Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez
Facultad de Ingeniería Mecánica

Título: " Evaluación de Producción Más Limpia en la Planta de sirope de glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos"

Tesis en opción al nivel académico de Máster en Producción Más Limpia

Autora: Ing. Johanka Vivian Moya Monteagudo
Tutor: Dr. Eduardo Julio López Bastida

2012
"Año 54 de la Revolución"

Universidad de Cienfuegos
Empresa Glucosa Cienfuegos

Hago constar que el presente trabajo fue realizado por la Universidad de Cienfuegos de conjunto con la Empresa Glucosa Cienfuegos, como parte de la culminación de los estudios de postgrado con mención de maestría en Producciones Más Limpias, autorizando a que el mismo sea utilizado por dichos centros con los fines que estime conveniente: tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación de los mismos.

_____
Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según el acuerdo de la dirección del centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener en cuenta un trabajo de esta envergadura, refiriendo la temática señalada.

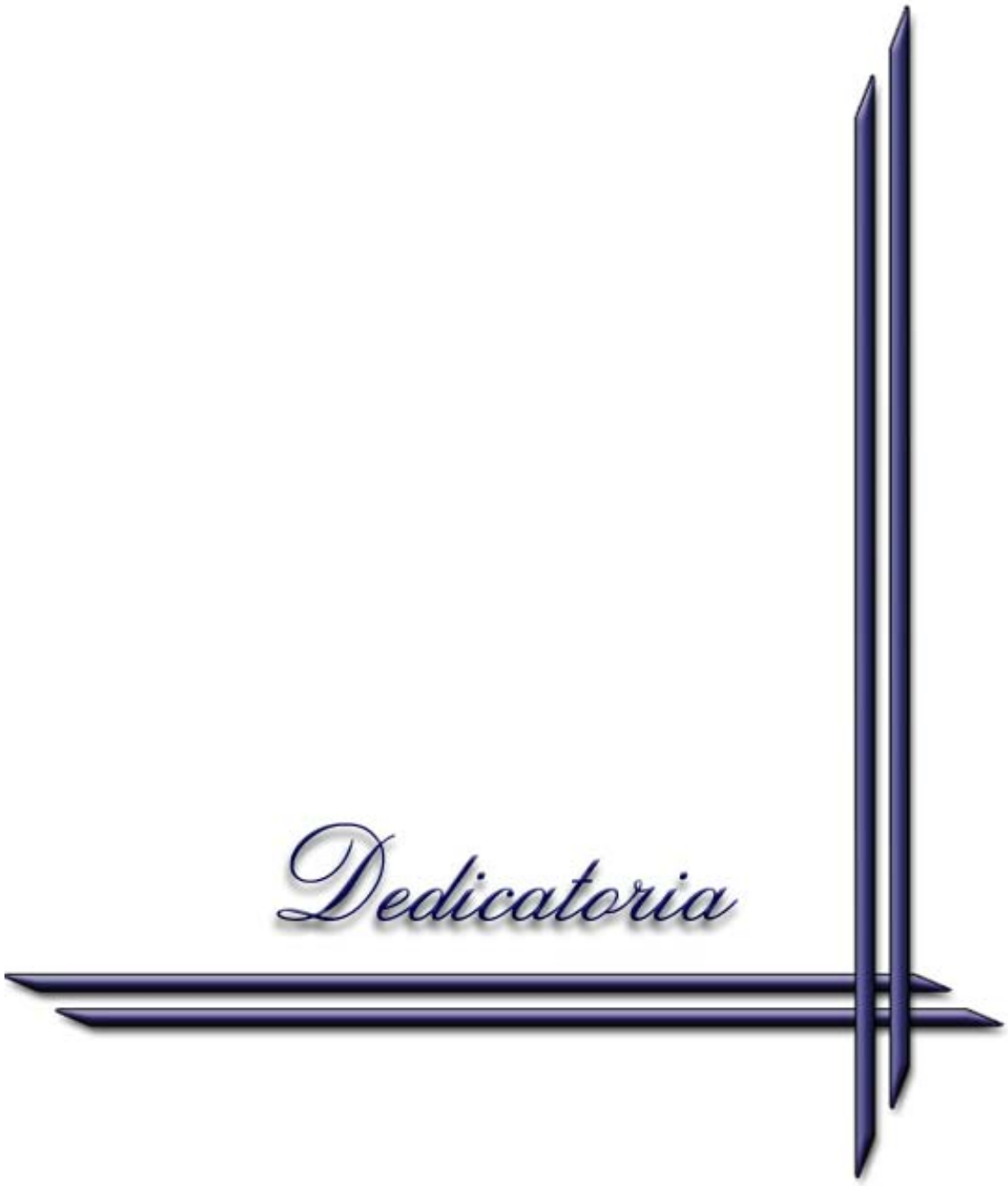
_____	_____
Información Científico-Técnica Nombre Apellidos y Firma	Computación Nombre Apellidos y Firma

_____
Firma del Tutor

Pensamiento

"Es insostenible este mundo porque conduce a la humanidad a la dilapidación de los recursos y a la destrucción de la naturaleza. Y parto de la idea de que el mundo y la naturaleza pueden salvarse. Es una apuesta por la inteligencia frente a la brutalidad y el salvajismo; una apuesta por la educación frente a los instintos; una apuesta a favor de la inteligencia humana".

Fidel Castro Ruz, 3 de Diciembre 2002


Dedicatoria

A mis abuelas por su eterno recuerdo.

A mi madre por su anhelo de verme crecer profesionalmente.

A mis hijas por ser el mejor regalo que me dio la vida.

Agradecimientos

A mis padres y hermano por su cariño y apoyo incondicional.

A mi esposo por su comprensión y estímulo en todo momento.

A mi hija Yilian Elaine por su vital ayuda en todas las tareas.

A mi hija Priscilla Lilian por contagiarme de su entusiasmo.

A mi tutor y demás profesores por los conocimientos aportados.

A los compañeros y amigos que me han ayudado en esta investigación.

A todos..... ¡Muchas Gracias!

Resumen

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo, realizar una Evaluación de Producciones Mas Limpias al proceso de obtención de sirope de glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos. Para el desarrollo de la investigación se aplicó la metodología de evaluación propuesta por el PNUMA/ONUDI adaptada a las condiciones del objeto de estudio, utilizando para ello técnicas de recopilación de información y datos, métodos de análisis de procesos, tormentas de ideas, métodos estadísticos, entre otros. Como resultado de la misma se propone un plan de medidas, al cual previamente se le ha fundamentado su factibilidad técnica y económica, que incluye acciones de aplicación inmediata que proponen aplicar buenas prácticas operativas para el uso eficiente del agua, la energía y las materias primas, así como para elevar la gestión y práctica del personal y otras que requieren cambios tecnológicos en el proceso, reuso de materiales, así como valorización de residuos, las cuales permiten mejorar el desempeño de la empresa al obtener un beneficio económico de 96.76 MCUP anuales, a la vez que se disminuyen los impactos negativos al medioambiente al reducir en un 95,69 % el consumo de agua, en un 11,65 % el consumo de fuel oil, en un 2% el consumo de energía eléctrica, en un 85% la generación de residuos líquidos y en un 100% la generación de residuos sólidos.

SUMMARY

The objective of the present work is to make an Assessment of Cleaner Productions to the process of obtaining syrup of glucose in the Empress Glucose of Cienfuegos. The research and development was put into practice by means of the methodology of evaluation proposed by the UNEP/UNIDO adapted to the conditions of the object of study, utilizing for it, techniques of compilation of information and data, methods of process analysis's, brain storming, statistical methods were applied, among others. As a result it's suggested a plan of measures, which previously has been based it his technical and economic feasibility, that includes action of immediate application that suggest operating practices for the efficient use of the water, the energy and the raw materials, as well as for raising the steps and the personnel's practice and others that require technological changes in the process, reusable of materials, as well as valuation of residues, permitting improving the company's action, having a year's profits of 96,76 MCUP at the same time decrease the negative impact on the environment reducing a 95,69% the consumption of water, a 2 % the consumption of electric power, a 11,65 % the consumption of fuel oil, a 85% the waste minimization and the 100% the solid residues.

Indice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN..... 11
CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA 15
1.1Fundamentos de la Producciones Más Limpias 15
1.1.1 Origen y desarrollo de las Producciones Más Limpias 15
1.1.2 Prevención de la contaminación en el origen 17
1.1.3 Conceptos de Producción Más Limpia (P+L) 17
1.1.4 Evaluaciones de P+L como parte de la gestión ambiental 20
1.1.5 Beneficios que ofrece la implantación de un programa de P+ L 21
1.1.6 Metodologías para la Evaluación de Producción más Limpia (EP+L) 22
1.6.1.1 Metodología para la EP+L propuesta por el PNUMA. 23
1.6.1.2 Metodología para la EP+L del método genérico 24
1.6.1.3 Metodología de EP+L propuesta por Rigola. 25
1.6.1.4 Metodología para la EP+L descrita por expertos cubanos. 26
1.1.7 Opciones de Producción Más Limpia 27
1.2 La industria alimentaria y el medioambiente 29
1.2.1 Impactos ambientales de la industria alimentaria 29
1.2.1.1 Contaminación atmosférica 30
1.2.1.2 Generación de residuos sólidos 30
1.2.1.3 Contaminación de las aguas terrestres y marinas 30
1.2.1.4 Elevado consumo de agua 31
1.2.1.5 Elevado consumo de energía 31
1.2.2 Estrategias de Producción Más Limpia en la industria alimentaria 31
1.2.2.1 Cambio en los insumos 32
1.2.2.2 Cambio tecnológico 32
1.2.2.3 Buenas prácticas operativas 33
1.2.2.4 Reutilización en el sitio 33
1.2.3 Aplicación de las P+L en la industria alimentaria en el contexto internacional 34
1.2.4 Aplicación de las P+L en la industria alimentaria en Cuba 35
1.3 Generalidades sobre los jarabes de maíz 37
1.3.1 Fundamentos de la producción de jarabes de maíz 38
1.3.2 Proceso de obtención industrial de los siropes de glucosa. 40
1.3.2.1 Etapa de conversión para el proceso por hidrólisis ácida..... 40

1.3.2.2 Etapa de conversión para el proceso por hidrólisis ácida – enzimática 41
1.3.2.3 Etapa de conversión para el proceso por hidrólisis enzimática- enzimática 41
1.3.2.4 Etapa de refinación del hidrolizado.....43
1.3.2.5 Etapa de concentración del hidrolizado.....44
Conclusiones Parciales 46
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS 47
2.1 Aspectos socioeconómicos de la Empresa Glucosa Cienfuegos 47
2.1.1 Generalidades 47
2.1.2 Planeamientos Estratégicos..... 49
2.1.3 Aspectos productivos 49
2.1.4 Indicadores económicos 51
2.1.5 Situación ambiental de la Empresa Glucosa Cienfuegos 52
2.1.5.1 Antecedentes 52
2.1.5.2 Situación ambiental actual 53
2.2 Descripción del proceso de la Planta de Glucosa 56
2.2.1 Flujo tecnológico sección de conversión y sacarificación por hidrólisis enzimática-enzimática..... 57
2.2.2 Flujo tecnológico sección de conversión por hidrólisis ácida..... 59
2.2.3 Flujo tecnológico sección de refinación 60
2.2.4 Flujo tecnológico sección de concentración 62
2.2.5 Incidencia de la Planta de Glucosa en la situación ambiental 63
2.3 Metodología para la Evaluación de Producciones más Limpias (EP+L) 64
2.3.1 Planeación y organización 64
2.3.1.1 Obtener el compromiso de la dirección 64
2.3.1.2 Involucrar a los empleados 64
2.3.1.3 Organizar el equipo de EP+L.....65
2.3.1.4 Identificar obstáculos y soluciones para la EP+L como un proceso.....65
2.3.1.5 Decidir el enfoque de la EP+ L 65
2.3.2 Evaluación en planta..... 65
2.3.2.1 Realizar el reconocimiento de planta.....66
2.3.2.2 Elaboración de la matriz DAFO del proceso estudiado 66
2.3.2.3 Confección del diagrama de flujo del proceso (DFP).....66
2.3.2.4 Caracterización de las entradas y salidas del proceso 67
2.3.2.4.1 Colectar la información básica del proceso y confeccionar los balances de masa y energía..... 67

2.3.2.4.2 Confeccionar el diagrama de entradas y salidas 68
2.3.2.4.3 Priorización de opciones 69
2.3.2.4.4 Generación de opciones de P+L 69
2.3.3 Estudio de factibilidad 69
2.3.3.1 Evaluación técnica de las diferentes opciones 70
2.3.3.2 Evaluación ambiental de las diferentes opciones 70
2.3.3.3 Evaluación económica de las diferentes opciones 70
2.3.3.4 Seleccionar opciones de P+L factibles de aplicar 70
2.3.4 Implementación 71
2.3.4.1 Definir el plan de mejora de Producción Más Limpia 71
Conclusiones Parciales 72
CAPÍTULO III ANALISIS DE LOS RESULTADOS 73
3.1 Planeación y Organización 73
3.1.1 Obtención del compromiso de la dirección 73
3.1.2 Involucrar a los empleados 73
3.1.3 Organizar un equipo de Producciones Más Limpias 73
3.1.4 Identificar obstáculos y soluciones a la EP+L como un proceso 73
3.1.5 Decidir el enfoque de la Evaluación de Producción más Limpia 74
3.2 Evaluación en Planta 74
3.2.1 Reconocimiento de Planta 74
3.2.2 Elaboración de la matriz DAFO 77
3.2.3 Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) 78
3.2.4 Caracterización de las entradas y salidas del proceso 81
3.2.4.1 Colectar la información básica y confeccionar balances de masa y energía 81
3.2.4.1.1 Balance del consumo de materias primas 81
3.2.4.1.2 Balance del consumo de agua 84
3.2.4.1.3 Balance del consumo de energía eléctrica 88
3.2.4.1.4 Balance del consumo de fuel oil 90
3.2.4.1.5 Balance del producto final 93
3.2.4.1.6 Balance de los residuales líquidos generados 95
3.2.4.1.7 Balance de los residuos sólidos generados 98
3.2.4.2 Confección de los diagramas cuantitativos de entradas y salidas 99
3.2.4.3 Priorización de opciones 99
3.2.4.4 Generar opciones de P+L 100
3.2.4.4.1 Opciones de P+L de aplicación inmediata 100

3.2.4.4.2 Opciones que requieren un análisis más extenso 101
3.3 Análisis de factibilidad 102
3.3.1 Evaluación técnica, económica y ambiental de las opciones de P+L 102
3.4 Implementación 106
3.4.1 Plan de mejora de Producción más Limpia 106
Conclusiones Parciales 108
CONCLUSIONES GENERALES 111
RECOMENDACIONES 111
BIBLIOGRAFÍA 112
ANEXOS 121

Introducción

INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial aconteció en un marco económico y social en que los problemas ambientales raramente se tenían en cuenta, siempre se consideró que el beneficio que se obtenía de la industria era superior a los inconvenientes que podía ocasionar y se desconocía la relación que existe entre contaminación y salud, además los primeros conflictos ambientales tuvieron carácter local y pudieron resolverse también localmente. Esta situación empezó a cambiar cuando la industrialización se hizo masiva y los problemas ambientales fueron más evidentes al provocar problemas de salud, molestias debidas a la emanación de olores, ruidos indeseables e impactos de tipo estético. Además, a los fenómenos ambientales locales, se añadieron otros de alcance regional y global, unido a la ocurrencia de varios accidentes industriales que provocaron desastres ecológicos considerables y llamaron la atención de la comunidad mundial hacia la problemática ambiental. (Rigola, 1998)

Las políticas ambientales tradicionales para el control de la contaminación han ido desde ignorar el problema, a la dilución como forma de reacción, hasta el control de la contaminación a través del tratamiento de residuos y emisiones al final del proceso o “al final del tubo”. Más recientemente se ha ido introduciendo una nueva forma para la solución de los problemas ambientales, a través de la prevención de la contaminación, mediante la reducción de los residuos y emisiones en el mismo lugar donde se generan “antes del tubo”, dentro de este concepto se puede incluir las Producciones Más Limpias.

La Producción Más Limpia enfrenta el tema de la contaminación industrial de manera preventiva, concentrando la atención en los procesos productivos, productos y servicios, y en la eficiencia en el uso de las materias primas e insumos para conseguir niveles de eficiencia que permitan reducir o eliminar la generación de residuos.

La experiencia internacional comparada ha demostrado que, a largo plazo, la producción más limpia es más efectiva desde el punto de vista económico, y más coherente desde el punto de vista ambiental, con relación a los métodos tradicionales de tratamiento “al final del proceso”. Las técnicas de Producción Más Limpia contemplan desde simples cambios en los procedimientos operacionales de fácil e inmediata ejecución, hasta cambios mayores, que impliquen la sustitución de materias primas, insumos o líneas de producción por otras más limpias y eficientes.

Para Cuba constituye una prioridad alcanzar un estadio superior en la protección del medioambiente basada en una concepción integral del desarrollo sostenible, entendido como un proceso donde las políticas del desarrollo económico, científico, tecnológicas, fiscales, de

comercio, energéticas, agrícolas, industriales, de preparación del país para la defensa, entre otras, se entrelacen en un marco de justicia y equidad social, logrando la satisfacción de las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las propias, para lo cual se aplica un enfoque de gestión ecosistémico y multisectorial con la participación oportuna y efectiva de los Órganos de la Administración Central del Estado.

Lo anterior se refleja en el lineamiento 135 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución que plantea: "Definir una política tecnológica que contribuya a reorientar el desarrollo industrial, y que comprenda el control de las tecnologías existentes en el país; a fin de promover su modernización sistemática atendiendo a la eficiencia energética, eficacia productiva e impacto ambiental, y que contribuya a elevar la soberanía tecnológica en ramas estratégicas."

La industria alimenticia en Cuba contaba antes de triunfar la Revolución con unos pocos talleres y fábricas, prácticamente artesanales y con una gran dispersión territorial, no constituyendo en ese momento sus residuales una amenaza significativa de contaminación para el medio ambiente. A partir de la década del 1970 comienza un proceso de renovación y desarrollo de esta rama con la ejecución de varias inversiones, lo cual permite que se cuente actualmente con un sistema productivo de la industria alimenticia distribuido por todo el territorio nacional, constituyendo una de las ramas que ejerce un mayor impacto sobre el medio ambiente en el país.

En la provincia de Cienfuegos, la bahía del mismo nombre, representa un ecosistema costero de gran importancia en cuya cuenca vierten sus residuales líquidos un importante número de fuentes contaminantes, a través de su cuenca hidrográfica tributaria. Esto ha provocado que en la misma se originen problemas ambientales que se reflejan en olores desagradables, afectaciones al paisaje, agresividad al medio ambiente, deterioro sanitario y una reducción de la diversidad biológica.

La Empresa Glucosa Cienfuegos, perteneciente al Ministerio de la Industria Alimentaria, se encuentra identificada entre las que mas afecta al ecosistema de la bahía cienfueguera. La misma está generando impactos negativos sobre el entorno por la alta carga contaminante de sus aguas residuales y la contaminación atmosférica por emanación de malos olores, gases, polvo y hollín, revelando un pobre desempeño ambiental al no cumplir con los requisitos establecidos en la legislación ambiental vigente. Por lo antes expuesto se hace necesario trabajar para aplicar el concepto de Producción Más Limpia de forma integral y sistémica dentro de sus procesos productivos, haciendo énfasis en la prevención de la contaminación, la

minimización de residuos y la reutilización, como principales opciones para reducir las cargas contaminantes dispuestas al medio ambiente, lo que hace imprescindible su estudio para el análisis y la toma de decisiones al respecto.

Con el objetivo de realizar un estudio integral de Producciones Más Limpias en la fábrica de Glucosa Cienfuegos, la misma se dividió en cuatro temas de investigación, quedando la distribución del trabajo de la siguiente forma:

1. Secciones de Almacenaje, Limpieza y Maceración del Maíz.
2. Secciones de Molienda y degerminación, Lavado y Secado de Subproductos.
3. Secciones de Separación, Refinación y Secado de Almidón.
4. Secciones de Conversión, Refinación y Evaporación

Se decide tomar como **Objeto de estudio para la investigación:** la Planta de obtención de sirope de glucosa por hidrólisis ácida y enzimática en la Empresa Glucosa Cienfuegos que comprende las secciones de conversión, refinación y evaporación. Dentro de este contexto el problema científico que se plantea, la hipótesis y los objetivos son los siguientes:

Problema Científico: Existen problemas tecnológicos, operacionales y de malas prácticas que provocan un mal desempeño ambiental y un elevado consumo de materias primas, agua y energía en la planta de producción de sirope de glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos.

Hipótesis: Es posible reducir el impacto ambiental, disminuir los costos de producción y el consumo de los portadores energéticos en la planta de producción de sirope de glucosa si se aplica en la misma una Evaluación de Producciones Más Limpias.

Objetivo general de la investigación: Realizar una Evaluación de Producciones Más Limpias en la planta de obtención de sirope de glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos que permita obtener beneficios económicos y ambientales en la misma.

Objetivos específicos:

1. Realizar un estudio documental que permita identificar las tendencias de las Producciones Más Limpias en los procesos de la industria alimentaria.
2. Proponer una metodología que permita evaluar las Producciones Más Limpias del proceso estudiado atendiendo a sus características.

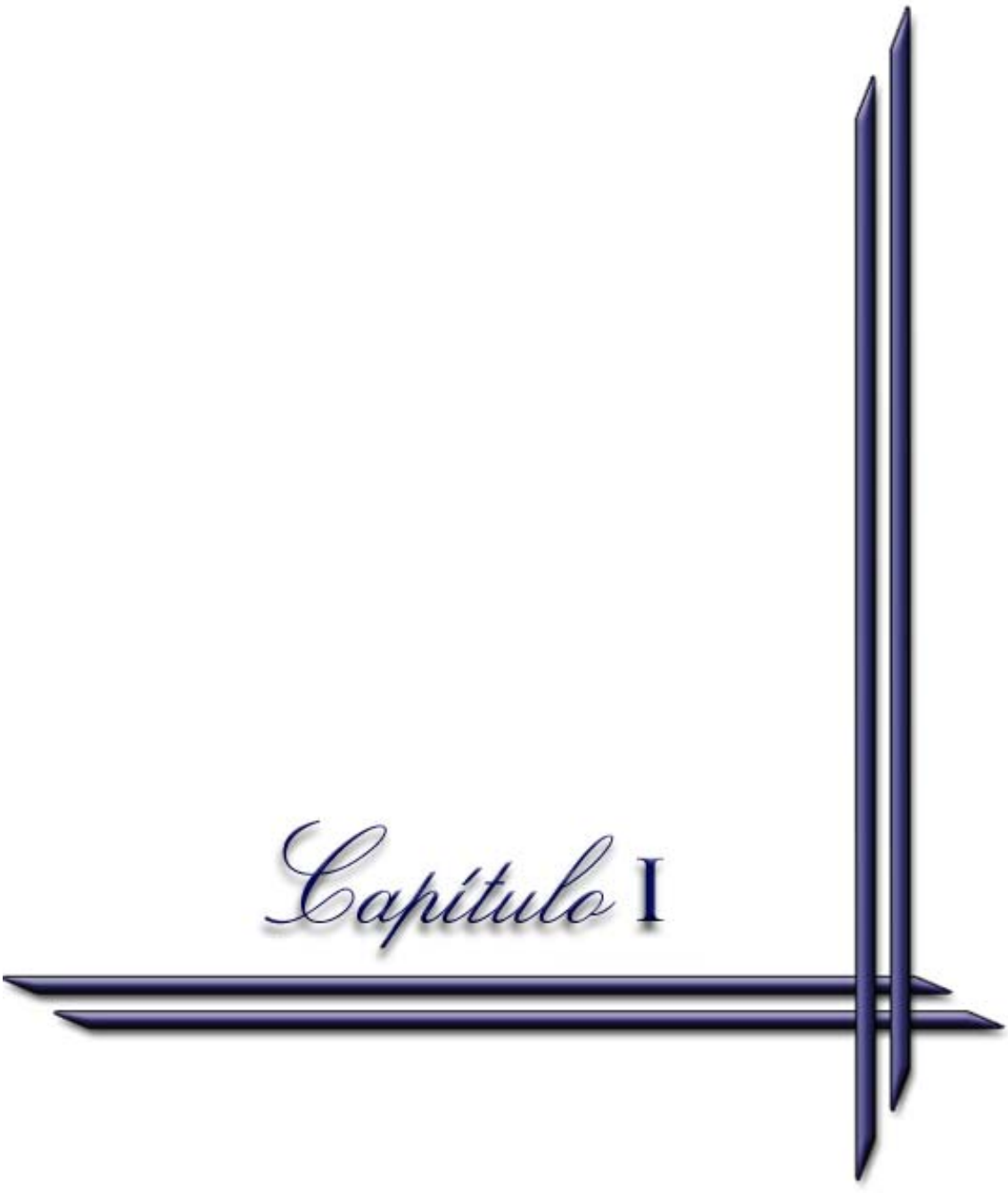
3. Diagnosticar mediante la aplicación de la metodología propuesta el proceso estudiado utilizando para ello métodos de análisis de procesos, evaluación mediante criterios de expertos, tormenta de ideas, métodos estadísticos, entre otros.
4. Proponer soluciones de Producciones Más Limpias factibles desde el punto de vista ambiental y económico a los principales problemas identificados.

Con vistas a alcanzar los objetivos planteados para la investigación el trabajo se encuentra estructurado en tres capítulos, conclusiones generales y recomendaciones.

En el **Capítulo I** se realiza un estudio documental sobre el tema de las Producciones Más Limpias, en el cual se considera la evaluación y aplicación de las mismas a los procesos de la industria alimentaria, se describe además de forma general los principales aspectos referidos en la literatura consultada de los procesos productivos para la obtención de jarabes de maíz.

En el **Capítulo II** se analiza de forma general los aspectos socioeconómicos y medioambientales de la Empresa Glucosa Cienfuegos y en específico las características de los procesos de obtención de sirope de glucosa por hidrólisis ácida y enzimática realizados en la planta objeto de estudio. Se describe además cada una de las etapas de la metodología propuesta para realizar una Evaluación de Producciones Más Limpias en el proceso estudiado.

En el **Capítulo III** se analizan los resultados de la Evaluación de Producciones Más Limpias efectuada al proceso objeto de estudio haciendo énfasis en el balance de los consumos de las materias primas, el agua y la energía, así como en los residuos generados. Se proponen soluciones de Producciones Más Limpias a los principales problemas identificados para mejorar el desempeño ambiental y económico en el proceso estudiado.


Capítulo I

CAPÍTULO I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1Fundamentos de las Producciones Más Limpias

1.1.1 Origen y desarrollo de las Producciones Más Limpias

El hombre para satisfacer sus necesidades y aspiraciones ha ejercido presiones sistemáticas sobre el medio ambiente, las cuales se han agudizado con el desarrollo y evolución de la sociedad ya que han aumentado los avances tecnológicos, se ha incrementado la productividad y han existido cambios en las relaciones sociales. Como consecuencia de esto comenzaron a ponerse en evidencias los impactos negativos de los procesos productivos sobre el medio ambiente y se han generado cambios sustanciales entre los conceptos de desarrollo industrial y protección ambiental los cuales eran considerados antagónicos tiempo atrás y han pasado a otro nivel donde la preocupación por la lucha contra la contaminación ambiental y su integración con el factor económico cobra una mayor importancia. (Ayes, 2006)

La primera reacción a los impactos ambientales estuvo muy centrada en la regulación a través de mecanismos de comando y control, con una atención particular al control de la contaminación de los suelos, las aguas o la atmósfera. La tecnología avanzaba en ese sentido, con sistemas de control «al final del tubo», ya que se consideraba obvia la generación de contaminantes y se centraban los esfuerzos en la mitigación de los impactos negativos a través del tratamiento de los residuales.(Serrano Méndez, 2006a)

En los años sesentas y setentas del pasado siglo, inicialmente en los Estados Unidos de América, comienza a desarrollarse el concepto de «prevención de la contaminación», pero un cambio de actitud en este sentido solo se hizo evidente durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) en 1992 que en su Agenda 21 le da prioridad a la introducción de estrategias ambientales proactivas que potencian los métodos de Producción Más Limpia y las tecnologías de prevención y reciclaje, con el fin de alcanzar un desarrollo sostenible. (Ochoa, 2007)

Ha medida que han tenido lugar cambios en las esferas socio-económicas, políticas y culturales, también han ocurrido en la estrategia de atención a la problemática ambiental, como se aprecia en la figura 1.1.

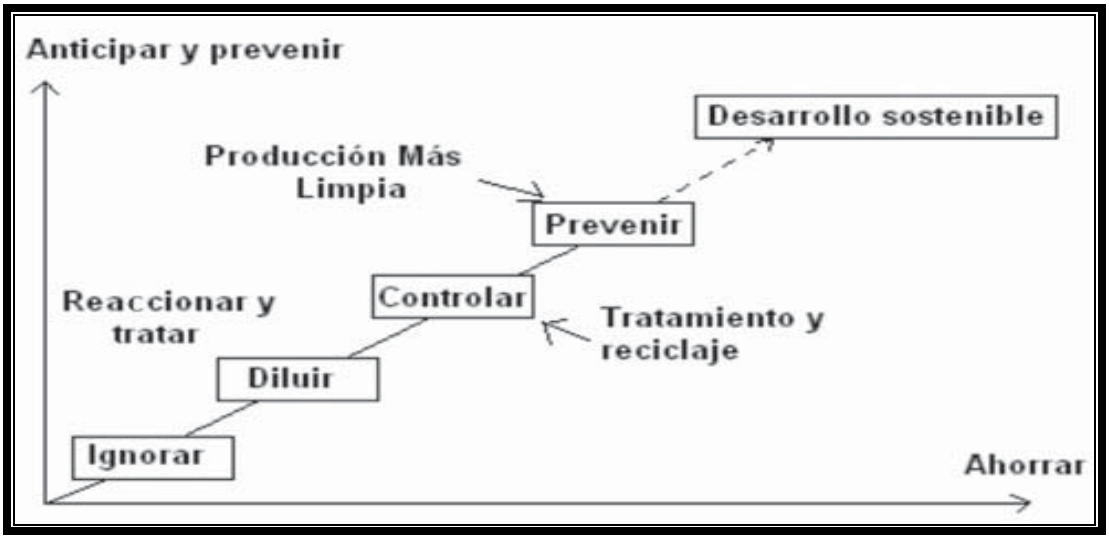


Figura1.1 Evolución de las estrategias para abordar la solución a la contaminación. Fuente: (Serrano Méndez, 2006a)

Se puede resumir que existen cuatro formas distintas de gestionar la tecnología para enfrentar el problema ambiental, referidas a continuación en orden creciente de interés. (Rigola, 1998)

Remediación de los daños ambientales producidos: Se introduce la tecnología para solucionar los daños ambientales causados, en lugar de evitarlos. Es el modelo a aplicar menos deseable.

Tratamiento de contaminantes al final del proceso: Fue la primera concepción para preservar el medio ambiente, surgida a mediados del pasado siglo. En ella se aplica la tecnología después de la etapa final del proceso de fabricación para evitar la transferencia de la contaminación al exterior, estas tecnologías generalmente son muy costosas.

Prevención de la contaminación en el origen: Se fundamenta en que la mejor forma de minimizar la contaminación es no producirla. Estas tecnologías buscan la reducción de la contaminación desde el desarrollo del proceso y/o el producto, aunque estas tecnologías empezaron a aparecer desde la década de 1970, su introducción se ha hecho de forma muy lenta debido a la tendencia conservadora de muchos empresarios.

Aplicación de sistemas ecológicamente sostenibles: Estos sistemas incluyen medidas de estímulo a la innovación de nuevos productos y procesos que utilicen al máximo los recursos y no produzcan más impacto residual que el asimilable por el medio, los cuales constituyen un reto para el siglo XXI.

1.1.2 Prevención de la contaminación en el origen

Históricamente la contaminación ha sido un inevitable subproducto del progreso industrial, sin embargo, estas concepciones han cambiado, se han encontrado formas de fabricar los productos sin crear contaminación o recuperando y reutilizando los materiales que se consideraban residuos (Calkins, 1994). Esta filosofía se conoce como prevención de la contaminación.

Esta temática empezó a investigarse en diferentes países a la vez, la misma está relacionada con una serie de instrumentos metodológicos que aparecen a partir de la década de 1970 como Producciones Más Limpias, Minimización de residuos, Prevención ambiental, Ecología industrial; Ecoeficiencia, Factor 4, Análisis del Ciclo de Vida, etc. La mayoría de estos conceptos surgieron de manera paralela y están muy relacionados entre sí, por lo que no es extraño que se haga un uso confuso de los mismos, ya que sus definiciones y objetivos son muy amplios y fácilmente se solapan unos con otros.

En Cuba se ha trabajado a la par de las tendencias internacionales en materia de gestión ambiental empresarial. Con este fin se han desarrollado múltiples actividades de concientización, entrenamiento y capacitación de especialistas y se han formulado planes estratégicos a mediano y largo plazo que propician la adopción de un enfoque preventivo en el quehacer empresarial.

El Programa Nacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, que constituye la adecuación cubana de la Agenda 21, dedica un Capítulo, el No.18, a la Producción Más Limpia en la Industria y el Comercio, definiendo como sus objetivos los siguientes: (Caraballo Maqueira, 2005)

- Elevar la eficiencia en el uso de los recursos, considerando entre ellos el aumento de la reutilización y el reciclado de los desechos, reduciendo al mismo tiempo la cantidad de desechos por unidad de producción.
- Fortalecer el concepto de la administración responsable en la gestión ambiental y uso de los recursos por las empresas.

Prevenir la generación de residuos en la fuente de producción, combinando los máximos efectos positivos sobre el medio ambiente con ahorros y ganancias sustanciales para la industria, es el objetivo de las Producciones Más Limpias (Brown, 1996).

1.1.3 Conceptos de Producción Más Limpia (P+L)

La definición de Producción Más Limpia fue desarrollado por primera vez en una reunión de expertos asesores del programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en

el año l989 como: “La forma de producir que requiere conceptualmente y en el procedimiento de llevarla a cabo, sean consideradas todas las fases del ciclo de vida de un producto o de un proceso con el objetivo de prevenir o minimizar los riegos a corto y largo plazo para los humanos y el medio ambiente”.(Ochoa, 2007)

Las Producciones Más Limpias son un proceso sistemático enfocado a la eliminación de desperdicios en la producción de bienes o servicios, incluyendo la reducción y, eventualmente, la eliminación de los desperdicios en el origen, más que el tratamiento de los residuos al final del proceso de producción”(Serrano Méndez, 2006b).

“La Producción Más Limpia está dirigida fundamentalmente a evitar la generación de residuos y emisiones y a disminuir el consumo de materias primas, materiales auxiliares, agua y energía para contribuir así a la elevación del desempeño ambiental y económico de una organización” (Martínez, 2005; Ochoa, 2007; Rivera, 2002)

En (López Bastida, 2002) se resumen otros conceptos de P+L como son:

- “Un proceso de fabricación o una tecnología integrada en el proceso de producción, concebida para reducir durante el propio proceso, la generación de residuos contaminantes.”
- “El método de fabricar productos en el que las materias primas y la energía son utilizadas en la forma más racional e integrada en el ciclo de vida materias primas-producción-consumo-recursos secundarios, de manera que el impacto sobre el funcionamiento del medio ambiente sea mínimo.”
- “La integración de los objetivos ambientales en un proceso de producción o servicio con el fin de reducir los desperdicios y emisiones en términos de cantidad y toxicidad y por tanto reducir los costos.”

En el año 1996, en un seminario organizado por el PNUMA en Estados Unidos, se define nuevamente las P+L como: “La aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada de los procesos, productos y servicios a fin de aumentar la ecoeficiencia y reducir el riesgo para los humanos y el medio ambiente.” Esta última definición de P+L es la más amplia y general, así como la más difundida y utilizada actualmente cuyos principales conceptos se muestran en la figura 1.2.

