación. (Ver Anexo).

4.4-Aspectos Generales de las Principales Interconexiones.

Para el caso de las interconexiones se han considerado las redes de; Almacenamiento y distribución de Agua de Proceso, Generación-distribución del Vapor y Condensados y Red de Agua de Enfriamiento. La tabla 4.49 resume una descripción sobre cada una de ellas.

Tabla 4.49: Descripción de Interconexiones de Planta Piloto.	
Redes	Descripción de la Red.
Generación-distribución del Vapor y Condensados	El vapor es generado en dos Calderas Generadoras, una caldera que utiliza como combustible el petróleo (701) y otra que quema bagazo como combustible (702). El vapor generado pasa a un Reductor de Vapor (703) que se encarga de reducir la presión del

	<p>mismo para ser utilizado en el proceso, ya en el proceso el vapor se usa para calentamiento en los Calentadores (305-307), Evaporadores (401-403) y Tachos (407-409). Todo el vapor residual de estas operaciones es condensado en Condensadores Barométricos (404 y 414-417) y recogido en Tanques de Condensado (801-804), posteriormente el condensado es mandado al Enfriadero (808) desviándose a la entrada del mismo una corriente de agua de condensado que es utilizada como agua de imbibición en el Tándem (202-212).</p>
Almacenamiento y distribución de Agua de Proceso	<p>En cuanto a la red de almacenamiento y distribución de agua de proceso, tenemos que una parte importante del agua que se utiliza en el proceso proviene de los Pailones de Agua (609-611) en el exterior del central, el agua de los Pailones pasa a los Tanques de Almacenamiento de Agua (601-605) dentro del central. Esta agua es utilizada fundamentalmente en alimentar las Calderas (701-702). Pero otra parte está destinada a ser usada en el lavado de los equipos, como Evaporadores (401-403), Tachos (407-409) y Centrífugas (502 y 503) y además para la limpieza.</p>
Red de Agua de Enfriamiento	<p>El agua producto de condensar el vapor y la que se usa para lograr que este vapor condense van al Enfriadero (808), para reducir su temperatura y después una parte de esta agua vuelve a ser utilizada en los Condensadores Barométricos (404 y 414-417) para condensar el vapor resultante de los Evaporadores (401-403) y Tachos (407-409) y la otra parte, del agua fría es utilizada en los Cristalizadores (420-426) para el enfriamiento de las masas cocidas.</p>

4.5-Aspectos Generales de la Instrumentación.

Los lasos de control que están implementados en la planta son:

- Nivel, tanque de jugo mezclado.
- Temperatura, salida de los calentadores.
- pH, jugo alcalizado.
- Temperatura, salida del reductor de vapor.
- Presión, reductor de vapor.
- Romana de guarapo.
- Bajo vacío en el filtro de cachaza.

Instrumentación

Caldera de Petróleo					
Manómetros	0-16 Kg./cm ²	0-140 lb./plg ²	0-350 lb./plg ²	0-25 Kg./cm ²	0-350 lb./plg ²

Calentadores			
	Calentador # 1	Calentador # 2	Calentador # 3
Manómetros	0-6 Kg./cm ²	0-2.5 Kg./cm ²	0-1.6 Kg./cm ²
		0-35 lb./plg ²	0-20 lb./plg ²
Termómetros	0-200 °C	0-200 °C	0-200 °C

Evaporadores			
	Evaporador # 1	Evaporados # 2	Evaporador #3
Mano vacuómetros	-1 a 3 Kg./cm ²	-1 a 25 Kg./cm ²	-20 a 20 Kg./cm ²
Vacuómetros	0 a 1 Kg./cm ²	-1 a 0 Kg./cm ²	-1 a 0 Kg./cm ²
Termómetros	0-120 °C	0-120 °C	0-120 °C

Tachos			
	Tacho # 1	Tacho # 2	Tacho # 3
Mano vacuómetros	-5 a 0 lb./plg ²	-25 a 5 lb./plg ²	-20 a 20 lb./plg ²
Manómetros	0-35 lb./plg ²	0-35 lb./plg ²	0-1 Kg./cm ²
	0-2.5 Kg./cm ²	0-2.5 Kg./cm ²	

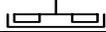
Existen además 6 reguladores automáticos, 4 Proporcional Integral (PI), de ellos 2 PI 3.21 y 2 PI 3.31 y los 2 restantes Proporcional (P) 2.28. También se cuenta con 5 PV 10, 1 para la atemperadora, 1 para pH, 1 para el reductor de vapor y 2 de repuesto. Además hay 2 flujómetros, 1 para la caldera y el otro para el agua de imbibición.

4.6-Desarrollo de Esquemas Tecnológicos.

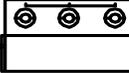
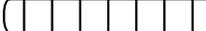
4.6.1-Definición de Símbolos Básicos para el Equipamiento.

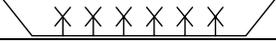
Para la realización de los esquemas se elaboró una biblioteca de símbolos seleccionándose el símbolo de cada equipo identificado en la Planta Piloto, conjugando símbolos convencionales recomendados en la literatura (Ulrich, 1985; Peters, Max S, Timmerhaus, Klaus D, 1968), con otros diseñados a partir de las formas geométricas

características del equipo en cuestión o recogidos en informes técnicos consultados, (Corona, R, Monografía, 1999; Arteaga E., Informe de Producción, 1999) Los mismos fueron editados con la ayuda del software Visio 5, dejándolos como Plantillas según las secciones consideradas. La tabla 4.50 presenta los resultados de la selección.

Tabla 4.50: Biblioteca de Símbolos para Esquema Tecnológico.	
Equipos	Símbolo
Báscula de peso	
Tractor	
Alzadora	
Embudo de Caña	
Estera Alimentadora	
Cuchillas Primarias	
Estera Elevadora	
Cuchillas Secundarias	
Electro Imán	
Desmenuzadora # 1	
Desmenuzadora # 2	
Molino #1	
Conductora Interior # 1	
Molino # 2	
Conductora Interior # 2	
Molino # 3	
Sinfín de Bagacillo	
Rastrillo de Bagacillo	
Tanques de Guarapo	
Bombas de Maceración	
Tabla 4.50: Biblioteca de Símbolos para Esquema Tecnológico. (Cont.)	
Equipos	Símbolo
Colador Parabólico	
Bomba de jugo del Parabólico	
Romana de Guarapo	
Tanque de Jugo Mezclado	
Bomba de Jugo Mezclado	

Tanque de Mezcla de Arcilla	
Calentador # 1, # 2 y # 3.	
Tanque Flash	
Clarificador	
Tanque de Jugo Claro	
Bombas de Jugo Claro	
Tanque de Potasa # 1	
Tanque de Potasa # 2	
Tanques de Cal	
Bomba de Acido y Potasa	
Bomba de Cal	
Premezclador (Cachaza-Bagacillo)	
Tolva de Cachaza	
Tolva de Bagacillo	
Filtro Rotatorio	
Tanque de Vacío del Filtro	
Bomba de Vacío del Filtro	
Bomba de Agua del Filtro	
Evaporadores	
Condensadores Barométrico	
Bomba de Retorno (Condensado)	
Bomba de Meladura	
Tabla 4.50: Biblioteca de Símbolos para Esquema Tecnológico. (Cont.)	
Equipos	Símbolo
Tachos	
Tanques de Miel y Meladura	
Disolutor de Semilla	
Bomba del Disolutor	
Cristalizadores y Graneros	

Bomba de Vacío General	
Mezclador Comercial	
Centrífugas	
Sinfín de Azúcar	
Conductor de Azúcar Comercial	
Tolva de Azúcar Comercial	
Bascula de Peso	
Maquina de Coser Sacos	
Bomba de Miel A	
Bomba de Miel B	
Bomba de Miel Final	
Bomba de Pistón de Reserva	
Mingle	
Tanques de miel Centrífuga	
Tanque de Miel Final	
Bomba de Embrague Miel Final	
Bombas de Residuales	
Tanques de Agua, Calderas	
Tanque de Agua, Agua Fría	
Tanque de Agua, Proceso	
Bomba de Retorno # 1	
Bomba de Retorno # 2	
Bomba de Retorno # 3	
Pailotes de Agua	
Caldera # 1, de Petróleo	
Tabla 4.50: Biblioteca de Símbolos para Esquema Tecnológico. (Cont.)	
Equipos	Símbolo
Caldera # 2, de Bagazo	
Reductor de Vapor	
Chimenea	
Ciclón	
Conductor de Bagazo # 1	
Conductor de Bagazo # 2, # 3 y # 4	

Casa de Bagazo	
Bomba de Alimentación # 1	
Bomba de Alimentación # 2	
Tanque de Petróleo	
Tanques de Condensado	
Bomba de Agua de Enfriamiento	
Bomba de Inyección General	
Bomba Rechazo del Enfriadero	
Enfriadero	

4.6.2-Desarrollo de Esquemas por Secciones.

Para la confección de esquemas por secciones se tuvo en cuenta el símbolo de cada equipo establecido en la biblioteca elaborada y su código. La confección de los esquemas se hizo con la ayuda del software Visio 5 y 11.