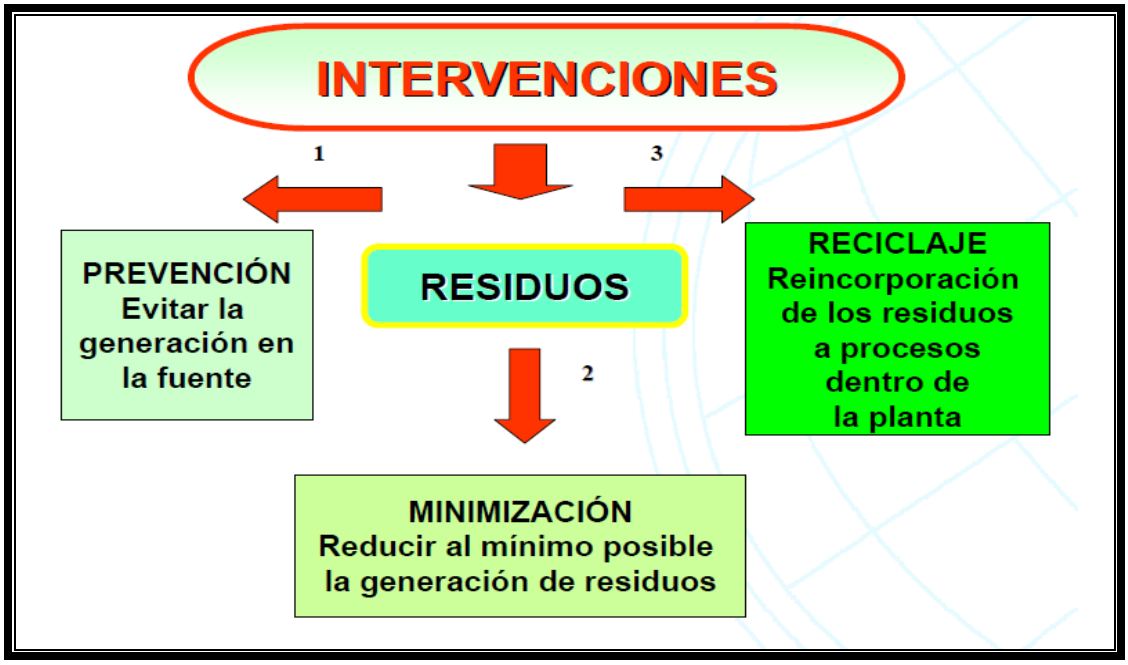


Figura 1.2 Conceptos básicos de P+L. Fuente: (ONUDI, 1999)

En este trabajo se toma como partida el concepto de Producciones Más Limpias establecido por el PNUMA en 1996, ya que concibe las mismas como una estrategia de forma integrada para que se desarrolle la producción de bienes y servicios con el óptimo uso de los recursos naturales bajo los actuales límites tecnológicos y económicos. Además se aborda la contaminación ambiental de una forma preventiva concentrando la atención en los procesos, los productos y los servicios con el objetivo de promover mejoras que permitan reducir o eliminar los residuos antes de que se generen.

El proceso de reducción de la contaminación mediante un mejor manejo ambiental de los desechos producidos en las industrias, se puede realizar mediante cuatro niveles de acción como se aprecia en la figura 1.3, observándose dos niveles preventivos: la reducción en el origen y el reciclaje o reutilización y dos niveles de control que son: el tratamiento y la disposición final.

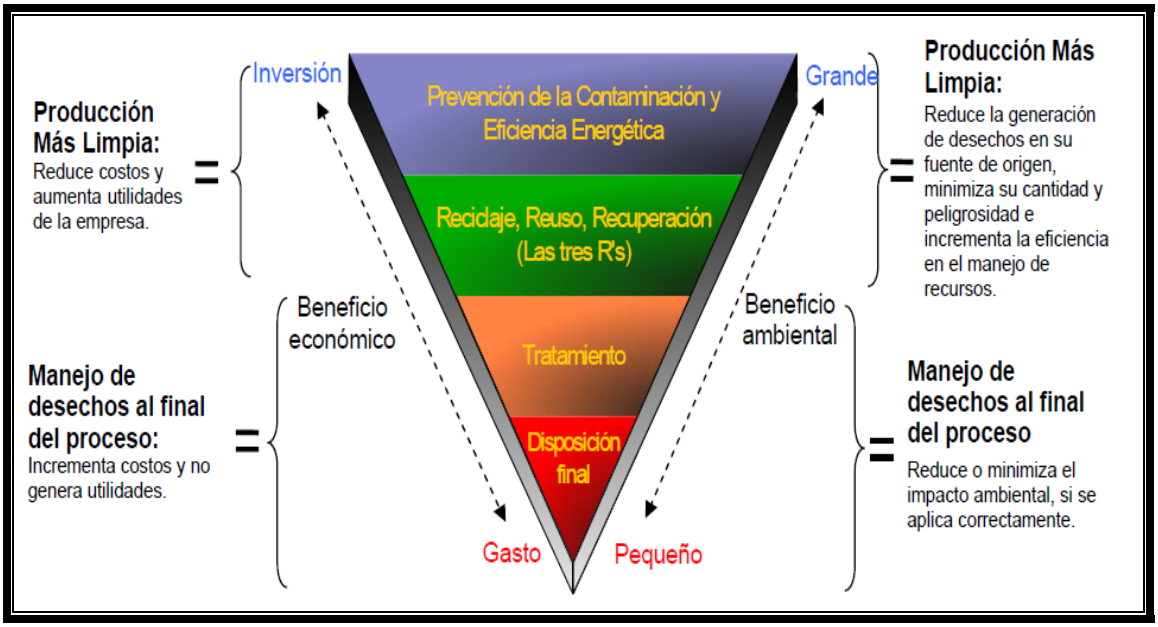


Figura 1.3 Esquema piramidal de los niveles de reducción de contaminación. Fuente: (Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), 2005)

1.1.4 Evaluaciones de P+L como parte de la gestión ambiental

La Evaluación de Producción Más Limpia es una herramienta de gestión que abarca una evaluación documentada, periódica y objetiva de una situación ambiental o de un factor organizacional, que incluye: sitios, instalaciones y aspectos técnicos como el uso de la energía y la emisión de contaminantes.(PNUMA/IMA, 1999)

La Producción Más Limpia no constituye una estrategia ajena a la formulación y desarrollo de un Sistema de Gestión Ambiental de las entidades productivas y de servicios. El programa de P+L, que incluye las evaluaciones, debe incluirse a su vez y tener una prioridad clara dentro del sistema de gestión ambiental más amplio de la empresa, ya que mediante el establecimiento del mismo se pueden ejecutar las opciones recomendadas y prestar atención a cualquier nueva circunstancia que requiera una intervención puntual como se aprecia en la figura 1.4. (Rigola, 1998)

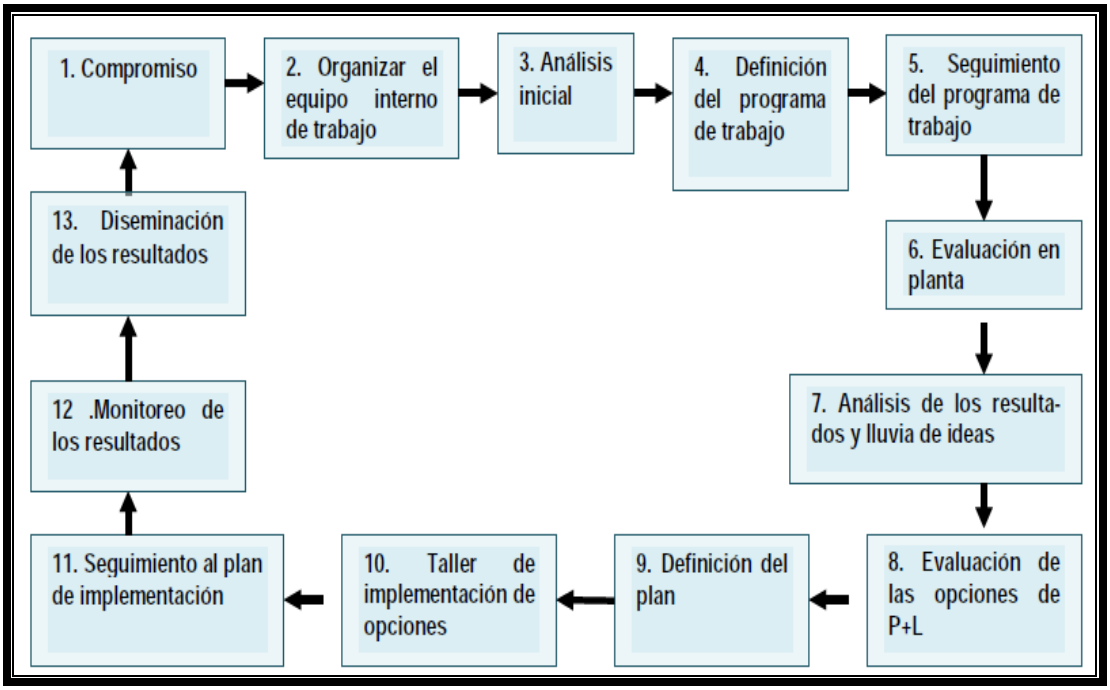


Figura 1.4 Resumen del proceso de implementación de una estrategia de P+L. Fuente: (PNUMA/IMA, 1999)

1.1.5 Beneficios que ofrece la implantación de un programa de P+ L

Con la aplicación de un programa de P+L se enfrenta el tema de la contaminación industrial de manera preventiva y se persigue una mejora integral del proceso u organización a la cual se aplica. Sus principales beneficios se resumen en la tabla 1.1, donde se puede apreciar que la producción más limpia es más efectiva desde el punto de vista económico, y más coherente desde el punto de vista ambiental, que los métodos tradicionales de tratamiento "al final del proceso".

Según López Bastida en el IX Encuentro Globalización y Problemas del Desarrollo desarrollado en Cuba durante el 2002, las P+L forman parte del conjunto de medidas adoptadas por la industria para contribuir al desarrollo sostenible, debido a que además de lograr el efecto de reducir la contaminación permiten que baje el costo del producto mediante una adecuada gestión del agua, la energía y las materias primas o materiales tóxicos, para posteriormente con los ahorros generados, obtener un producto con menos contaminación al precio inicial.

Tabla 1.1 Beneficios esperados de la aplicación de una estrategia de P+L. Fuente:(ONUDI, 1999), (CONAM, 2003)

SE REDUCE	SE INCREMENTA
El uso de la energía en la producción.	La calidad del producto.
La cantidad de residuos y la contaminación.	La motivación del personal
Los riesgos de accidentes laborales.	El prestigio, al mejorar la imagen de la empresa al socializar los resultados.
La posibilidad de incumplimiento de normas ambientales y sus posibles sanciones.	La competitividad en mercados nacionales e internacionales.
Costos en la producción.	Ingresos y ahorros de la empresa.
La tasa de uso de recursos naturales y la tasa de generación de residuos contaminantes.	La protección del medioambiente.
Los riegos medioambientales en caso de accidente.	La mejora continua de la eficiencia medioambiental en las instalaciones de las empresas y de los productos.

1.1.6 Metodologías para la Evaluación de Producción más Limpia (EP+L)

La Evaluación de Producción Más Limpias constituye un proceso de manejo de la información que permite identificar posibles mejoras del proceso estudiado, enfocadas a la reducción de los residuos en el origen y culmina con la preparación de los planes para ejecutar esas mejoras.

En la literatura consultada se presentan varias metodologías en relación a cómo aplicar la Evaluación de Producciones Más Limpias en empresas de producción y servicios. Entre las analizadas por su importancia describiremos las siguientes:

- Metodología para la Evaluación de Producciones más Limpias propuesta por el PNUMA.(ONUDI, 1999) (CNP+LH, 2009).
- Metodología de Evaluación de Producciones más Limpias del método genérico. (Ochoa, 2007)

- Metodología para la Evaluación de Producción Más Limpia descrita por Miguel Rigola.(Rigola, 1998)
- Metodología para la Evaluación de Producción Más Limpia, descrita por expertos cubanos. (Serrano Méndez, 2006b)

1.6.1.1 Metodología para la EP+L propuesta por el PNUMA.

Consta de cuatro fases fundamentales tal y como se aprecia en la figura 1. 5.

Figura 1. 5. Etapas para la Implementación de P+L. Fuente:(ONUDI, 1999)

Fase I "Planeación y organización"

- Obtener el compromiso de la gerencia y de todo el personal de la empresa.
- Organizar el equipo de P+L.
- Definir claramente las metas del Programa de P+L en la empresa.
- Identificar obstáculos y soluciones para el Programa de P+L.
- Capacitar a mandos intermedios y operarios.

Fase II "Evaluación en planta"

- Reunir los datos generales de la empresa y del proceso de producción.
- Definir el diagrama de flujo del proceso: entradas y salidas.
- Llevar registros y mediciones de materias primas, consumos de agua y energía.
- Organizar el equipo evaluador.
- Generar opciones.

Fase III "Estudio de factibilidad"

- Evaluación técnica, económica y ambiental.
- Definición de recomendaciones.
- Selección de las medidas a tomar.

Fase IV "Implementación"

- Establecer la fuente y el monto de los fondos destinados al proyecto.
- Ejecutar las medidas recomendadas.
- Monitorear y evaluar las medidas implementadas.

1.6.1.2 Metodología para la EP+L del método genérico

Consta de cinco fases fundamentales tal y como se aprecia en la figura 1. 6:

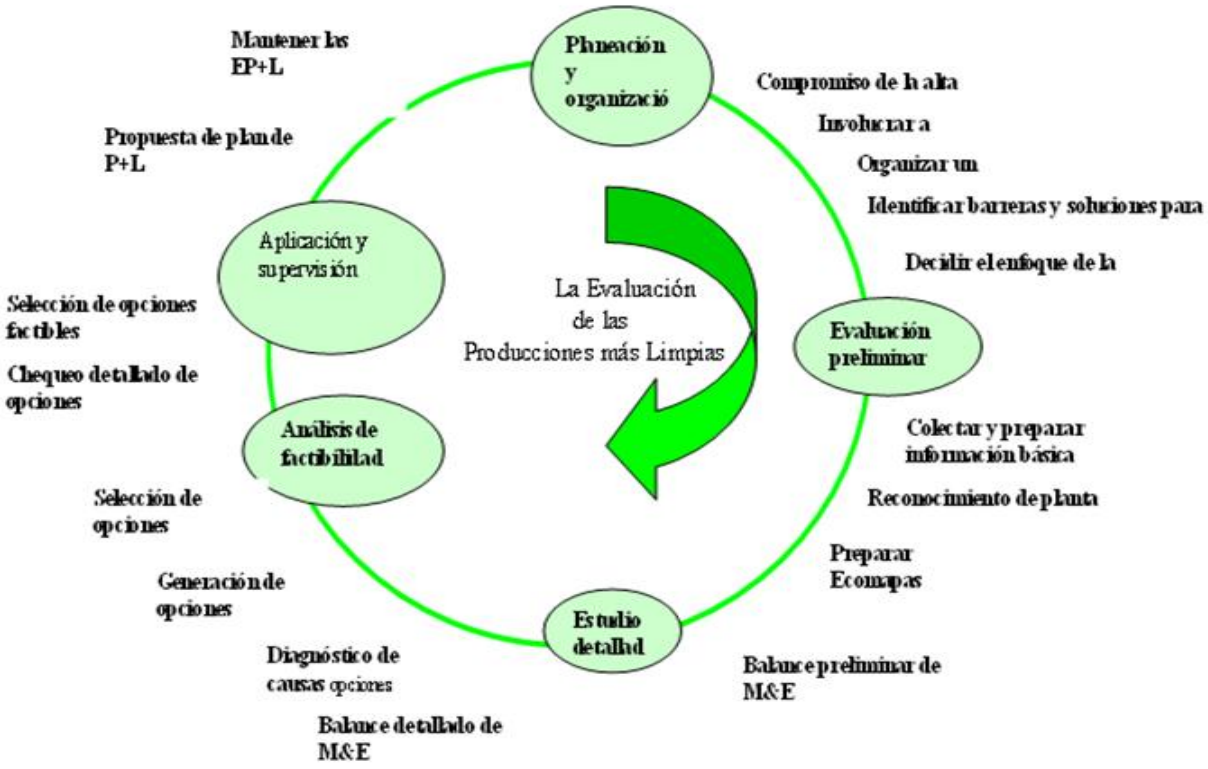


Figura 1.6 Etapas de implementación de P+L. Fuente: (Ochoa, 2007)

Los pasos del método genérico de la EP+L se describen a continuación.

Fase I "Planeamiento y organización"

- Obtener el compromiso de la dirección superior
- Involucrar a los empleados
- Organizar un equipo de Producciones más Limpias
- Identificar los impedimentos y soluciones a la EP+L como un proceso
- Decidir el enfoque de la EP+L.

Fase II "Evaluación preliminar"

- Colectar y preparar la información básica.

- Conducir los reconocimientos de la planta
- Ejecutar el balance preliminar de materiales y energía.
- Preparar un Eco-mapa

Fase III "Estudio detallado"

- Elementos del Balance Detallado de Masa y Energía
- Recolección y validación de datos
- Balances de masa
- Confección de los Mapas Cuantitativos de Consumo.
- Diagnóstico de causas.
- Generación de opciones.
- Selección de opciones más obvias.

Fase IV "Análisis de factibilidad"

- Chequeo detallado de opciones.
- Evaluación técnica.
- Evaluación medioambiental
- Aspectos de seguridad
- Evaluación económica
- Selección de Opciones Factibles

Fase V "Aplicación y Supervisión"

- Plan de aplicación de las Producciones más Limpias
- Sostener en el tiempo la Evaluación de las Producciones más Limpias

1.6.1.3 Metodología de EP+L propuesta por Rigola.

Consta de siete etapas fundamentales como se aprecia:

Etapa I. Preparación de la evaluación.

- Compromiso de la alta dirección y manifestación expresa de su soporte a la evaluación.
- Definición de los objetivos finales y parciales.
- Organización del equipo auditor.

Etapa II. Revisión de la documentación del proceso.

- Revisión de las etapas y unidades de proceso, diagramas de proceso incluyendo los tratamientos de corrientes residuales.
- Identificar las entradas de materias primas, agua y energía.
- Identificar las salidas del proceso.
- Identificar los destinos finales.

- Determinar los niveles iníciales de recirculación interna, de reciclado externo y de reutilización.
- Identificar las corrientes con materiales peligrosos.

Etapa III. Verificar la información sobre el terreno.

- Realizar una inspección visual sobre el terreno.
- Revisar datos y completar con datos reales.

Etapa IV. Análisis de balance y rendimiento del proceso.

- Completar los balances de materia y energía.
- Evaluar la eficacia en el uso de materias y energía.
- Hacer análisis de energía y ajuste termodinámico (pinch).
- Investigar el potencial de segregación de las corrientes.

Etapa V. Identificación de oportunidades y evaluación técnica.

- Identificar las opciones más obvias.
- Identificar otras corrientes con problemas.
- Desarrollar alternativas a largo plazo.

Etapa VI. Evaluación económica.

- Determinar los costes actuales y anticipar los futuros.
- Realizar estudios de viabilidad.
- Determinar prioridades de ejecución.

Etapa VII. Plan de acción.

- Preparar un informe con conclusiones
- Diseñar un plan de acción
- Obtener fondos
- Ejecutar las opciones y verificar los resultados.

1.6.1.4 Metodología para la EP+L, descrita por expertos cubanos.

(Serrano Méndez, 2006b)

La misma comprende las siguientes tareas:

- Involucrar y obtener el compromiso de la alta dirección.
- Crear el equipo de trabajo de P+L.
- Recoger datos de la organización
- Colectar y preparar información básica del proceso
- Medir las entradas y salidas del proceso
- Elaborar balance de masa y energía.

- Generar opciones de P+L.
- Seleccionar las opciones a evaluar
- Evaluación técnica, económica y ambiental de las opciones de mejora.
- Seleccionar las opciones de P+L factibles de aplicar
- Preparar plan de acción de P+L.
- Implementar las medidas de P+L recomendadas
- Supervisar avance de las medidas implementadas.

En sentido general estas metodologías abordan las mismas tareas a desarrollar en una Evaluación de P+L, solo cambia en algunos casos la etapa donde se llevan a cabo, ya que algunas sintetizan más las etapas y en una sola fase encierran varios pasos que en otras metodologías se hacen más detalladas dándoles un plazo mayor, pero en resumen todas van encaminadas a un mismo fin que es lograr la evaluación del estado de la empresa y proponer opciones generales de P+L.

Al aplicar la E P+L se obtienen los siguientes resultados:(CONAM, 2003; ONUDI, 1999)

- Localización de los principales puntos de entrada: consumo de agua, energía, materias primas e insumos.
- Identificación de las principales fuentes de residuos y las cantidades generadas.
- Identificación de procesos que generan una cantidad considerable de residuos.
- Establecimiento de puntos críticos.
- Identificación de fortalezas desde el enfoque de procesos y desde un análisis económico y ambiental.
- Establecimiento de un programa de reuniones para seguimiento de la implementación.

En este trabajo aplicaremos la metodología descrita por el PNUMA ya que es la que más se adapta a las condiciones del objeto de estudio. Esta metodología permite al sector productivo ser más rentable y competitivo a través del ahorro generado por el uso eficiente de materias primas y por la reducción de la contaminación en la fuente de sus procesos, productos o servicios; con lo que además se evitan sanciones económicas por parte de las autoridades ambientales, y se promueven nuevos beneficios al ofrecer al mercado productos fabricado bajo tecnologías limpias.

1.1.7 Opciones de Producción Más Limpia

Una vez realizada la Evaluación de P+L se debe elaborar una estrategia de trabajo para lo cual se recomienda trabajar en 3 niveles como se aprecia en la figura 1.5. En el tope tenemos dos

objetivos y de izquierda a derecha está la prioridad: evitar la generación de residuos y emisiones en la fuente (nivel 1) y los residuos que no pueden evitarse deben preferencialmente ser reintegrados al propio proceso productivo (nivel 2), como primeros pasos para lograr la introducción de medidas de una producción limpia de forma sostenida, o utilizar el reciclaje externo (nivel 3) en caso que sea necesario.

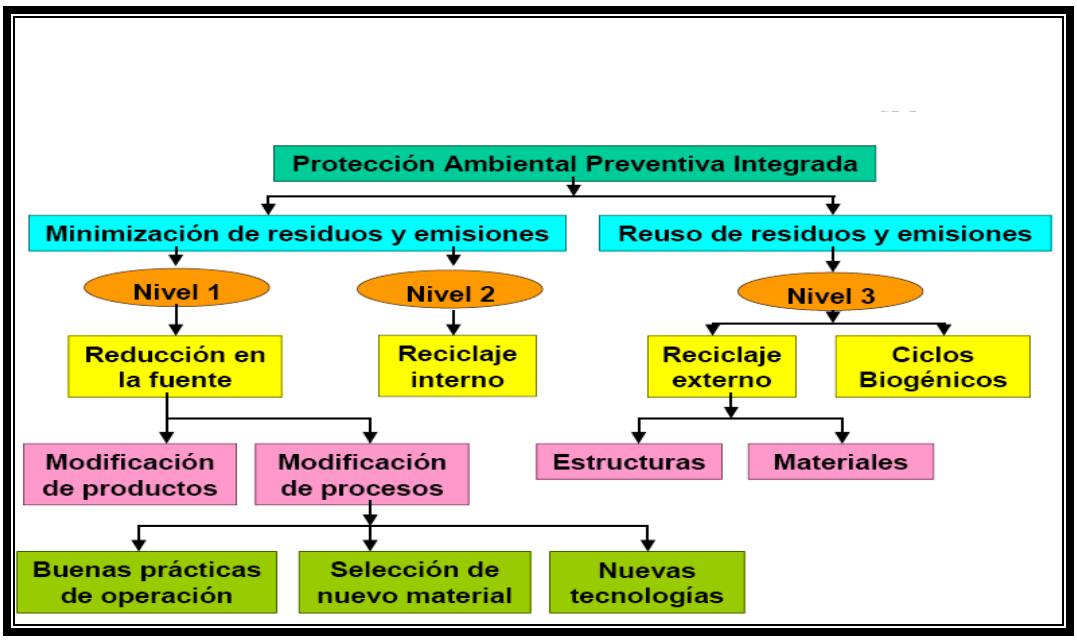


Figura 1.5 Diagrama de Flujo de Producción más Limpia. Fuente:(Serrano Méndez, 2006a)

En el proceso de generación de opciones de P+L, los elementos básicos a considerar según (PNUMA/IMA, 1999) se presentan a continuación:

Cambios en las materias primas: Al proponer un cambio en las materias primas del proceso o producto se puede reducir la generación y formación de residuos o compuestos residuales peligrosos originados por la presencia de impurezas en las materias primas inadecuadamente seleccionadas. Al sustituir un compuesto peligroso o contaminante por otro más inocuo, se elimina la necesidad de aplicar un tratamiento al "final del tubo".

Cambios en las tecnologías: Pueden ir de simples actividades de reconstrucción a extensos cambios del proceso de producción. Se pueden proponer modificaciones de innovación tecnológica en el proceso o en los equipos con la finalidad de reducir la generación de residuos, así como lograr un uso eficiente de las materias primas, el agua y la energía.

Generar buenas prácticas operativas: Consiste en proponer cambios de los procedimientos operacionales y administrativos para mejorar la organización del proceso productivo que

permitan reducir o eliminar la generación de desperdicios y lograr un uso eficiente de las materia prima, el agua y la energía y por tanto reducir los costos del proceso. En la mayoría de los casos éstas son económicamente las medidas más interesantes y pueden ser puestas en práctica muy fácilmente. Pueden incluir entrenamiento y motivación del personal, cambios con respecto al funcionamiento de los equipos, instrucciones de manipulación para materiales y recipientes, cambios en la política de mantenimiento, entre otras.

Cambios en el producto: Los cambios en el producto se realizan por su fabricante, con la intención de reducir los desechos que se generen como resultado de su empleo. Estos cambios pueden tener lugar en su composición, conservación o por la sustitución total del producto.

Reutilización y reciclaje en planta: Mediante la aplicación de estas dos actividades se pueden recuperar corrientes de materias útiles y utilizarse en otra etapa o actividad en el proceso, reduciendo así los gastos innecesarios.

1.2 La industria alimentaria y el medioambiente

La industria alimentaria abarca un conjunto de actividades industriales dirigidas al tratamiento, transformación, conservación y el envasado de productos alimenticios, la misma depende directamente del medioambiente natural para garantizar un suministro de materias primas que le permita obtener productos adecuados para el consumo humano. A la vez, con su diversidad de segmentos, es uno de los sectores productivos que mayor impacto tiene sobre el mismo, ya sea por sus procesos productivos o por los diferentes productos que salen al mercado. (Berkowitz, 2000). Cada sector en particular genera residuos en diferentes porcentajes de acuerdo con los tipos de productos que se fabrican como se muestra en el **Anexo A**. (Restrepo, 2006)

1.2.1 Impactos ambientales de la industria alimentaria

El impacto ambiental se define como el cambio neto en la salud del hombre, en su bienestar o en su entorno, debido a la interacción de las actividades humanas con los ecosistemas. Es así como un impacto puede ser positivo o negativo y se considera significativo cuando supera los estándares de calidad ambiental, criterios técnicos, hipótesis científicas, comprobaciones empíricas, juicio personal, valoración económica o social, entre otros criterios. (Conesa, 2000). Podemos definir como los principales problemas ambientales en la industria alimenticia los siguientes:

- Contaminación atmosférica
- Generación de residuos sólidos
- Contaminación de las aguas terrestres y marinas
- Elevado consumo de energía
- Elevado consumo de agua

1.2.1.1 Contaminación atmosférica

Las emisiones atmosféricas de las instalaciones de procesamiento de alimentos son pequeñas, pero pueden incluir emisiones gaseosas de óxidos de azufre, de nitrógeno, así como hidrocarburos u otros compuestos orgánicos provenientes de los procesos de generación de vapor. Además otro problema que se asocia con las industrias de procesamiento de alimentos se relaciona con los olores nocivos o molestosos que puede ocasionar. (Malagié & Col, 2000)

En la industria es casi inevitable la emisión de elevados niveles de ruido, pero existe un número de situaciones que provocan la generación de ruidos evitables, por ejemplo: la existencia de salideros de vapor, solturas mecánicas, desajustes y en general, todos los defectos que provoquen vibraciones excesivas, los cuales tienden a incrementar el nivel de ruido generado por una planta o equipo.(Sexto, 2006)

1.2.1.2 Generación de residuos sólidos

Los residuos sólidos en este tipo de industrias pueden ser los generados durante la producción u operaciones del proceso, los residuos del envasado, así como productos vencidos o defectuosos, los cuales constituyen una gran fuente de contaminación si no son tratados adecuadamente. (Berkowitz, 2000)

La gestión de residuos sólidos es muy importante ya que mediante el aislamiento y recogida adecuada de los mismos se reduce la concentración de sustancias orgánicas solubles en las aguas residuales. Estos sólidos se pueden emplear con mayor facilidad como subproductos, alimento animal o combustible, a la vez que se reduce el costo del tratamiento de residuos y del producto final. (Berkowitz, 2000)

1.2.1.3 Contaminación de las aguas terrestres y marinas

Los residuales líquidos de la industria de procesamiento de alimentos, antes de su tratamiento, tienen un contenido extremadamente alto de materia orgánica soluble, aceites, grasas, colibacilos, sólidos suspendidos y disueltos. Además puede haber otros contaminantes como

aceites complejos, compuestos alcalinos o ácidos, y otros materiales orgánicos por lo que los recursos hídricos del área circundante a estas instalaciones pueden sufrir deterioro debido a los derrames de efluentes no tratados o tratados ineficientemente. Si las corrientes o cursos de agua que reciben estos efluentes son demasiados pequeños y el volumen de los residuos demasiado grande o con cargas orgánicas elevadas, éstos utilizarán el oxígeno disuelto en el proceso de estabilización y contaminarán o degradarán el agua mediante la reducción de los niveles de este elemento a cifras inferiores a las que requieren organismos acuáticos normales.(Berkowitz, 2000)

1.2.1.4 Elevado consumo de agua

En la industria de procesamiento de alimentos se emplean importantes cantidades de agua, es necesario seleccionar el sitio para las instalaciones de procesamiento de alimentos de tal modo que se disponga de suficiente agua con buena calidad. Aunque la disponibilidad de agua potable es esencial, la industria alimentaria también requiere grandes volúmenes de este elemento para diversos usos ajenos al consumo, como la limpieza inicial de las materias primas, el lavado, el escaldado, la pasteurización, la limpieza de los equipos productivos, transferencia de calor y la refrigeración del producto terminado. Los usos del agua se determinan en función de criterios de calidad para las diferentes aplicaciones. (Berkowitz, 2000)

1.2.1.5 Elevado consumo de energía

Las necesidades energéticas han ido creciendo a medida que la industria alimentaria ha ido ganando en complejidad. Son muchos los equipos a los que ha de suministrarse energía: hornos a gas; secadoras; calderas de vapor; motores eléctricos; unidades de refrigeración, evaporadores y sistemas de calentamiento, ventilación y aire acondicionado.

El consumo de electricidad aporta un valor significativo de dióxidos de azufre, de nitrógeno, de carbono y otras emisiones al medio ambiente, los cuales tienen una contribución significativa al calentamiento global y la formación de lluvia ácida.

1.2.2 Estrategias de Producción Más Limpia en la industria alimentaria

Tomando como base las áreas de atención propuestas por el PNUMA (PNUMA/IMA, 1999) para la generación de opciones de P+L, se indican a continuación algunos elementos que pueden servir de forma general como punto de partida para la implementación de planes de producción más limpia en la industria alimentaria:(Restrepo, 2006)

1.2.2.1 Cambio en los insumos

El empleo de ingredientes de origen natural, permanente demanda por parte de los consumidores, es una forma de introducir un elemento de P+L en los procesos de elaboración de alimentos. Dentro de la lista de ingredientes y aditivos los colorantes son los más cuestionados, por sus efectos en la salud humana y en el medio ambiente cuando son dispuestos de forma incorrecta. Una forma de implementar este cambio, es con el empleo de extractos naturales, sustancias sintetizadas pero idénticas a las naturales, con pigmentos de origen vegetal, así como colorantes que empleen vehículos acuosos en lugar de oleosos o a base de alcoholes pesados.

También constituye una estrategia en este sector el monitoreo permanente de la calidad de los insumos entregados por los proveedores para asegurar parámetros constantes de pureza, a la vez que el trabajo conjunto con cada proveedor en particular, puede mejorar los procedimientos de producción de dichos ingredientes hacia procesos más limpios, por modificaciones internas a los procesos individuales.

Uno de los segmentos del grupo de insumos que más compromete el medio ambiente son los materiales de empaque. El empleo de plásticos en tapas, bolsas, envolturas y envases es un permanente reto para los programas de reducción y disposición de residuos sólidos. En este aspecto los planes de Producción Más Limpia deben considerar el empleo de materiales alternativos como el vidrio o los enlatados (aluminio y hojalata) o bioplásticos, como los elaborados a partir de fibras vegetales o polisacáridos modificados como los almidones de yuca.

1.2.2.2 Cambio tecnológico

La incorporación de nuevas tecnologías en el procesamiento de las materias primas permite la disminución de impactos negativos en el medio ambiente como son:

Tecnología de membranas: Esta tecnología está basada en la permeabilidad selectiva de uno o más componentes del sustrato líquido a través de una membrana y gracias al gradiente de presión hidrostática. Entre estas tecnologías se encuentran: microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF), ósmosis inversa (OI) y electrodiálisis (ED), las mismas en la industria alimentaria además de mejorar notablemente los índices de calidad y productividad, constituyen una herramienta valiosa para los planes de producción más limpia. Ejemplos de su aplicación en la industria alimentaria se muestran en el **Anexo B**.

Extracción con fluidos supercríticos: Involucra fluidos que se manejan a una temperatura y presión superior a su punto crítico, en condiciones tales que, siendo gaseosos, tienen propiedades de solvatación y pueden servir como solventes. La implementación de esta tecnología repercute en el medio ambiente en cuanto a la ausencia de solventes orgánicos y la posibilidad de emplear inmediatamente la torta de extracción sin necesidad de hacer tratamientos de purificación adicionales ni desecharla como residuo. Se ha empleado esta tecnología en la extracción de aceites esenciales, tratamiento de residuos sólidos y líquidos, control de reacciones enzimáticas, etc.

Biotecnología: En este campo es de especial interés el empleo de enzimas en los procesos de fabricación de los productos o en el manejo de residuos. De esta forma se reduce el empleo de procesos químicos costosos y contaminantes, a la vez que se pueden emplear técnicas enzimáticas en el tratamiento de desechos antes de su disposición final. Se han tenido experiencias en la extracción de aceite mediante tecnología enzimática como alternativa al empleo tradicional de hexano como solvente. Otro ejemplo es la industria de la hidrólisis de almidón donde se pueden obtener una gama considerable de productos evitando el empleo de ácidos fuertes.

1.2.2.3 Buenas prácticas operativas

Como es común a otras industrias, una adecuada capacitación, control y disciplina en el proceso y un correcto plan de mantenimiento preventivo de todos los equipos involucrados en el mismo asegura la reducción de residuos, la fuga de contaminantes y el excesivo empleo de agentes de limpieza y desinfección.

1.2.2.4 Reutilización en el sitio

En las empresas productoras de alimentos dentro del proceso productivo se generan residuos intermedios que se pueden tratar con bajos niveles de inversión y se pueden reutilizar o valorizar, se puede incluso derivar una línea de subproductos para la alimentación animal que minimice los vertimientos o la generación de residuos sólidos, además es de especial importancia en las mismas la reutilización del agua en aquellos casos que sea posible.

1.2.3 Aplicación de las P+L en la industria alimentaria en el contexto internacional

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente han creado los Centros Nacionales de Producción más Limpia (CNP+L) en diferentes países, con lo que se propone un cambio de paradigma para el desarrollo mundial en el presente siglo. Las prácticas de P+L han sido aplicadas en varios procesos de la industria de los alimentos, motivado por la elevada cifra de diversas materias primas y materiales auxiliares que consume dicha industria, los elevados consumos de agua y por los volúmenes de desecho que se derivan en estas operaciones. A continuación se exponen algunos ejemplos de casos exitosos de aplicación de las P+L en este sector.

En Lácteo Industrial y Comercial “Los Fundos”, en Chile se han tomado medidas para el ahorro de agua, mediante la instalación de gatillos con cierre automático en las mangueras utilizadas durante la limpieza de equipos y pisos, a la vez que se logra reducir la carga contaminante a disponer al medio. Se obtuvo un ahorro por este concepto de 16 750 USD con un tiempo de retorno de la inversión de un mes.(Proyecto Producción Limpia SEPL – GTZ Ministerio Economía Chile, 2000)

En el caso de Vikingos S. A. de Colombia, que es una empresa procesadora de productos del mar, se implementó un sistema de recirculación del agua que sale de la autoclave en el proceso de esterilización de las latas, logrando una reducción del 80% en el consumo de agua. Además los residuos sólidos y líquidos se procesaron hasta convertirlos en harinas y pastas, comercializadas como subproducto para alimento animal obteniéndose una reducción del 100% de los residuos. La inversión requerida fue de 14 920 USD para lograr la recirculación del agua y de 950 USD para el procesamiento de los residuos y se obtiene un ahorro de 13 677 USD y 17 000 USD, respectivamente. Se proyectó una recuperación de la inversión de trece meses en el tratamiento del agua y de siete meses en la parte de elaboración de subproductos.(Restrepo, 2006)

Se identificó la oportunidad de emplear tecnología de ultrafiltración mediante membranas para la recuperación de aguas de lavado en la Fábrica de Licores de Antioquia en Colombia, reutilizando el 50% del agua permeada en otras operaciones internas y procesando el concentrado para la recuperación de la sosa y la disposición de impurezas en forma de lodos. Con una inversión en la unidad de filtración por valor de 171 500 USD y en la unidad de limpieza de sosa de 21 500 USD, se logró un ahorro anual de 48 859 USD por concepto de

agua y de 8 046 USD por concepto de Sosa, a la vez que se disminuyó el impacto ambiental por vertimientos. Se proyectaron 4,1 años para el retorno de la inversión.(Restrepo, 2006).

Mediante el rediseño de los moldes de quesos en Chile y su sistema de contención para evitar derrames y/o goteos se logró reducir notablemente los residuos generados y disminuir los requerimientos de agua para lavar y arrastrar estos residuos. Se aumentó el rendimiento del proceso, permitiendo aumentar en un 3% la cantidad de queso producida, además de lograr la disminución de la cantidad y carga contaminante de los residuos líquidos. El costo de inversión fue de 9 135 USD, con un período de retorno inferior a un año. (CNP+L Chile, 2000)

Un equipo de la Universidad del Estado de Colorado, realizó un asesoramiento de minimización de residuos en una planta productora de jarabes de maíz, proponiendo reducir la cantidad de ácido sulfúrico usado en el proceso de regeneración de la columnas de intercambio iónico utilizadas en el proceso de refinación de los siropes de glucosa y fructosa al mezclar el ácido fresco con el usado previamente, así como instalar unidades de ósmosis inversa para tratar el agua resultante de la regeneración de las columnas de intercambio y luego reciclarla a otras etapas del proceso Se propone además utilizar la tierra de infusorio mezclada con carbón activado y restos de proteínas provenientes de la filtración al vacío del hidrolizado como alimento animal o para abonar los terrenos. (W Edwards, Kostrzewa, & Looby, 1994)

1.2.4 Aplicación de las P+L en la industria alimentaria en Cuba

Cuba posee una estructura diferenciada de los demás centros de P+L, por presentar cinco puntos focales, los mismos actúan según las líneas generales establecidas por el PNUMA/ONUDI en esta materia, entre los que destaca el Instituto de Investigaciones de la Industria Alimenticia. La introducción de la Producciones más Limpias en Cuba ha tenido algunas limitaciones debido a: (Moreno Linares, 2008)

- Insuficiente inclusión de la Producciones más Limpias en las estrategias ambientales vigentes, tanto nacionales como sectoriales y territoriales.
- Forma de abordar las soluciones a los problemas ambientales enfatizando el uso de tecnologías al final del tubo, en lugar de la toma de acciones de carácter preventivo a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio.
- Carencia de recursos materiales y la necesidad de financiamiento para llevar a cabo inversiones.

- Falta de conocimiento por parte de directivos, personal técnico y demás trabajadores para entender lo que significa la aplicación de este concepto y los beneficios económicos y ambientales que reportan para la empresa cubana.

Sin embargo existen posibilidades reales de su aplicación en Cuba porque a diferencia del resto de los países subdesarrollados se cuenta con una voluntad política para enfrentar los problemas de contaminación, además de una política ambiental que incluye el concepto, la coordinación y sinergia entre los actores involucrados en el tema (gobierno, industria y sociedad).(Moreno Linares, 2008)

Según (Álvarez Baldoquín & Arias González, 2009) con la implementación del 42% de las opciones de P+L identificadas en empresas del sector de la industria alimentaria cubana, durante el período de 2001 al 2007, se alcanzaron ahorros económicos de 4 989 221 USD, se logró reducir además el consumo de energía en 7 530 MW, las emisiones a la atmósfera en 1991 toneladas de dióxido de carbono, el consumo de agua en cerca de 2 227 m^3, la carga contaminante en 18 280 toneladas de DQO y la generación de residuos sólidos en 53 toneladas. A continuación se ofrecen algunos ejemplos de aplicación de las mismas en dicho sector.

En la Empresa "Lorenzo González" de Villa Clara, se logró el aprovechamiento de la sangre residual del sacrificio de reses, en la elaboración de subproductos cárnicos tales como masas, embutidos, picadillos y hamburguesas, lo cual permite reducir la carga contaminante a disponer en los cuerpos receptores además de los beneficios económicos generados.(Arellano Acosta, 2002).

En el combinado industrial Cervecería Hatuey –Cuba Ron se aplicaron alternativas para la minimización de desechos que incluyen la recuperación total del afrecho y su comercialización como alimento animal, la recuperación total de la levadura, de la tierra de infusorio y la recuperación del 80,74 % del agua residual generada obteniéndose un ahorro de $ 31 984,48 anualmente por concepto de compra de combustible y agua. Además de disminuir considerablemente los impactos negativos sobre la bahía santiaguera. (Arias Lafargue & Reyes Yola, 2010)

Con la implementación de opciones de P+L en la Empresa Industrial de Cítricos Ceballos se obtuvo un incremento de la producción de un 26 %, así como la reducción del consumo de 21

144 litros de fuel oil y 99 339, 26 litros de diesel, la disminución del consumo de agua en 46 491,8 m^3, la reducción del consumo de energía eléctrica en 291 115 kWh. Con lo cual se obtuvo un ahorro anual total de 78 026,23 USD, la reducción de emisiones de CO_2 en 1 218 toneladas, así como la disminución de la carga contaminante en 508,3 toneladas. (Serrano Méndez, 2006a)

1.3 Generalidades sobre los jarabes de maíz

Los jarabes de maíz son edulcorantes líquidos formados por una mezcla de azúcares obtenidos a partir de la hidrólisis controlada vía ácida o enzimática del almidón refinado de maíz, la que permite reducir las grandes moléculas de almidón a unidades más pequeñas, para obtener una amplia gama de edulcorantes con diferente composición, propiedades físicas, organolépticas y funcionales, entre los cuales tenemos los siguientes: (Giménez Jerogina, 2010) .

- Las maltodextrinas se definen como un polímero de sacáridos nutritivos, conformado por unidades de D-glucosa. Tiene una dextrosa equivalente menor del 20% y sus propiedades funcionales lo constituyen en un importante texturizador, encapsulante de sabores, vehículo para mezclas en polvo, anticompactante, estabilizante y anticristalizante, agente dispersante y como fuente calórica en formulaciones de lácteos.
- El sirope de glucosa, es un producto cristalino y viscoso, resultante de una hidrólisis parcial por vía ácida del almidón. Esta solución contiene alrededor de 20% de dextrosa en base seca, 16% de maltosa y 64% de altos sacáridos con un poder edulcorante del 60% base azúcar. Se utiliza en la elaboración de caramelos, dulces, confituras, conservas, productos lácteos, panificación y galletería. Las propiedades fundamentales en las que se basa su utilización se relacionan con su poder anticristalizante, higroscopicidad, cuerpo, textura y poder humectante.
- El jarabe de maltosa es obtenido por hidrólisis enzimática del almidón, estos jarabes son usados como adjuntos cerveceros, pero también son utilizados en la industria de alimentos procesados y en la confitera para la fabricación de caramelos duros debido a que aportan buena estabilidad del color gracias a su alto contenido de maltosa.
- El jarabe de alto contenido de dextrosa es producido por hidrólisis enzimática del almidón de maíz para obtener valores mínimos entre 95% y 96% de D-glucosa. Este jarabe se usa como materia prima en procesos de fermentación para la producción de ácido cítrico, también ayudan a incrementar la cantidad de azúcares fermentables en la

producción de vinos y para la fabricación del sorbitol por medio de un proceso de hidrogenación.

- El jarabe de maíz de alta fructosa está definido como una mezcla de sacáridos nutritivos, preparado por isomerización enzimática del hidrolizado de almidón de maíz de alta dextrosa. Ofrece una dulzura que reemplaza al azúcar en la producción de bebidas y licores, es altamente fermentable, bajo en viscosidad y está disponible en varios niveles de fructosa.

1.3.1 Fundamentos de la producción de jarabes de maíz

Las materias amiláceas utilizadas para producir siropes de glucosa varían de una región geográfica a otra, siendo el maíz la principal fuente de extracción del almidón. El maíz comenzó a industrializarse con este fin alrededor del año 1844, el almidón es su componente más importante, al que corresponde del 68 al 72 % del peso del grano.

Mediante la molienda húmeda del maíz se logra una separación y purificación eficiente de todos sus componentes, luego el almidón crudo obtenido es refinado y concentrado mediante el lavado con agua a contracorriente a través de una batería de centrífugas o de hidrociclones. (White P. & Johnson, 2003)

El almidón refinado debe ser tan puro como sea posible, con un bajo contenido de proteínas, porque de lo contrario se complica el proceso tecnológico y no se obtiene un sirope de glucosa de calidad. A nivel industrial el almidón refinado se obtiene con un contenido de proteínas entre un 0,4 a 0,8 % en base seca.(Zajac, 1989)

El almidón refinado recibido en las plantas de conversión industrial es una suspensión formada por gránulos sólidos de almidón dispersos en el agua. Una molécula de almidón puede ser descrita como algunos miles de unidades de azúcares enlazados en largas cadenas ramificadas, formadas por dos polímeros de glucosa: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es una molécula de unidades de glucosa esencialmente lineal que constituyen generalmente del 25-30% de la molécula de almidón. La amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye del 70-75 % de dicha molécula.

Antes de que el almidón pueda ser hidrolizado tiene que ser gelatinizado, es decir las moléculas tienen que ser dispersadas dentro de la solución. A temperaturas ordinarias los gránulos de almidón son insolubles, pero cuando la misma se eleva por encima de 60 ^{o}C, los gránulos

absorben agua, se hinchan y se dispersan las moléculas de almidón en la solución.(Novo Enzymes Dinamarca, 1976)

En general, el almidón se hidroliza en suspensión acuosa a temperaturas en el rango de 100 a 150°C en presencia de un catalizador (ácido o enzima), ya que se debilitan los enlaces asociativos entre las macromoléculas de amilosa y amilopectina, lo que va acompañado de un cambio de estructura de los gránulos de almidón formando una masa homogénea, seguido de una ruptura de los enlaces glicosídicos alfa -1,4 y alfa –1,6 uniéndose una molécula de agua en cada enlace roto. La hidrólisis del almidón se puede expresar en la reacción química siguiente:

$$C_6H_{10}O_5 + H_2O \text{ ----------} \rightarrow n\ C_6H_{12}O_6$$

La glucosa o dextrosa debe ser teóricamente el único producto obtenido después de una hidrólisis completa, sin embargo esto no es así pues se forman productos como dextrinas, oligosacáridos, maltosa, etc. El grado de hidrólisis o composición relativa de la glucosa líquida se da en valores de Equivalente de Dextrosa (ED), que indica el porcentaje de azúcares reductores por unidad de peso inicial.

Las propiedades de los siropes dependen del grado de conversión, ya que según este aumenta, los siropes se hacen más dulces, realzan más los sabores, son menos viscosos, más fermentables y más higroscópicos. Según disminuye el grado de conversión, los siropes muestran mayor cohesividad, retardación de la cristalización de la sacarosa, prevención de la formación de cristales de hielo y mayor viscosidad.(Eckhoff & Watson, 2009)

La industria de hidrólisis del almidón para la obtención de siropes de glucosa opera el proceso con tres alternativas diferentes. La principal diferencia radica en cómo se conduce la hidrólisis en relación con el catalizador utilizado, existiendo por este motivo las variantes siguientes:

- Proceso de conversión por hidrólisis ácida.
- Proceso de conversión por hidrólisis ácida – enzimática.(Ác / enz)
- Proceso de conversión por hidrólisis enzimática - enzimática (enz/ enz)

Se observa en la tabla 1.3 la composición promedio de la amplia gama de jarabes que se pueden obtener según sea el tipo y grado de la hidrólisis utilizada. Se puede apreciar además que el valor de ED no está en modo alguno relacionado con el contenido real de glucosa en los mismos.

Tabla 1.3 Composición de azúcares en los siropes. Fuente:(Eckhoff & Watson, 2009)

Tipo de Proceso	ED	Glucosa %	Fructosa %	Maltosa %	Trisacáridos %	Tetrasacáridos %	Oligosacáridos %
Ácido	32	11	-	10	9	8	62
Ácido	37	15	-	12	11	10	52
Ácido	42	19	-	14	12	10	45
Ácido	52	28	-	17	13	10	32
Ác / enz	42	6	-	45	15	2	32
Ác / enz	62	39	-	28	14	4	15
Ác / enz	70	50	-	27	8	5	10
enz/ enz	95	52	42	3	-	-	3
enz/ enz	95	46	55	2	-	-	2
enz/enz	96	93	-	4	-	-	3

1.3.2 Proceso de obtención industrial de los siropes de glucosa.

A nivel industrial además de la etapa de conversión por una de las tres vías antes mencionadas, se lleva a cabo un proceso de purificación del hidrolizado obtenido, seguido de una etapa de concentración final. Estas últimas son similares para la producción de cualquier tipo de sirope, solamente varían algunos parámetros que definen al producto final.

1.3.2.1 Etapa de conversión para el proceso por hidrólisis ácida

La licuefacción ácida es directa y sencilla, pero exige que la instalación sea resistente a la corrosión y el rendimiento en dextrosa del sirope obtenido es más bien bajo. Se logra a nivel industrial bombeando el almidón a presión de varias atmósferas de forma continua por intercambiadores de calor que elevan la temperatura a valores entre 135 – 145 ^{0}C y en presencia de una pequeñísima cantidad de ácido que actúa como catalizador.

En estas condiciones el almidón pasa propiamente a un reactor continuo donde tiene un tiempo de retención de 6 a 8 minutos. El rango de ED obtenido por este tipo de hidrólisis depende de los factores establecidos para la misma y puede estar entre 30 y 55. A la salida de la zona de reacción y con el objetivo de interrumpir la influencia del ácido ocurre una primera

neutralización donde se eleva el pH a valores de 3,8 a 4,2 antes de pasar a un enfriamiento brusco provocado por expansión hasta alrededor de 90 ^{o}C. Los ácidos utilizados generalmente son el clorhídrico o el sulfúrico, por esta vía se obtienen siropes de glucosa de baja concentración (32-52 ED).(Zajac, 1989) (Knigh, 1969)

1.3.2.2 Etapa de conversión para el proceso por hidrólisis ácida – enzimática

Este proceso como tal es una ampliación del proceso de hidrólisis ácida puesto que se añade una etapa para la sacarificación. Se lleva a cabo la licuefacción de la forma antes descrita en el proceso de hidrólisis ácida, con la excepción de que el ED final es más bajo, la dosificación de ácido menor y la temperatura de enfriamiento y el ajuste de pH van a estar acordes con las condiciones de trabajo de la enzima añadida para la etapa de sacarificación, donde el tiempo de retención se logra a través de una batería de tanques conectados en serie donde se mantienen las condiciones de temperatura y agitación necesarias para la ocurrencia del proceso.(Zajac, 1989)

Por esta vía fundamentalmente se producen los siropes con alto contenido de maltosa y siropes de glucosa de un mayor nivel de conversión. Las enzimas a utilizar, las dosificaciones y el tiempo de sacarificación están en dependencia del sirope a producir, se sacarifica con glucoamilasa si queremos sirope de glucosa de alta conversión (60 a 65 ED) y si se desea obtener sirope de maltosa la enzima conveniente es una enzimas maltogénica. Luego se inactiva la enzima elevando rápidamente la temperatura del producto de 80 a 90 ^{o} C. (Zajac, 1989)

Con este tipo de hidrólisis se logra obtener un producto más dulce, menos amargo, más fluido y menos propenso a la cristalización que los obtenidos por hidrólisis ácida, así como extender el rango de ED máximo y un mejor control de la distribución de azúcares.

1.3.2.3 Etapa de conversión para el proceso por hidrólisis enzimática- enzimática

En este proceso se utilizan dos enzimas, las cuales son proteínas que tienen la capacidad de acelerar ciertas reacciones químicas actuando como catalizadores biológicos. El uso de enzimas a nivel industrial en la producción de alimentos ha adquirido gran relevancia, debido no solo a las ventajas de índole económico o tecnológico que ofrecen, sino debido a su gran especificidad de acción que hace que no se produzcan reacciones colaterales imprevistas, así como a que permiten trabajar en condiciones moderadas de presión atmosférica, temperatura y

pH, lo que evita alteraciones de los componentes más lábiles de los alimentos, además las enzimas se pueden inactivar fácilmente cuando culminen su misión en el proceso.(Montes Horcasitas & Magaña Plaza, 2002)

Las enzimas a utilizar dependen de la industria y del tipo de acción que se desee obtener, sobre su actividad influyen diferentes factores, que deben ser adecuadamente controlados en las condiciones industriales, como son: la temperatura, el pH, los iones calcio y la concentración de materia seca del sustrato sobre el cual actúan. Las enzimas degradadoras de almidón se pueden clasificar en tres grupos principales: (Saha, Jordan, & Bothast, 2009)

- **Endoamilasas:** Son generalmente alfa amilasas que hidrolizan los enlaces localizados en las regiones interiores del sustrato (los enlaces alfa 1-4 glucosídicos en la amilasa, amilopectina y polisacáridos relacionados). Las de mayor importancia industrial son las termoestables que se utilizan para licuaciones a altas temperaturas y las termolábiles que son usadas para la sacarificación (alfa amilasa fúngica).
- **Exoamilasas:** Catalizan la hidrólisis de los enlaces alfa glucosídicos por extracción sucesiva de los productos de bajo peso molecular como la glucosa o maltosa, lo cual da un incremento en la viscosidad del producto. Se clasifican en glucogénicas y en maltogénicas según sea el producto final esperado.
- **Enzimas derramificadoras:** Hidrolizan los puntos ramificados alfa 1,6 en la amilopectina, glicógeno y maltodextrinas ramificadas. Pueden ser de acción directa (Isoamilasa, pullulunasa) o indirecta como la Amilo-1,6-glucosidasa.

La hidrólisis que se realiza mediante este proceso comprende tres etapas conocidas como gelatinización del almidón, licuación o licuefacción del almidón y sacarificación y para llevarla a cabo a la suspensión de almidón refinado con alrededor de un 30 % de materia seca se le ajusta previamente el pH con carbonato de sodio al valor de trabajo de la enzima y se añade un estabilizador de sales de calcio, de ser necesario. Luego se adiciona una alfa amilasa termoestable y por medio de calentamiento a temperaturas entre 103 a 107°C en un reactor continuo con alta presiones se lleva a cabo la licuefacción del mismo, el ataque de la enzima ocurre simultáneamente con la gelatinización para evitar que ocurran valores picos de viscosidad y obtener equivalentes de dextrosa entre 5 y 7. Luego se disminuye la temperatura por expansión hasta valores de 95°C y se mantiene el producto licuado por un período de alrededor de dos horas en un tanque dextrinizador donde se alcanzan valores de ED entre 8 y 12 unidades. Las dextrinas formadas serán un excelente sustrato para la enzima sacarificadora,

si se logra que sean enfriadas rápidamente hasta la temperatura de sacarificación y se ajusta el pH con ácido hasta el valor adecuado para la nueva enzima que se va a utilizar. Finalmente en la sacarificación se completa la hidrólisis al adicionar la enzima glucogénica y manteniéndose con temperatura controlada por un período de 24 a 48 horas en tanques de sacarificación, en aras de obtener un jarabe con un alto contenido de glucosa. (Saha et al., 2009; Wong, 2008) .

La reacción de sacarificación debe terminarse tan pronto como se alcance el ED que se requiere, por regla general, manteniendo el licor sacarificado a 80 ^{o} C durante 20 minutos se destruye toda actividad de la amiloglucosidasa.(Van der Veen, 2006)

1.3.2.4 Etapa de refinación del hidrolizado

Aunque el almidón que se utiliza para la hidrólisis es relativamente puro, siempre contiene una pequeña cantidad de impurezas, provenientes del agua de proceso, así como de los productos de la reversión. Todas estas impurezas deben separarse en esta etapa de refinación que puede incluir:

- Separaciones mecánicas (centrifugación y filtración)
- Decoloración
- Desmineralización

Lo primeros dos procesos se realizan siempre, pero el tercero solo en casos que se requiera una calidad superior del sirope.

El primer paso del proceso de refinación comienza cuando el hidrolizado obtenido con el grado de conversión deseado es neutralizado nuevamente con carbonato de sodio al 10% cuando se trabaja con ácido clorhídrico y con carbonato de calcio en el caso de usar ácido sulfúrico, hasta un pH cercano a cinco para lograr que las proteínas que se encontraban disueltas en el hidrolizado coagulen, se tornen insolubles y puedan ser separadas por centrifugación en la mayoría de las plantas.(Yankov, 1986)

El siguiente paso está dirigido a eliminar del hidrolizado los restos de las proteínas y grasas que puedan aún quedar en el mismo utilizando para ello la filtración y la decoloración que tiene diferentes opciones. Una de ellas es utilizando carbón activado en polvo para adsorber las sustancias coloreadas o proteínas aún disueltas que permanecen en el hidrolizado y que provocarían el incremento del color del producto final, la cantidad de carbón activado añadido oscila entre 0,6 a 1,5% del contenido de materia seca del hidrolizado, al que se le ha elevado la

temperatura entre 70 u 80 °C. En estas condiciones se mantiene el hidrolizado por espacio de 30 minutos a una hora, hasta que pasa por un filtro rotatorio al vacío con una pre capa de tierra infusorio para separar completamente el carbón añadido del hidrolizado refinado.(Zajac, 1989).

Actualmente existen nuevos métodos para refinar el hidrolizado utilizando tecnologías de microfiltración a través de membranas, las cuales resultan más económicas y eficientes que la filtración antes descrita mediante filtros rotatorios al vacío. La utilización de membranas tienen un impacto significativo en las operaciones que le siguen como pueden ser: de intercambio iónico, decoloración y reacciones enzimáticas posteriores ya que pueden reducir el consumo de carbón entre un 60 y un 70% y el intercambio iónico en un 20 a un 30%. Ésta reducción unida con la eliminación del uso de la tierra de infusorio provoca grandes ahorros anualmente, a la vez que se obtiene un sirope clarificado con mayor calidad, comparado con el refinado por el método de centrifugación y filtrado convencionales. (Almandoz, 2010)(Hinkova, 2004). Los residuos de la filtración por cualquiera de los dos métodos antes descritos, pueden ser utilizados como alimento animal o para abonar suelos, ya que son ricos en proteínas y grasas.(Almandoz, 2010)

El hidrolizado puede ser desmineralizado mediante intercambiadores iónicos cuando se quieren calidades superiores del mismo, sobre todo cuando se va a fabricar siropes de fructosa o se usará como materia prima para la producción de sorbitol. La desventaja de este proceso es el alto precio de los intercambiadores y la gran cantidad de aguas residuales provenientes de la regeneración de los mismos. (Almandoz, 2010)

1.3.2.5 Etapa de concentración del hidrolizado

Esta etapa tiene como objetivo lograr un aumento de la concentración de los azúcares, disminuir el volumen y los costos de transportación del producto, así como la conservación del mismo contra el ataque de microorganismos.

El uso de elevadas temperaturas puede ocasionar la aparición de un color indeseable en el sirope, por esta razón se utilizan para reducir el contenido de agua evaporadores de múltiple efecto, comprendiendo varias etapas en serie que operan bajo vacío para hacer descender el punto de ebullición del agua. Los vapores producidos en una etapa son usados en la próxima etapa para calentar el producto que posteriormente se evaporará. El resultado final es que el agua es extraída con la cantidad mínima de energía y se evita la indeseable coloración del sirope.

En esta etapa se realiza primeramente un ajuste final del hidrolizado a valores de pH cercanos a cinco, luego el hidrolizado proveniente de la sección anterior, generalmente con un contenido de materia seca entre 35 y 40 ^{o} Bx, se concentra hasta valores entre 65 y 85 ^{o}Bx, dependiendo del tipo de sirope producido y su utilización.

Conclusiones Parciales

1. Se pudo constatar en el análisis bibliográfico realizado la existencia de toda una teoría sobre los fundamentos de la Producción Más Limpia, la cual constituye una herramienta ecoeficiente para la gestión ambiental empresarial que permite obtener beneficios económicos a las empresas con la disminución de sus impactos ambientales.

2. Se confirma que la industria alimentaria figura como una importante fuente de contaminación al medio ambiente a partir de los problemas ambientales que genera: residuales líquidos con elevada carga orgánica, desechos sólidos, gases, ruidos, así como elevados consumos de agua y energía, por lo que es evidente la necesidad de implementar planes adecuados de Producción Más Limpia en este sector, que eviten la generación de desechos, antes que costosas inversiones en el tratamiento de residuos.

3. Se ha demostrado que las Producciones Más Limpias han tenido aplicaciones prácticas a nivel internacional y en Cuba en empresas productoras de alimentos que permiten obtener grandes beneficios, al reducir los consumos de agua, materias primas y energía, así como disminuir los residuos y emisiones.

4. La literatura consultada referente a las tecnologías actuales para la producción de sirope de glucosa muestran que en el proceso integral de purificación de los mismos las principales tendencias de aplicación a nivel internacional se centran en el uso de tecnologías de filtración a través de membranas mediante las cuales se logra una calidad superior del sirope de glucosa y se disminuyen los consumos de tierra de infusorio. Estos equipos presentan elevados precios en el mercado internacional.

5. La revisión documental demostró que los residuos generados en la etapa de filtración al vacío pueden utilizarse como alimento animal o para mejorar los suelos.

6. De las metodologías encontradas en la literatura se propone aplicar en esta investigación la metodología para la Evaluación de Producciones Más Limpias propuesta por el PNUMA ya que la misma es detallada, didáctica, sistematizada y se adapta a las condiciones de la empresa objeto de estudio.

Capítulo II

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Aspectos socioeconómicos de la Empresa Glucosa Cienfuegos

2.1.1 Generalidades

La Empresa Glucosa Cienfuegos perteneciente a la rama confitera del Ministerio de la Industria Alimentaria, es única de su tipo en el país y se encuentra localizada en la Zona Industrial # 2 del Reparto Pueblo Griffo, en la provincia de Cienfuegos, exactamente en la periferia noreste de la ciudad cabecera. Limita al norte con la Empresa DIVEP, al este con la Fábrica de hielo, Almacenes de Productos Frescos y con la Línea de Ron HRL, por el oeste con la Carpintería en Blanco y el Taller de Ómnibus Escolares y al sur con el asentamiento poblacional de Pueblo Griffo.

Esta empresa se puso en marcha en 1981, luego de un periodo inversionista que duró 6 años, con una tecnología perteneciente al área capitalista, fundamentalmente a la firma Alfa Laval de procedencia sueca y a la DDS Kroyer de Dinamarca. La misma se construyó con el objetivo de producir diariamente 90 toneladas de sirope de glucosa, 9 toneladas de gluten, 7 toneladas de germen, 19 toneladas de licor de remojo y 21,5 toneladas de forraje, cifras que nunca se han podido alcanzar, debido a la falta de un suministro estable del maíz que es su materia prima fundamental, a la falta de piezas de repuestos y de un mantenimiento adecuado por lo que actualmente después de más de 30 años de explotación cuenta con una capacidad instalada de un 50 % con respecto a la de diseño.

La estructura organizativa general de la empresa se muestra en el **Anexo C**, en ella laboran actualmente un total de 207 trabajadores, de ellos 27 son profesionales de nivel superior, 99 técnicos medios, 23 con nivel medio superior y 58 con noveno grado los mismos se distribuyen por las diferentes áreas, garantizando con su trabajo la gran diversificación de las producciones y los servicios. Del total, 173 son directos a la producción y se distribuyen por categoría ocupacional como sigue: 16 dirigentes, 11 de servicios, 54 técnicos y 126 obreros, como se muestra en la figura 2.1.

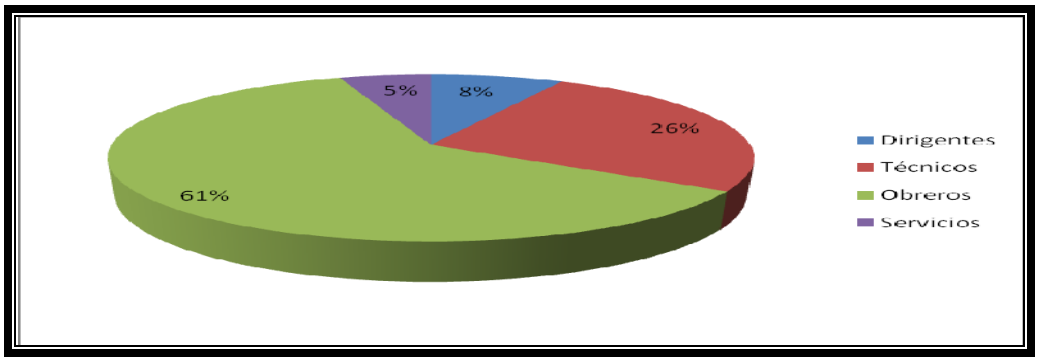


Figura 2.1 Distribución de trabajadores por categoría ocupacional. Fuente: Elaboración Propia.

El proceso tecnológico de la Empresa Glucosa Cienfuegos se encuentra dividido en tres plantas: la Planta de producción de almidón, la Planta de producción de sirope de glucosa y la Planta de mezclas secas. Además de contar con un sistema de facilidades auxiliares comunes a todas las plantas como son: el sistema de generación de vapor, que dispone de dos calderas de tubos de fuego con una capacidad de 8 y 12 toneladas de vapor por hora respectivamente. El abasto de agua potable se realiza mediante un complejo de cisternas con una capacidad de almacenamiento de 4500 m^3 y un tanque elevado desde el cual por gravedad se abastece la industria. Así como una planta de tratamiento de residuales, donde se procesan los residuales líquidos generados en el proceso industrial más los albañales.

La Empresa cuenta con un Manual de Calidad implantado en Octubre del 2010, basado en la Norma Cubana NC: ISO 9001: 2008 “Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos”, descrito por secciones, en cada sección se definen las responsabilidades y se hace referencia a los procedimientos e instrucciones de los puestos de trabajo. El Sistema de Gestión de la Calidad implementado, define su alcance en la Planta de Mezclas Secas, donde se trabaja en la producción y envasado de mezclas físicas en polvo, con base de almidón de diferentes productos. Aún no se trabaja en la confección del manual de procedimientos y actualización de los registros en base al Sistema de Gestión de la Calidad de las producciones fundamentales.

Se encuentra definida la Política de Seguridad y Salud en el Trabajo y confeccionado además su manual desde el año 2009, donde se complementa la garantía de todos los principios básicos y las buenas prácticas en materia de seguridad y salud de manera que los trabajadores conozcan los peligros potenciales para su seguridad.

2.1.2 Planeamientos Estratégicos

Misión

Elaborar materias primas y materiales para diferentes procesos industriales y productos alimenticios, en una amplia gama de surtidos para la alimentación humana y animal, con la mejor calidad y eficiencia, garantizando la plena satisfacción de nuestros clientes.

Visión

Somos una empresa próspera, diversificada, líder en el mercado nacional y competitivo en el mercado internacional.

Objeto Social

Su objeto social principal consiste en producir, transportar y comercializar de forma mayorista productos alimenticios derivados del maíz tales como sirope de glucosa, almidón de maíz, aceite de consumo humano, mezclas secas, concentrados de frutas y vegetales, siropes y refrescos y alimento animal en pesos moneda nacional y pesos cubanos convertibles.

2.1.3 Aspectos productivos

A partir del maíz que es su materia prima fundamental y mediante el proceso tecnológico general de la fábrica el cual se representa en el **Anexo D**, se elaboran en la misma una amplia gama de productos comercializados con la marca Gydema como son:

Producciones Fundamentales	➢ Almidón de Maíz
	➢ Sirope de Glucosa por vía ácida
	➢ Sirope de Glucosa por vía enzimática
Subproductos	➢ Germen
	➢ Forraje
	➢ Gluten
	➢ Licor de remojo

Producciones Alternativas	➢ Polvo para Hornear
	➢ Natilla en polvo
	➢ Mezcla para Arepas
	➢ Desayuno Chocolate
	➢ Almidón Saborizado
	➢ Mezcla para Panetelas
	➢ Sirope para refrescos
	➢ Concentrado VIMANG

En la tabla 2.1 se resumen los resultados productivos de la empresa en el período del 2007 al 2010.

Tabla 2.1 Resultados productivos 2007–2010. Fuente: Elaboración Propia

Producto	Real 2007 (t)	Real 2008 (t)	Real 2009 (t)	Real 2010 (t)
Glucosa Ácida.	343,06	525,68	475,07	847,33
Glucosa Enzimática.	491,50	726,95	934,31	1 126,54
Almidón 20 kg.	484,67	868,84	460,81	1 525,76
Almidón 10 kg.	-	-	-	77,03
Almidón 5 kg.	73,230	75,38	93,64	24,15
Almidón 180 g	47,11	96,32	15,89	12,63
Almidón Saborizado 180g	-	-	-	0,51
Natilla Nacional. 30 kg.	582,35	465,96	815,16	1 015,09
Natilla 5 kg.	-	-	2,22	1,07
Natilla vainilla 180 g.	5,77	5,98	-	17,98
Natilla mantecado 180 g.	-	-	-	15,35
Desayuno Chocolate250 g	13,97	28,44	6,63	40,74
Desayuno Chocolate500 g	-	40,10	1,08	-
Sirope (litros)	1 330,35	1 156,05	2 794,95	331 011,0
VIMANG.	-	-	-	31,33
Alimento Animal	2 316,22	1 406,74	829,64	1 415,96

Como se aprecia la empresa ha presentado en los últimos años un ascenso en el volumen de sus producciones fundamentales y alternativas, así como en la diversificación de las mismas, en aras de mejorar su desempeño económico y lograr un mejor aprovechamiento de las capacidades instaladas en la industria.

2.1.4 Indicadores económicos

Los principales indicadores económicos obtenidos por la empresa para el año 2010 se muestran en la tabla 2.2 donde se comparan con lo planificado para el periodo estudiado.