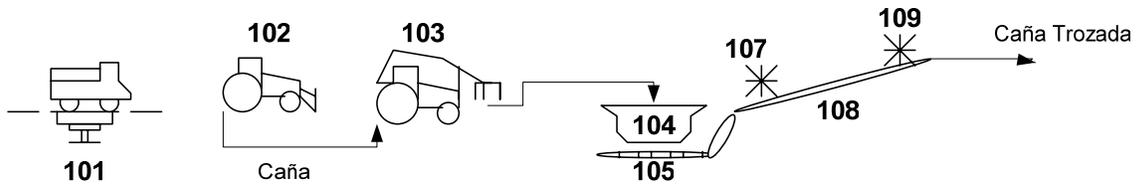


Figura 4.1: Esquema Sección-01

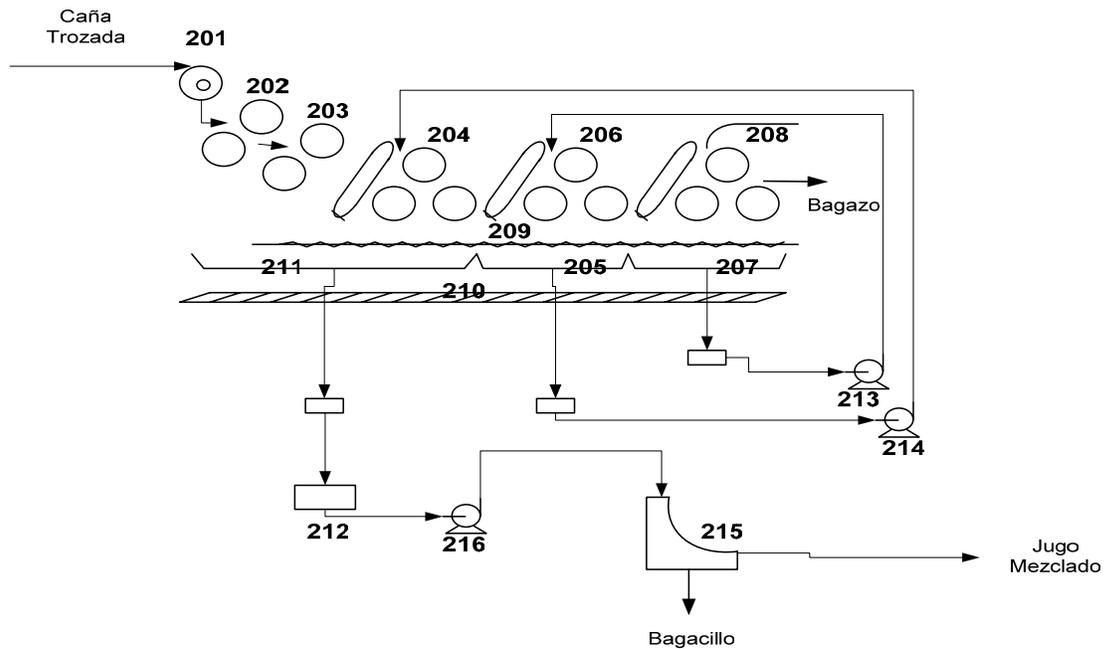


Figura 4.2: Esquema Sección-02

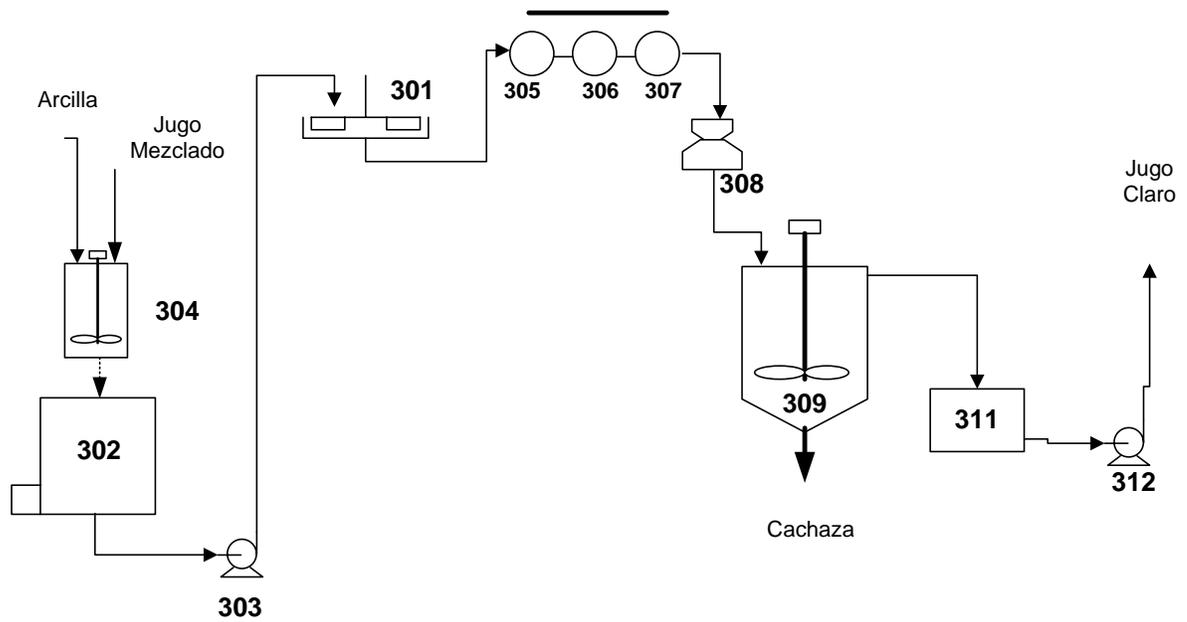


Figura 4.3: Esquema Sección-03

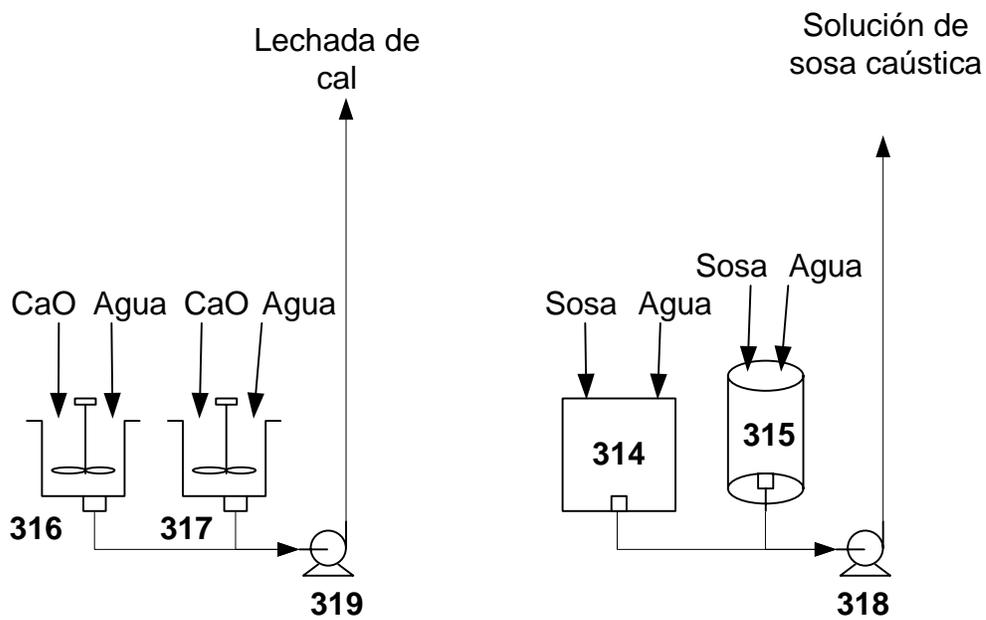


Figura 4.4: Esquema Sección-03 A

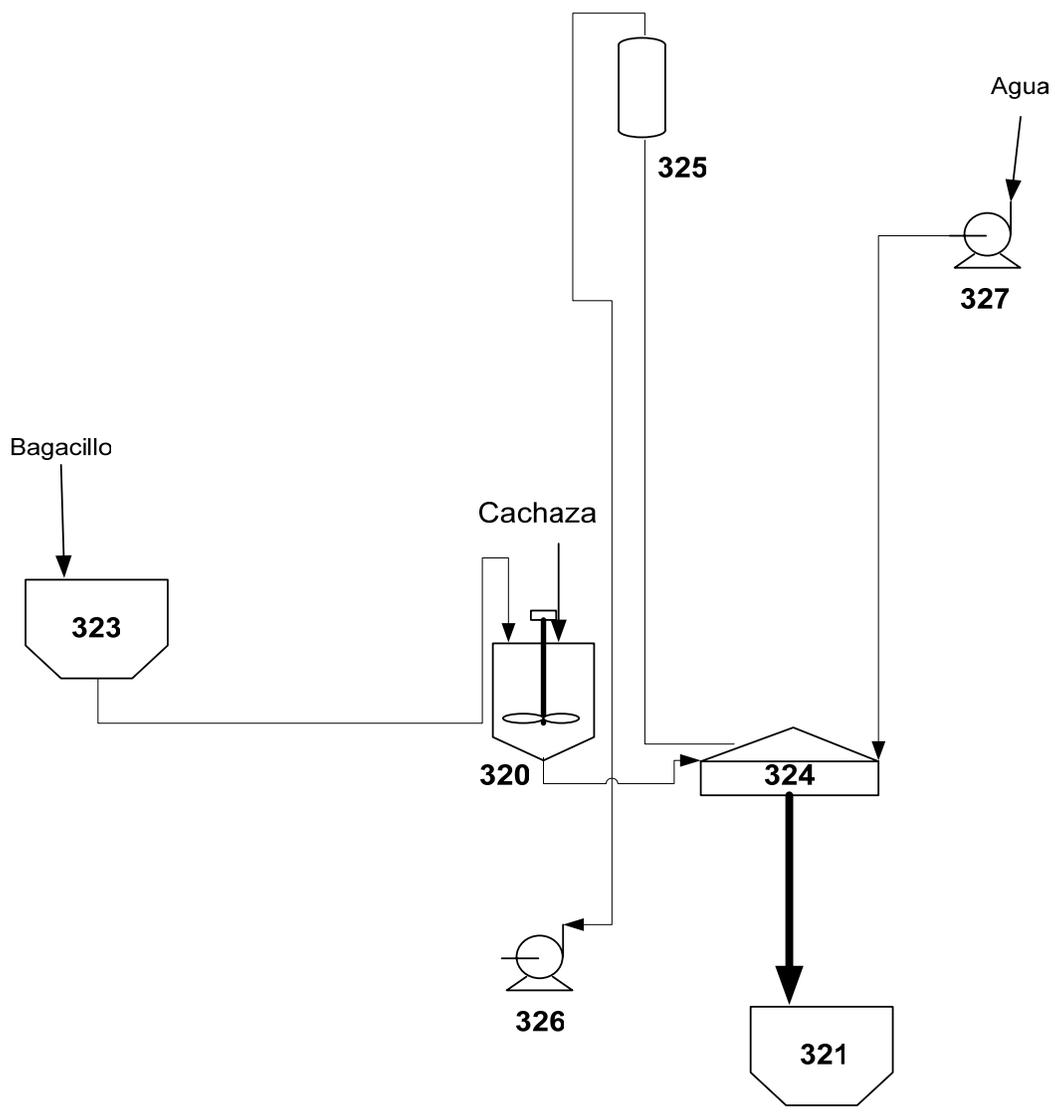


Figura 4.5: Esquema Sección-03B

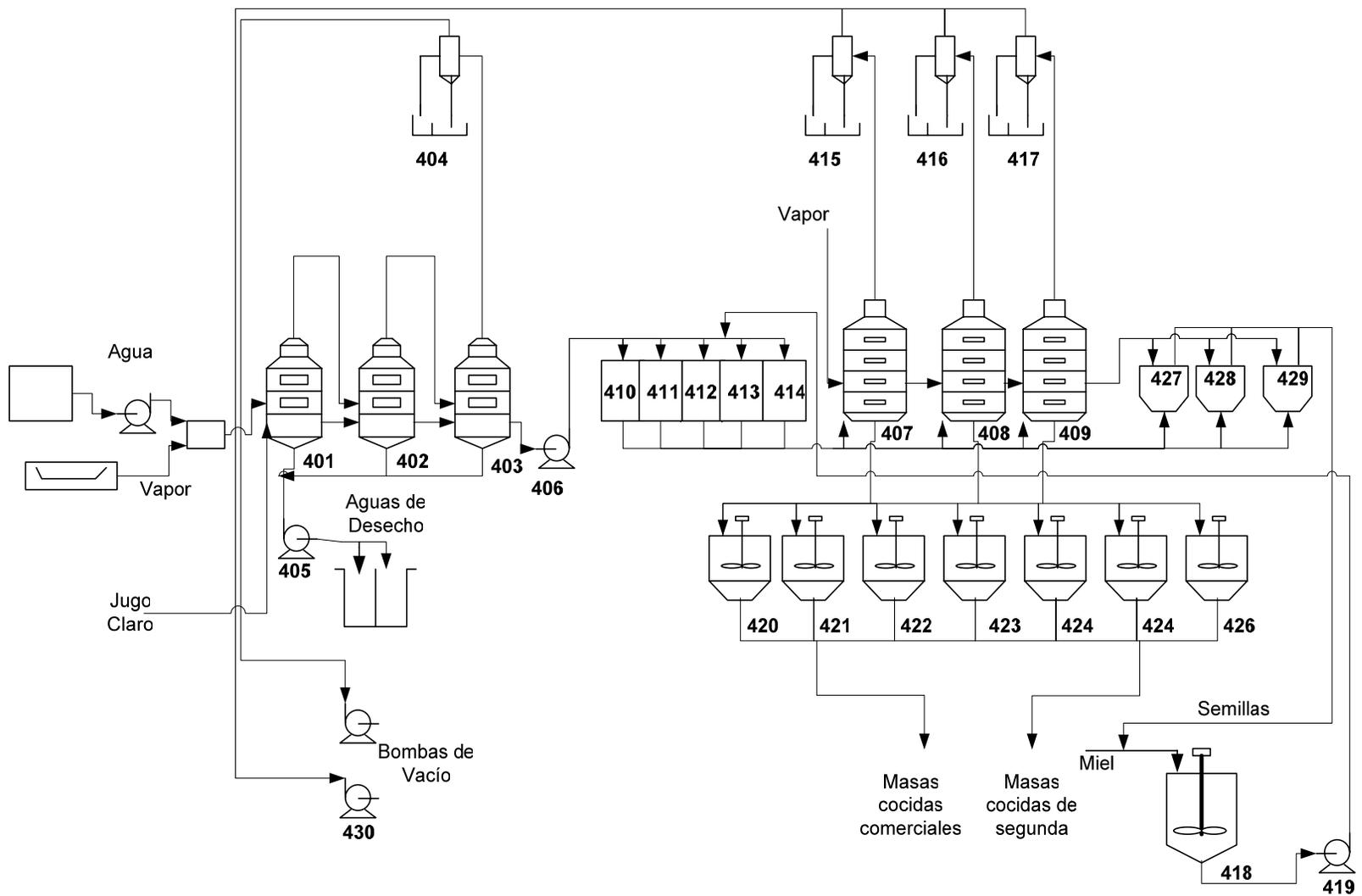


Figura 4.6: Esquema Sección-04

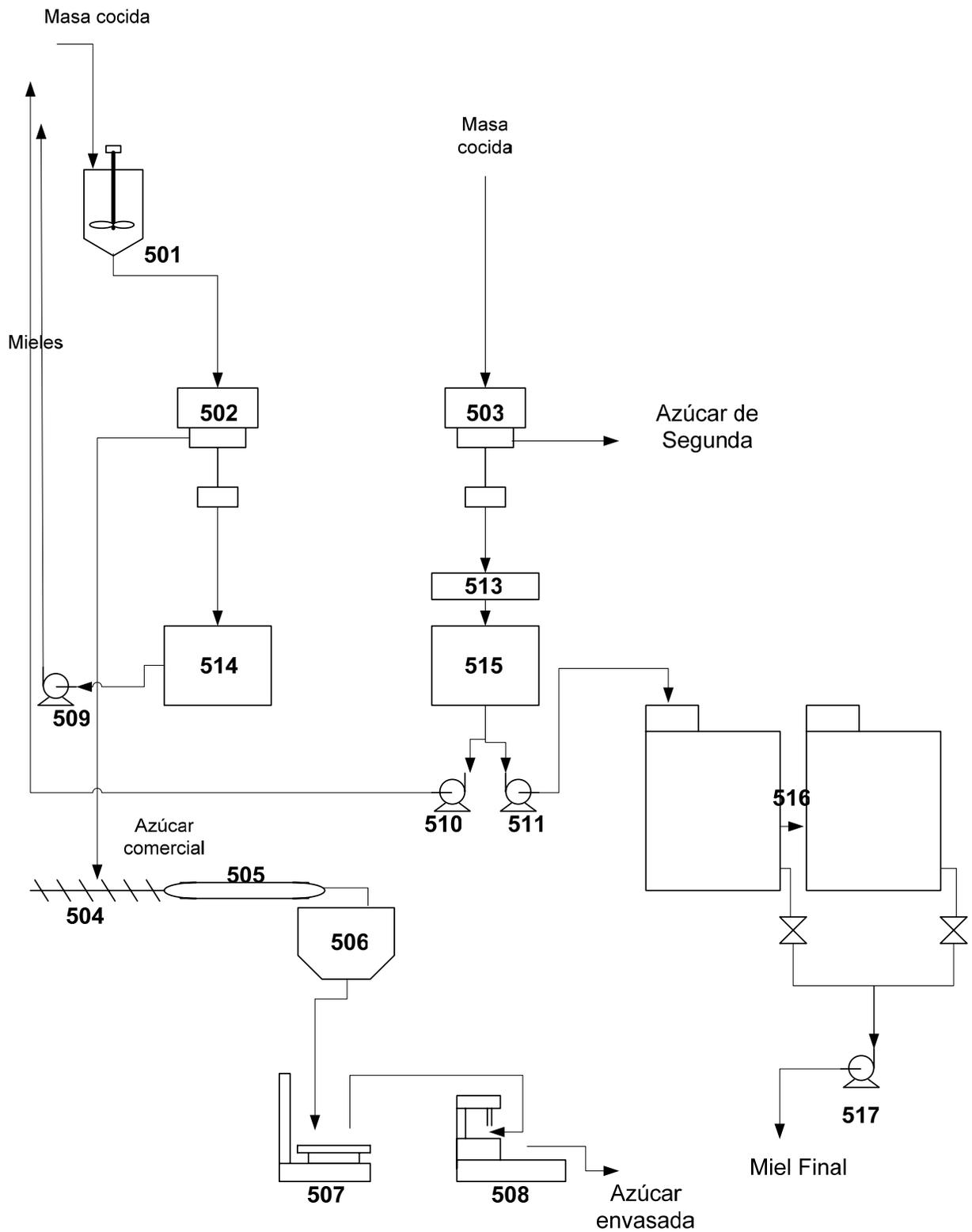


Figura 4.7: Esquema Sección-05

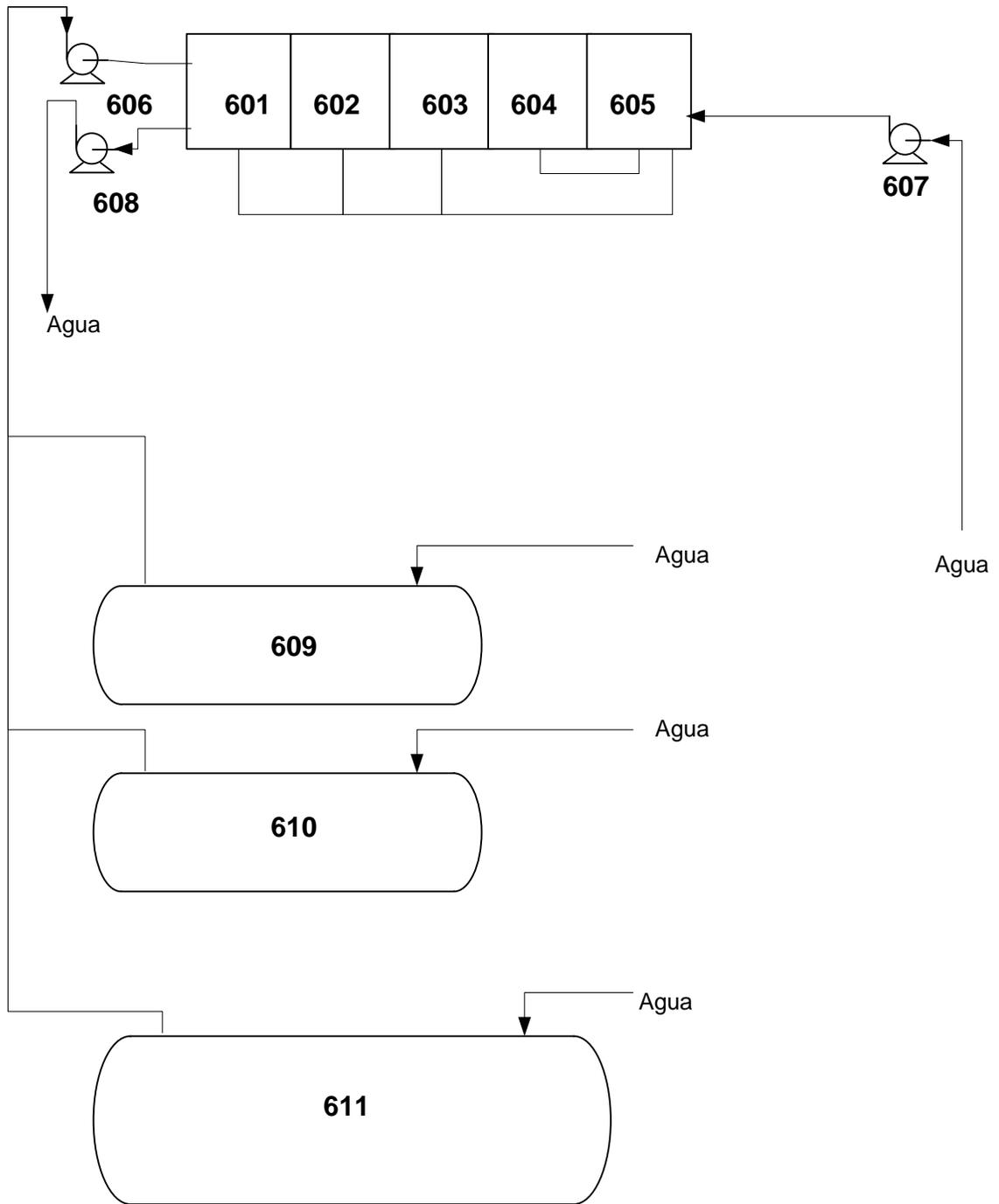


Figura 4.8: Esquema Sección-06

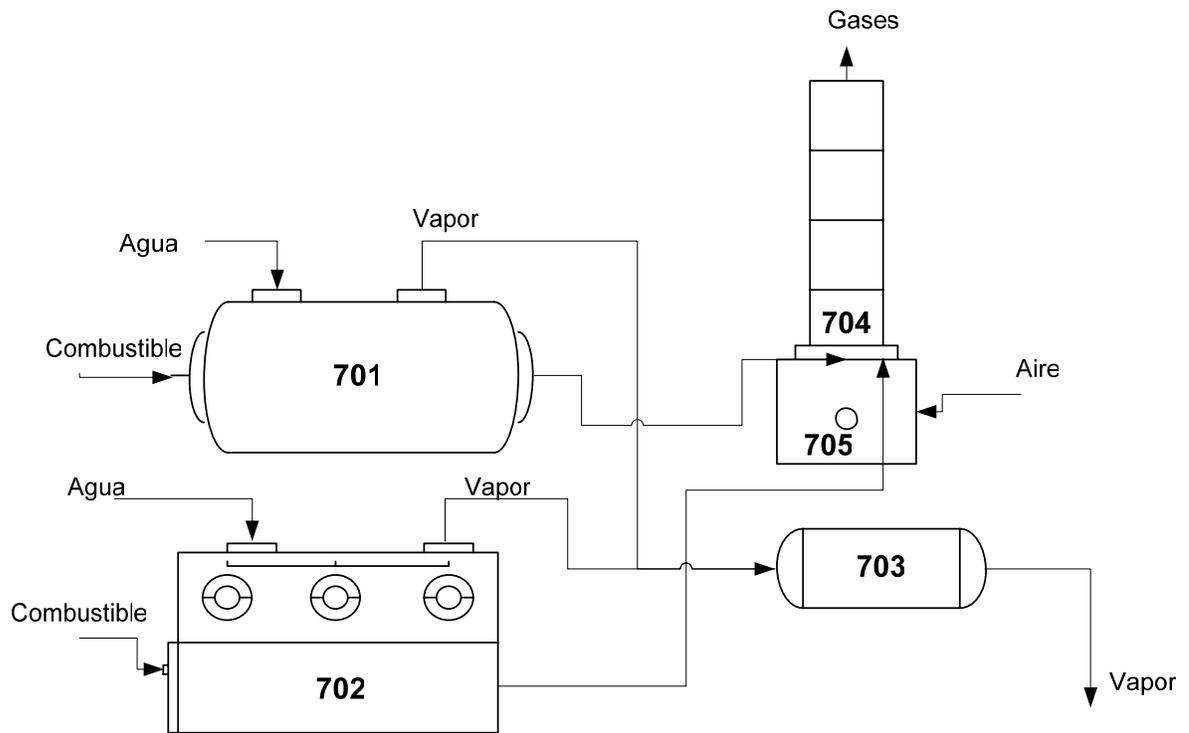


Figura 4.9: Esquema Sección-07

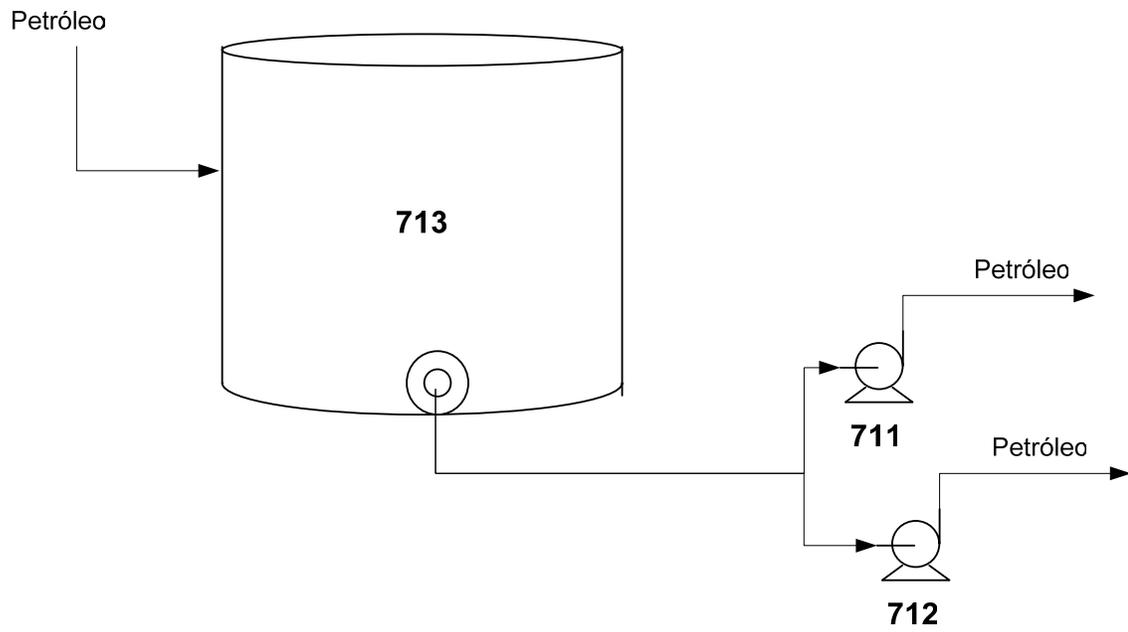


Figura 4.10: Esquema Sección-07 B

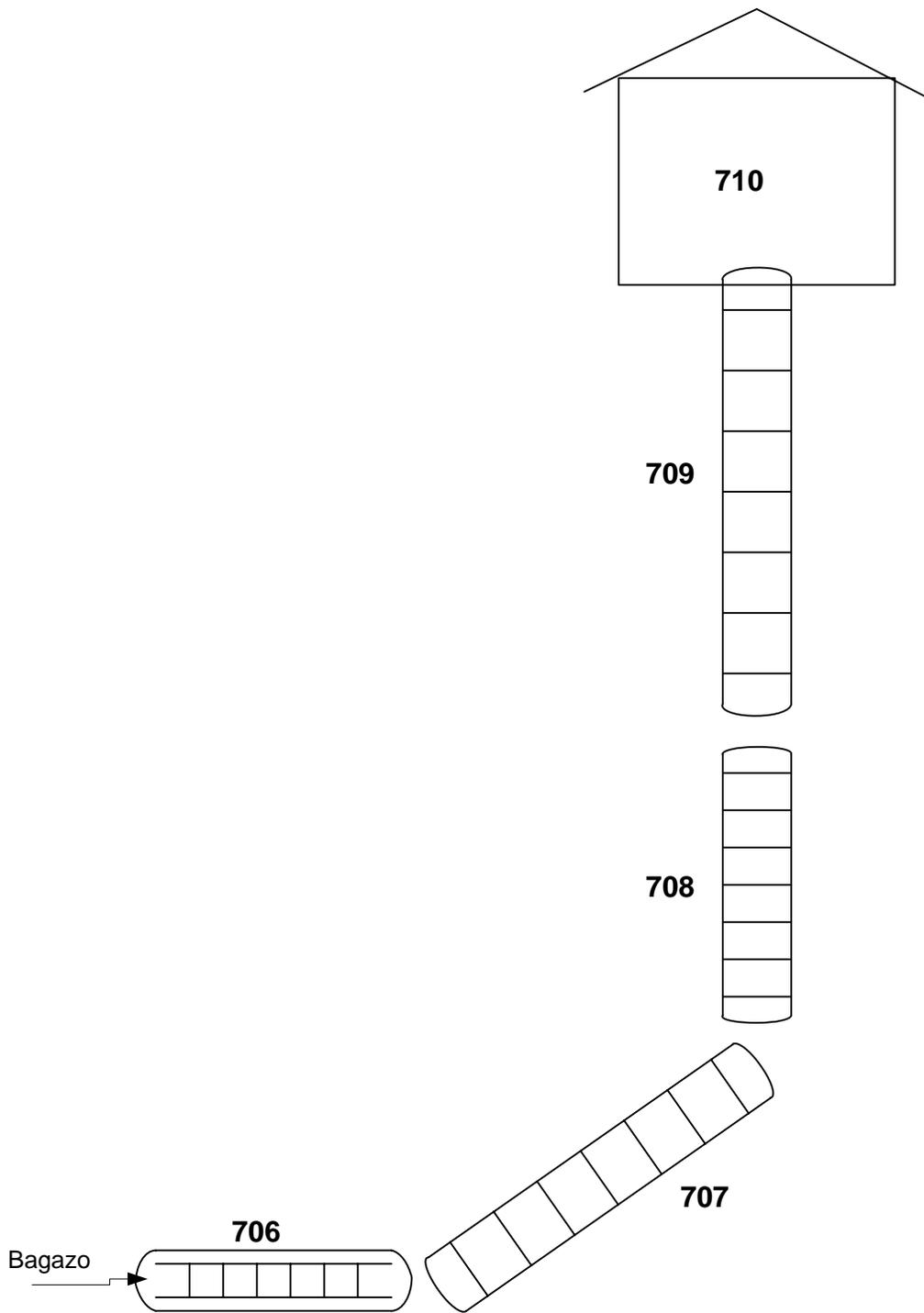


Figura 4.11: Esquema Sección-07A

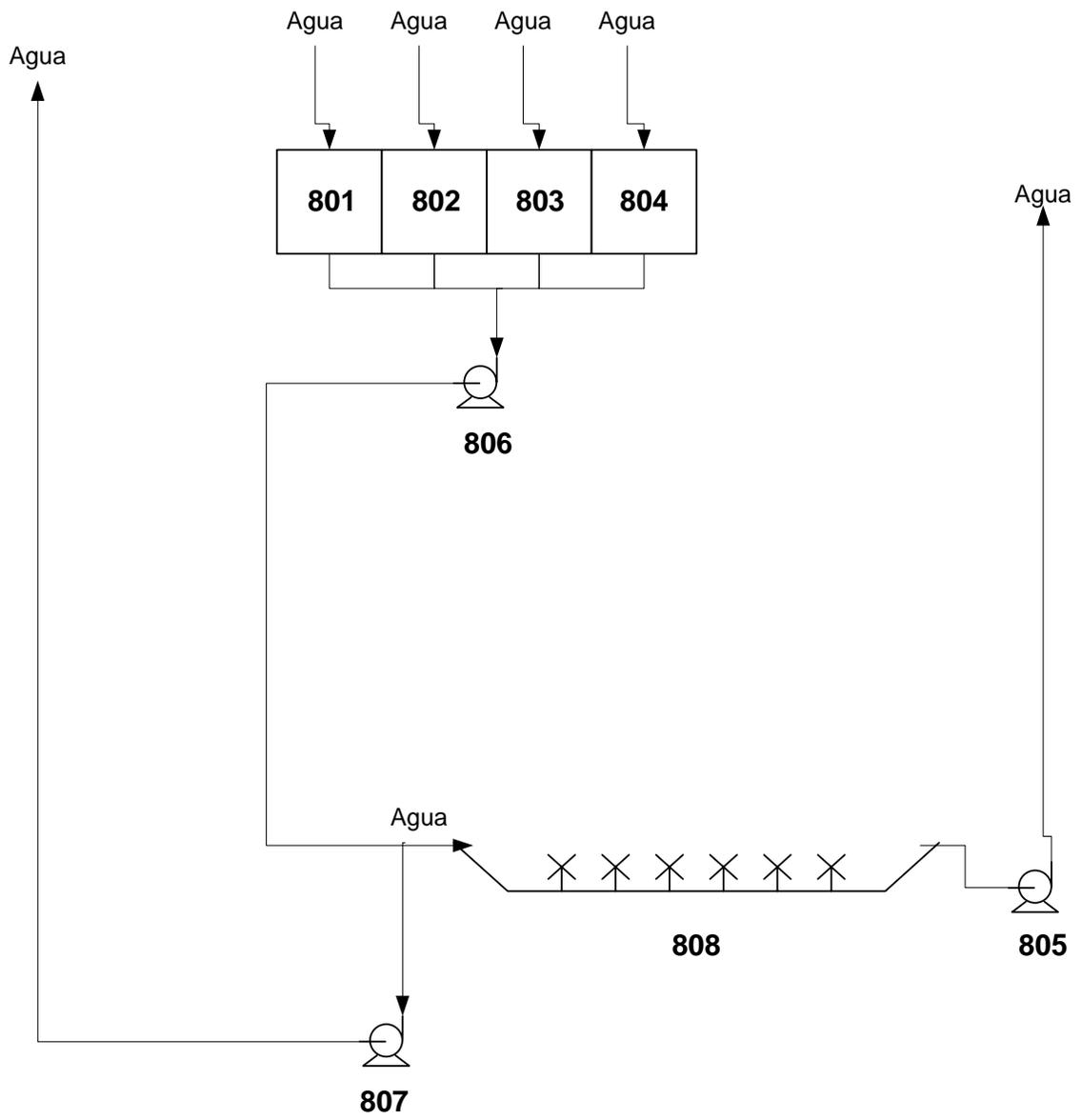


Figura 4.12: Esquema Sección-08

4.6.3-Conformación del Esquema Tecnológico General.

Descripción general del Esquema de Flujo.

La caña llega al ingenio en camiones para ser pesada en la Báscula **(101)**. Después de ser cuantificada la caña es descargada en el patio del central y se mantiene apilada con un Tractor **(102)** que posee una pala en la parte delantera. Luego es añadida al Basculador **(104)** por medio de un Tractor Alzadora **(103)**, ya