Tabla 2.2 Indicadores económicos. Fuente: Elaboración Propia

Indicadores	UM	Plan 2010	Real 2010	% Cumplimiento
Producción Bruta	t	6 172,2	7 123,1	115,4
Costo de P. Bruta	MCUP	5 636,5	7 051,9	125,1
Costo / Peso Producción Bruta	CUP	0,91	0,99	108,4
Producción Mercantil	CUP	5 861,9	7 014,0	119,7
Costo P. Mercantil	MCUP	5 266,1	6 943,8	131,9
Costo / Peso Producción Mercantil	CUP	0,90	0,99	110,2
Utilidad del periodo	MCUP	411,7	425,0	103,2
Fondo de salario	MCUP	1 337,2	1 158,0	86,6
Promedio de trabajadores	U	210,0	201,0	95,7
Salario Medio	CUP	6 368,0	5 761,0	90,5
Productividad	CUP	4 953,0	6 732,0	135,9
Correlación Salario Medio/Productividad	CUP	0,81	0,67	82,2
Liquidez Inmediata	CUP	---	0,75	---

Como se aprecia durante el 2010 se obtuvo un sobre cumplimiento de los planes productivos, alcanzándose una utilidad al culminar el mismo por encima de lo planificado. Se puede apreciar además que el gasto material se encuentra por encima de lo planificado no existiendo una

correlación en el incremento de la producción bruta y mercantil con el costo / peso de ambos indicadores, además se aprecia que el fondo de salario se mantiene por debajo de lo planificado y el promedio de trabajadores de igual forma. Todo esto contribuye a lograr una adecuada correlación salario medio productividad.

El maíz constituye la materia prima fundamental para el proceso productivo, el mismo en los últimos años ha aumentado su precio considerablemente producto a la crisis mundial, por lo que se hace necesario analizar el comportamiento del índice de consumo del mismo para cada una de las producciones fundamentales durante el año 2 010, el cual se refleja en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Índice de Consumo Maíz. Fuente: Elaboración Propia

Producto	Consumo de maíz (t)	Índice de Consumo Plan (t/t)	Índice de Consumo Real (t/t)	Sobreconsumo de maíz (t)
Glucosa Ácida.	1 706,3780	1,9	2,01	96,4518
Glucosa Enzimática.	1 943,073	1,65	1,72	84,282
Almidón 20 kg.	3 210,4462	2,0	2,1	158,9192
Total	6 859,89	1,85	1,94	339,647

Como se muestra en la tabla anterior, a pesar de que los resultados económicos generales de la empresa fueron satisfactorios, los índices de consumo del maíz se comportaron por encima de lo planificado debido a diferentes causas como son: se procesó maíz con un contenido de almidón inferior al definido en las especificaciones de calidad, pérdidas en el proceso provocadas por averías imprevistas de equipos, fallas del fluido eléctrico, así como debido a problemas tecnológicos u operacionales, lo cual influye negativamente en los rendimientos y costos de la Empresa.

2.1.5 Situación ambiental de la Empresa Glucosa Cienfuegos

2.1.5.1 Antecedentes

Los problemas ambientales ocasionados por la Empresa Glucosa Cienfuegos tienen su origen desde la propia puesta en marcha de esta fábrica, ya que la planta de tratamiento de sus residuales líquidos nunca fue eficiente, dada la intermitencia de las producciones en la industria. La composición y volumen de estos residuales se ha incrementado por interrupciones en el proceso productivo debido a dificultades tecnológicas de la industria, lo cual provoca pérdidas

de las materias primas y materiales en proceso y con ello se incrementa la agresividad y el volumen de los residuales a tratar así como las pérdidas económicas de la empresa.

2.1.5.2 Situación ambiental actual

La Empresa Glucosa Cienfuegos, involucrada en un proceso de perfeccionamiento de su gestión, cuenta con una Estrategia Ambiental que se materializa en planes de acción a corto, mediano y largo plazo, la cual resulta insuficiente para resolver los problemas ambientales que provoca. En la misma se definen los principales problemas ambientales que ocasiona la entidad como son:

1. Contaminación de las aguas terrestres y marinas por el vertimiento de los residuales líquidos industriales.
2. Contaminación atmosférica por emanaciones de gases, polvo, hollín y malos olores.
3. Utilización de los recursos naturales.

2.1.5.2 .1 Contaminación de las aguas terrestres y marinas

El sistema de tratamiento de los residuales líquidos de esta industria desde el inicio de la producción fabril ha estado sometido a cambios y en la actualidad solo se realiza un tratamiento primario de los mismos. El agua residual pasa por la cámara de rejas y los desarenadores donde son separados los sólidos groseros, luego se realiza la adición de cal, seguido de un proceso de sedimentación primaria.

El líquido extraído de la sedimentación se vierte al medio, luego de pasar por la cascada que permite la oxigenación del mismo, por medio de una tubería colectora de 1 500 m de longitud que tributa hasta una cañada afluente del arroyo Inglés, a unos 20 m de su desembocadura en la Bahía de Cienfuegos. Estos residuales una vez vertidos en la cañada se conducen libremente por un trayecto de aproximadamente 30 m, hasta que se mezclan con los residuales albañales del Reparto Pueblo Griffo. Esta mezcla de residuales líquidos es usada en el fertirriego de áreas destinadas al cultivo de arroz en la zona próxima a la Bahía de Cienfuegos y los lodos resultantes se comercializan como alimento porcino.

Los residuales líquidos de la Empresa Glucosa (industriales y albañales), actualmente no cuentan con un tratamiento que permita el cumplimiento de los requisitos establecidos por la Norma Cubana (Norma Cubana: 27, 1999) que regula el vertimiento de residuales a cuerpos de aguas interiores.

Los resultados de la caracterización de las aguas residuales de esta industria efectuada por el Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC) se presentan en la tabla 2.4. Coincidiendo el punto 1 con la salida del residual de la planta de tratamiento de la fábrica y el punto 2 con las muestras tomadas unos 15 metros aguas debajo de la mezcla del residual con los albañales del Reparto de Pueblo Griffo. La nomenclatura usada en esta tabla, el método de análisis empleado para cada uno de los parámetros medidos y los valores establecidos como Límites máximos permisibles promedios (LMPP) se muestran en el **Anexo E**.

Tabla 2.4 Caracterización de los residuales. Fuente:(CEAC, 2011)

Variable medida	**Punto 1**	**Carga kg/día**	**Punto 1: LMPP**	**Punto 2**	**Punto 1: Punto 2**	**Punto2: LMPP**
S.Susp (mg/l)	660	121	-	110	6	-
ST (mg/l)	2 340	431	-	1 070	2,2	-
SV (mg/l)	660	121	-	105	6,3	-
SD (mg/l)	1 680	309	-	960	1,8	-
DQO (mg/l)	6 800	1 251	97	960	7,1	13,7
NTK (mg/l)	82,3	15	16,5	10,36	7,9	2,1
DBO_5 (mg/l)	3 150	580	105	475	6,6	15,8
DBO_5:DQO	0,4632	-	-	0,4948	-	-
PT (mg/l)	42.9	7,8	21,5	118	0,4	59
G y A (mg/l)	<LC	-	-	<LD	-	-
Fenoles (mg/l)	<LC	-	-	<LC	-	-
Sulf. T (mg/l)	12,16	2,2	-	1,52	8	-
C. eléctrica	1 496	-	1.1	998	1,5	0,71
pH	3,96	-	-	6,58	-	-

Los resultados obtenidos confirman que el residual líquido de la fábrica es ácido y rico en materia orgánica de naturaleza biodegradable, con abundante contenido de sólidos totales, de los cuales el 28 % están en forma suspendida y el 72 % en forma disuelta. Los valores de las

variables medidas en el punto 1 fueron superiores a lo establecido en la NC 27:1999, excepto las grasas y aceites y el índice de fenoles que registraron valores por debajo del límite de cuantificación (16 mg/l y 0,1 mg/l, respectivamente). Indicadores que representan el contenido de materia orgánica en el residual (DQO y DBO), registraron valores aproximadamente 100 veces superiores a lo establecido por la referida norma. En la tercera columna de la tabla se reportan las cargas dispuestas al entorno por este residual, se puede resumir que la carga de DBO_5 aportada en un día por esta industria representa una población equivalente de 11 904 habitantes, según el criterio establecido por la metodología del CITMA. (Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA), 2010)

Las razones punto 1: punto 2 (sexta columna de la tabla) siempre fueron superiores a la unidad, solamente en el caso del fósforo la razón fue menor que uno. Estos resultados demostraron que la unión de estos residuales con los albañales de Pueblo Griffo, mejoraron sus características. Las diluciones producidas por esta mezcla disminuyeron los valores de la mayoría de las variables estudiadas en un intervalo entre 6 y 8 veces, pero esta mejoría no eliminó el incumplimiento de la NC 27:1999, como se puede observar en la razón punto 2: LMPP (séptima columna de la tabla).

Lo anterior implica que esta fábrica no cumple con los LMPP según las normas ambientales, para las concentraciones de las descargas de sus aguas residuales, atendiendo a la clasificación de este cuerpo receptor clasificado cualitativamente como clase A y que comprende zonas priorizadas de conservación ecológica como lo es la bahía cienfueguera, por lo que se viola la Legislación Ambiental vigente en el país, destacando entre las más significativas las regulaciones siguientes:

- Decreto Ley 138: De Las Aguas Terrestres (Articulo 17).
- Ley No. 81 del Medio Ambiente (artículo 95).
- Decreto Ley 212: Gestión de la zona costera (Articulo 16, inciso g)
- Norma Cubana NC 27:1999 Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado
- Norma Cubana NC XX: 2001 Vertimiento de Aguas Residuales a las a las Costas y Aguas Marinas.

Este vertimiento con materia orgánica elevada a la bahía produce agotamiento del oxígeno disuelto lo cual ocasiona un predominio de especies anaeróbicas, afectando por tanto la biodiversidad. Además cuando se termina el oxígeno disuelto en el agua comienza la reducción

de los sulfatos (abundantes en el agua de mar) y se producen sulfuros que provocan un olor desagradable en la zona afectada a la entrada de la ciudad de Cienfuegos. Podemos señalar también que al presentar este residual elevados valores de nitrógeno y fósforo puede provocar eutrofización en los cuerpos de agua donde es vertido.

2.1.5.2.2 Contaminación atmosférica

Varias fuentes de contaminación en la instalación industrial aportan al recurso aire altas cargas contaminantes. En el área de generación de vapor debido al estado técnico en que se encuentran las calderas ocurren emisiones de dióxido y monóxido de carbono y de hollín provocadas por mala combustión de los mismos. En el área de limpieza, secador de almidón y área de empaque se desprende gran cantidad de polvo y en la planta de obtención de agua sulfurosa se genera el dióxido de azufre y una parte del mismo no se absorbe en el agua y se emite a la atmósfera.

2.1.5.2.3 Utilización de los recursos naturales energéticos

La utilización de los recursos naturales renovables en la empresa, resulta productiva y beneficiosa, para mantener e incrementar el actual nivel de desarrollo económico y poder materializar las producciones. Pero se debe señalar que no están tomadas todas las medidas necesarias en función de preservar los recursos no renovables ya que la fábrica es gran consumidora de agua, fuel oil y energía eléctrica.

2.2 Descripción del proceso de la Planta de Glucosa

Este trabajo de investigación se dedica a la Evaluación de P+L en las secciones de conversión, refinación y evaporación de la planta de producción de sirope de glucosa. En esta planta se obtienen dos tipos de siropes: por hidrólisis ácida y por hidrólisis enzimática. El primero constituye materia prima fundamental para la industria confitera de todo el país y el segundo se utiliza como materia prima para la producción de sorbitol.

En esta área laboran 12 trabajadores en total, de ellos cuatro técnicos, y ocho obreros, los mismos tienen incidencia directa en el proceso de producción y en los problemas ambientales existentes.

El proceso de producción de sirope de glucosa recibe como materia prima fundamental la lechada de almidón refino, obtenida por molienda húmeda del maíz en la planta de almidón de la propia industria. A continuación se describen de forma detallada las diferentes etapas que comprenden el mismo para cada una de las variantes productivas. Se debe señalar que solo hay diferencias durante la etapa de conversión, pues las secciones de refinación y

evaporación operan de igual manera para ambos tipos de sirope variando solamente algunos parámetros que definen las características del producto final.

2.2.1 Flujo tecnológico sección de conversión y sacarificación por hidrólisis enzimática-enzimática

La suspensión de almidón refinado con una concentración de 17 a 20 Baumé (°Bé) es bombeada de forma continua desde el tanque de almidón refino hasta el tanque C1140A, donde se regula el pH de forma automática a valores entre 6.5 y 7.0, haciendo uso de carbonato de sodio en solución, previamente preparado en el tanque C1310 hasta una concentración de 10 a13 ^{0}Bé. A la vez que se le añade la enzima termoestable licuadora de almidón Termamyl 120 L por medio de una bomba dosificadora previamente regulada. La lechada ya preparada pasa por reboso al tanque homogenizador C1150.

Figura 2.2 Preparación de la lechada de almidón C1140A y C1150

De este tanque la lechada de almidón es bombeada a una presión de 20 a 30 atmósferas utilizando una bomba de diafragma hidráulicamente operada C3201 a través del convertidor C7200, el cual consta inicialmente de varios intercambiadores de calor en los cuales la suspensión se calienta indirectamente mediante vapor hasta una temperatura de alrededor de 105 ^{0}C, en tales condiciones tiene lugar la gelatinización y licuación del almidón a un valor de conversión de 5 a 7 ED, luego de tener un tiempo de retención en el reactor de seis a ocho minutos.

Figura 2.3 Convertidor de Almidón C7200

Este hidrolizado pasa a través del ciclón de expansión C9200, donde tiene lugar un enfriamiento provocado por la caída de presión hasta un valor de 95,0 ^{0}C y es bombeado al tanque dextrinizador C1610-1, donde se mantiene esta temperatura y luego de un tiempo de retención de entre una y dos horas sale del mismo con valores de ED de entre 8 – 12.

Figura 2.4 Tanque dextrinizador C1610-1

A continuación el producto es bombeado hasta un intercambiador de placas donde por medio de agua a temperatura ambiente se enfría hasta 60 ^{0}C. El hidrolizado pasa hacia el tanque C1140 donde se realiza un ajuste de pH de 4,5 – 4,7 con ácido clorhídrico preparado a una concentración del 6% y a la vez se dosifica la enzima sacarificadora amiloglucosidasa (AMG) atendiendo al contenido de materia seca del hidrolizado.

Este hidrolizado se bombea hacia los tanques de sacarificación C1610, que son tanques aislados térmicamente donde permanece el producto con agitación lenta y constante para asegurar una temperatura uniforme del mismo. La temperatura en los depósitos de sacarificación se mantiene a 60 ^{0}C mediante serpentines de calentamiento conectados a un sistema de circulación de agua caliente, lo cual se logra mediante un sistema de control de temperatura independiente para cada tanque. El tiempo de sacarificación oscila de 24 a 48 horas, hasta lograr valores de ED superiores a 92, entonces es cuando el licor sacarificado se envía a un intercambiador de calor a temperatura de 80 ^{0}C para destruir la actividad enzimática.

Figura 2.5 Tanques de Sacarificación C1610 (2-8)

2.2.2 Flujo tecnológico sección de conversión por hidrólisis ácida

La suspensión de almidón refinado con una concentración de 17 a 20 ^{0} Bé se acidula de forma automática mediante ácido clorhídrico a un valor de pH de aproximadamente 1,7 en el tanque C1140. Luego la misma es bombeada a través de varios intercambiadores de calor C7200, mediante pulsaciones y una presión de 20 a 30 atmósferas, utilizando una bomba de diafragma operada hidráulicamente C 3201. A estos calentadores en serie le sigue una zona de reacción donde la temperatura se mantiene constante.

En los intercambiadores la suspensión de almidón se calienta indirectamente mediante vapor hasta una temperatura de alrededor de 140 ^{0}C, en cuyas condiciones tiene lugar una conversión a un valor de ED entre 38 y 42, luego de tener un tiempo de retención en el reactor de seis a ocho minutos. Luego de la conversión se realiza una neutralización a un pH de 3,8,

mediante una solución de carbonato de sodio, previamente preparada a 13 Bé y bombeada a través de la bomba master.

El hidrolizado neutralizado se enfría en un ciclón de expansión C9200 hasta una temperatura de 75^0C, lo cual es seguido por un ajuste de precisión del pH a 4.8 para lograr que las proteínas que se encontraban disueltas en el hidrolizado coagulen y se tornen insolubles.

2.2.3 Flujo tecnológico sección de refinación

Por medio de la separadora centrífuga R9110 las proteínas insolubles y grasas se extraen del hidrolizado antes que se lleve a cabo la etapa de decoloración.

Figura 2.6 Separadora de proteínas R 9110

Luego el hidrolizado pasa al tanque R1510 donde se le adiciona el carbón activado y se mantiene en agitación constante, el carbón se dosifica manualmente adicionando aproximadamente 100 g/L de carbón al hidrolizado. Con el fin de proporcionar el completamiento del tiempo de retención adecuado, se envía al tanque R1640 para posteriormente pasar al filtro rotatorio R 9310.

Figura 2.7 Adición de carbón activado R1510

En el filtrado al vacío, donde previamente se ha preparado una pre-capa con tierra de infusorio, se extraen el resto de las proteínas insolubles y grasas, así como el carbón activado adicionado durante la decoloración.

Figura 2.8 Filtro rotatorio al vacío R9310

En el filtro de tambor la sub-presión se mantiene mediante una bomba de vacío y los residuos de carbón y de tierra de infusorios empleados, junto a las proteínas y grasas, y pequeñas cantidades de hidrolizado salen del filtro de tambor en forma de material bastante seco, el cual es acumulado en una tolva a través de un transportador para ser vaciado en camiones en calidad de residuo.

Figura 2.9 Tolva de Residuo de la filtración

2.2.4 Flujo tecnológico sección de concentración

Figura 2.10 Evaporador de triple efecto E9230

Antes de comenzar la concentración se realiza un ajuste final del pH de forma automática con carbonato de sodio en el tanque E1120 a valores de 4,4 a 5,2, desde donde el hidrolizado rebosa al tanque E1110 para ser bombeado al tanque E1220 desde donde es alimentado a un evaporador de tres tapas E9230.

El primer efecto está provisto de serpentines que ofrecen un calentamiento previo para el hidrolizado y de un eyector de vapor vivo para conseguir una máxima utilización del vapor requerido en la evaporación. El triple efecto trabaja con vapor de calderas y vahos del efecto anterior, acoplado a un sistema de condensadores que garantizan el vacío necesario, para en primer lugar evitar el aumento de color del sirope por el efecto que sobre los azúcares y

sustancias coloidales ejercen las altas temperaturas y garantizar una disminución apreciable del consumo de vapor hasta obtener la concentración de salida del sirope de glucosa de 65 ^{0}Brix para el sirope por hidrólisis enzimática.

En el caso del sirope producido por hidrólisis ácida el triple efecto está seguido por un vaso concentrador final E9230 donde el hidrolizado se somete a una concentración final hasta alcanzar valores de 80 a 85^{0}Brix, seguido de un enfriamiento por expansión (E9323) a una temperatura apta para el almacenamiento del sirope de glucosa (55,0 ^{0}C).

El sirope procedente del triple efecto o del concentrador final, según sea el caso se envía a los depósitos de almacenamiento, a través de un depósito de mezcla (E1410) con agitación constante. Este depósito tiene por objeto eliminar las fluctuaciones, si las hubiera, en la concentración del sirope que proviene del evaporador. Los seis tanques de almacenamiento se encuentran aislados térmicamente y tienen una capacidad cada uno para 200 toneladas de sirope de glucosa.

2.2.5 Incidencia de la planta de Glucosa en la situación ambiental

En este proceso intervienen también una variada gama de materias primas y se consume gran cantidad de agua y energía.

Los residuales líquidos generados en esta planta están compuestos fundamentalmente por los condensados, residuos provocados por salideros, paradas imprevistas y operaciones habituales de arrancada y parada de equipos, además del agua utilizada para diferentes operaciones en el proceso, que por dificultades o tecnológicas o malas prácticas pasan a formar parte de los mismos, así como el agua utilizada en operaciones de limpieza. Estos residuales líquidos son conducidos hasta la planta de tratamiento de residuales de la fábrica, donde son tratados de forma ineficientemente.

Los residuos sólidos generados en la planta de glucosa se deben a derrames mínimos de materias primas en su manipulación, los mismos se incorporan al agua residual cuando se limpian los pisos con agua. Además los residuos del proceso de decoloración y filtración del hidrolizado, los cuales se botan sin preverles una reutilización, al igual que los sacos que contenían las materias primas.

Los materiales existentes en los desperdicios del proceso que tienen posibilidad de ser reutilizados, son el agua, el condensado, el residuo sólido resultante de la filtración del hidrolizado, así como los sacos vacíos de las materias primas.

2.3 Metodología para la Evaluación de Producciones más Limpias (EP+L)

A partir de los estudios documentales se decide aplicar la metodología del PNUMA (ONUDI, 1999), (CNP+LH, 2009) para valorar mediante una EP+L la problemática de la planta de producción de sirope de glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos, para lo cual se adaptó dicha metodología a las condiciones del objeto de estudio. La misma consta de cuatro etapas fundamentales tal como se aprecia en la siguiente figura 2.11.

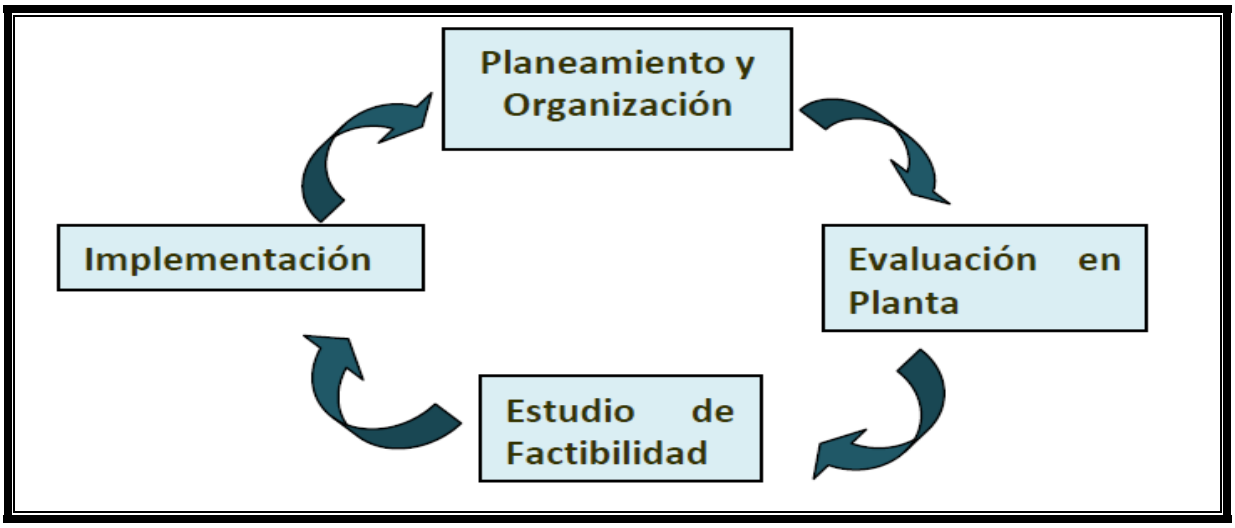


Figura 2.11 Etapas para la Implementación de una EP+L. Fuente:(ONUDI, 1999)(CNP+LH, 2009)

2.3.1 Planeación y organización

En la fase de planeación y organización del programa de Producción más Limpia se establecen las pautas indispensables para la implementación exitosa de la Evaluación de P+L, en esta etapa se llevan a cabo las siguientes tareas:

2.3.1.1 Obtener el compromiso de la dirección

La alta dirección de la empresa tiene que preparar el escenario para realizar la evaluación de P+L, de modo que se asegure la cooperación y participación de los miembros del personal, además debe dirigir la formación de un equipo para la EP+L, hacer que estén disponibles los recursos requeridos y acatar los resultados de la misma.

2.3.1.2 Involucrar a los empleados

El éxito de una EP+L depende en gran medida de la colaboración del personal para lo cual se involucra a todos los empleados (directivos, técnicos, obreros y servicio) y se les informa del

programa y sus beneficios buscando y valorando sus aportes, los cuales revisten gran importancia.

2.3.1.3 Organizar el equipo de EP+L

Se debe integrar un equipo que incluya a empleados claves de las distintas áreas de la empresa, con un alto nivel de compromiso, experiencia y competencia. El equipo será el responsable de la coordinación del Programa de P+L, de su implementación y del seguimiento de las medidas adoptadas. Se recomienda que en este equipo estén representados los siguientes departamentos:

- Legal
- Financiero
- Ingeniería de proceso
- Producción
- Control de la calidad
- Mantenimiento
- Investigación y desarrollo
- Ventas
- Compras y almacenamiento
- Seguridad e higiene

Se designa un representante o coordinador del equipo de P+L que tenga la jerarquía y la autoridad necesarias para garantizar la implementación del programa e informará permanentemente a la gerencia sobre el avance del proceso.

2.3.1.4 Identificar obstáculos y soluciones para la EP+L como un proceso

En este momento se deben indicar los posibles obstáculos en el proceso de la EP+L y proponer soluciones a los mismos. En esta actividad es de suma importancia la participación activa del personal clave, conocedor de las interioridades de sus respectivas áreas de trabajo.

2.3.1.5 Decidir el enfoque de la EP+ L

La decisión del enfoque de la EP+L a realizar concierne a los miembros del equipo de EP+L. El alcance de la misma establece si se va a incluir en la evaluación la planta entera o limitar la misma a ciertas unidades, secciones o departamentos de la misma.El énfasis establece lo referido a los materiales sobre los que se quiere influir.

2.3.2 Evaluación en planta

La fase de evaluación del proceso en planta incluye la recopilación, validación y evaluación sistemática de los datos de proceso, el mismo se fundamenta en los datos e información sobre áreas específicas e incluye una evaluación detallada del mismo. Se determina también la

situación general del proceso objeto de estudio, los puntos críticos en el manejo de la energía, el agua y las materias primas así como sus efectos financieros y ambientales de donde se derivan las principales recomendaciones de mejora. En la misma se llevan a cabo las siguientes tareas:

2.3.2.1 Realizar el reconocimiento de planta

Para establecer los registros y mediciones de materias primas, consumo de agua y consumo energético debe diseñarse un recorrido por el objeto de estudio. Este recorrido debe ser coherente con el ordenamiento del proceso productivo, es decir que se deberá iniciar en la recepción de materias primas e insumos auxiliares y finalizar con la entrega del producto final. Al realizar el recorrido se deben identificar puntos críticos en las distintas áreas del proceso, haciendo énfasis en el uso eficiente de los recursos, así como en la generación de residuos. Para esto, previo a realizar el recorrido, el equipo tendrá que tener claridad sobre los aspectos a evaluar y los datos a recopilar. Se recomienda elaborar un cuestionario que facilite la evaluación de los procesos durante el recorrido como se muestra en **Anexo F**.

Se debe tener en cuenta que el recorrido debe llevarse a cabo cuando la fábrica se encuentre funcionando en su totalidad, además se debe considerar la participación del jefe de planta y del jefe de mantenimiento junto al equipo evaluador de P+L. Mediante entrevistas, inspección visual, análisis de los registros del proceso y la instrumentación centralizada y local que pueda existir se realiza una confrontación de los datos obtenidos del archivo con la realidad del proceso y se verifican las condiciones de operación, mantenimiento y limpieza de las instalaciones. Se debe contar también con toda la documentación requerida como por ejemplo: facturas de consumo de energía, consumo de agua, compra de materiales, controles de inventario, etc., así como realizar mediciones in situ de aspectos de relevancia. Al concluir esta etapa se debe definir el inventario de malas prácticas y problemas ambientales que se ha detectado por el equipo auditor.

2.3.2.2 Elaboración de la matriz DAFO del proceso estudiado

Una vez efectuado el reconocimiento de las distintas etapas del proceso, mediante tormenta de ideas del equipo de P+L, se identifican las principales Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas que presenta el mismo.

2.3.2.3 Confección del diagrama de flujo del proceso (DFP)

Los diagramas de flujo de proceso son la representación del proceso de transformación de las materias primas en productos de forma simplificada. En este contexto, la palabra proceso, se

usa para referirse a una serie de actividades que de conjunto producen un resultado o producto en una empresa. Una unidad de proceso es un paso en el proceso de la empresa.

Para construir un DFP, es mejor para el equipo de las P+L empezar listando las operaciones unitarias importantes. Luego, cada una de las operaciones unitarias se puede mostrar en un diagrama de bloques, que indique detalladamente los pasos con las entradas y salidas relevantes y conectando los bloques individuales de las operaciones unitarias se construye el DFP.

2.3.2.4 Caracterización de las entradas y salidas del proceso

2.3.2.4.1 Colectar la información básica del proceso y confeccionar los balances de masa y energía

Se recolecta la información general sobre las operaciones y procesos que se desarrollan en el objeto de estudio, para lo cual se identifican y caracterizan las principales entradas de materias primas, agua y energía al proceso tecnológico, así como se definen las salidas de productos y los residuos generados en las diferentes etapas del proceso. Se determina además si están establecidos adecuadamente los niveles de recirculación interna o reciclado externo para los diferentes materiales y si se tiene concebido la reutilización de los residuos en caso que sea posible.

El balance de materiales se efectúa para identificar datos faltantes o inexactos. El cálculo del balance de masa es probablemente la más poderosa de las herramientas para la validación de los datos, ya que permiten hacer un inventario de los flujos de materiales que entran o salen de un proceso productivo. Los mismos se realizan alrededor de las unidades de proceso, agrupaciones de equipos o equipos individuales con el fin de verificar la consistencia de los datos disponibles o averiguar un dato que falta. Los límites del balance se ajustarán en la medida de lo posible a unidades o equipos simples y se referirán tomando como base una unidad de tiempo (un día, una hora, etc.).

El balance de materiales establece que el peso total de los materiales que ingresan a un proceso (materia prima, insumos, energía, agua, etc.), es igual al de los productos, subproductos, residuos y emisiones que salen del mismo y se representa mediante la siguiente ecuación:

Materias primas - (Productos + Subproductos) = Residuos + Emisiones

Un balance de masa requiere de una sustancia que permita el vínculo y que sirva de base para medir la eficiencia de los procesos. La selección de esta sustancia puede ser en función de

varios posibles parámetros como: un recurso caro, una sustancia peligrosa, un recurso común a la mayoría de los procesos, un parámetro fácil de medir o la sustancia que da sentido al proceso.

El balance de energía se puede llevar a cabo para cada tipo de portador energético usado, debe registrar la cantidad consumida en un periodo de tiempo dado, junto con el costo por unidad y el costo total para el período, mostrando cual portador se usa en cada área de operaciones.

El registro de las fuentes de los datos es importante, los mismos se tomarán sobre:

- Las cantidades y costos anuales del agua y las mayores entradas de materias primas.
- Las cantidades y costos de las entradas anuales de portadores energéticos.
- La producción anual de productos de la empresa.
- La cantidad anual de desperdicios materiales o emisiones y estimación de algunos costos asociados con estos desperdicios.

Los datos de producción, cantidad de bienes y servicios producidos en el período de un año son la base de los cálculos que se desarrollarán en la evaluación de P+L. Como los niveles productivos pueden variar, es conveniente referir los consumos y los desperdicios generados en términos de unidades de producción por tonelada de producto fabricado (kilogramos o m^3 por toneladas).

Estos balances permiten completar los mapas de consumo del agua, la electricidad y el vapor, mostrando a donde van finalmente las cantidades de cada entrada, a su vez un mapa de consumo puede mostrar para un tipo de desperdicio sus varias fuentes de origen. En este paso se desarrolla un desglose de cantidades de cada entrada a la empresa y de cada salida de desperdicios.

2.3.2.4.2 Confeccionar el diagrama de entradas y salidas

Después que han sido cuantificadas las entradas y salidas de materiales y energía para cada una de las fases del proceso productivo, así como definido donde se generan los desperdicios, se puede confeccionar el diagrama cuantitativo de entradas y salidas, para obtener un cuadro completo de donde termina la cantidad total de cada entrada y donde se genera en el proceso cada tipo de desperdicios.

2.3.2.4.3 Priorización de opciones

En este paso se usará el resultado de los mapas de consumo y balances de materiales y energía para seleccionar aquellas entradas, desperdicios y unidades de proceso que provoquen los mayores costos a la empresa y por tanto ofrecen las mayores oportunidades para la mejora, para lo cual se propone confeccionar una tabla de priorización la cual constituye un método muy simple de jerarquización de entradas y desperdicios de acuerdo con los costos respectivos para la empresa.

Los elementos de más altos costos son identificados como oportunidades para el mejoramiento, ya que pequeñas reducciones en ellos tendrán un mayor retorno financiero que grandes reducciones hechas en áreas de bajos costos. Además, se pueden tener en cuenta los siguientes factores para tomar la decisión final: la magnitud de los ahorros potenciales de las oportunidades ya conocidas por el equipo, problemas de costos relacionados con los desperdicios y los efectos medioambientales de los residuos, utilizando para ello el criterio de los expertos del equipo auditor.

2.3.2.4.4 Generación de opciones de P+L

La generación de opciones se realiza trabajando de conjunto el equipo de P+L con personal seleccionado de la empresa y conduciendo la misma mediante “tormentas de ideas”, herramienta muy usada para reflexionar en las maneras y medios de obtener soluciones para hallar oportunidades de mejoras. Se debe tener en cuenta al proponer las opciones establecer que la jerarquización en orden de efectividad descendente debe ser: evitar, reducir, reutilizar, reciclar, reformular y repensar.

Algunas de las opciones identificadas serán de aplicación inmediata, en especial las que solo implican cambios de gestión, mientras otras se podrán descartar inmediatamente. Serán identificadas otro grupo de opciones que requiere de un estudio para determinar su factibilidad.

2.3.3 Estudio de factibilidad

En esta fase el equipo debe emprender un chequeo detallado de las opciones de mejora encontradas en la categoría que se requiera para determinar cuales sean las factibles a aplicar. Las actividades a realizar en esta etapa son:

- Evaluación técnica, económica y ambiental de las opciones de mejora.
- Selección de las medidas a tomar.

2.3.3.1 Evaluación técnica de las diferentes opciones

En la evaluación técnica debe considerarse el impacto que tendrán esas opciones en las tasas de producción, tiempos de operación, adición o eliminación de operaciones unitarias, capacitación adicional y/o cambio de personal. Para esto deben desarrollarse las siguientes actividades:

- Detallar los cambios técnicos necesarios para implementar cada medida de P+L.
- Determinar la factibilidad técnica de implementar los cambios requeridos por cada medida de P+L.

La factibilidad técnica de los cambios se determina en términos de la viabilidad de los fenómenos involucrados en las operaciones unitarias; la disponibilidad o accesibilidad a tecnología, materias primas e insumos, espacio físico, logística, servicios, etc. y las condicionantes que impedirían o limitarían la viabilidad técnica del cambio propuesto.

2.3.3.2 Evaluación ambiental de las diferentes opciones

La evaluación ambiental está destinada a cuantificar el grado de reducción en la generación de emisiones, residuos, consumo de agua o de energía, consumo de materias primas etc. Como criterio de selección se debe dar mayor peso a aquellas opciones cuya implantación, signifique una reducción de alta escala.

2.3.3.3 Evaluación económica de las diferentes opciones

La evaluación económica tiene la finalidad de determinar si las opciones a implantar son rentables para la empresa. Existen varios tipos de conceptos financieros que pueden ser utilizados para evaluar la factibilidad económica de una medida de Producción Más Limpia como son:

- Los conceptos de período de recuperación de la inversión (PRI) y rentabilidad de la inversión, los cuales son utilizados para realizar evaluaciones económicas rápidas y sencillas.
- Los conceptos de valor actual y valor futuro, flujo de caja, valor actual neto (VAN), y tasa interna de retorno (TIR) para analizar inversiones más complejas.

2.3.3.4 Seleccionar opciones de P+L factibles de aplicar

La etapa final de la evaluación es la decisión sobre cual de las opciones se debe incluir en el plan de mejoras de la empresa, para lo cual, se debe analizar la relación costo beneficio de la

inversión, así como el periodo de retorno de las acciones, el ahorro de recursos y la prevención de problemas ambientales.