en el Basculador la materia prima es transportada por la Estera Alimentadora **(105)** hacia el primer juego de Cuchillas **(107)** situado a la entrada de la Estera Elevadora **(108)**, al pasar por la primera trituración la caña sigue su camino sobre la Estera Elevadora hacia el segundo juego de Cuchillas **(109)** para pasar posteriormente por un Electroimán **(201)**. La materia prima ya con una preparación previa entra a la etapa de extracción, para esto pasa por las Desmenuzadoras **(202, 203)** y entra a los Molinos **(204, 206, 208)**. El bagazo generado en los Molinos es transportado mediante cuatro Conductores de Bagazo **(706, 707, 708, 709)** hacia la Caldera de Bagazo **(702)** y la Casa de Bagazo **(710)**. El jugo extraído en los Molinos pasa a las Conductoras Interiores **(205, 207)** del Tándem **(202-212)**, para ser recogido en los Tanques de Guarapo **(211, 212)** y ser bombeado **(216)** hacia un Colador Parabólico **(215)**, este jugo colado es almacenado en el Tanque de Jugo Mezclado **(302)**, luego es pesado en la Romana de Guarapo **(301)** y pasa entonces a los Calentadores **(305, 306, 307)**, después de calentado el jugo pasa al Tanque Flash **(308)** y de este al Clarificador **(309)**. Como resultado de la clarificación se obtienen dos corrientes los lodos y el jugo claro.

Los lodos salen del Clarificador y pasan al Premezclador de Cachaza-Bagacillo **(320)** y de este al Filtro Rotatorio a vacío **(324)**.

El jugo claro es previamente almacenado en el tanque de Jugo Clarificado **(311)** para ser alimentado a la batería de Evaporadores **(401, 402, 403)** para su concentración. Posteriormente el jugo concentrado o meladura es momentáneamente almacenado en Tanques **(410, 411)**, para ser alimentado a

los Tachos (407, 408, 409) donde se obtienen las masas cocidas que son descargadas en los Cristalizadores (420 a 426).

Las masas cocidas ricas en cristales de tamaño adecuado, son centrifugadas en dos Centrífugas una de azúcar comercial (514) y otra de azúcar de segunda (515), en esta operación se separan los cristales de sacarosa de las distintas mieles. El azúcar obtenido es pasado por un Sinfín (504) y transportado por un Conductor de Banda (505) hacia la Tolva de Azúcar (506) para ser envasada, pesada en una Báscula (507) y posteriormente los sacos son cosidos en una Máquina de Coser Sacos (508). Las distintas mieles producto de la centrifugación unas son almacenadas en Tanques (412, 413, 414) para la elaboración de masas cocidas en los Tachos (407, 408, 409) y de semillas en los Semilleros o Graneros (427, 428, 429) y la miel final es sacada de la planta y almacenada en los exteriores en dos Tanques (516).

Esquema de Flujo de Planta Piloto “José Martí”.

En la figura 4.13 se presenta el esquema general de flujo tecnológico de la Planta Piloto Azucarera. El mismo ha sido editado electrónicamente empleando el Software Visio 5 y 11, y se conformó mediante la integración de los esquemas representativos de las diferentes Secciones de la Planta. En el mismo está identificado el equipamiento y las interconexiones del flujo principal del proceso de obtención del azúcar crudo.

4.6.4-Desarrollo de Esquemas Tecnológicos Especializados.

Las figuras 4.14, 4:15 y 4:16 contienen el Esquema de Flujo de la Planta Piloto pero en los mismos se han resaltado respectivamente, los circuitos de Distribución de Agua, Distribución de Vapor y Condensados, y Distribución de Agua de Enfriamiento, por ser estos los servicios generales más importantes y complejos de dicha instalación.

Conclusiones:

- 1- Es posible la introducción de nuevas alternativas y equipos para intensificar el proceso tecnológico azucarero y disminuir el tiempo de residencia de los flujos manipulados en este, con vistas a la obtención de azúcar con la calidad requerida, que permita contribuir a la estrategia de la compactación del proceso.
- 2- La Planta Piloto Azucarera “José Martí” es de manera general representativa de las plantas de producción de azúcar comerciales del territorio, presentándose las diferencias fundamentales en cuanto a algunos tratamientos y equipos empleados y posibilidades de evaluación de diferentes alternativas tecnológicas, sin afectaciones al proceso productivo.
- 3- La particularidad fundamental que presenta la planta piloto respecto a plantas comerciales de su tipo, se debe al tamaño reducido de los equipos que posee, ya que por ser una planta de prueba está diseñada para producciones de bajo tonelaje, ofreciendo amplias posibilidades para su utilización con fines docentes e investigativos.
- 4- La caracterización tecnológica realizada posibilita un fácil aprendizaje y adiestramiento en la concepción general del proceso de producción de azúcar crudo, a partir de la Planta Piloto Azucarera “José Martí”, y su representación esquemática con ayuda de la biblioteca de símbolos y el código que se propone, soportada en el Software VISIO 5.
- 5- La Planta Piloto Azucarera presenta una estructura tecnológica y una disponibilidad de equipos que le permiten enfrentar con las adaptaciones que sean necesarias, la producción de cualquiera de los tipos de azúcares crudos que se fabrican en el país, sin tener que incurrir en gastos elevados.
- 6- Se logró establecer un elevado nivel de información técnica de la planta, la que posibilitó la elaboración de un número importante de tablas, que recogen las especificaciones de los equipos fundamentalmente desde el punto de vista técnico.

- 7- Con toda la información elaborada, se confeccionó un documento técnico, anexo al trabajo, utilizando uno de los modelos de fichas técnicas (Pasaportes) establecidos por el MINAZ, dirigido en su totalidad a satisfacer las necesidades de información técnica actualizada de la dirección de la Planta Piloto Azucarera, para el proceso de renovación de la misma.

Recomendaciones

- 1- Hacer un estudio para evaluar la posibilidad de introducir nuevas variantes y equipos en la Planta Piloto “José Martí”, que permitan intensificar el proceso tecnológico y disminuir el tiempo de residencia en este, con vistas a su compactación.
- 2- Realizar un análisis profundo para conocer hasta que punto la Planta Piloto Azucarera no ha perdido su esencia de ser, una muestra a escala reducida de las plantas comerciales de su tipo.
- 3- Utilizar la caracterización tecnológica del proceso azucarero realizada, como apoyo al proceso docente educativo e investigativo y como material de estudio para el mejor aprendizaje y familiarización con el proceso de obtención de Azúcar Crudo.
- 4- Llevar a cabo el completamiento y actualización de los pasaportes o fichas técnicas con los datos necesarios después del proceso de renovación al que esta siendo sometida la planta, para tener el archivo técnico en detalles de la instalación.
- 5- Procesar el archivo tecnológico creado para la confección de una base de datos en soporte digital, que permita lograr el más fácil acceso a la documentación y aumentar el nivel de información de la misma.
- 6- Se sugiere a la dirección de la Planta Piloto “José Martí”, la señalización de los sistemas de tuberías y accesorios de acuerdo a los flujos manipulados, según lo establecido en las normas internacionales.

Bibliografía

1. Acosta, Aidenia. La purificación de los jugos y su incidencia en la evaporación y la eficiencia industrial. Trabajo de Diploma, UCLV, 1994. p 10 – 19.
2. Alewjin, W. F.; Y, Honing. Principles of Sugar Technology. V. II, 1959.
3. Alfa Laval Calculation for Welded Heat Exchangers. Ed: Laval, 1975.
4. Allen, C.; McDonald. The real cost of extraneous matters in the Australian industry. International Sugar Journal. Vol. 101, 1998. p 448.
5. Arteaga, Luis E. Informe de Producción. Asignatura Ingeniería de Procesos I, UCLV, 1999.
6. Batista, Yenisleidy. Fabricación de azúcar en el CAI “Obdulio Morales”. Proyecto de Curso, UCLV, 2003.
7. Becerra A, Lester E. Proceso de producción de azúcar crudo CAI “Ifraín Alfonso”. Proyecto de Curso, UCLV, 2004.
8. Berverena, V. Elementos de diseño de plantas químicas y sistemas químicos productivos. (por publicar).
9. Brizuela Rodríguez, E. Aspectos fundamentales del diseño de plantas industriales. Tomo 2. Editorial ISPJAE, 1987.
10. Carrazana Ruiz, Librado; Gómez Rodríguez, Luis y otros. Esquema moderno de purificación de jugo. (UCLV) Facultad Química-Farmacología:/s.n./.
11. Carrobelló, Caridad. Las zeolitas. Oro molido. Revista Bohemia. La Habana, año 81, No45: Noviembre, 1989.
12. Castellanos Estupiñán, Jesús E. Obtención de azúcar crudo. Conferencia Asignatura de Tecnología Química, UCLV, 2004.
13. Castellanos Estupiñán, Jesús E.; Fajardo García, Raúl. Sustitución del carbón activado por zeolita para la producción de azúcar blanco. Revista Centro Azúcar, UCLV. Año 24, No1: Enero-Diciembre, 1997.
14. Castellanos Estupiñán, Jesús E.; Pérez Padilla, Antonio. Procesos de separación auxiliados de campo eléctrico. / Jesús E. Castellanos Estupiñán; Raúl Fajardo García (UCLV), Antonio Pérez Padilla; Jorge A. Rodríguez (Universidad Nacional de San Luis). Editorial Universidad San Luis, 1998.

15. Colectivo de autores. Manual de operaciones para la producción de azúcar crudo de caña. Dirección de tecnología del MINAZ. Ciudad de la Habana, 1975.
16. Corona Martínez, Ramón. Folleto de Ingeniería de Procesos I. Material Bibliográfico No 4 1^{ra} Edición, 2004.
17. Corona Martínez, Ramón. La caracterización tecnológica, una metódica para el análisis tecnológico en la proyección de STF. (por publicar).
18. Corona Martínez, Ramón. Ponencia a sesión científica del centro de análisis de proceso. UCLV, 1990.
19. Corona Martínez, Ramón; Machado L, Irma. Documento Monográfico Planta Piloto José Martí, 1999.
20. Dávila, Karla E. Posibilidades de la producción de acetal en la diversificación del CAI "Perucho Fiqueredo". Trabajo de Diploma, UCLV, 2000.
21. Díaz, Ramón Octavio. Evaluación de la influencia del tratamiento térmico de los jugos en las características hidrodinámicas de diseño y operacionales del clarificador BTR en el CAI George Washington. Trabajo de Diploma, UCLV, 1999. p 7 – 14.
22. Dorta F. Diversificación azucarera en el CAI Benito Juárez. Trabajo de Diploma, UCLV, 1992. p 1 – 5.
23. Duarte A, Yenisleys. Fabricación de azúcar crudo CAI "Chiquitico Fabregat". Proyecto de Curso, UCLV, 2003.
24. Editorial. Compactación del proceso para la producción de azúcar crudo. ISSN 0253-5777. Revista Centro Azúcar, Volumen I, 2000.
25. Estrada, E; Jonson, Christopher; García, Lázaro. Confección del archivo tecnológico de la planta piloto "José Martí".
26. Fabregat, Pedro M.; Gómez Rodríguez, Luis. La calidad de la materia prima y su influencia en las distintas etapas del proceso de producción simulado a escala de laboratorio. Revista Centro Azúcar. No1: Enero – Abril, 1982. p 87 – 102.