2.3.4 Implementación

La implementación de P+L es la fase de ejecución, en la que se concretan las recomendaciones establecidas mediante la asignación de los recursos económicos, tecnológicos y humanos que conducen a una mejora continua.

2.3.4.1 Definir el plan de mejora de Producción Más Limpia

Se requiere preparar un plan de acción que permita un adecuado control y seguimiento de las opciones de P+L factibles a aplicar. Se determina el momento oportuno para su ejecución, priorizando aquellas opciones que sean de bajos costos, fáciles de llevar a cabo y que sean un requisito previo para la aplicación de otras opciones.

Conclusiones Parciales

1. La Empresa Glucosa Cienfuegos es única de su tipo en el país con una tecnología instalada de más de 30 años de explotación, tiene una capacidad productiva de 12 500 toneladas anuales para sus producciones fundamentales. y opera actualmente al 36% de su capacidad real instalada ya que se producen alrededor de 4 500 toneladas anuales de las mismas.
2. Se realiza un análisis de las principales características técnico económicas de la Empresa Glucosa Cienfuegos, donde se demuestra que la misma mantiene una adecuada rentabilidad económica en el período analizado y constituye soporte fundamental para las producciones básicas del resto de las industrias de la rama confitera, de conservas, lácteas, industrias textiles, del papel y para la fabricación de sorbitol.
3. Los procesos de esta industria generan un elevado volumen de residuales líquidos con alta carga orgánica, residuos sólidos, gaseosos y malos olores que afectan el entorno, por encontrarse dentro de uno de los perímetros urbanos más poblados de la ciudad y se consume además gran cantidad de agua y energía.
4. Se expone la metodología del PNUMA, con las adaptaciones pertinentes a las condiciones de la empresa, para efectuar la Evaluación de P+L en las secciones que comprenden el proceso de obtención de sirope de glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos.

Capítulo III

CAPÍTULO III ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Planeación y Organización

3.1.1 Obtención del compromiso de la dirección

El compromiso de la dirección se resume en la declaración de la política ambiental de la empresa, donde se expresa la voluntad de priorizar el cumplimiento de medidas para preservar el medio ambiente y su entorno, así como mitigar la contaminación y proyectarse en implantar un sistema integrado de gestión ambiental y de ciencia e innovación tecnológica en función de solucionar los problemas ambientales. A la vez que se compromete en apoyar con los recursos necesarios y en acatar los resultados de la evaluación efectuada.

3.1.2 Involucrar a los empleados

Se involucra a todos los trabajadores (directivos, técnicos, obreros y de servicio) y se les informa de los objetivos de la evaluación a realizar, buscando y valorando sus aportes. Se informa en los matutinos y reuniones sindicales periódicamente la situación exacta del desarrollo de la evaluación de P+L en la planta de producción de sirope de glucosa.

3.1.3 Organizar un equipo de Producciones Más Limpias

Se forma el equipo auditor de P+L en la empresa objeto de estudio conformado por 12 compañeros con conocimientos, experiencia y las competencias necesarias para realizar un análisis de las prácticas de producciones actuales y proponer soluciones de mejora, cuya composición se aprecia en el **Anexo G**.

3.1.4 Identificar obstáculos y soluciones a la EP+L como un proceso

A partir de una tormenta de ideas realizada con los miembros del equipo de P+L se definen los principales obstáculos que existen para realizar la EP+L en la planta de producción de sirope de glucosa, los cuales se resumen en la tabla 3.1 donde se plantea además la posible solución a los mismos.

Tabla 3.1 Obstáculos y soluciones a la EP+L. Fuente: Elaboración propia

Categoría	Obstáculo	Solución
Información	Falta de conocimiento del personal en el trabajo de P+L.	Capacitar al personal sobre el trabajo de P+L.
	Se desconocen los beneficios de la introducción de las P+L.	Mostrar beneficios en base a casos exitosos en empresas alimenticias.
	Carencia de información tecnológica actualizada.	Búsqueda de información actualizada mediante contrato con el CIGET.
Institucionales	Resistencia al cambio.	Interesar al personal mostrándole los beneficios laborales.
	Falta de práctica de trabajo en equipo.	Capacitar al personal en desarrollo de técnicas de trabajo en equipo.
Tecnológicos	Falta de equipos de medición y registradores en el proceso.	Adquirir equipos de medición y registradores para el proceso.
	No es posible medir por áreas los consumos de agua, vapor y energía eléctrica.	Instalación de metro contadores de agua y energía eléctrica por áreas
	Falta de sistematicidad en la caracterización de los residuales.	Caracterizar los residuales sistemáticamente.
Financieros	Falta de recursos financieros para realizar inversiones.	Mostrar que las inversiones de P+L son atractivas al tener cortos períodos de retorno.
	Falta de recursos financieros para la adquisición de instrumentos de medición.	Estimar las pérdidas económicas ocasionadas por las deficiencias existentes.

3.1.5 Decidir el enfoque de la Evaluación de Producción más Limpia

El alcance de este trabajo incluye todo el proceso de producción de la Planta de glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos. El énfasis del mismo estará encaminado a reducir el consumo de los materiales que intervienen en dicho proceso productivo, así como disminuir los residuos líquidos y sólidos generados o encontrar posibilidades de reutilización para los mismos tomando como referencia los aspectos productivos de la empresa durante el año 2010.

3.2 Evaluación en Planta

3.2.1 Reconocimiento de Planta

- Durante el recorrido del equipo de Producciones Más Limpias se visitó el almacén de materias primas, la planta de producción de sirope de glucosa, el laboratorio, los tanques de almacenamiento de producto terminado y el departamento económico

obteniéndose la información básica del proceso, lo cual se resume en las apreciaciones siguientes:

Piso de trabajo

- Los pisos de la planta se encuentran en mal estado lo que provoca acumulación de agua de limpieza y que se tornen resbaladizos dificultando el movimiento de los operarios.
- En ocasiones se encuentra en la planta mayor cantidad de materias primas que las que se consumen por día, provocando derrames de las mismas (Carbón activado, Carbonato de Sodio y Tierra de infusorio), por mala manipulación.
- La planta cuenta con un esquema adecuado del flujo tecnológico.

Áreas de almacenamiento

- Se utiliza el sistema de almacenamiento FIFO para las materias primas, es decir se utilizan teniendo en cuenta la fecha de vencimiento.
- Algunas materias primas llegan a la empresa sin el debido certificado de calidad.
- El laboratorio verifica la concordancia de las materias primas cuando arriban a la empresa.

Equipos y procesos

- En ocasiones los operarios no operan teniendo en cuenta los procedimientos de operación, debido en lo fundamental a la mala capacitación de los mismos o a dificultades tecnológicas.
- Existe un sistema de planificación del mantenimiento preventivo, pero al ser la tecnología muy vieja y con un nivel de inversiones muy reducido, en la práctica se realizan las intervenciones de mantenimiento contra las averías.
- El laboratorio realiza control e inspección a la calidad del proceso, productos intermedios y productos finales con la frecuencia establecida en los procedimientos de trabajo.
- El laboratorio no cuenta con todo el equipamiento necesario para realizar un control efectivo de todo el proceso.
- No se tiene implantado un sistema de gestión de la calidad para el proceso estudiado.
- Se encuentran fuera de línea equipos del proceso tecnológico por no contar con las piezas de repuesto para su puesta en marcha.
- Existe un nivel de automatización muy bajo del proceso tecnológico por deterioro y obsolescencia de la tecnología instalada.
- Se aprecian salideros de vapor, agua y producto en varios lugares de la planta.

- La torre de enfriamiento de agua presenta un deterioro significativo de su estructura, por lo que se pierden grandes volúmenes de agua.

El sistema de distribución de vapor y demás portadores energéticos

- Existen fugas de vapor por las juntas, uniones y válvulas.
- No se reutiliza todo el condensado y otras aguas utilizadas para transferencia de calor.
- Las tuberías de vapor presentan deficiencia en el aislamiento térmico.
- Se utiliza para la generación de vapor fuel oil con las características requeridas.
- Se utiliza para la producción agua potable.
- Existe derroche de agua durante la operación de equipos y durante la limpieza de la planta.
- Se pierde gran cantidad de agua por malas operaciones y por mala regulación del flotante de la piscina de agua de enfriamiento.
- Se mantienen luces encendidas durante el día por no aprovecharse adecuadamente la iluminación natural.
- Los datos de los consumos de agua, fuel oil y electricidad se tienen de forma global para toda la empresa.

Generación de residuos

- Como desperdicio sólido del proceso tenemos los residuos generados de las operaciones de decoloración y filtrado del hidrolizado, los cuales no se cuantifican, pero se disponen adecuadamente.
- Los sacos de papel que contenía las materias primas se desechan junto con el resto de la basura de la fábrica.
- Se generan grandes volúmenes de residuales líquidos de forma discontinua durante el proceso, los cuales no se cuantifican, ni se caracterizan adecuadamente, por carecer de equipamiento en el laboratorio.
- Existe la posibilidad de reciclar o valorizar los residuos sólidos.

Se determina por el equipo de P+L el inventario de malas prácticas y problemas ambientales de este proceso, el cual se evidencia mediante las fotos que se muestran en el **Anexo H**:

1. Derroche de agua durante la operación de equipos tecnológicos y procesos de limpieza.
2. Se genera un elevado volumen de residuales líquidos que luego son tratados ineficientemente.
3. No se recuperan los condensados generados en el proceso de evaporación la planta.
4. Deterioro del aislamiento térmico en tuberías de vapor.
5. Existencia de salideros de vapor, agua y producto.

6. Existe sobreconsumo de algunas materias primas.
7. Se encuentran fuera de línea equipos indispensables para la realización del proceso tecnológico.
8. Los residuos sólidos no tienen concebida su reutilización.
9. Se mantienen luces encendidas durante el día por no aprovecharse adecuadamente la iluminación natural.
10. No se aplica un sistema de mantenimiento preventivo planificado.

3.2.2 Elaboración de la matriz DAFO

Al terminar el recorrido, mediante tormenta de ideas, se identifican las principales debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades con que cuenta el proceso objeto de estudio, lo cual se resume en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Matriz DAFO Empresa Glucosa Cienfuegos. Fuente: Elaboración propia

Diagnóstico Interno

FORTALEZAS	DEBILIDADES
Contar con la única línea de producción de su tipo en el país.	Tecnología atrasada y pocas inversiones en el proceso tecnológico.
Encontrarse la empresa en perfeccionamiento empresarial.	Insuficiente explotación de la capacidad potencial instalada por falta de materia prima.
Adecuada preparación técnica y profesional del Consejo de Dirección.	Poca estabilidad en el proceso productivo por diversas causas.
Buena calidad de sus producciones.	Mala capacitación de los operarios.
Se realizan en la empresa producciones de goma que sustituyen importaciones y permiten contar con piezas de repuesto.	Falta de recursos materiales, para la producción, venta y mantenimientos.
Personal técnico con buena calificación.	No se encuentra implantado ningún sistema de gestión de la calidad.
Contar con una capacidad instalada en la industria capaz de satisfacer las demandas del mercado.	No se encuentra certificado el laboratorio, ni el personal que en él trabaja.
Espíritu innovador de los trabajadores y directivos.	Funcionamiento deficiente de la planta de tratamiento de residuales líquidos.

Disposición de directivos y empleados de la necesidad de resolver los impactos ambientales provocados por la fábrica.	Escasa automatización e instrumentación en el proceso productivo.
Se concluyó el proceso de reordenamiento laboral.	Alta fluctuación de la fuerza de trabajo.

Diagnóstico externo

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
Decisión del país de fortalecer la recuperación de la industria de producción de alimentos	La contratación de materias primas a proveedores extranjeros es lenta como consecuencia del bloqueo.
Ubicación geográfica de la empresa	La calidad de la materia prima fundamental (maíz) no siempre es la requerida para su procesamiento
Garantía de mercado para sus producciones.	La empresa provoca contaminación ambiental debido al tratamiento ineficiente de sus residuales líquidos.
Demanda creciente e insatisfecha de sus producciones.	Aumento del precio de las materias primas fundamentales como consecuencia de la crisis económica mundial.
Fomento de la exportación de sorbitol, del cual la glucosa enzimática, constituye la materia prima fundamental.	Difícil adquisición de piezas de repuesto en el mercado nacional e internacional y aumento del precio de los mismos.
Preparación de tres especialistas y un dirigente en la empresa sobre el tema de las P+L.	Posibilidad de egresos de fuerza de trabajo hacia el polo petroquímico

3.2.3 Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)

En la Planta de Glucosa se producen dos tipos de siropes de glucosa, cuyos procesos tecnológicos comprenden varias unidades de proceso. La secuencia actual de los mismos se muestra en las figuras 3.1 y 3.2 para el proceso de hidrólisis enzimática e hidrólisis ácida respectivamente.

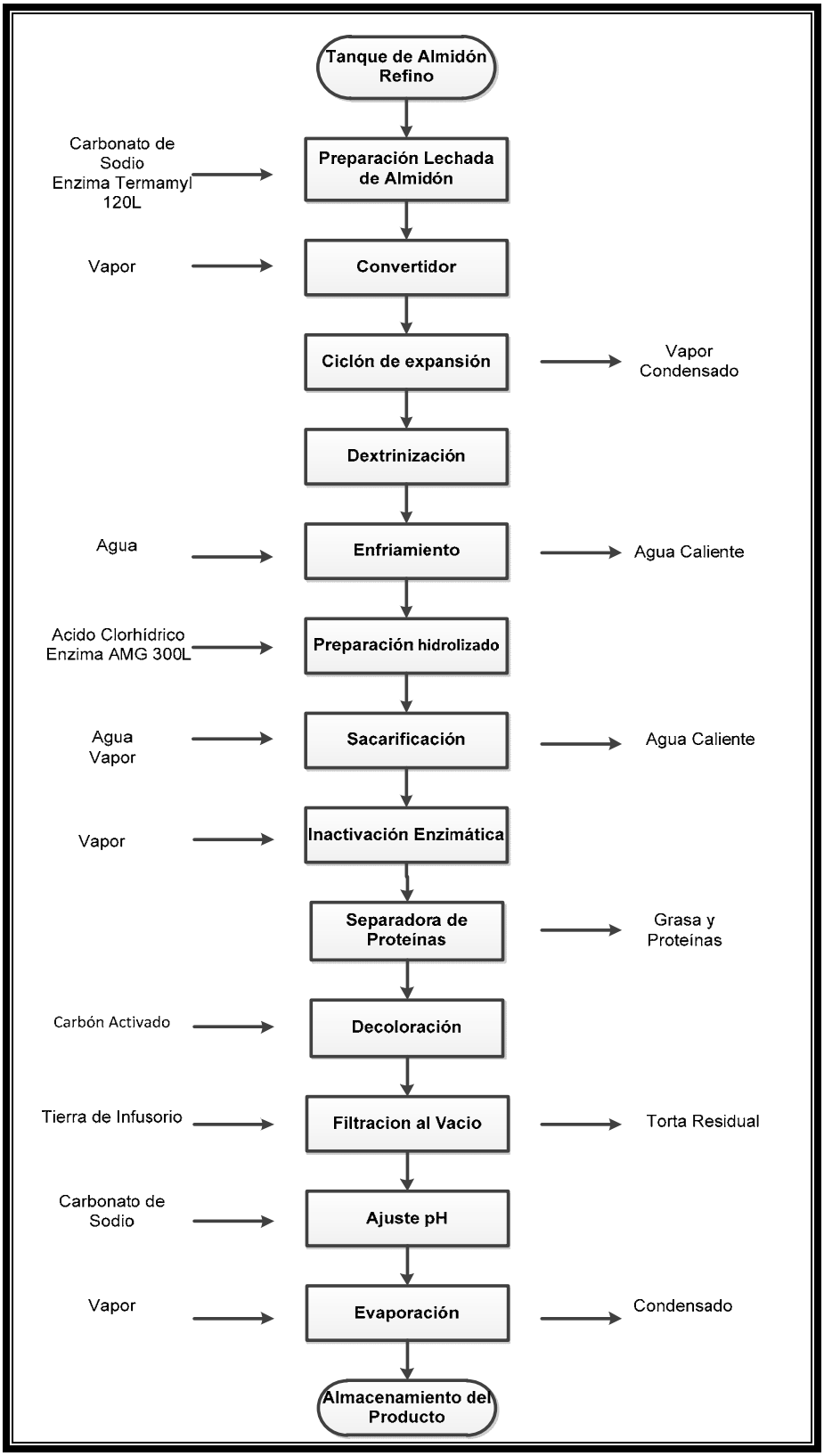


Figura 3.1 DFP Proceso de glucosa enzimática. Fuente: Elaboración propia.

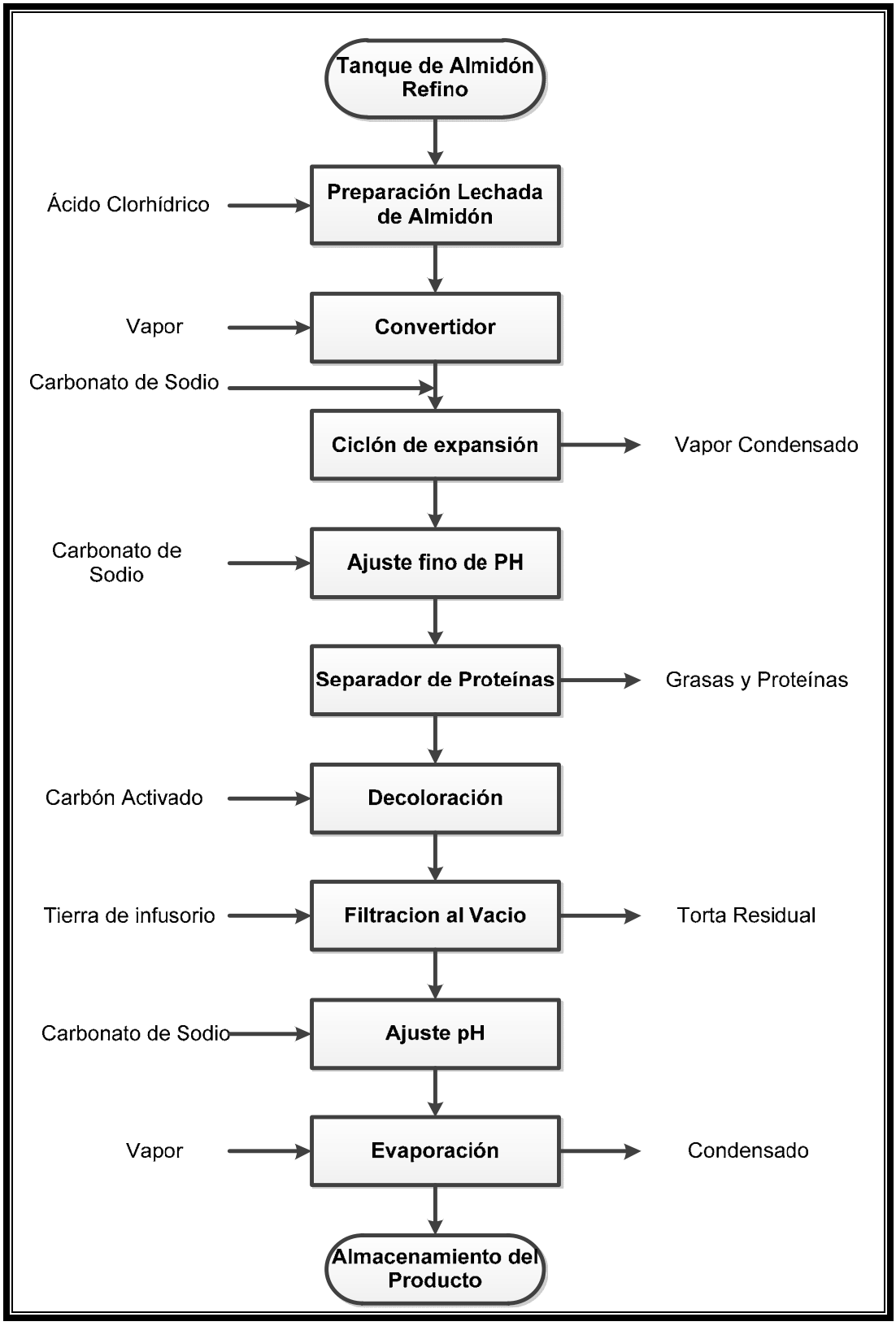


Figura 3.2 DFP Proceso de glucosa ácida. Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Caracterización de las entradas y salidas del proceso

3.2.4.1 Colectar la información básica y confeccionar balances de masa y energía

El consumo por meses del agua y los portadores energéticos de la empresa para el año 2010 se muestran en el **Anexo I**. Las tablas que resumen la información básica para cada etapa de los procesos con los datos obtenidos de registros del laboratorio, así como de instrumentos de medición del proceso tecnológico durante la exploración en planta, se muestran en el **Anexo J y K**.

Los cálculos efectuados para la realización de los balances de masa y energía para cada una de las operaciones que comprenden el proceso se realizan tomando la lechada de almidón que entra al proceso como sustancia común que se convierte en glucosa y utilizando como base una hora de trabajo, los mismos aparecen en el **Anexo L**. Los consumos de energía eléctrica y de vapor por equipos se muestran en el **Anexo M**.

3.2.4.1.1 Balance del consumo de materias primas

En el proceso productivo del sirope de glucosa intervienen varias materias primas y materiales cuyas especificaciones de calidad se muestran en el **Anexo N**. Para el año estudiado las características del 100% de las materias primas compradas, según las inspecciones del laboratorio y certificados de concordancia se encuentran en los parámetros establecidos, por lo que no ocurrieron afectaciones a la calidad por dicho concepto.

La materia prima fundamental para producir el sirope de glucosa es la lechada de almidón refino, producida en la planta de almidón de la propia industria, de la cual se muestra a continuación en la figura 3.3 el comportamiento del parámetro de calidad que más incide en el proceso tecnológico del sirope de glucosa que es el por ciento de proteínas en la lechada. Esta característica, si se encontrara fuera de control, afecta la calidad de las producciones al dificultar el proceso de conversión y refinación y elevando el consumo de las materias primas a emplear en el proceso.

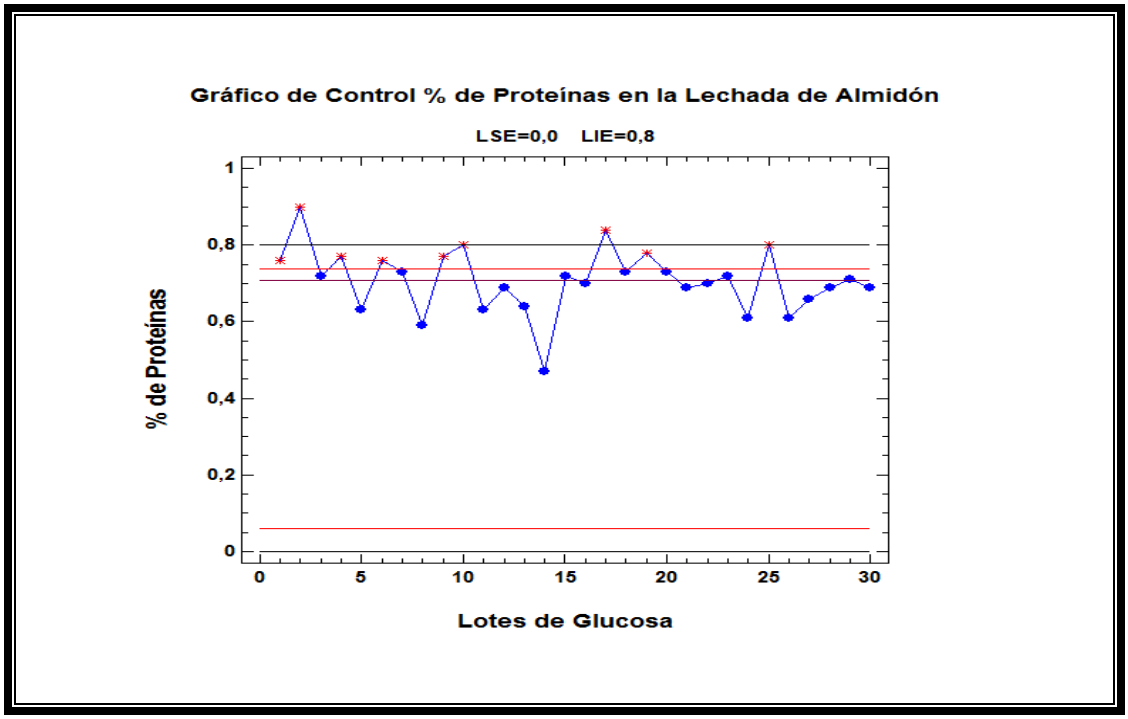


Figura 3.3 Gráfico de Control del % de proteínas en la lechada de almidón refino. Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en el gráfico anterior esta característica en los lotes graficados solo en muy pocas ocasiones se encuentra fuera de las especificaciones de calidad establecidas para la lechada de almidón, no constituyendo un problema a resolver en el proceso productivo estudiado.

El balance de las materias primas durante el año 2010 se resume en las tablas 3.3 y 3.4 donde se reflejan los consumos de las mismas para la producción de sirope de glucosa por hidrólisis enzimática y ácida respectivamente. En las mismas se brinda un análisis comparativo de los índices de consumo plan y real y se reflejan los costos reales de cada una de ellas por tonelada de sirope de glucosa producido.

Tabla 3.3 Balance de materias primas (glucosa enzimática). Fuente: Elaboración propia.

Materias Primas	Consumo	Costo por tonelada (CUP)	Índice Consumo Plan	Índice Consumo Real	Diferencia Anual
Lechada Almidón	912,49 t	514,82	0,8 t/t	0,81 t/t	+ 11,3 t
Tierra Infusorio	23,279 t	17,9	13,0 kg/t	20,6 kg/t	+8,6 t
Carbón Activado	4,24 t	6,35	4,0 kg./t	3,7 kg/t	−0,34 t
Carbonato de Sodio	2,165 t	1,02	2,1 kg./t	2,3 kg/t	+0,23 t
Ácido clorhídrico	2 315 l	0,72	2,98 l/t	3,0 l/t	+ 22,5 l
Enzima Termamyl	677 kg.	10,99	0,667 kg./t	0,666 kg/ t	-1,13 kg
Enzima AMG	760 kg.	15,69	0,667 kg./t	0, 674kg/t	+7,9 kg

Tabla 3.4 Balance de materias primas (glucosa ácida). Fuente: Elaboración propia

Materias Primas	Consumo	Costo por tonelada (CUP)	Índice Consumo Plan	Índice Consumo Real	Diferencia Anual
Lechada Almidón	896,38 t	673,72	1,0 t/t	1,06 t/t	+50,84 t
Tierra Infusorio	13,1t	18,33	15,0 kg./t	15,4 kg./t	+ 0,4 t
Carbón Activado	4,12 t	8,0	5,6 kg./t	5,0 kg./t	-0,625 t
Carbonato de Sodio	4,862 t	2,79	5,2 kg./t	5,7 kg/t	+ 0,455 t
Ácido clorhídrico	7 644 l	1,89	6,49 l/t	9,02 l/t	+ 2 145 l

Al analizar las tablas anteriores se puede apreciar que se encuentran por encima del índice de consumo planificado varias materias primas como son: la lechada de almidón (la cual guarda

relación con el consumo de maíz), la tierra de infusorio, el ácido clorhídrico, la enzima AMG y el carbonato de sodio debido a diferentes causas que explicaremos a continuación.

El sobreconsumo de la lechada de almidón ocurre debido fundamentalmente a la ocurrencia de paradas imprevistas por roturas o fallas eléctricas lo que genera excesivas arrancadas y paradas con las consiguientes pérdidas de producto en cada una de estas operaciones, además durante el año se procesó un maíz con un rendimiento menor en almidón. Se puede señalar también que la lechada de almidón es la materia prima que más influye en el costo del producto final.

Entre las causas que inciden en que el índice de consumo real de la tierra de infusorio fuera superior al planificado se pueden señalar las siguientes: que se encuentra fuera de servicio la separadora de proteínas por falta de piezas de repuesto, existieron durante todo el año dificultades mecánicas en el filtro rotatorio al vacío (este problema se encuentra resuelto), unido a la ocurrencia de interrupciones del fluido eléctrico que hacen que se pierda la capa filtrante constituida por esta materia prima al no estar trabajando el tanque R1630 para la recuperación de la misma.

Con relación a los índices de consumo elevados del ácido clorhídrico, la enzima AMG y el carbonato de sodio se puede plantear que se opera el proceso de forma manual porque los lazos de control para la dosificación de los mismos no funcionan o lo hacen deficientemente. Este problema influye negativamente en los costos y en la calidad del producto final.

3.2.4.1.2 Balance del consumo de agua

El agua que se consume en la empresa es agua potable procedente del acueducto cuyas características fisicoquímicas se muestran en el **Anexo N**. El consumo de la misma en la empresa se tiene de forma global al existir solo un metro contador a la salida de la cisterna que incluye el consumo de la fábrica de almidón y glucosa, oficinas, taller de mantenimiento fabril, taller de transporte y cocina comedor.

En las figuras 3.4 y 3.5 se grafican respectivamente el comportamiento del consumo de agua en la empresa para el año 2010 y la producción en toneladas totales, así como un diagrama de dispersión que relaciona ambas variables.

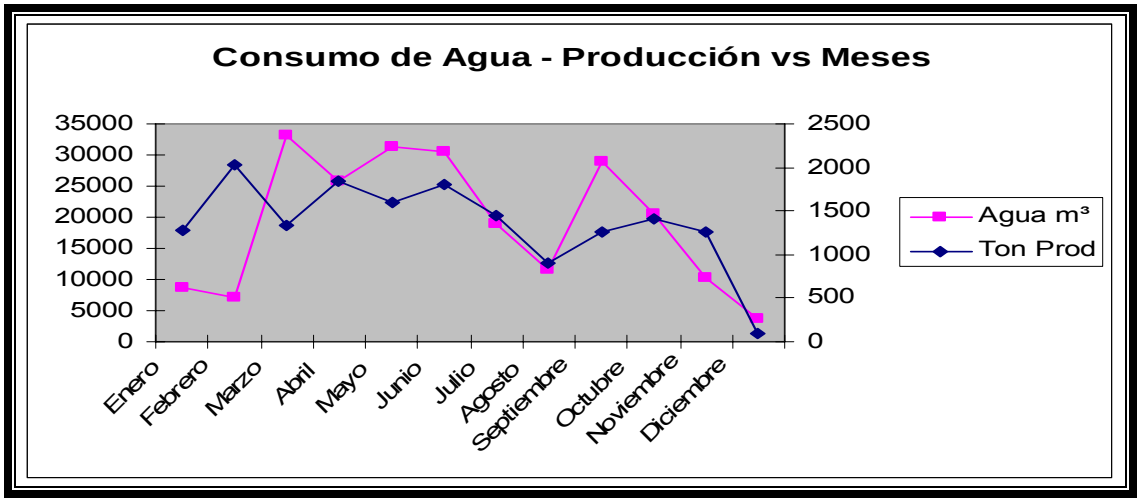


Figura 3.4 Comportamiento del consumo de agua y la producción Año 2010 Fuente: Elaboración propia.

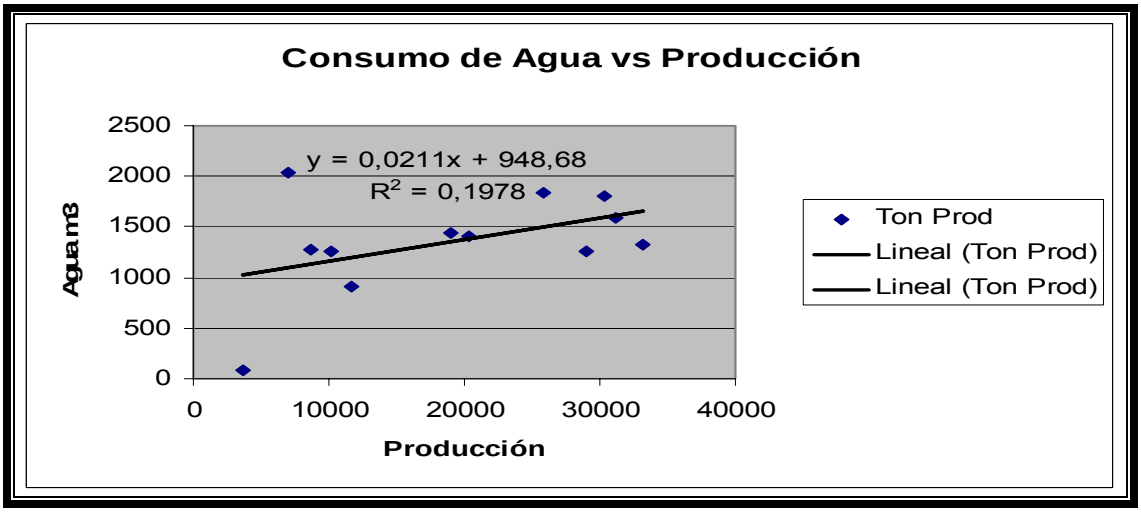


Figura 3.5 Diagrama de consumo de agua contra producción. Fuente: Elaboración propia.

En ambos diagramas se aprecia que no existe correspondencia entre el consumo de agua mensual y la producción en toneladas. Se debe señalar que no existe un índice de consumo global definido que permita evaluar el comportamiento de este recurso. A continuación se representan, en el diagrama de la figura 3.6, las principales etapas donde se consume agua en el proceso de producción de sirope de glucosa.

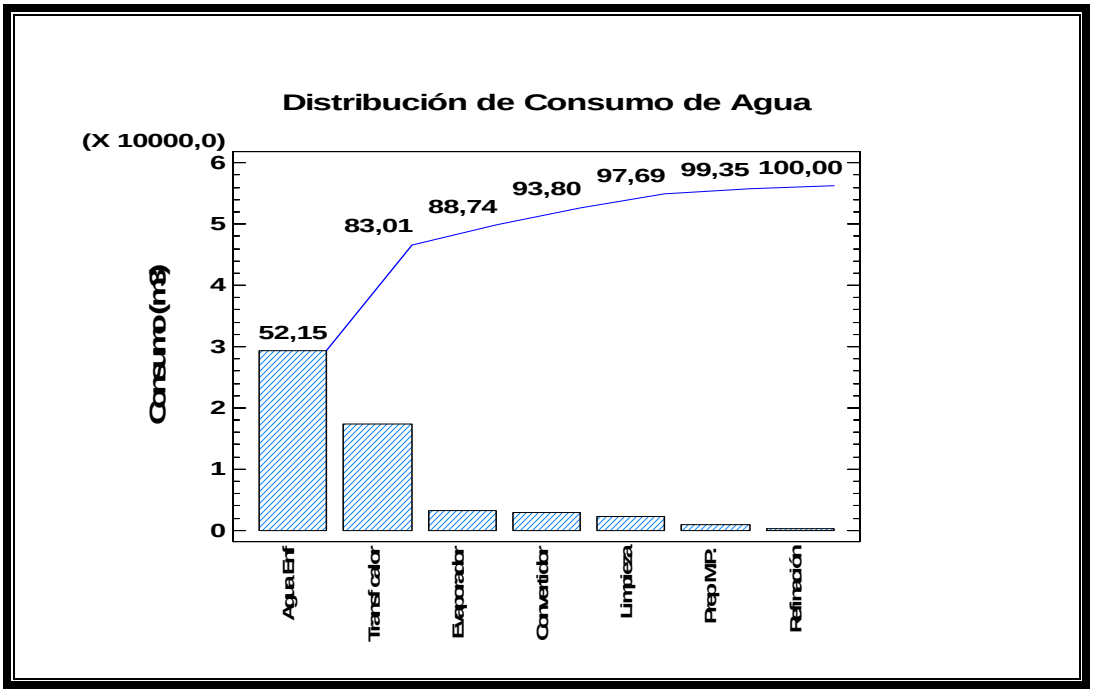


Figura 3.6 Mapa de consumo de agua Fuente: Elaboración propia.

Se evidencia mediante este diagrama que el agua utilizada como agua de enfriamiento constituye el mayor consumidor de agua en el objeto de estudio, al perderse un gran volumen de la misma entre otras causas por el deterioro de la torre de enfriamiento y por desbordarse en ocasiones la piscina de enfriamiento, le sigue en orden de importancia el agua utilizada en operaciones de transferencia de calor donde se incluye el agua del enfriador C7600 A y el reboso del calentador C9530 para mantener la temperatura en los tanques de sacarificación. Por diseño el agua del enfriador se debe unir al sistema de retorno de agua a la piscina de enfriamiento, pero en estos momentos este último equipo se encuentra fuera de línea y el hidrolizado se enfría en los tanques de sacarificación incorporándose a los residuales líquidos esa agua de excelente calidad y con una temperatura de 50 ^{o}C.

Para determinar el consumo de agua anual estimado para el objeto de estudio durante el 2010 se tuvo en cuenta el flujo de agua consumido en cada una de las etapas del proceso, determinados mediante las lecturas del metro contador de agua en días que solo trabajaba la planta de almidón y en otros que también lo hacía la planta de glucosa (**Anexo Ñ**), arrojando un consumo promedio de la planta estudiada de 575 m^3/día. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.5. El costo asociado se calcula según el precio del agua que es de 0,30 CUP/ m^3 para el volumen planificado y de 0,60 CUP/ m^3 para la que se consume por encima del plan.

Tabla 3.5 Balance de entrada de agua. Fuente: Elaboración Propia

Entrada de agua	Costo por Tonelada	Índice Consumo Plan	Índice Consumo Real
103 500 m^3	23,59 CUP	7,2 m^3/t	52,43 m^3/t

El consumo de agua en la planta de glucosa durante el año 2010 representa el 49,8% del consumo total de la empresa. Se puede apreciar además que el índice de consumo real de la misma se encuentra muy por encima del planificado, el desglose estimado de los diferentes destinos de la misma, dentro del proceso objeto de estudio se reflejan en la tabla 3.6 teniendo en cuenta las operaciones efectuadas por cada etapa tomada de los libros de incidencias de la planta.

Tabla 3.6 Balance de salida de agua. Fuente: Elaboración Propia

Salidas	Cantidad (m^3)	Costo (CUP)	Índice por tonelada de glucosa
Residual industrial	73 264,55	26 685.76	37,11m^3/t
Pérdida en torre de enfriamiento	29 300	14 522	14,84 m^3/t
Preparación de materias primas	935,45	280,64	0,47 m^3/t

Como se aprecia, en las condiciones actuales de trabajo se pierde el 99,1 % del agua que entra a la planta de glucosa, debido a la presencia de salideros, al deterioro de la torre de agua de enfriamiento, así como a la operación de equipos tecnológicos unido a causas subjetivas como son: desbordamiento de la piscina de agua de enfriamiento y de los digestores utilizados como cisternas, derrame de agua de sellos de las bombas al vacío, al derroche de agua durante operaciones de limpieza, entre otras causas evidenciadas durante la exploración en planta, por lo que existen grandes potencialidades de ahorro de este importante recurso.

3.2.4.1.3 Balance del consumo de energía eléctrica

El consumo de energía eléctrica de la empresa se tiene de forma global al existir un solo metro contador que registra el consumo para todas las áreas. Durante el año estudiado el comportamiento del consumo de energía eléctrica se comporta de forma proporcional con la producción, a través de los diferentes meses, como podemos apreciar en las figuras 3.7 y 3.8.

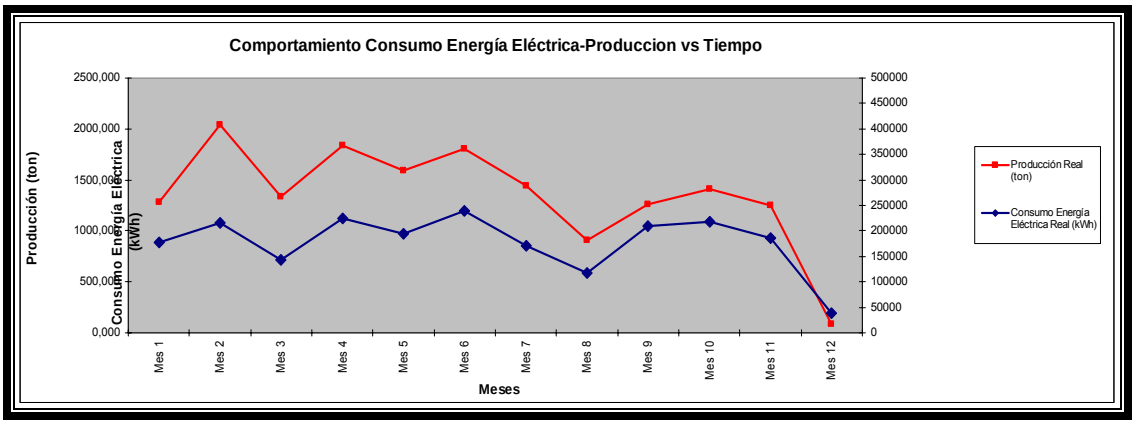


Figura 3.7 Comportamiento del consumo de energía eléctrica y la producción Fuente: Elaboración propia.

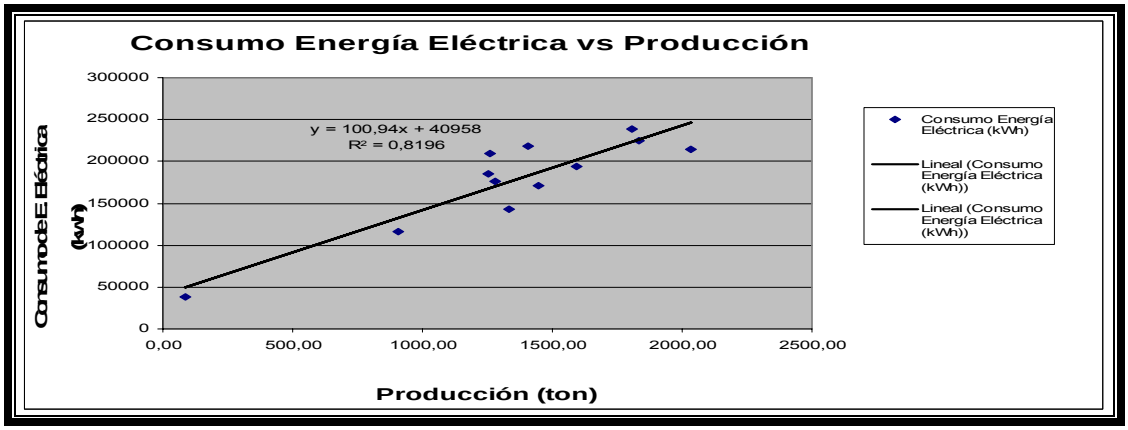


Figura 3.8 Diagrama de consumo de energía eléctrica contra producción Fuente: Elaboración propia.

En los diagramas anteriores se puede apreciar que existe una tendencia a la correlación lineal entre el consumo de electricidad expresado en kWh y la producción mensual por tonelada de producto final, lo que permite corroborar la utilización del índice de consumo establecido como un indicador de eficiencia energética en la empresa objeto de estudio para el uso de la electricidad.

En la figura 3.9 se muestran los valores de consumo de energía eléctrica para las principales unidades de proceso en la planta de sirope de glucosa, lo cual permite definir las áreas mayores consumidoras durante el 2010 que se corresponden con la etapa de refinación del hidrolizado, el bombeo del agua de enfriamiento y la sección de conversión.

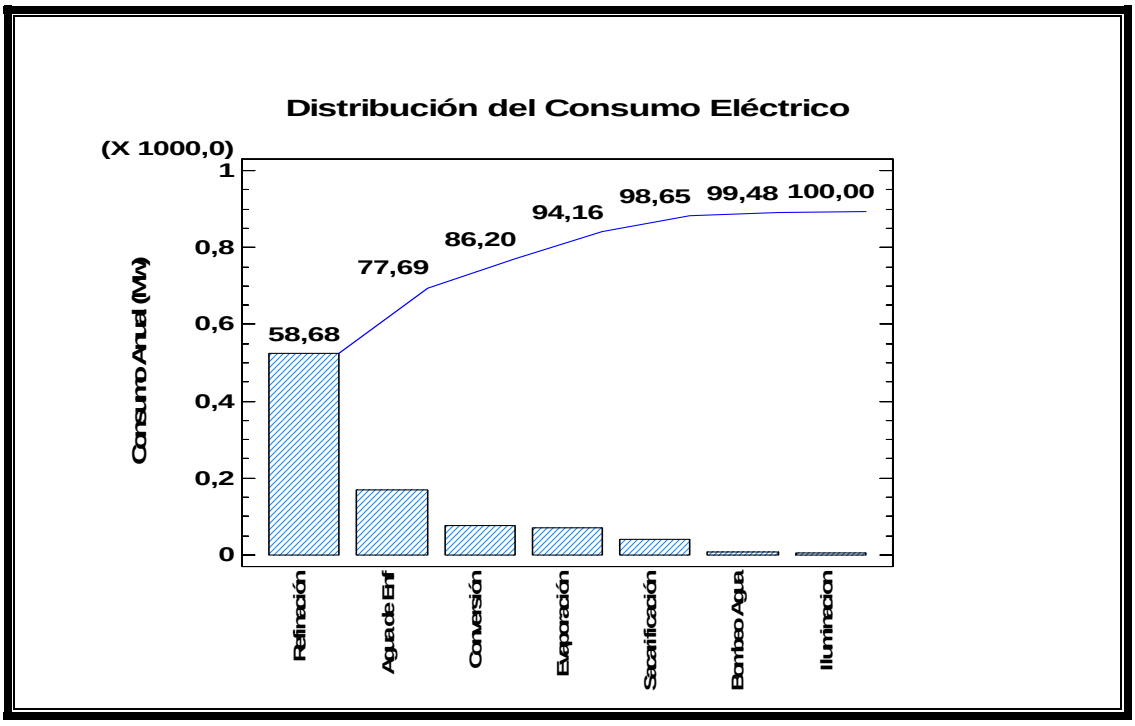


Figura 3.9 Mapa de consumo de energía eléctrica. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el consumo de energía eléctrica anual estimado del proceso objeto de estudio mostrado en la tabla 3.7 se utilizaron datos del consumo de electricidad por equipos obtenidos durante el reconocimiento de la planta, se tuvo en cuenta los tiempos trabajados por cada una de las secciones que comprenden dicho proceso obtenidos en los libros de reportes de incidencias de la planta, los cálculos se muestran en el **Anexo O**. El costo asociado se calcula según el precio promedio actual de la energía eléctrica que es de 0.25 $/kWh.

Tabla 3.7 Balance e indicadores para el consumo de energía eléctrica. Fuente: Elaboración Propia.

Consumo anual	Costo por Tonelada	Índice Consumo Plan	Índice Consumo Real
894, 72 mW	91,0 CUP	0,149 mW/t	0,341 mW/t

El consumo de energía eléctrica en la planta de glucosa durante el año 2010 representa el 41,98% del consumo total de la empresa. Se puede apreciar que el índice de consumo de

energía eléctrica se encuentra por encima del planificado debido a que en la etapa de refinación que es la de mayor consumo trabajó un número mayor de horas que las necesarias para refinar el hidrolizado debido a problemas mecánicos en el filtro rotatorio que provocaron que el mismo mantuviera una velocidad fija que dificultaba y alargaba tanto el proceso de filtrado como de preparación de la capa, este aspecto se encuentra solucionado pues se instaló un variador de frecuencia en el mismo para regular su consumo de acuerdo a la carga de producto.

3.2.4.1.4 Balance del consumo de fuel oil

El fuel oil se utiliza para la generación del vapor consumido en el proceso, el mismo es suministrado a la empresa con las especificaciones de calidad promedio que aparecen en el **Anexo N**, los datos de consumo del mismo se encuentra registrado por las mediciones efectuadas en los tanques de combustibles de alimentar a las calderas de forma global para toda la fábrica. Como podemos apreciar en la figura 3.10 durante el año 2010 el comportamiento del consumo de fuel oil en la empresa se comporta de forma proporcional con las toneladas producidas para los diferentes meses.

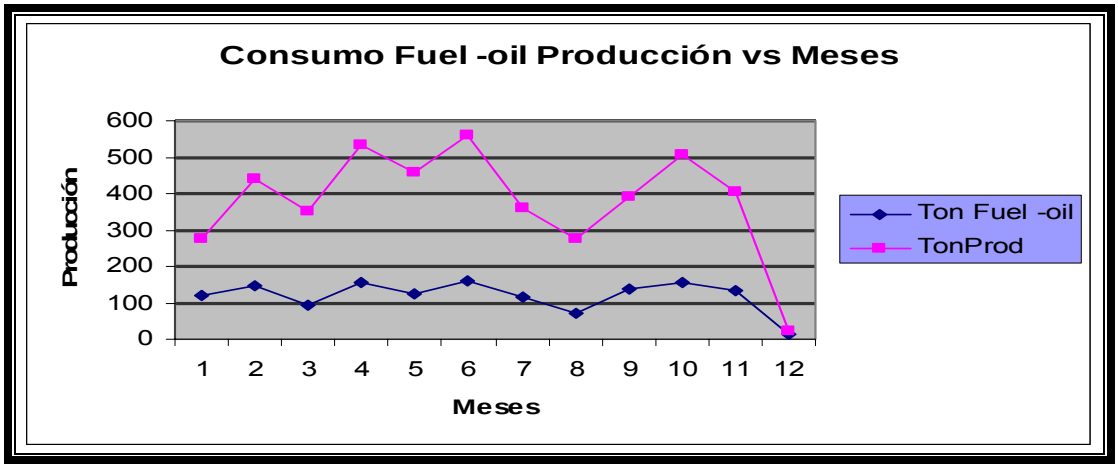


Figura 3.10 Comportamiento del consumo de fuel oil y la producción. Fuente: Elaboración propia.

Mediante el diagrama de dispersión que se aprecia en la figura 3.11 se puede corroborar la adecuada correspondencia entre el consumo de toneladas de fuel oil y la producción en toneladas mensuales para el período analizado, que permite corroborar la utilización del índice de consumo de combustible por toneladas producidas como un indicador de eficiencia energética en la empresa para el uso del fuel oil.

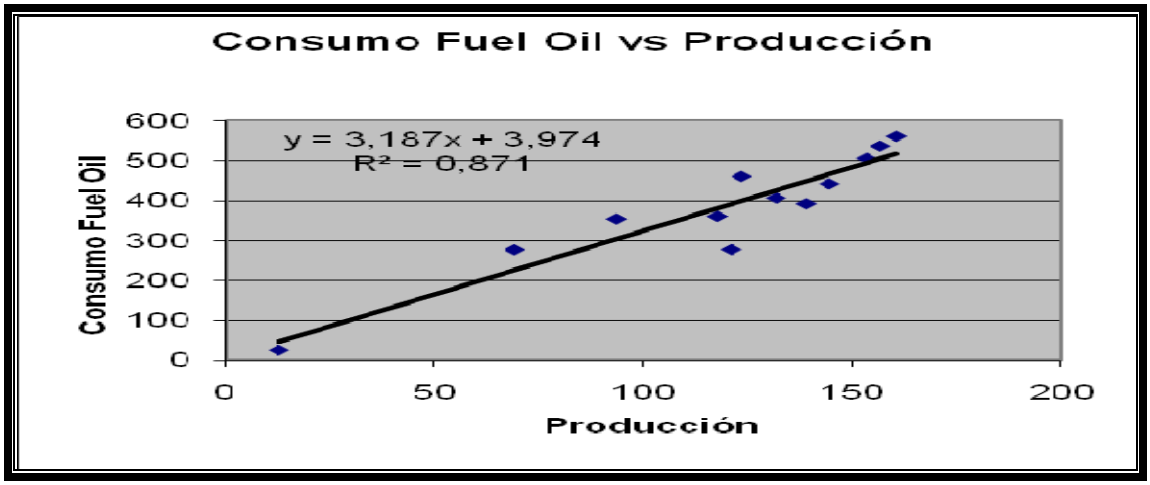


Figura 3.11 Diagrama de consumo de fuel oil contra producción. Fuente: Elaboración propia.

Las principales etapas donde se consume vapor en el proceso estudiado se representan en la figura 3.12 donde se observa que los equipos mayores consumidores de vapor en el proceso y por tanto de fuel oil son: el evaporador y el convertidor.

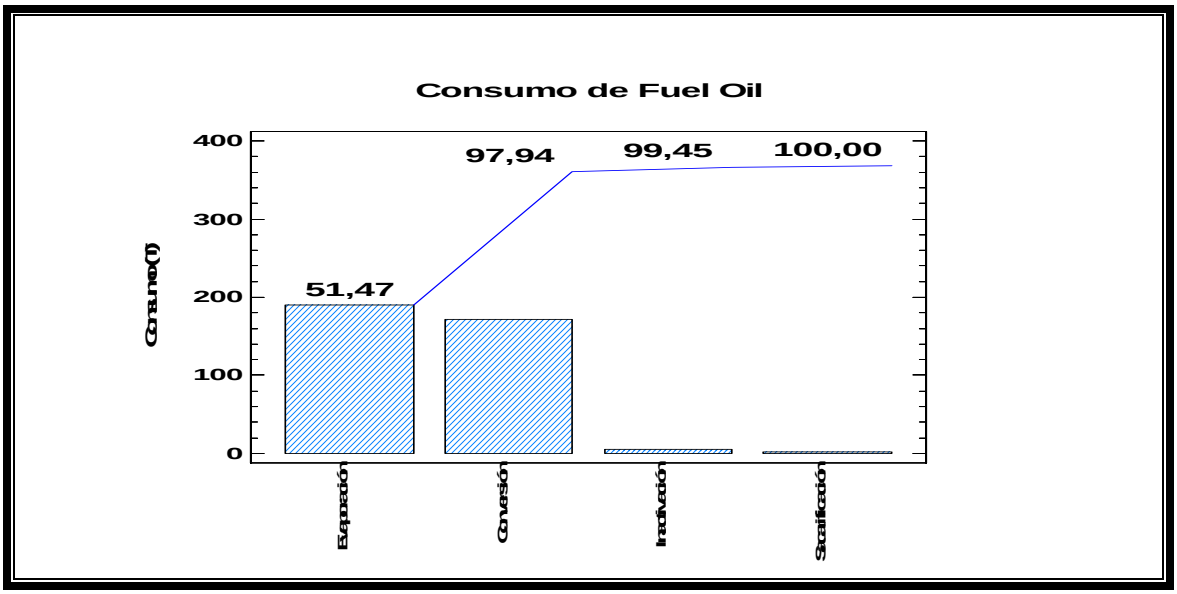


Figura 3.12 Mapa de consumo de vapor. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el consumo de fuel oil anual estimado del proceso objeto de estudio durante el 2010 mostrado en la tabla 3.8 se utilizaron datos del consumo de vapor por equipos obtenidos del balance de energía efectuado, además se tuvo en cuenta el tiempo trabajado por cada una de las secciones que comprenden dicho proceso tomados de los libros de reportes de incidencias de la planta y fueron corroborados por mediciones del consumo de fuel oil durante las diversas operaciones de la planta arrojando un consumo promedio de 2 360 litros diarios

(2.30T). El costo asociado se calcula según el precio promedio del fuel oil durante el año de 565.55 $/T. Los cálculos y mediciones anteriores se muestran en los **Anexos O y P**.

Tabla 3.8 Balance e indicadores para el consumo de fuel oil. Fuente: Elaboración Propia

Consumo anual	Costo por Tonelada	Índice Consumo Plan	Índice Consumo Real
399,1t	131,97 CUP	0,328 t/t	0,202 t/t

El consumo de fuel oil en el proceso de glucosa durante el año 2010 representa el 28 % del consumo total de la empresa. Como se aprecia, el índice de consumo se encuentra por debajo del establecido debido a que es un índice único para todas las producciones y la mayor cantidad de glucosa producida fue por vía enzimática que es la que requiere un consumo menor de vapor, no obstante en la planta estudiada existen potencialidades para el ahorro de energía ya que se aprecia durante el reconocimiento en planta que existen salideros y dificultades en el aislamiento térmico en las tuberías conductoras de vapor, así como luces encendidas en horario diurno.

Los cálculos de las pérdidas de vapor estimados se muestran en el **Anexo Q,** los cuales fueron realizados según el Manual del Buró Energético del Ministerio de la Industria Alimentaria, del año 1995 y en la tabla 3.9 se resumen las pérdidas anuales por este concepto para el proceso estudiado y referidas además por tonelada de glucosa producida.

Tabla 3.9 Balance de las pérdidas de fuel oil anuales. Fuente: Elaboración propia.

Pérdidas anual de fuel- oil	Costo de la pérdida anual	Fuel oil perdido por tonelada de glucosa	Costo de la pérdida por tonelada
46,48 t	30 516,44 CUP	24,09 l/t	15,66 CUP

Como se observa las pérdidas de vapor representan el 10,9 % del consumo anual del objeto de estudio por lo que existen potencialidades para disminuir los consumos de fuel oil y los costos en el proceso estudiado en 30 516,44 CUP.

Se debe señalar además que en este proceso no se retornan a la sala de calderas los condensados producidos en el triple efecto de la etapa de evaporación, porque al utilizarse los vahos generados en los efectos como medio de calentamiento del efecto siguiente, estos

contienen ligeros arrastres de azúcares, pasando los mismos a forman parte de los residuales líquidos.

3.2.4.1.5 Balance del producto final

Los siropes de glucosa obtenidos por hidrólisis ácida y enzimática del almidón refinado de maíz constituyen la salida fundamental del proceso, los cuales deben cumplir las especificaciones de calidad resumidas en el **Anexo R** según las normas (NEIAL 2306:02, 2009; NEIAL 2306:22, 2003) respectivamente para cada tipo de sirope.

Con el objetivo de analizar el comportamiento de algunos indicadores de calidad durante el periodo analizado, se muestran en los gráficos 3.13 y 3.14 el comportamiento de la conductividad y el por ciento de proteínas en el sirope respectivamente.

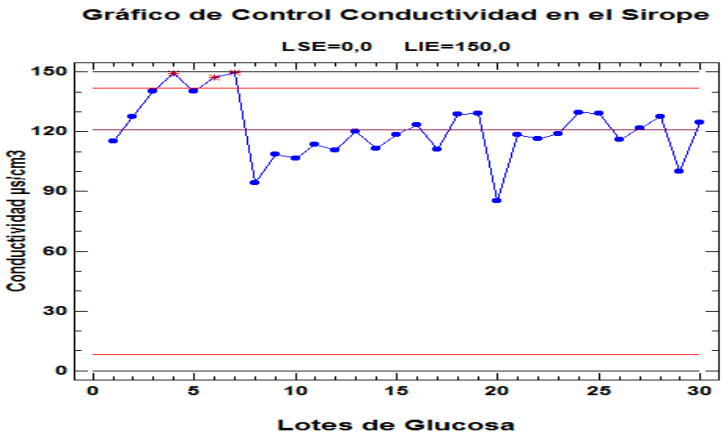


Figura 3.13 Diagrama de control de la conductividad en el sirope de glucosa. Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura anterior, la conductividad en el sirope producido por hidrólisis enzimática, se encuentra fuera de parámetros óptimos en algunos lotes, debido a que los lazos de control en el proceso se encuentran deteriorados y se dosifican los productos de forma manual, lo cual incide en el contenido de iones en el sirope y por ende en la calidad del mismo.

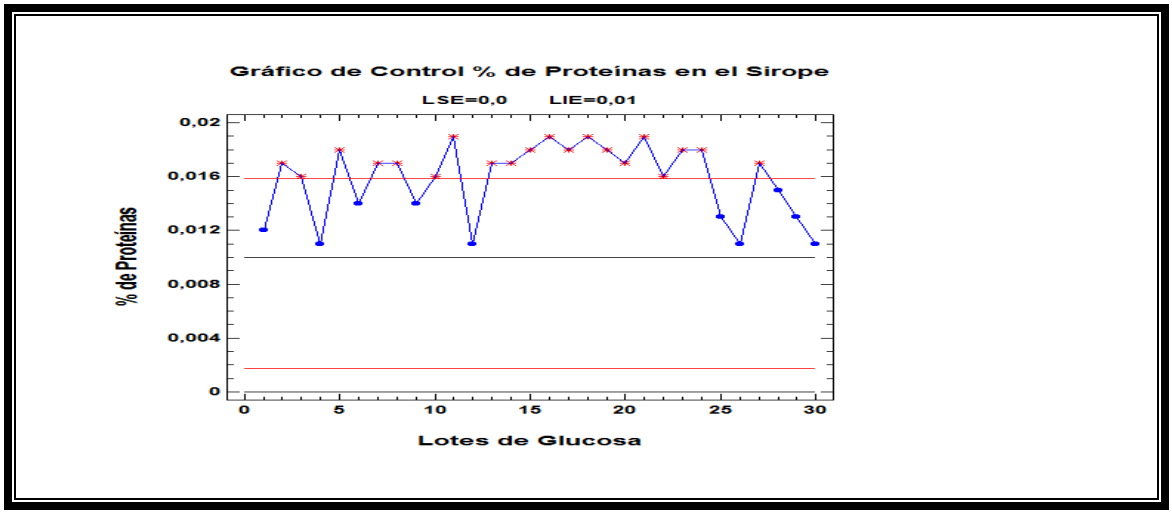


Figura 3.14 Diagrama de control del por ciento de proteínas en el sirope de glucosa. Fuente: Elaboración propia.

El por ciento de proteínas fuera de parámetros (menor de 0,01mg/ml) para clase A se debe a encontrarse fuera de servicio la separadora de proteínas, lo cual provoca además un mayor consumo de tierra de infusorio. Se debe señalar además que un elevado contenido de proteínas en el producto final afecta el trabajo del catalizador en la planta productora de sorbitol, de la cual el sirope de glucosa por hidrólisis enzimática constituye la materia prima fundamental.

Los resultados productivos para este producto tomado de los informes de producción durante el 2010 se resumen en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Indicadores para la producción de sirope de glucosa. Fuente: Elaboración propia.

Producto	Cantidad (t)	Precio (CUP)	Producción Mercantil (MCUP)
Glucosa enzimática Clase ¨A¨	643,31	578,85	372,38
Glucosa enzimática Clase ¨B¨	483,23	549,91	265,73
Glucosa ácida	847,33	626,95	531,23
Total	**1 973,87**	**-**	**1 169,34**

Como se puede apreciar durante el año 2010 la producción de siropes de glucosa representó el 56,4 % de las producciones fundamentales efectuadas. De ellas el 57,1% fue de glucosa enzimática y el 42,9% de la ácida. Para el caso de la glucosa enzimática se obtuvieron 33 lotes con calidad clase ¨A¨ y 30 lotes clase ¨B¨, por lo que debido a diferencias en el precio por clases

de calidad la empresa tuvo una afectación económica de 13 984,68 CUP. En el caso del sirope de glucosa ácida no ocurrieron afectaciones por concepto de calidad.

3.2.4.1.6 Balance de los residuales líquidos generados

Los residuales líquidos generados en el proceso no se caracterizan con la frecuencia requerida porque no se dispone de los equipos y reactivos necesarios para ello, solo se realiza diariamente análisis de pH a la aguas residuales a la entrada y salida de la planta de tratamiento. El comportamiento de estas variables para un trimestre de trabajo se muestra en las figura 3.15 y 3.16 y los datos correspondientes se muestran en el **Anexo S**.

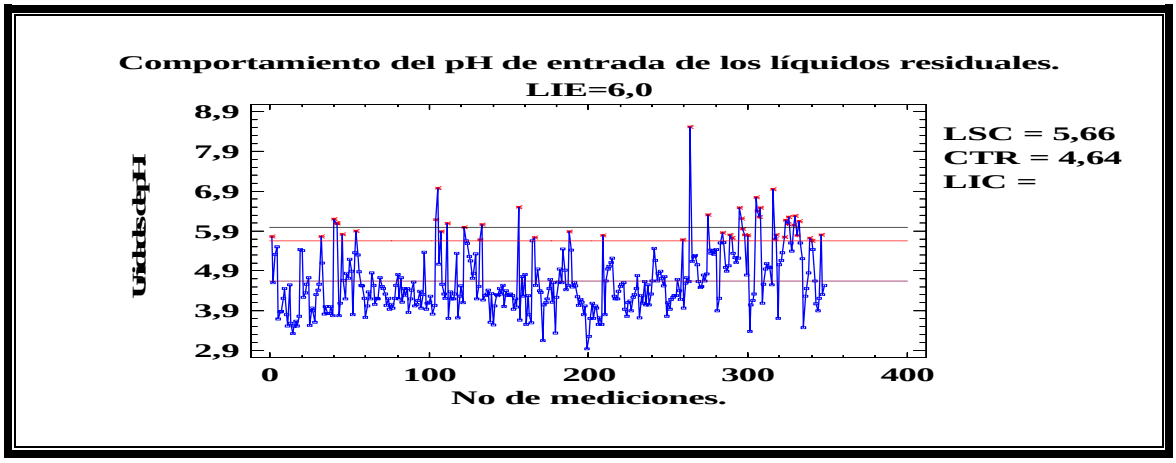


Figura 3.15 Diagrama de control del pH de entrada a la planta de tratamiento. Fuente: Elaboración propia

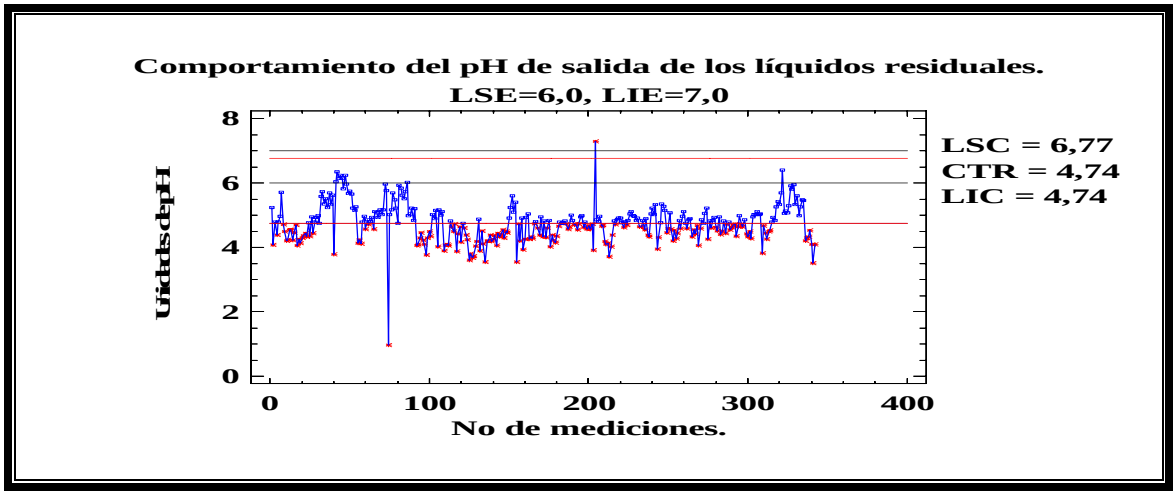


Figura 3.16 Diagrama de control del pH a la salida de la planta de tratamiento. Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en los gráficos anteriores que las aguas residuales presentan valores muy bajos de pH a la entrada de la planta y al ser tratadas de forma ineficiente continúan a la salida de la misma por debajo del valor establecido en la norma de vertimiento, ya que solo el 0,29 % de los valores se encuentran por encima de pH 7 por lo que los residuales líquidos vertidos son muy ácidos aumentando así los impactos ambientales negativos al medioambiente.

Para realizar la cuantificación estimada de los residuos líquidos generados en las diferentes etapas del proceso de la planta de glucosa mostrada en la tabla 3.11 se toma en cuenta el resultado de los balances de masa, el tiempo de operación de cada una de las unidades de proceso donde se generan los residuos mostrado en los libros de incidencia de la planta, el costo de los materiales perdidos, el costo de energía para bombeo del agua, así como el costo de la energía para calentarlos o enfriarlos y los costos vinculados al tratamiento. Estos cálculos se muestran en el **Anexo T**.

Tabla 3.11 Balance de salida de residuales líquidos. Fuente: Elaboración propia.

Efluentes líquidos	**UM**	**Cantidad**	**Costo (CUP)**	**m^3/t de glucosa**
Residuos generados en la operación del convertidor	m^3	3 451,5	1 159,32	1,75
Residuos generados en la operación del evaporador	m^3	3 640	1 212,52	1,84
Residuos provocados por salideros	m^3	259,2	89,6	0,13
Agua de transferencia de calor	m^3	2 789,2	3 545,35	1,41
Agua de condensado del evaporador	m^3	8 694,82	112 573	4,4
Residuos generados en preparación de la capa	m^3	2 745	948.81	1,4
Residuos generados en limpieza de la Planta	m^3	4 402,8	1 274,76	2,23
Pérdidas en piscina de enfriamiento	m^3	24 390	18 558,06	12,35
Otras causas*	m^3	31 586,85	10 116.54	16,0
Total	**m^3**	**81 959.37**	**156 113.84**	**41,52**

*En otras causas se engloban las malas prácticas industriales teniendo una gran incidencia el agua de sello de las bombas de vacío del filtro que en muchas ocasiones no se recirculan y se vierten al drenaje (aproximadamente 29 268 m^3), así como derroche de agua en operaciones de limpieza al dejar mangueras abiertas sin utilizarse, etc.

Se puede apreciar que en la planta estudiada se genera un volumen considerable de residuos líquidos, con un valor promedio de 455,33 m^3/ día que se corresponden con el 41,4 % del residual total diario generado en la fábrica de almidón y glucosa.

Para una mejor comprensión de la composición de los residuos líquidos generados en la planta de glucosa el balance reflejado en la tabla 3.11se muestra gráficamente en la figura 3.16

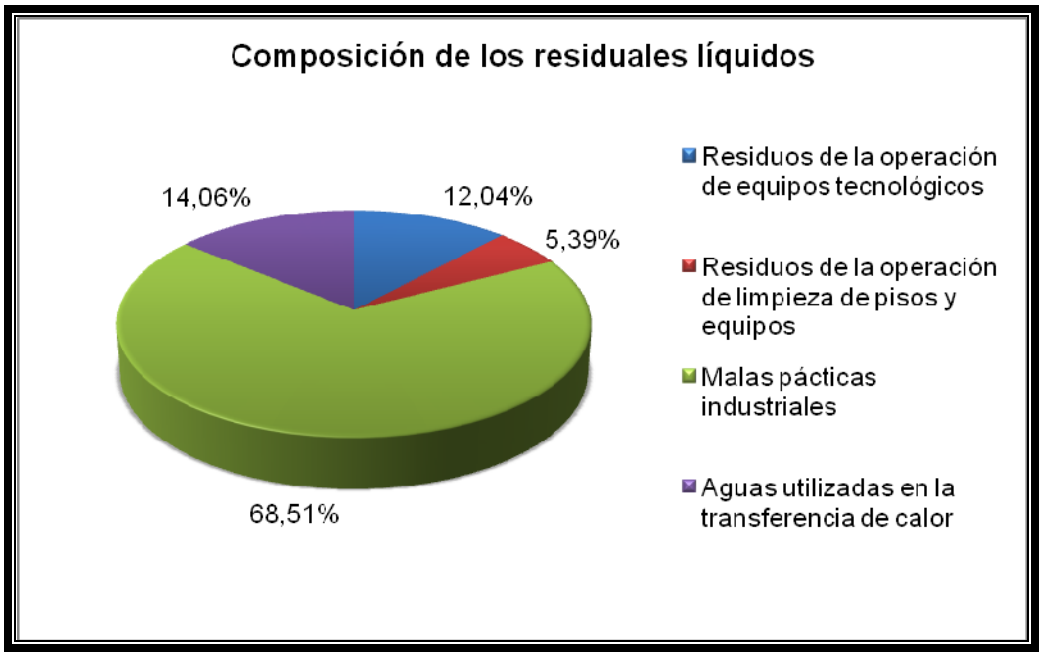


Figura 3.16 Composición de los residuales líquidos generados. Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que los residuos provocados por las malas prácticas industriales constituyen el 68,51% de los residuales líquidos producidos en este proceso, seguido del 14.06% que representan las aguas utilizadas en la transferencia de calor, las que con buena calidad no tienen concebida su reutilización, por lo que existen grandes potencialidades de disminuir los mismos si se aplican soluciones de P+L.