27. Fajardo García, Raúl; Castellanos Estupiñán, Jesús E. La filtración de la cachaza en las fábricas de azúcar. Problemas y soluciones. Revista Centro Azúcar, UCLV. Año 21, No3: Septiembre-Diciembre, 1994.
28. Fentes Cáceres, R. Evaluación de la etapa de clarificación en jugos de caña orgánica, utilizando el tratamiento térmico y/o adición de zeolita sódica. Trabajo de Diploma, UCLV, 2000.
29. Fernández, Raquel. Estudio preliminar de la utilización de zeolitas naturales en el tratamiento del jugo clarificado de caña. Revista Centro Azúcar (La Habana): Abril-Junio, 1991. p 14 – 16.
30. Fiandor H. F.; Valdés, A. (II). Ventajas y desventajas del procesamiento industrial de la caña integral. Revista ATAC. No1: Enero – Julio, 2001.
31. G. D, Ulrich. Diseño y Economía de Procesos Químicos. Edición Interamericana, 1985.
32. García Bello, David; Ojeda Cesar, Raúl. Evaluación a escala industrial del mezclador vapor-jugo. Trabajo de Diploma, UCLV, 1985.
33. García D, Yuniesky. Análisis preliminar para la integración energética de procesos de derivados de la industria azucarera en el CAI “Guillermo Moncada”. Trabajo de Diploma, UCLV, 2003.
34. García Vega, Luis J. Influencia del deterioro de la caña sobre la productividad del azúcar. Revista Centro Azúcar. No3: Septiembre – Diciembre, 1985. p 25 – 29.
35. Gárciga S, Ornabedy. Diseño del sistema de tratamiento de agua en la planta piloto. Trabajo de Diploma, UCLV, 2000.
36. Gómez Rodríguez, Luis. Esquema tecnológico del proceso de purificación de jugos de caña. Revista Centro Azúcar. No1: Enero – Abril, 1982. p 19 – 24.
37. Gómez Rodríguez, Luis. Intensificación del proceso de purificación. Efectos del tratamiento térmico de los jugos de caña. Resumen Bibliográfico, UCLV, 1986.
38. Gómez, José A. Características sedimentacionales de jugos de caña orgánica en la Planta Piloto de la UCLV. Influencia del tratamiento térmico en su clarificación. Trabajo de Diploma, UCLV, 1999.

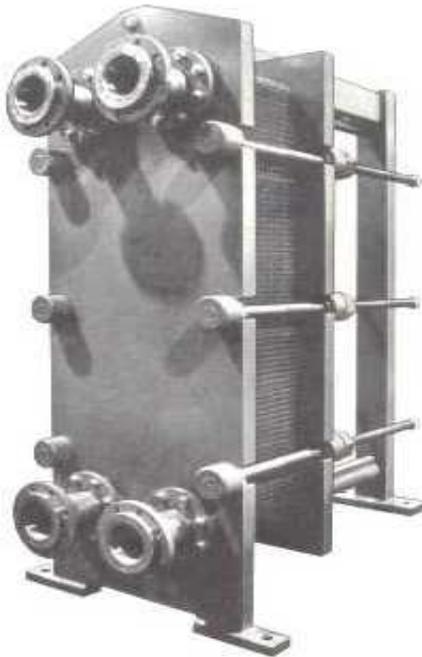
39. González López, Gretel. Estudio de la recirculación de sólidos, el empleo de floculante, zeolita, agente alcalizante y el campo magnético en la purificación de los jugos de caña. Trabajo de Diploma, UCLV, 1999.
40. Hangis A, M. applications of spiral plate heat exchanger. Chemical Engineering Progres, Volumen VII, 1967.
41. Hernández Lugones, J. Maria; Pérez Morffí, J. Miguel. Evaluación de la aplicación combinada de los tratamientos: vapor-jugo, zeolita natural y bagacillo polarizado en el proceso de purificación de la tecnología de azúcar blanco directo. Trabajo de Diploma, UCLV, 1990.
42. Honing, Pieter. Principios de tecnología azucarera. Volumen I. La Habana, 1987.
43. Hugot, E. Manual para ingenieros azucareros. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, 1980.
44. ICIDCA; La diversificación de la agroindustria de la caña de azúcar. América Latina y el Caribe. GEPLACEA, 1991.p 1, 17,20-21.
45. Jenkins, G. H. Introducción a la tecnología del azúcar de caña. Edición revolucionaria, 1971.
46. Jerry Jones, William Asher. Tips for justifying pilot plants, Chemical engineering Vol. 100, No4: April, 1993.
47. Jonson, Christopher. Determinación de la incertidumbre en el impacto de nuevas variedades de caña en la producción de azúcar crudo. Trabajo de Diploma, UCLV, 2003.
48. Kafarov, V. Sistemas productivos flexibles y automatizados en la industria química. Revista de la sociedad química DI. Medeleliev. Moscú. U-32.
49. Keen Pilot plant on the fast track. Chemical Engineering. November, 1993.
50. Lara. M. A. Alternativas Tecnológicas Novedosas para la producción de bioetanol a partir de la caña de azúcar; Tesis presentada en opción al título académico de Especialista en Producción de Alcohol, 1999. p 4-9.
51. López, Eloy. Tecnologías de la Compactación, 1998. p 7-9.
52. M. A, Ulowets. New distillation pilot plant for packed column designs. Chemical Engineering Progress. Vol. 82. No11: November, 1986.

53. Manual de información técnica, área de tachos. Dirección de capacitación, 1990.
54. Martínez Alonso, Nelson. Mezclador vapor-jugo seriado y automático. Universidad de Camagüey. Facultad de Ingeniería Química: /s.n./, 1986.
55. Martínez F, Mario A. Efecto de las materias extrañas en los procesos de purificación y cristalización cuando se muele caña integral a escala de Planta Piloto. Trabajo de Diploma, UCLV, 2002.
56. Martínez G, Mildrey. Estudio de las posibles causas de la presencia de sedimentos en rones embotellados y medidas para su eliminación. Trabajo de Diploma, UCLV, 2000.
57. Martínez, Eugenio. Estudio de la absorción de sustancias no azucaradas mediante minerales zeolíticos. Trabajo de Diploma, UCLV (Ciencias), 1983. p 45.
58. Méndez Q, Joan de J; Vicente M, Yenier. Proceso de producción de azúcar crudo CAI "Melaneo Hernández". Proyecto de Curso, UCLV, 2004.
59. Meneses Duardo, Yosmary. Tratamiento térmico de las mieles y su influencia sobre el agotamiento en el área de cristalización. Facultad de Química y Farmacia. UCLV, 1998.
60. Migoya M, Omar. Estudio preliminar de la factibilidad técnico y económica para la instalación de una minidestilería de alcohol D en el CAI "Panchito Gómez Toro" utilizando jugo de los filtros. Trabajo de Diploma, UCLV, 2000.
61. Minton P, E. Designing spiral plate heat exchangers. Chemical Engineering. Volumen IV, 1970.
62. Morales, Serapio; Flores, Pedro. M. El uso de floculantes en la industria azucarera. Revista Cuba-Azúcar. La Habana: Enero-Marzo, 1975. 43-52p.
63. Morrell Flores, Ignacio. Tecnología azucarera. UCLV. Editorial Pueblo y Educación, 1985.
64. Noa. S. H. Aspectos económicos de la industrialización de los derivados de la caña de azúcar. ICIDCA. No2 – 3, 1981. p 54 – 64.
65. Osorio V, Yaité. Fabricación de azúcar crudo CAI "5 de Septiembre". Proyecto de Curso, UCLV, 2004.

66. Pantoja S, Borys. Influencia del campo magnético a la eficiencia energética de la evaporación en la planta piloto “José Martí” de la UCLV. Trabajo de Diploma, UCLV, 2001.
67. Peláez Rodríguez, M. Manual de operaciones para la producción de azúcar crudo de caña, 1985.
68. Pérez Bruffao, Cecilia; Machado López, Irma. Caracterización de los jugos de diferentes variedades de cepas de caña II. Revista Centro Azúcar. No1: Enero – Diciembre, 1997. p 25 – 26.
69. Pérez S, Yunia. Modelación de las etapas de extracción y purificación de jugo en la Planta Piloto “José Martí”. Trabajo de Diploma, UCLV, 2000.
70. Peters, Max S; Timmerhaus, Klaus D. Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 1968.
71. Rodrigues C, Diley. Posibilidades de adaptación de la planta piloto de la UCLV para producciones de alcohol etílico y biomasa. Trabajo de Diploma, UCLV, 2003.
72. Rodríguez, Julián; Urrutia, José. Método de cálculo del tamaño de los cristales de azúcar. Revista Centro Azúcar. Mayo – Diciembre, 1992. p 5 – 13.
73. Rojas C, Lillan. Análisis de la integración de procesos térmicos en la planta piloto “José Martí”. Trabajo de Diploma, UCLV, 2000.
74. Roldán Abreu, Ariel. Estudio de diferentes alternativas de purificación y su incidencia en la evaporación y calidad del azúcar. Trabajo de Diploma, UCLV, 1996. p 7 –10.
75. Spencer, E. Manual de azúcar crudo de caña. Edición revolucionaria. La Habana, 1969.
76. Hernández N., Ma. T. Microbiología de las producciones azucareras, 1985. p 34-42.
77. Valdés A. Evaluación de calentadores de jugo. Cuba-Azúcar, Volumen II, 1967.