3.2.4.1.7 Balance de los residuos sólidos generados

Los residuos sólidos generados en la planta de producción de sirope de glucosa son el resultante del proceso de decoloración y filtración del hidrolizado, el cual se actualmente se bota sin preverle una reutilización. Se analizaron varias muestras en el laboratorio arrojando la caracterización promedio que se refiere en el **Anexo U**. El otro residuo que se genera son los sacos de papel que contienen las materias primas el cual actualmente se bota conjuntamente con la basura.

En la tabla 3.12 se muestra la cuantificación total de los residuos sólidos generados en el proceso objeto de estudio durante el año 2010, cuyos cálculos se muestran en el **Anexo T**, para lo cual se tiene en cuenta los resultados del balance de masa efectuado, así como el pesado del residuo de la filtración.

Para determinar el costo de los sacos de papel se considera el precio al cual compra la Empresa Recuperadora de Materias Primas la tonelada de papel limpio, que es de $15.0, según la Resolución V-155/99 del Ministerio de Finanzas y Precios, donde se autoriza a dicha empresa a fijar los precios de las materias primas, según el precio de las mismas en el mercado internacional.

Se determina el precio para vender la torta residual del filtrado como alimento animal (58,02 CUP por tonelada), el cual fue calculado según lo establecido por la Resolución No. 21 del 11 de Agosto de 1999 que en su epígrafe III establece los Métodos Generales para la Formación y Aprobación de Precios por el método de Correlación. (**Anexo U**).

Tabla 3.12 Balance de los residuos sólidos. Fuente: Elaboración propia.

Residuos sólidos	UM	Cantidad anual	Valor anual (CUP)	Cantidad por tonelada de glucosa
Residuo de la filtración	t	66,91	3 882,12	33,9 kg /t
Sacos de Papel	t	0,546	8,19	0,28 kg /t
Total	t	67,46	3 890,31	34,18 kg /t

El balance anterior se muestra gráficamente en la figura 3.17 donde se puede ver como los residuos producidos en la operación de decoloración y filtración del hidrolizado representan el 99% de los residuos sólidos generados en el objeto de estudio.

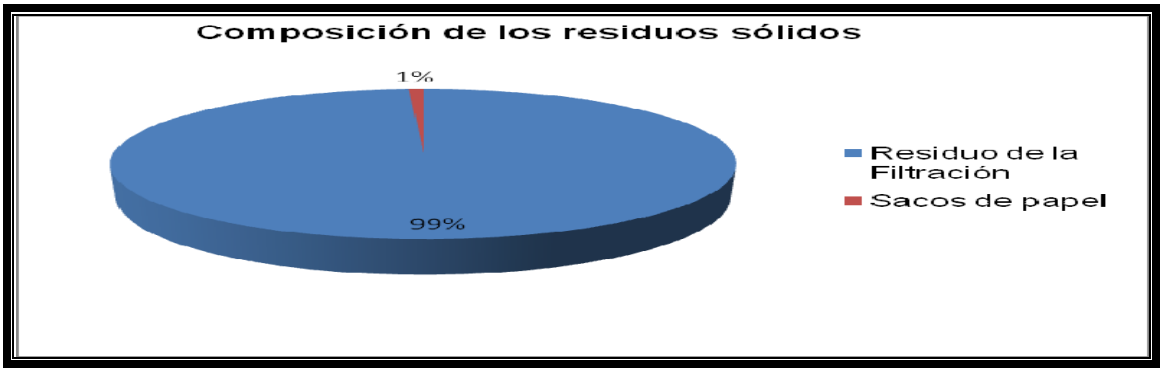


Figura 3.17 Composición de los residuos sólidos. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.2 Confección de los diagramas cuantitativos de entradas y salidas

En los **Anexos V y W** se muestra gráficamente la caracterización cuantitativa de todas las entradas y salidas por unidad de proceso del objeto de estudio, calculadas mediante el balance de materiales y energía para los dos tipos de procesos efectuados en la planta objeto de estudio.

3.2.4.3 Priorización de opciones

Luego de caracterizar el proceso se muestra en la tabla 3.13 un resumen de los consumos y costos asociados de las materias primas y materiales utilizados, así como de los desperdicios generados en el proceso objeto de estudio durante el año 2010, el cual permite definir desde el punto de vista económico y ambiental los aspectos que más impactan en el mismo e identificar las principales oportunidades de lograr el mejoramiento en el proceso estudiado.

Tabla 3.13 Tabla de Jerarquización de Opciones. Fuente: Elaboración propia.

Elementos	Cantidad anual	Costo anual (MCUP)	Índice por Tonelada	Jerarquía Económica	Jerarquía ambiental
Materias primas (t)	1 910,77	2 509,58	0,960 t/t	1	3
Agua (m^3)	103 500	46,58	52,43 m^3/t	5	1
Energía eléctrica (mW)	894, 72	223,68	0,341mWh/t	3	5
Fuel oil (t)	399,1	262,03	0,202 t/t	2	4
Residuos líquidos (m^3)	81 959,37	156,11	40,68 m^3/t	4	2
Residuos sólidos (t)	67,46	3,90	0,34 t/t	6	6

Se aprecia que los principales problemas ambientales jerarquizados por los expertos del equipo de P+L y que han sido corroborados con los balances de materiales y energía de las entradas y salidas efectuados son:

1. Elevado consumo de agua en el proceso por encima del índice de consumo planificado.
2. Generación de grandes volúmenes de residuales líquidos que provocan contaminación de las aguas de la bahía al ser tratados ineficientemente.
3. Alto consumo de materias primas por deficiencias del proceso.
4. Pérdida de fuel oil por salideros y aislamiento térmico.
5. Elevado consumo de energía eléctrica.
6. Generación de residuos sólidos.

3.2.4.4 Generar opciones de P+L

Una vez definidos las causas de los problemas ambientales fundamentales, mediante la técnica de "tormentas de ideas" se generan las oportunidades de mejoras posibles a aplicar en el proceso objeto de estudio. Las cuales son categorizadas en dos clases:

3.2.4.4.1 Opciones de P+L de aplicación inmediata

A. Elevar la gestión y práctica del personal

1. Garantizar una adecuada capacitación de los operarios en sus puestos de trabajo, así como disponer en los mismos de los manuales de procedimientos de operación.
2. Establecer un programa de seminarios de capacitación para operarios, especialistas y directivos en materia de Producción Más Limpia.
3. Establecer un adecuado sistema de mantenimiento preventivo industrial.
4. Establecer un sistema de gestión de la calidad para la producción de sirope de glucosa.

B. Buenas prácticas operativas para el uso eficiente del agua, la energía y las materias primas

1. Instalar medidores de consumo para el agua, la energía eléctrica y el vapor por planta de trabajo.
2. Control y registro de los consumos por procesos, en planta y demás áreas
3. Eliminar fugas por salideros de vapor, agua y producto.
4. Mantener en el área de trabajo únicamente las materias primas necesarias para garantizar la producción diaria.
5. Mantener una estrecha comunicación de los jefes de turno con el operador de calderas para operarlas en función de la demanda de vapor en la planta.

6. Reparar los servicios sanitarios con problemas en los herrajes.
7. Reparar los pisos para evitar acumulación de productos y disminuir el consumo de agua.
8. Realizar estudios de iluminación para determinar la cantidad de tejas traslúcidas a colocar en paredes y techos de la planta con el fin de aprovechar la iluminación natural.
9. Acumular lechada de almidón en un tanque de sacarificación antes de arrancar a convertir para evitar las excesivas operaciones de arrancadas y paradas en la etapa de conversión.
10. Recircular el producto al tanque E1110 mientras tenga una concentración adecuada (aproximadamente 15 minutos) cuando se realiza la operación de parada del evaporador.
11. Mantener un adecuado control operacional del agua de sello utilizada en las bombas de vacío del filtro en la sección de refinación del hidrolizado para reincorporarla a la piscina de enfriamiento.
12. Mantener un adecuado control operacional para que no rebose el agua de la piscina de enfriamiento y regular adecuadamente el flotante de la misma.
13. Definir índices de consumo actualizados para el agua, la energía eléctrica y el fuel oil por tonelada de cada tipo de sirope de glucosa.
14. Rehabilitar el tanque R 1630 para la recuperación de la capa.

3.2.4.4.2 Opciones que requieren un análisis más extenso

A estas opciones se le realiza un análisis técnico y económico más profundo, debido a que requieren niveles de inversión, cambios en el proceso y en algunos casos capacitación y preparación adicional a los trabajadores y técnicos.

C. Cambios tecnológicos

1. Recuperar el aislamiento térmico en las tuberías de vapor.
2. Recuperar el sistema de arrancada del convertidor.
3. Ejecutar proyecto de automatización de la planta de producción de sirope de glucosa.
4. Reparar la torre de agua de enfriamiento
5. Colocar válvulas de accionamiento automático en las mangueras utilizadas para la limpieza.
6. Rehabilitar la separadora de grasas y proteínas.
7. Poner en línea el intercambiador enfriador del hidrolizado C7600A.

D. Recuperación de subproductos y recursos útiles

1. Desarrollar un plan de venta al sector agropecuario del residuo sólido producido en la etapa de decoloración y filtración para su utilización como alimento animal.

2. Cumplir el contrato con la Empresa Recuperadora de Materias Primas para vender los sacos de papel vacíos generados en el proceso.

E. Reuso en el sitio

1. Poner en funcionamiento un sistema diseñado para la recuperación de los condensados generados en la etapa de evaporación y el agua de reboso del calentador de los tanques de sacarificación, para utilizar luego en operaciones de limpieza de la planta, cuyo croquis se muestra en el **Anexo X**.

3.3 Análisis de factibilidad

3.3.1 Evaluación técnica, económica y ambiental de las opciones de P+L

En la tabla 3.14 se resume la evaluación de las opciones de mejoras que requieren un análisis más extenso teniendo en cuenta los aspectos técnicos, económicos, y ambientales en los cuales inciden para decidir la factibilidad de su ejecución. Se determina además el período de recuperación de la inversión (PRI) o se calcula el VAN y el TIR de las inversiones según se requiera. Los cálculos efectuados para este estudio se muestran en el **Anexo Y**.

Tabla 3.14 Evaluación técnica, económica y ambiental de opciones de P+L. Fuente: Elaboración propia.

Opciones de P+L	Aspecto técnico	Aspecto económico			Aspecto Ambiental
		Beneficios económicos (CUP/año)	Inversión (CUP)	PRI	
Reparar y recuperar aislamiento en las tuberías de vapor.	Reparar y aislar térmicamente 200 m de tuberías de vapor, para lo cual se contrata brigada especializada.	30 516,44	5 044	2 meses	Reduce consumo de fuel oil en 46,48 toneladas anuales.
Recuperar el sistema de arrancada del convertidor.	Reparar válvula de recirculación de agua y válvula flotante del tanque de arrancada del convertidor. Están disponibles los recursos para ello.	518,47	53,95	1 mes	Reduce el consumo de agua en 1 500 m^3 anuales. Reduce el consumo de electricidad en 273,9 kW al año. Disminuye el volumen de los residuales líquidos.
Automatización del proceso productivo de sirope de glucosa.	-Se activan los lazos de control del proceso. -Mejora la calidad del producto final.	199 45,37	216 964,05	18 meses	Reducir el consumo de materias primas en 9,72t y de 2167,5 litros de ácido clorhídrico anuales.
Reparación de la torre de agua de enfriamiento.	Fundir y colocar las tablillas faltantes a la torre de enfriamiento para evitar pérdidas de agua.	10 128,75	2 540,48	3 meses	Reduce el consumo de agua en 29 300 m^3 anuales. Reduce el consumo de electricidad en 5 355 kW al

					año.
Eliminar malas prácticas para evitar que se bote el agua de sello de las bombas de vacío y la piscina de enfriamiento.	Exigir el adecuado control operacional para evitar derrames.	10 116,54	-	Inmediato	Reduce el consumo de agua en 53 658 m^3 anuales Reduce el consumo de electricidad en 9 798.4 kW al año. Disminuye volumen de los residuales líquidos.
Colocar válvulas de accionamiento automático en las mangueras utilizadas para la limpieza	Comprar tres válvulas con gatillos de cierre rápido.	1 286,8	78,15	1 mes	Reduce el consumo de agua en 3722,85 m^3 anuales Reduce el consumo de electricidad en 4 79,8 kW al año. Disminuye volumen de los residuales líquidos.
Utilizar el residuo de la filtración como alimento animal.	Se valoriza un residuo	3 882,12	-	Inmediata	Se eliminan 66,91t de residuos anuales.
Recuperar los sacos de papel y vender a la Empresa de Materias Primas	Se recicla el papel	8,19	-	Inmediata	Se eliminan 0,546 t de residuos anuales. Se recuperan 0,546 t de materia prima.
Recuperación del condensado generado y el agua de reboso del calentador de sacarificación, para utilizar como agua en el	Conformar el sistema de recolección y distribución de agua propuesto, para lo cual se cuenta con la mayoría de los materiales en la fábrica.	3 034,94	2 371,07	10 meses	Se reduce el consumo de agua en 8780,32 m^3 anuales. Reduce el consumo de electricidad en 1603,30 kW

proceso.					al año. Disminuye el volumen de los residuales líquidos.
Reparar la separadora de grasas y proteínas.	Comprar piezas en la firma Alfa Laval.	179 010	180 000	15 meses	Se reduce el consumo de tierra de infusorio en alrededor de 4,5t anuales.
Rehabilitar el enfriador C7600A.	Comprar juego de juntas de goma.	718,5	221,75	4 meses	Se reduce el consumo de agua en 2 080 m^3 anuales. Reduce el consumo de electricidad en 378 kW al año. Disminuye volumen de los residuales líquidos.

Se puede apreciar en el análisis anterior que todas las opciones propuestas son factibles de aplicar para lograr la mejora del proceso productivo, disminuir los consumos de materias primas y materiales y los costos de producción ya que tienen pequeños tiempos de retorno y una adecuada factibilidad técnica y ambiental.

3.4 Implementación

3.4.1 Plan de mejora de Producción más Limpia

Acciones	Responsable	Fecha
1. Garantizar la capacitación de los operarios en sus puestos de trabajo.	Jefe de Recursos Humanos	Inmediato
2. Desarrollar programa de capacitación para operarios, especialistas y directivos en materia de P+L.	Jefe de Recursos Humanos	Inmediato
3. Establecer un sistema de mantenimiento preventivo industrial.	Jefe de Mantenimiento.	Inmediato
4. Establecer un sistema de gestión de la calidad en la planta de glucosa.	Especialista de Calidad	30-12- 2014
5. Instalar medidores de consumo para el agua, la energía eléctrica y el vapor por planta de trabajo.	Especialista Energético	30-12-2012
6. Mantener el control y registro de los consumos por procesos en la planta de sirope de glucosa.	Especialista Energético	Inmediato
7. Eliminar fugas por salideros de vapor, agua y producto.	Jefe de Mantenimiento	Inmediato
8. Mantener en el área de trabajo solo las materias primas necesarias para garantizar la producción diaria.	Jefe de Producción	Inmediato
9. Mantener comunicación de los jefes de turno con el operador de calderas para operarlas en función de la demanda de vapor en la planta.	Jefes de Turno	Inmediato
10. Reparar los servicios sanitarios con problemas en los herrajes.	Jefe de Mantenimiento	Inmediato
11. Reparar los pisos para evitar acumulación de productos y disminuir el consumo de agua.	Jefe de Mantenimiento	30-10-2012
12. Realizar estudios de iluminación para determinar la cantidad de tejas traslúcidas a colocar en paredes y techos de la planta con el fin de aprovechar la iluminación natural.	Especialista Energético	30-12-2012
13. Acumular lechada de almidón en un tanque de sacarificación antes de arrancar a convertir para evitar las excesivas operaciones de arrancadas y paradas en la etapa de conversión.	Jefe de Producción	Inmediato

14. Recircular el producto al tanque E1110 aproximadamente 15 minutos durante la operación de parada del evaporador	Jefe de Producción	Inmediato
15. Mantener un adecuado control operacional del agua de sello utilizada en las bombas de vacío del filtro en la sección de refinación.	Jefes de Turno	Inmediato
16. Mantener un adecuado control operacional para evitar que rebose el agua de la piscina de enfriamiento y regular adecuadamente el flotante de la misma.	Jefes de Turno	Inmediato
17. Recuperar el tanque R 1630 para recuperar la capa	Jefe de Mantenimiento	30-9-2012
18. Definir índices de consumo actualizados para el agua, la energía eléctrica y el fuel oil por tonelada de cada tipo de sirope de glucosa.	Especialista Energético	30-12-2012
19. Poner en funcionamiento la separadora de proteínas.	Jefe de Mantenimiento	30-3-2013
20. Recuperar el aislamiento térmico en las tuberías de vapor	Jefe de Mantenimiento	30-11-2012
21. Recuperar el sistema de arrancada con recirculación de agua del convertidor.	Jefe de Mantenimiento	30-6-2012
22. Ejecutar proyecto de automatización de la planta de producción de sirope de glucosa.	Especialista de Inversiones	30-12-2013
23. Reparar la torre de agua de enfriamiento.	Jefe de Mantenimiento	30-10-2012
24. Colocar válvulas de cierre automático en las mangueras utilizadas para la limpieza de la planta.	Jefe de Producción	30-7-2012
25. Vender al sector agropecuario el residuo de la filtración para su utilización como alimento animal.	Jefe Ventas	Inmediato
26. Vender los sacos de papel generados en el proceso a la Empresa Recuperadora de Materias Primas.	Jefe Ventas	Inmediato
27. Montaje del sistema diseñado para la recuperación de condensados y el agua de reboso del calentador de los tanques de sacarificación.	Jefe de Mantenimiento	30- 8-2012
28. Rehabilitar intercambiador de placas C7600A.	Jefe de Mantenimiento	30-8-2012

Conclusiones Parciales

1. Se logra comprometer a la alta dirección de la empresa y a los trabajadores, se conforma el equipo auditor, se determinan los obstáculos y se proponen soluciones para el éxito de la aplicación de la Evaluación de P+L en el objeto de estudio.
2. Se realiza un balance de las materias primas del proceso estudiado y se determina que el consumo de varias de ellas se comporta por encima de lo planificado en el periodo analizado debido a diversas causas. Se puede señalar como las que tienen una mayor incidencia: la poca automatización del proceso tecnológico, la inestabilidad del proceso debido a roturas por falta de un mantenimiento adecuado por carecer de los recursos necesarios y a que se encuentra fuera de línea la separadora de grasas y proteínas por falta de piezas de repuesto.
3. Un análisis del consumo de agua del proceso evaluado evidenció que el mismo representa el 49,8% del consumo total de la empresa durante el período estudiado. De la cual se pierde el 99,1 % debido fundamentalmente a malas prácticas industriales, al deterioro de la torre de enfriamiento de agua, a las operaciones de equipos tecnológicos, entre otras causas. Las mismas en su mayoría pasan a formar parte de los residuales líquidos.
4. Se realiza un análisis del balance de energía eléctrica en el proceso y se concluye que el mismo representa el 41,98% del consumo total de la empresa para el 2010. El índice de consumo real se comporta por encima del establecido debido a que la etapa de refinación (la mayor consumidora) trabajó un número mayor de horas, que las necesarias para refinar el hidrolizado debido a problemas mecánicos en el filtro rotatorio, aspecto que se encuentra solucionado al instalar un variador de frecuencia en el mismo, el cual regula el consumo del motor de acuerdo a la carga de producto.
5. Se muestra que consumo de fuel oil de la planta estudiada representa el 28 % del consumo total de la empresa. El índice de consumo de este portador se encuentra por debajo del establecido debido a que la mayor cantidad de glucosa producida en el año fue por vía enzimática que es la que requiere un menor consumo de vapor.
6. En la planta estudiada existen potencialidades para el ahorro de energía ya que se aprecia durante el reconocimiento en planta que existen salideros y dificultades en el aislamiento térmico en las tuberías conductoras de vapor que representan el 10,9 % de consumo anual de este proceso, así como luces encendidas en horario diurno.

7. La cuantificación de los residuos generados mostró que se generan en este proceso alrededor de 81 959,37m^3 anuales de residuales líquidos lo que ofrece un valor promedio de 455,33 m^3/ día que se corresponden con el 41,4 % del residual total diario generado en la fábrica de almidón y glucosa. Los mismos se generan principalmente debido a malas prácticas industriales, a la operación de equipos, unido al agua de condensado y otras aguas utilizadas en la transferencia de calor que no tienen concebida su reutilización. Se producen además 67,46 toneladas de residuos sólidos de los cuales el 99% lo constituye el residuo de la etapa de filtración al vacío el cual tiene posibilidad de utilizarse como alimento animal.

8. Un análisis de priorización a partir del resultado de los balances efectuados, los mapas de consumo y corroborado mediante el criterio de los expertos del equipo de P+L jerarquizó seis elementos desde el punto de vista económico y ambiental, determinándose dar la mayor prioridad ambiental a disminuir los consumos de aguas, disminuir el volumen de residuales líquidos generados en el proceso y a evitar el sobreconsumo de las materias primas y portadores energéticos.

9. Se presentan 18 opciones de P+L como opciones de aplicación inmediata, siendo clasificadas 14 como de buenas prácticas operacionales y 4 encaminadas a elevar la gestión y práctica del personal.

10. Se presenta un análisis de factibilidad de las opciones propuestas más polémicas en cuanto a su factibilidad económica que incluyen 7 de cambios tecnológicos, 2 de recuperación de subproductos y recursos útiles y 1 de reutilización en el sitio, proponiéndose aplicar las 10 medidas analizadas por presentar una adecuada factibilidad técnica y ambiental, así como ser atractivas desde el punto de vista económico al tener cortos períodos de recuperación de la inversión.

11. Se evidencia con la implementación de las P+L en la planta estudiada un ahorro anual de 75,85 MCUP por concepto de ahorro de materias primas y portadores energéticos, por la valorización de residuos se incrementan los ingresos en 6,93 MCUP anuales y por el aumento de la calidad de las producciones 13,98 MCUP, además se disminuye la generación de residuos líquidos en 69 741 m^3 al año.

Conclusiones

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se demuestra mediante el estudio bibliográfico realizado las posibilidades de aplicar opciones de Producción Más Limpia en industrias alimentarias, similares a la fábrica objeto de estudio, obteniéndose beneficios económicos y ambientales.
2. Se propone y aplica una metodología para realizar la Evaluación de Producciones Más Limpias, basada en la propuesta por el PNUMA, en la planta productora de sirope de glucosa en la Empresa Glucosa Cienfuegos, la cual reúne los requisitos generales y específicos necesarios para su aplicación.
3. Un balance de los consumos de las materias primas, el agua, la energía, y el fuel oil en el proceso estudiado evidenció que se consumen en el período analizado:
   - ✓ 1 808,9 toneladas de lechada de almidón refino
   - ✓ 894,72 mW de energía eléctrica
   - ✓ 103 500 m^3 de agua potable
   - ✓ 399,1 toneladas de fuel oil.
4. Un balance de la generación de residuos en el proceso estudiado demostró que se generan en el período analizado:
   - ✓ 81 959,37 m^3 de residuos líquidos
   - ✓ 67,46 toneladas de residuos sólidos
5. Se identificaron durante la Evaluación de Producciones Más Limpias como los principales problemas ambientales a resolver los siguientes: el sobreconsumo de agua, la generación de un elevado volumen de residuales líquidos, así como el sobreconsumo de materias primas y portadores energéticos, coincidiendo con el criterio de los expertos del equipo auditor.
6. La Evaluación de Producciones Más Limpias efectuada en el proceso, apoyada por un estudio de la factibilidad técnica y económica, permite definir que al aplicar el plan de medidas propuesto las potencialidades estimadas de mejora en el objeto de estudio son:
   - ✓ Reducción del consumo de agua en un 95,69 %
   - ✓ Reducción del consumo de fuel oil en 11,65 %
   - ✓ Reducción del consumo de energía eléctrica en un 2%
   - ✓ Reducción del consumo de materias primas en un: 1%
   - ✓ Reducción del volumen de los residuales líquidos en un 85 %
   - ✓ Reducción de los residuos sólidos en un100%

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Proponer a la dirección de la empresa que ponga en práctica las medidas de P+L propuestas en el proceso estudiado para obtener los beneficios económicos y ambientales estimados.
2. Integrar este trabajo al resto de las investigaciones en esta materia realizadas en otras secciones de la fábrica de glucosa con el objetivo de tener un programa de P+L integral para toda la empresa.
3. Completar este trabajo realizando en investigaciones futuras un estudio integral de la eficiencia y eficacia de la planta de tratamiento de los residuales líquidos de la empresa, lo cual será el complemento de los planes de mejora propuestos, al permitir que los residuales líquidos que no se pueden evitar sean tratados eficientemente.
4. Socializar este trabajo a través de publicaciones y eventos científicos de manera que cumpla con los objetivos académicos e investigativos de esta maestría.

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

Acosta Izquierdo, E.; Martin Santin, J.; Perdomo Romero, L., (2002). Prácticas de Producción Más Limpia. Compilación de información. Villa Clara, Cuba.

Agencia de Medio Ambiente (CIGEA). (1998). Metodología para la evaluación aproximada de la carga contaminante.

Alfa-Laval, (1980). Expediente técnico de la Empresa Glucosa Cienfuegos.

Almandoz, C. et al., (2010). Corn syrup clarification by microfiltration with ceramic membranes. *Journal of Membrane Science*, 363(1-2), págs.87-95.

Álvarez Baldoquín, D., & Arias González, M. (2009). La producción más limpia: una herramienta indispensable. *Revista Granma Ciencia*, *Vol. 13, No3*. Septiembre- Diciembre. ISSN 1027-975X

Arias Lafargue, T. & Reyes Yola, O., (2010). Posibles aplicaciones de prácticas de producción más limpias en cervecería Hatuey. Tecnología Química. Universidad de Oriente, XXX(2). Available at: www.uo.edu.cu/ojs/index.php/tq/article/viewFile/2800/2311 [Accedido Febrero 23, 2011].

Ayes, G. N. (2006). *Desarrollo sostenible y sus Retos*. La Habana: Científico-Técnica.

Baks, T. et al., (2008). Towards an optimal process for gelatinization and hydrolysis of highly concentrated starch-water mixtures with alpha-amylase from B. licheniformis. Journal of Cereal Science, 47(2), págs.214-225.

Berkowitz, E. D. (2000). Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo. Capítulo 67, pág. 13-15, http://www.mtas.es/insht/EncOIT/Index.htm

BOY, Matthias, W.W.1 63225 L. (DE), et al., (2009ª). Method for the production of an aqueous glucose solution. Available at: http://www.patentlens.net/patentlens/ [Accedido Enero 4, 2011].

BOY, Matthias, W.W.1 63225 L. (DE), et al., (2009b). Method for the production of an aqueous glucose solution from corn. Available at: http://www.patentlens.net/patentlens/ [Accedido Enero 4, 2011].

Brown, L. (1996). *La situación del mundo. Informed World Watch Institute*. Editorial Icara. Barcelona, España.

Calkins, R. (1994). “Indonesia: Environment and Development”. Washington: World Bank.

Calvo Rebollar, M. (2004). La Ciencia y la Tecnología de los Alimentos. Algunas Notas sobre su Desarrollo Histórico. Alimentaria. Universidad Zaragoza. España. Available at: milksci.unizar.es/bioquímica/temas/historia.pdf Accedido Febrero11, 2011].

Caraballo Maqueira, L., (2005). La presencia de la PML en la legislación ambiental cubana. Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, 5(8). Available at: ama.redciencia.cu [Accedido Febrero 23, 2011].

CEAC. (2011). Informe sobre caracterización de residuales en la Empresa Glucosa Cienfuegos.

CEGESTI. (2005). Manual de buenas prácticas de manejo del agua en las empresas. San José, Costa Rica

Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA), (2010). Programa nacional de consumo y producción sostenible y eficiencia en el uso de los recursos 2010-2015. ISBN: 978-959-287-025

Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. (CPTS). Febrero de 2003. Guía técnica de producción mas limpia para curtiembres. Bolivia. Deposito Legal: 4-1-710-03. 256 páginas. Retrieved from http://www.cpts.org/prodlimp/guias/Cueros/Capitulo5.pdf.

Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. (CPTS). Febrero de 2005. Guía técnica general de Producción Más Limpia. Bolivia. Depósito Legal: 4-1-760-08. 226 páginas Retrieved from http://www.cpts.org/prodlimp/guias/GuiagralPML/cap1.pdf.

Centro Nacional de Producción Mas Limpia de Honduras (CNP+LH). 2009. Guía de P+L para el procesamiento de caña de azúcar. 101 páginas Honduras.

Centro Nacional de Producción Más Limpia de Honduras (CNP+LH). Guía de P+L para el sector turístico hotelero. 2009, 86 páginas. Honduras. https://cohep.com/pdf/GUIA%20DE%20P+L%20TURISTICO%20HOTELERO.pdf

Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (CNP+LH). 2008. Guía de producción más limpia para el cultivo y procesamiento de tilapia. 124 paginas. Retrieved http://www.cohep.com/pdf/GUIA%20P+L%20TILAPIA.pdf

Centro nacional de producción más limpia y tecnologías ambientales. Junio, 2006. Ficha de Proyectos 04: Aplicación de tecnologías de membranas de recuperación de aguas de lavado (Fábrica de

Licores de Antioquia).Retrieved from http://www.cnpml.org/html/archivos/FactSheets/FactSheets-ID21.

Cifuentes Villatoro, A.R., (2006). Aprovechamiento del reciclado de agua en una industria de alimentos, para una producción más limpia. Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Retrieved from biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7403.pdf. [Accedido Enero 6, 2011].

CONAM. (2003). Guía de implementación de P+L. Lima, Perú: CONAM; CET, Centro de Eficiencia Tecnológica; Limpia, Centro Nacional de Producción mas Limpia., 131 páginas.

Conesa, F. V., (2000). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. Ediciones Mundi Prensa. Tercera Edición. Barcelona. España.

Corn refiners Association. (1975). Critical Data Tables. Washington. Estados Unidos.

Eckhoff, S.R. & Watson, S.A., (2009). Corn and Sorghum Starches: Production. En *Starch (Third Edition)*. San Diego: Academic Press, páginas 373-439. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/B8MCR-4W7D7D9-9/2/b6383465a561a6608539ea87cedc3369

Empresa Glucosa Cienfuegos, (2011). Estrategia Ambiental.

Empresa Glucosa Cienfuegos, (2009). Base reglamentaria. Perfeccionamiento Empresarial.

Firma Sueca ALFA-LAVAL y Dinamarca. (1980). Expediente técnico de la Empresa Glucosa Cienfuegos.

Fred, W. 1992. Production and application, starch hydrolysis products. Worlwide technology (VCH Publisher). USA.

García Mora, F., 2010. Incorporación del Ecomapa en el diagrama de flujo de procesos de manufactura, para un programa de producción más limpia. Available at: www.gestec.disaic.cu [Accedido Febrero 23, 2011].

García, E. (2008). Producciones más limpias conceptos y antecedentes. Programa Buenos Aires produce más limpio.

Giménez Jerogina, M., (2010). Molienda de Maíz. Retrieved from http://www.monografias.com/trabajos35/molienda-maiz/molienda-maiz.shtml. [Accedido Enero 14 de 2011].

González Pérez, J.A. et al., (2002). Alternativas de producción de siropes edulcorantes en Gydema. *Tecnología Química .Universidad de Oriente*, 22. Available at: http://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/search/results [Accedido Enero 12, 2011].

GTZ. (2007). Guía de buenas prácticas de gestión empresarial (BGE) para pequeñas y medianas empresas. Programa piloto para la promoción de la gestión ambiental en el sector privado en países en vías de desarrollo. Bonn, Alemania. http://www.gtz.de/en/dokumente/sp-sl-Competitividad-empresarial-larga.pdf. 123 páginas

Harry W. E., Michael F.K., and Gwen P., (1994) Environmental Protection Agency. Waste Minimization Assessment for a Manufacturer of Corn Syrup and Corn Starch. Research and Development. 7 páginas.

Hinkova, A., et al.(2004). Mineral membrane filtration in refinement of starch hydrolysates. *Journal of Food Engineering*, 61, págs. 521–526

International Resources Group (IRG) y Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (CNP+LH). Guía de producción más limpia. Cultivo y procesamiento de tilapia. 2008. 98 páginas.

Kern, D., (1988). *Proceso de transferencia de calor* (1ra Edición). Edición Revolucionaria La Habana, 980 páginas.

Knight, J.W., (1969). The starch industry.1ra edition. London. 182 páginas

López Bastida, E., (2002). *Gestión Ambiental.* Editorial Félix Varela. Universo Sur. Cuba.

López Bastida, E., (2002). IX Encuentro Globalización y Problemas del Desarrollo. Cuba.

Malagié, M., & Col, G., (2000). Procesos de la industria alimentaria.

Miao, M. et al.(2010). Effect of controlled gelatinization in excess water on digestibility of waxy maize starch. Food Chemistry, 119(1), págs.41-48.

MINAL. Buró energético, (1995). Ahorros económicos por medidas energéticas. Indicadores para su cálculo.

Ministerio de Finanzas y Precios, (1999). Finanzas al Día. Resolución No. 21 .Agosto 1999.

Ministerio de Finanzas y Precios, (1999). Finanzas al Día. Resolución V-155/99.

Montes Horcasitas, M. & Magaña Plaza, I. (2002). Enzimas con aplicación industrial. Avance y Perspectiva (Vol. 21). Septiembre-octubre.

Moreno Linares, C. A. (2008). *Implementación de las tecnologías para Producciones Más Limpias*. Universidad de Pinar del Río.

NEIAL 2306:02. (2009). Glucosa de alto contenido de dextrosa. Especificaciones.

NEIAL 2306:22. (2003). Sirope de Glucosa. Especificaciones de calidad.

Norma Cubana NC 27, 1999. Vertimiento de Aguas Residuales a las Aguas Terrestres y al Alcantarillado. Especificaciones.

Norma Cubana NC XX, 2001. Vertimiento de Aguas Residuales a las Costas y Aguas Marinas. Especificaciones.

Norman, et al. (2001). Enzymatic preparation of glucose syrup from starch. Available at: http://patft.uspto.gov/ [Accedido Enero 3, 2011].

Novo Enzymes Dinamarca, (1976). Use of amiloglucosidase Novo in the Production of dextrose syrup. Catálogo industrial. Dinamarca.

Obtención de Biocombustible orgánico a partir de Zea Mays con aplicación de Alfa Amilasa. Escuela superior politécnica del litoral. Tesis de grado. Ingeniero de alimentos. Guayaquil- Ecuador. Año 2008.

Ochoa, G., (2007). *Las Producciones Más Limpias en la Gestión Empresarial*. Universidad de Cienfuegos : Editorial Félix Varela Universo Sur. Cuba.

ONUDI. Organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial (1999). Manual de producción más limpia. 17 páginas.

Pavlov, K., (1981). *Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en la tecnología química* Editorial Mir. Moscú.

Peter's, M., & Timmerhaus, K. (1968). Plant design and economic for Chemical engineers. Mc Graw Hill Internacional Edition.

PNUMA/IMA, O.R. para A.L. y el C., (1999). PML Un paquete de recursos de Capacitación, Editorial y Litografía Regina de los Ángeles, S.A. Av. Antonio Rodríguez No. 101-L, San Simón Ticumac, 03660 México, D.F Available at: www.pnuma.org/industria/documentos/pmlcp00e.pdf [Accedido Febrero 18, 2011.