78. Valdés Barrón, E. y colaboradores. Las materias extrañas y su influencia en la calidad del jugo primario. Revista Centro Azúcar. Julio-Septiembre, 1986. p 73 – 77.
79. Valdés, Antonio; Gómez, Osvaldo. Utilización de calentadores espirales en la industria azucarera de la caña de azúcar. Revista ATAC No3: Mayo-Junio, 1985.
80. Zamora Báez, Alexis; Castellanos Estupiñán, Jesús E.; Fajardo García, Raúl; Pérez Bruffao, Cecilia; Valdés Quintero, Cristina; Chernova, Elena. Purificación de productos azucarados mediante separación por membranas. Revista Centro Azúcar, 2000.

ANEXO I: Intercambiadores compactos para la Industria Azucarera.



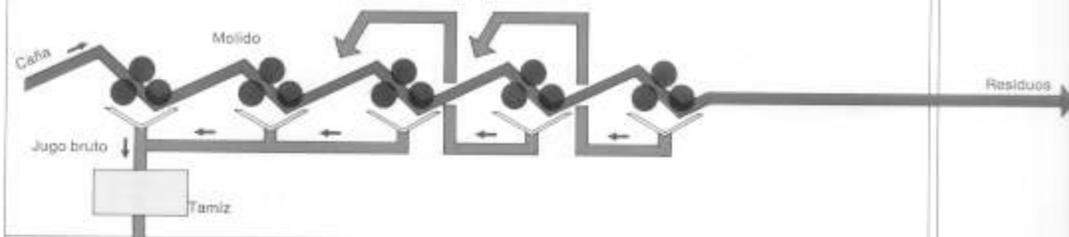
Intercambiador de Placas o Platos



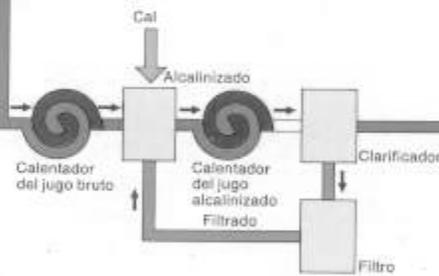
Intercambiador de Placas en Espiral

Datos Técnicos		Intercambiadores de calor placas	Intercambiadores de calor espiral
Medio		líquido/líquido vapor/líquido	líquido/líquido vapor/líquido
Presión de trabajo máx.	MPa	1-2.5	1.8
	bar	10-25	18
	Psig	140-350	250
Temperatura de trabajo máx.	°C	200	400
	°F	390	750
Materiales standard		Acero inoxidable Titanio	Acero inoxidable Acero al carbón
Juntas Standard		Caucho sintético	Caucho sintético
Coeficiente de transmisión térmica	W/m ² °C	3500-5800	1800-2500
	kcal/m ² h °C	3000-5000	1500-2200
	Btu/ft ² h °C	600-1000	300-450
Superficie de calen. máx.	m ²	1200	300
	sp. Ft	12900	3200
Capacidad máx. por medio(líquido)	m ³ /h	1800	400
	cu. ft/h	63600	14100

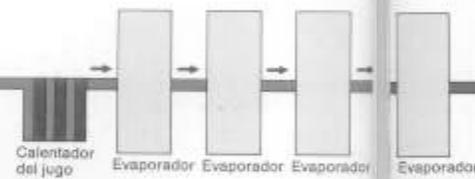
Extracción



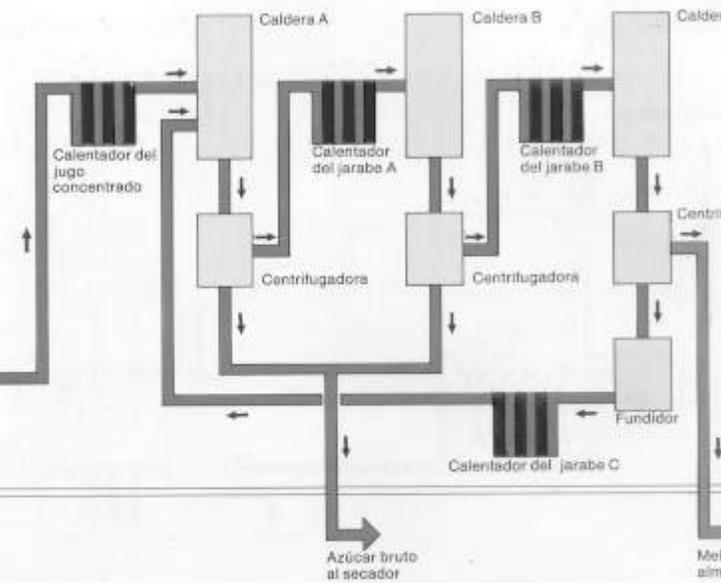
Purificación del jugo



Evaporación



Cristalización



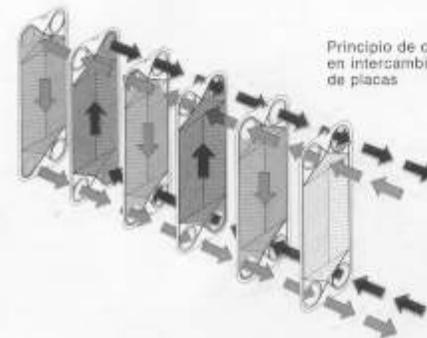
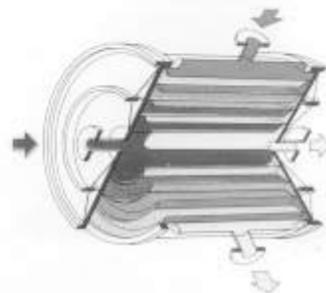
Texto



Intercambiador de calor de placas



Intercambiador de calor espiral



ANEXO II: Calidades de Azúcares Comerciales.

- Resumen comparativo de Indices de Calidad para diferentes tipos de Azúcar Comercial.

Parámetros	Crudo Normal	Crudo Alta Calidad	Azúcar Orgánica	Azúcar Turbinado	Blanco Internacional	Blanco directo	Blanco refino
Humedad	<= 0.5	<= 0.5	0.010	0.3	<= 0.1	<= 0.07	<= 0.06
Pol	97.5 -98.5	>= 98.5	99.20 – 99.49	99	>= 99.7	>= 99.40	>= 99.80
Azúcares reductores	<= 0.6	<= 0.5	-	0.5	<= 0.04		<=0.05
Cenizas	<= 0.5	<= 0.4	-	0.4	<= 0.04	<= 0.20	<= 0.03
Insolubles	<= 0.06	<= 0.03	0	0.03		<= 0.02	
Color horne	<= 30	<= 20	<10	10		<= 3	<= 0.5
Tamaño de grano (% retenido/malla 20)	- >= 75	- >= 75	0.4 -0.42 mm	-	-	0.4 mm	0.4 mm
Color (un. ICUMSA)	-	-	<=10	-	<= 60	-	-
Dióxido de azufre	-	-	-	-	<= 20	-	-
Arsénico (As)	-	-	-	-	<= 1	-	-
Cobre (Cu)	-	-	-	-	<= 2	-	-
Plomo (Pb)	-	-	-	-	<= 2	-	-
Partículas ferromagnéticas	-	-	No detectable	-	-	-	-

ANEXO III: Características de la Corrientes Principales del Proceso de Obtención de Azúcar Crudo.

CAÑA DE AZUCAR	
COMPONENTES	COMPOSICION (%)
SACAROSA	14,5
AGUA	70
CENIZA	0,5
AZUCARES INVERTIDOS	1,0
GOMAS	0,2
GRASAS Y CERAS	0,2
SUSTANCIAS NITROGENADAS	0,4
ACIDOS ORGANICOS, LIBRES Y COMBINADOS	0,2

AZUCAR CRUDO	
PARAMETROS	VALORES
COLOR (Unidades de color)	22
POL (Grados sacarimétricos)	98,20 °S
HUMEDAD	0,35 %
TAMAÑO DE GRANO	82 %
DENSIDAD (aparente del azúcar granulada)	0,78 Kg/m ³ y 1,0*10 ³ Kg/m ³
DENSIDAD (azúcares blancos de alta trituración)	0,72 Kg/m ³
DENSIDAD (azúcares crudos)	0,85 Kg/m ³ a 0,9 Kg/m ³



MIEL FINAL	
COMPONENTES	COMPOSICION
SACAROSA	35,5 %
AGUA	16,0 %
GLUCOSA	9,9 %
FRUCTOSA	10 %
SUSTANCIAS GOMOSAS Y COLOIDALES	8,1 %
DENSIDAD	1,4 Kg/m ³ a 1,5 Kg/m ³
VISCOSIDAD	Es proporcional a 1 a