Pordiéguez Rodríguez, Y., & Fernández Bello., J. L. (1995). Análisis técnico- económicos de alternativas de producción de sirope de glucosa. Facultad Química- Farmacia. Universidad Central de las Villas.

Proyecto P+L Chile, (2000). Uso de Tecnologías Limpias. Experiencias prácticas en Chile. págs. 20 - 29.

Raventós, M. (2005). Industria alimentaria: Tecnologías emergentes. Barcelona. páginas.173-201

Restrepo, M., (2006). Producción más Limpia en la Industria Alimentaria. Producción +Limpia. Enero-Junio .Vol. 1 N° 1. 87 páginas.

Rigola, M. (1998). *Producción+limpia* (Primera edición). Editorial Rubes. Barcelona, España.138 páginas.

Rivera, A. (2002). *Producción más Limpia en Cervecería Tinima*. Informe técnico IIIA, Camagüey.

Saha, B.C., Jordan, D.B. & Bothast, R.J., (2009). Enzymes, Industrial (overview). En *Encyclopedia of Microbiology*. Oxford: Academic Press, págs 281-294. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/B9BCD-4VMRTVG-9B/2/6f65a76bfe0f103b2d83c30bd5b74a58

Serrano Méndez, J.y col, (2006). *Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente: Universidad para todos.* Protección Ambiental y Producción +Limpia, Suplemento Especial. La Habana: Editorial Academia, parte 1.16 páginas.

Serrano Méndez, J., (2006). *Agencia de Medio Ambiente del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente: Universidad para todos.* Protección Ambiental y Producción +Limpia, Suplemento Especial. La Habana: Editorial Academia, parte 2.16 páginas.

Sexto L.F. Análisis de ruido en áreas de una central termoeléctrica [Citado 2006 Junio 19]. Disponible en: http://www.ispjae.cu/centros/CEIM/index.htm

Singh, Navpreet & Cheryan, Munir,(1997). Fouling of a ceramic microfiltration membrane by corn starch hydrolysates. Journal of Membrane Science, 135(2), págs.195-202.

Singh & Munir. (1998). Process design and economic analysis of a ceramic membrane system for microfiltration of corn starch hydrolysates. *Journal of Food Engineering*, *38(1)*, 57-67.

Singh, N., & Cheryan, M.(1998). Properties and Composition of Concentrates and Syrup Obtained by Microfiltration of Saccharified Corn Starch Hydrolysates. *Journal of Cereal* Science, *27(3)*, págs. 315-320.

Tortosa Ferrer, B. I., (2006). Acciones de PML en Cuba. Available at: www.medioambiente.cu/uptpml/files/Clase16.pdf [Accedido Febrero 23, 2011].

Tortosa Ferrer, B.I., (2006). Relación de la Producción Más Limpia con algunas herramientas de Gestión Tecnológica. Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo; Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, 6(10). Available at: ama.redciencia.cu [Accedido Febrero 23, 2011].

United Nations Industrial Development Organization y STENUM GmbH. (2006). Cleaner Production Toolkit TEXTBOOK, Available at: http://www.unido.org/ [Accedido Febrero 17, 2011].

Van der Veen, M.E. et al., (2006). Starch hydrolysis under low water conditions: A conceptual process design. *Journal of Food Engineering*, 75(2), págs.178-186.

Vulkalovitch, M. (1975). *Propiedades termodinámicas del agua y el vapor.* Edición Revolucionaria. La Habana.

Wang, B. et al., (2008). Effect of high-pressure homogenization on the structure and thermal properties of maize starch. *Journal of Food Engineering*, 87(3), págs.436-444.

Webmaster, (2006). International Starch Institute: Production of corn starch. Available at: http://www.starch.dk/isi/star

White P. J. and Johnson, L. A., (2003). Corn Chemistry and Technology Second Edition American Association of Cereal Chemistry, Inc. St. Paul, Minnesota USA

Wong, et al (2008). Enzymatic hydrolysis of starch. Available at: http://patft.uspto.gov/ [Accedido Marzo

9, 2011].

Yankov. D., (1986). Study of optimum conditions and kinetics of starch hydrolysis by means of termostable alpha amylase. Enzyme microbiology technology. Bulgaria.

Zajac, P., (1989). Almidón de Maíz obtención y utilización. La Habana: Editorial Científico Técnica. 120 páginas.

Anexos

ANEXOS

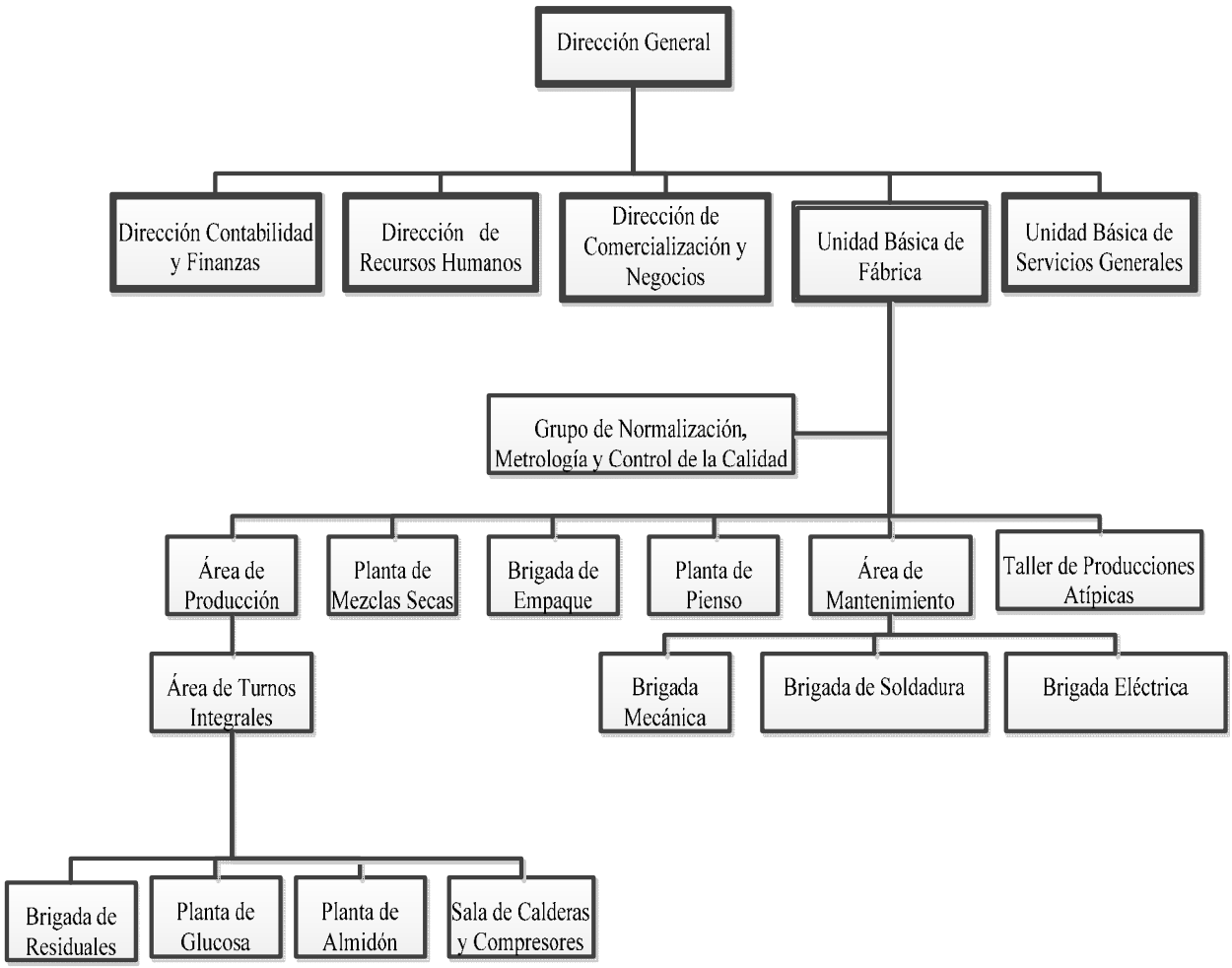
ANEXO A: Porcentaje de subproductos generados en diferentes sectores de la industria alimentaria. Fuente:(Restrepo, 2006)

Industria	Subproductos	Porcentaje
Cárnica (mataderos)	Sangre, vísceras, huesos, intestinos, piel, grasas, pelo y plumas	30-52
Pesquera	Cabezas, vísceras, colas, piel, espinas y conchas	30-75
Vegetales	Hojas, semillas, pieles, tallos y pulpa	5-50
Láctea	Lactosuero	90
Oleaginosa	Hojas, orujo, goma y jabones	40-70
Azucarera	Pulpa, melazas y levaduras	88

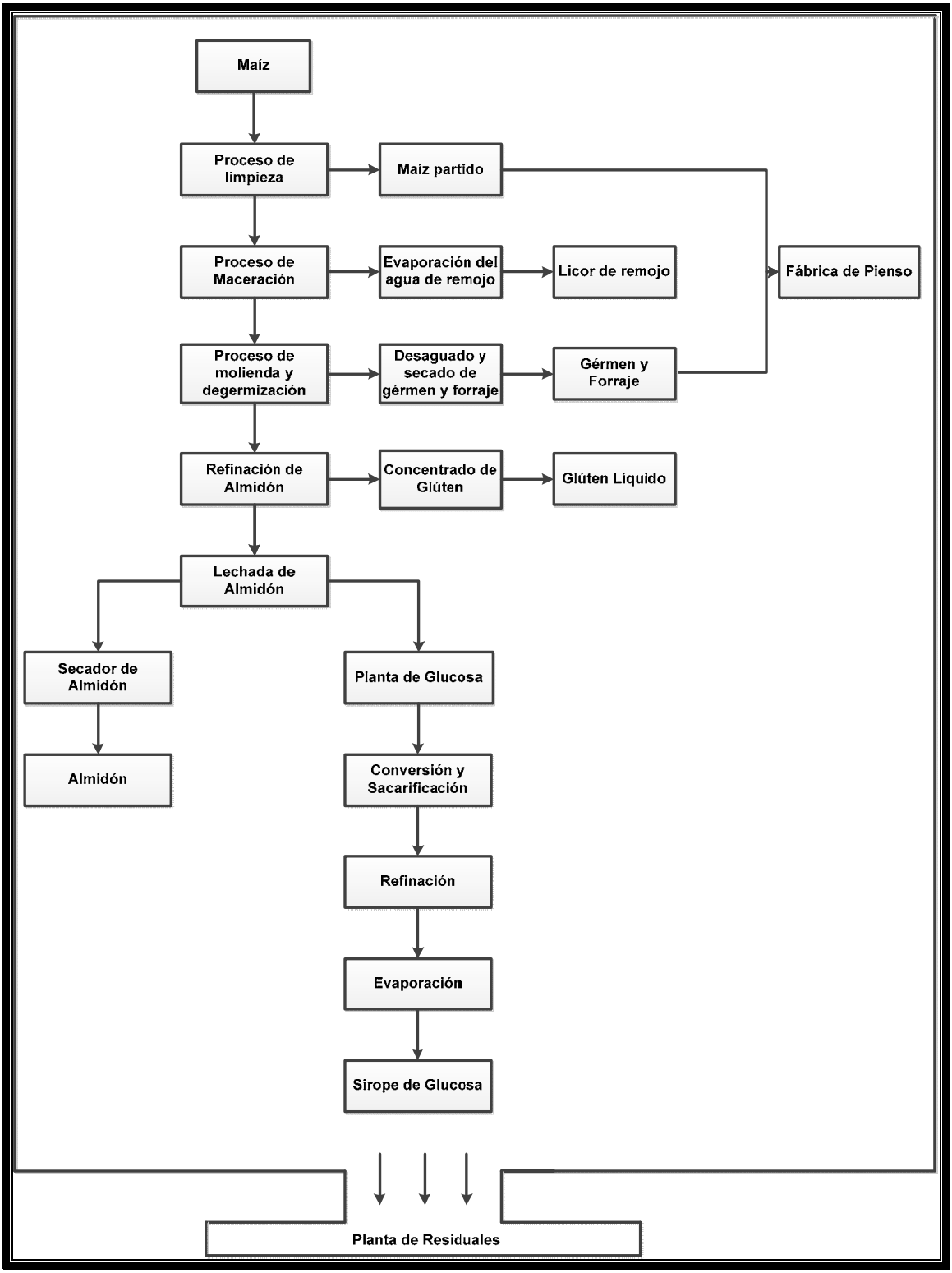
ANEXO B: Aplicación de las tecnologías de membrana en la industria alimentaria. Fuente: (Raventós, 2005)

Proceso/Industria	Aplicación
Tratamiento de agua de uso industrial	• Clarificación, desinfección y esterilización de aguas residuales. (MF, UF)
Producción de agua de calidad	• Agua de refrigeración para torres de enfriamiento condensadores e intercambiadores de calor .(OI) • Agua para calderas y para el lavado de gases (OI)
Industria láctea	• Producción de fermentos lácticos con la eliminación de los inhibidores del crecimiento celular y concentración de la biomasa hasta los niveles del producto comercial. • Extracción y concentración de proteínas del suero adecuadas para las industrias cosmética y farmacéutica como emulsionante (UF, OI)
Bebidas	• Recuperación de colorantes y aromas de las aguas residuales.
Procesado de carne y pescado	• Tratamiento de heces. Separación de la biomasa (UF) • Tratamiento de sangre. Preconcentración del suero sanguíneo. (UF,OI) • Concentración de proteínas en la fabricación de gelatinas • Concentración-recuperación de proteínas de la salmuera residual del curado de carnes y pescados. • Concentración-recuperación de proteínas de las aguas de lavado de carnes y pescados
Procesado de frutas y hortalizas	• Biorreactores con membrana para la conversión de residuos de patata. • Recuperación de proteínas vegetales. • Recuperación de productos del procesado. • Recuperación de productos y subproductos de aguas de lavado (azúcares, aceites esenciales, proteínas).
Procesado de azúcar	• Desmineralización de melazas • Recuperación de azúcar de las aguas de lavado antes de la etapa de evaporación- concentración.
Procesado de aceites y grasas	• Recuperación de aceites de agua de lavado • Recuperación de disolventes

ANEXO C: Estructura Organizativa general de la Empresa Glucosa Cienfuegos y de la Unidad de Base de Fábrica. Fuente: Elaboración Propia



Anexo D: Proceso tecnológico de la Fábrica de Almidón y Glucosa. Fuente: Elaboración Propia



Anexo E: Métodos de ensayos y simbología empleada en el informe del CEAC sobre la caracterización de las aguas residuales. LMPP según NC 27:1999 Fuente:(CEAC, 2011)

Ensayo y Simbología	Método
Sólidos suspendidos (S. Sup.)	Gravimétrico
Sólidos totales (ST)	Gravimétrico
Sólidos volátiles (SV)	Gravimétrico
Sólidos disueltos (SD)	Gravimétrico
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Dicromato con reflujo cerrado.
Nitrógeno total Kjeldhal (NTK)	Método Kjeldhal
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5)	Método Winkler (Dilución)
Fósforo total (PT)	Espectrofotométrico. Reducción con ácido ascórbico
Grasas y aceites (G yA)	Gravimétrico.
Índice de Fenol (Fenoles)	Espectrofotométrico
Sulfuro Total (Sulf. T.)	Titración. Yodométrico. (in situ)
Conductividad eléctrica (CE)	Potenciométrico (in situ)
pH	Potenciométrico (in situ)

Parámetros	U/M	NC 27:1999
pH	Unidades	6,5-8,5
Conductividad eléctrica	µ S/cm	1400
Temperatura	ºC	40
Grasas y aceites	mg/l	10
Materia flotante	-	Ausente
Sólidos Sedimentables Totales	ml/l	1
DBO5	mg/l	30
DQO (Dicromato)	mg/l	70
Nitrógeno total (Kjeldah)	mg/l	5
Fósforo total	mg/l	2

ANEXO F: Lista de control para efectuar el Reconocimiento de planta. Fuente:(Ochoa, 2007)

Piso de trabajo

- ¿El suelo está sucio o roto?
- ¿Los obreros pueden mover fácilmente sobre él? ¿Hay amontonamiento innecesario de nuevos materiales y acciones?
- Es el esquema óptimo; ¿es decir el flujo de trabajo puede mejorarse para minimizar el movimiento de materiales y el tiempo durante los recorridos de trabajo?

Áreas de almacenamiento

- Es el sistema del almacenamiento FIFO (es decir: primero que entra, primero que sale; las materias primas se utilizan basándose en la fecha de compra, dando preferencia a los inventarios más viejos) o LIFO (último que entra, primero que sale; ¿la materia prima fresca es utilizada primero, mientras los inventarios más viejos siguen sin utilizarse)?
- ¿Cómo se reciben las materias primas que hay que verificar por la calidad?
- ¿Hay casos frecuentes de recibir materias primas que no reúnen las especificaciones requeridas? ¿Qué pasa con los desechos?

Equipos y procesos

- ¿El proceso se opera según las Normas Prácticas de Operación suministradas por el proveedor del equipo/tecnología? ¿Cuáles son las razones si hay cualquier variación?
- ¿Los mantenimientos de equipos se realizan regularmente? ¿Cuáles son las eficiencias de operación del equipo? ¿Se registran averías de las máquinas o los problemas y sus causas se corrigen regularmente?
- ¿Se realiza aseguramiento de la calidad o control de calidad para los productos acabados e intermedios? ¿Cuán frecuentemente? ¿Cuáles son los resultados actuales?

Las calderas y el sistema de distribución de vapor

- ¿Hay fugas por las juntas, uniones, válvulas o válvulas de seguridad?
- ¿Se retorna el condensado con la máxima extensión posible?
- ¿Están aisladas las líneas de condensado y los tanques de alimentación?
- ¿Se usan trampas de vapor del tipo correcto para cada proceso?
- ¿Qué combustible se usa? ¿Es de una calidad y composición consistente?
- ¿Cuál es la fuente de agua? ¿El agua cruda se trata antes del uso?
- ¿Cuál es el tipo de calderas (por ejemplo el solo paso / el paso doble, etc.)?
- ¿Cuál es la frecuencia del soplado de las calderas?

Los desperdicios y emisiones

- ¿Los desperdicios son apropiadamente colectados, segregados y transportados?
- ¿La generación desperdicios es continua o discontinua?
- ¿Se realizan mediciones de los desperdicios y emisiones generados?
- ¿Forman parte de los desperdicios cualquier producto o materia prima valiosa?
- ¿Es posible rehusarlos o reciclarlos si se recuperan?

Anexo G: Equipo de Producciones Más Limpias. Fuente: Elaboración Propia

Especialidad	Nombre y Apellidos	Años de Experiencia
Asesor Jurídico	Lic. Yissell Domínguez Rodríguez	10
Especialista Financiero	Tec. Yaima Lima García	10
Especialista tecnología	Ing. Martha Yánez García	12
Jefe de Producción	Tec. Rafael López Quiñones	30
Especialista de calidad.	Tec. Rosario Cabrera Alonso	21
Jefe de Laboratorio	Tec. Amarilis Hernández Hernández	20
Especialista mecánico	Ing. Jaime García Zamora	14
Jefe de Mantenimiento	Ing. Carlos Enrique Martínez	16
Especialista I+D	Ing. Johanka Moya Monteagudo	20
Gestor de Ventas	Tec. Cecilia Arrechea Garrido	15
Especialista Compras	Ing. Juan Pablo Contreras	10
Especialista de Seguridad y salud	Tec. Blanca Saura López	15

ANEXO H: Fotos del Reconocimiento de Planta. Fuente: Elaboración Propia

Foto: Deficiencias en el aislamiento térmico en tuberías de vapor

Foto: Pisos en mal estado

Foto: Derrame de producto en la operación del convertidor

Foto: Salideros y deficiencias en el aislamiento térmico en líneas de vapor

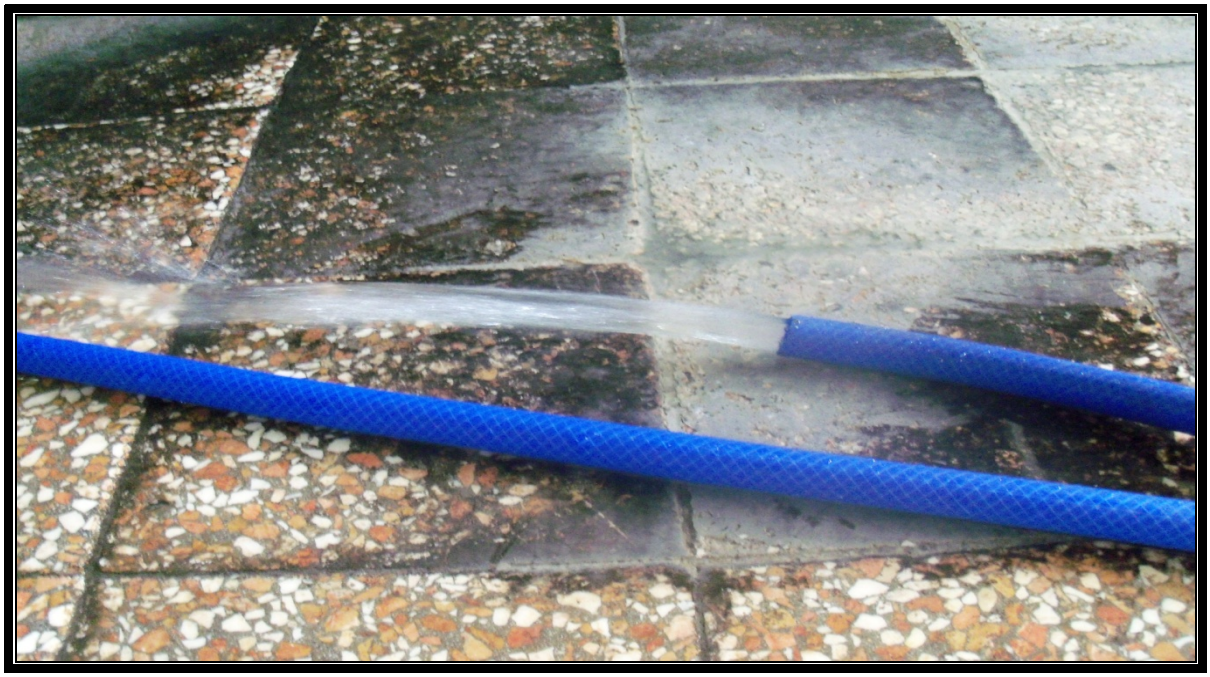


Foto: Derroche de agua en operaciones de limpieza

Foto: Mala paletización de materias primas en áreas productivas

Foto: Salidero de vapor y falta de aislamiento térmico

Foto: Torre de enfriamiento de agua en mal estado

Foto: Recogida del desecho de la filtración al vacío para su disposición

Foto: No recuperación de condensados

ANEXO I: Consumo de portadores energéticos Empresa Glucosa. Año 2010. Fuente: Elaboración Propia

Mes	Agua (m^3)	Fuel oil (t)	Energía eléctrica (mW)
Enero	8 642	121,0	176,450
Febrero	7 040	144,46	214,782
Marzo	33 233	93,56	143,335
Abril	25 853	156,66	225,006
Mayo	31 212	123,46	194,021
Junio	30 414	160,47	238,751
Julio	18 981	117,62	171,117
Agosto	11 709	69,22	116,685
Septiembre	28 970	138,89	208,945
Octubre	20 415	153,35	218,405
Noviembre	10 215	131,7	185,468
Diciembre	3 708	12,85	38,009
Total	211 443	1 423,310	2 131,257

Anexo J: Resumen caracterización del proceso de hidrólisis enzimática. Fuente: Elaboración Propia

Etapa del proceso	Parámetros	Resultados
Preparación de la lechada de almidón C1140A	Concentración del almidón	17 ^{0}Be
	Concentración del carbonato	10-13 ^{0}Be
	pH de entrada	4,5
	pH de salida	6,5- 7,0
Licuefacción del almidón Convertidor C 7200	Temperatura	105 ^{0}C
	Presión	25 a 30 kg/cm^2
	Tiempo de retención	8,0 minutos
	Flujo	7,5 m^3/h
	Equivalente de Dextrosa (ED)	5-7
Ciclón de Expansión C 9200	Presión	-0,92 kg/cm^2
	Temperatura salida del hidrolizado	95,0 ^{0}C
	Concentración del hidrolizado.	40 ^{0}Bx
Dextrinizador C1610-1	Temperatura	95,0 ^{0}C
	Tiempo de retención	2,0 h
	Equivalente de Dextrosa promedio	12-15
Intercambiador de calor C7600 A	Caudal de agua de entrada y salida	6,0 m^3 /h
	Caudal de hidrolizado	7,5 m^3/h
	Temperatura del agua de entrada.	30,0 ^{0}C

	Temperatura del agua de salida	50,0 ^{0}C
	Temperatura del hidrolizado de entrada	95,0 ^{0}C
	Temperatura del hidrolizado de salida	60,0 ^{0}C
Preparación para Sacarificación C 1140	Concentración del ácido clorhídrico (HCl)	6,5 %
	pH entrada	6,5
	pH de salida	4,7
Tanques de Sacarificación C1610 (2-5)	Concentración de entrada y salida del hidrolizado	40,0 ^{0}Bx
	Equivalente de Dextrosa entrada	12-15
	Equivalente de Dextrosa salida	92,0 mínimo
	Tiempo de retención	24-48 h
Calentador directo de agua C9530	Caudal de agua.	0,30 m^3/h
	Caudal de agua de reboso	0,30 m^3/h
	Temperatura de agua de reboso	70,0 ^{0}C
	Temperatura de salida del hidrolizado	80,0 ^{0}C
	Caudal de agua utilizada en lavado de la tela	3,0 m^3/h
	Presión de agua de lavado de la tela	3,0 kg/cm^2

Tanque de ajuste final de pH E1120	Concentración del carbonato	13 ^{0}Be
	pH de salida	4,8
	Concentración de entrada del hidrolizado	40,0 ^{o} Bx
	Concentración de salida del hidrolizado	48,0 ^{o} Bx
	Temperatura de entrada del hidrolizado	75,0 ^{0}C
Primer efecto del evaporador E 9230	Concentración de entrada del hidrolizado	40,0 ^{o} Bx
	Concentración de salida del hidrolizado	48,0 ^{o} Bx
	Temperatura de entrada del hidrolizado	75,0 ^{0}C
Segundo Efecto del Evaporador E 9230	Temperatura de entrada del hidrolizado	85,0 ^{0}C
	Concentración de salida del producto	54 ^{o} Bx
	Temperatura de salida del hidrolizado	60 ^{0}C
Tercer Efecto del Evaporador E 9230	Presión de agua de enfriamiento	3.0 kg/cm^{2}
	Temperatura de salida del hidrolizado	52 ^{0}C
	Concentración de salida del producto	65 ^{o} Bx

Anexo K: Resumen caracterización del proceso de hidrólisis ácida. Fuente: Elaboración Propia

Etapa del proceso	Parámetros	Resultados
Preparación de la lechada de almidón C1140	Concentración del almidón	17-21 ^{0}Be
	pH de salida	1,7
Convertidor C 7200	Temperatura	140 ^{0}C
	Presión	25 a 30 atmósferas
	Tiempo de retención	8,0 minutos
	Flujo	7,5 m^3/h
	Equivalente de Dextrosa de salida	38 - 42
Ciclón de Expansión C 9200	Presión	-0,92 kg/cm^2
	Temperatura salida del hidrolizado	75,0 ^{0}C
	Concentración del hidrolizado.	41^{0}Bx
Ajuste fino de pH C1330	Concentración del carbonato de sodio	13^{0}Be
	pH entrada	3,8
	pH de salida	4,8
	Caudal de agua utilizada en lavado de la tela	3,0 m^3/h
	Presión de agua de lavado de la tela	3,0 kg/cm^2
	Concentración de entrada del hidrolizado	41,0 ^{o} Bx

	Concentración de salida del hidrolizado	48,0 ° Bx
	Temperatura de entrada del hidrolizado	75,0 ^{0}C
Filtro rotatorio al vacío R9310	Cantidad de residuo obtenido	42,4 kg/h
	Caudal de agua utilizada en lavado de la tela	3,0 m^3/h
	Presión de agua de lavado de la tela	3,0 kg/cm^2
	pH de salida	4,8- 5,2
Primer efecto del evaporador E 9230	Concentración de entrada del hidrolizado	40,0 ° Bx
	Concentración de salida del hidrolizado	48,0 ° Bx
	Temperatura de entrada del hidrolizado	75,0 ^{0}C
Segundo efecto del evaporador E 9230	Temperatura de entrada del hidrolizado	85,0 ^{0}C
	Concentración de salida del producto	54 ° Bx
	Temperatura de salida del hidrolizado	60 ^{0}C
Tercer efecto del evaporador E 9230	Presión de agua de enfriamiento	3.0 kg/cm^2
	Temperatura de salida del hidrolizado	52 ^{0}C
	Concentración de salida del producto	65 ° Bx
Súper concentrador	Temperatura de salida del hidrolizado	80 ^{0}C
	Concentración de salida del producto	80 -85 ° Bx

ANEXO L: Cálculos de los balances de masa y energía. Fuente: Elaboración Propia

- **Balance de masa y energía para el proceso por hidrólisis enzimática**

- **Balance en el tanque de preparación de la lechada C1140 A**

Balance total de masa:

$GA1 = LA + Eo + C_{AO}$

$LA = 8287{,}2$ kg/h

$E_0 = 0{,}75$ kg E * T.M.S.

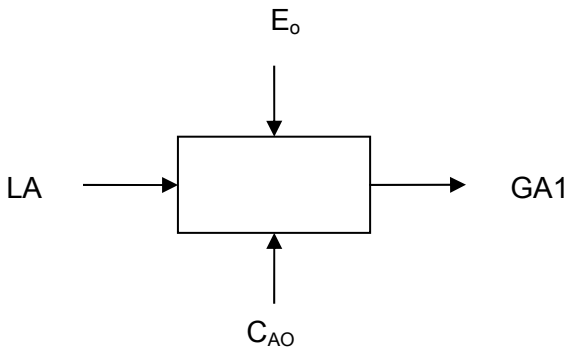
$$T.M.S = \frac{LA * \%M.S}{1000}$$

T.M.S = 2,79 t/h

Eo = 2, 09 kg/h

$C_{AO} = 2{,}40$ kg Na_2CO_3 /h

GA1 = 8 291,69 kg/h



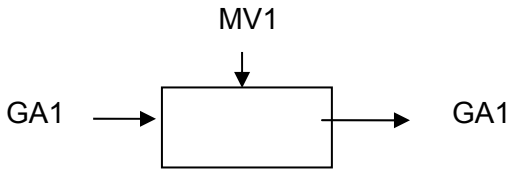
- **Balance en el convertidor C7200**

Balance de energía:

$Qg + n * Qc = 0$ [1]

$Qg = GA1 * CPL * (T2 – T1)$ [2]

$Qc = MV1 * \lambda V1$ [3]



Sustituir 2 y 3 en 1

$GA1 * CPL * (T2 – T1) + n * MV1 * \lambda V1 = 0$

$$MV1 = \frac{GA1 * CPL * (T2 – T1)}{n * \lambda V1}$$

$CPL = \sum Yi * CPi$

$CPL = Yi * CPH_2O + Yi * CPHCL + Yi * CP\ Almidón$

$CPL = 3\,175{,}03$ J/kg ^{0}K

$\lambda V1 = 2141000$ J/kg ^{0}K (Vulkalovitch, 1975)

$CP\ H_2O = 4\,180$ J/kg ^{0}K (Pavlov, 1981)

CP Almidón = 1 255 J/kg^{0}K (Corn refiners Association, 1975)

CP HCL = 2 681,65 J/kg^{0}K (Pavlov, 1981)

T1 = 313 ^{0}K

T2 = 378 ^{0}K

MV1 = 888,56 kg/h

- **Balance en el ciclón de expansión C9200**

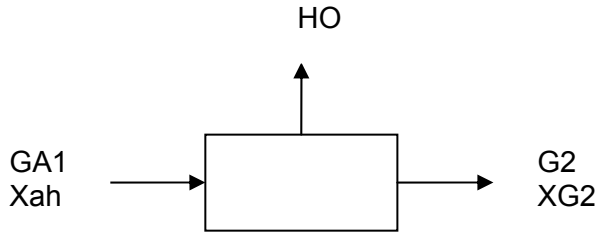
Balance total de masa:

$G2 = GA1 – HO$

HO = 400 kg/h

G2 = 7891,69 kg/h

Balance parcial de agua:



GA1 * (1 - Xah) = HO + G2 * (1 – XG2)

$$XG2 = \frac{-GA1 * (1 - Xah) + HO}{G2} + 1$$

XG2 = 40 ^{0}Brix

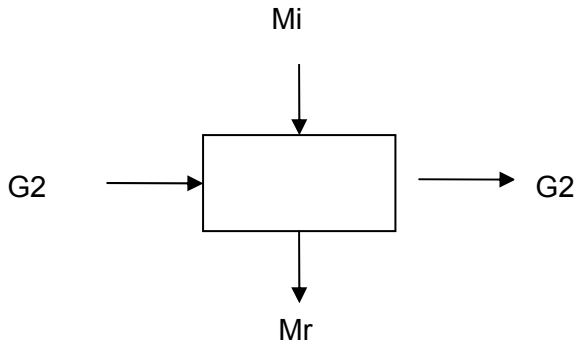
- **Balance en el intercambiador de placas C7600A**

Balance de energía:

Qg + n * Qc = 0 [1]

Qg = G2 * CPMA * (TGs - TGe) [2]

Qc = Mi * CPi * (Ti2 – Ti1) [3]



Sustituir 2 y 3 en 1

G2 * CPMA * (TGs - TGe) + n * Mi * CPi * (Ti2 – Ti1) = 0

$$Mi = \frac{G2 * CPMA * (TGs - TGe)}{n * CP1 * (Ti2 - Ti1)}$$

CPMA = 1600 J/kg ^{0}K (Corn refiners Association, 1975)

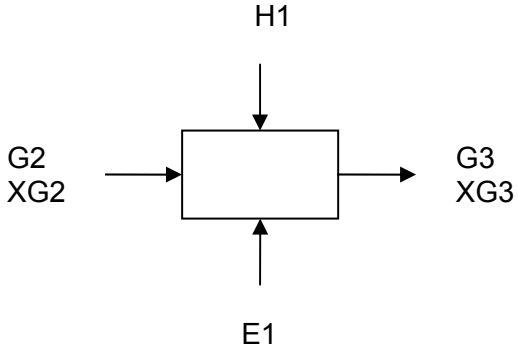
CPi = 4180 J/kg ^{0}K (Corn refiners Association, 1975)

TGs = 333 ^{0}K TGe = 368 ^{0}K

Ti1 = 303 ^{0}K Ti2 = 323 ^{0}K

Mi = 5873,6 kg/h

- **Balance en el tanque de ajuste PH C1140**



Balance total de masas:

G3 = G2 + H1 + E1

H1 = 5,75 kg/h

E1 = 0,75 kgE * T.M.S

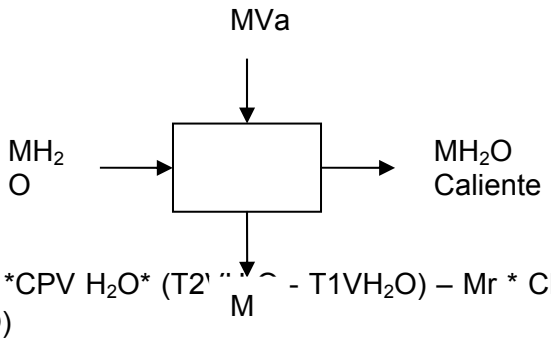
$$T.M.S = \frac{G2 * XG2}{1000}$$

T.M.S = 3,16 t/h

E1 = 2,37 kg/h

G3 = 7899,81 kg/h

➢ **Balance en calentador de agua para tanques de sacarificación**



Balance de energía:

$MVap * \lambda Vap + MVH_2O * CPV\ H_2O * (T2'' - T1VH_2O) - Mr * CPr * (Tr2 - Tr1) = MH_2O * CPH_2O * (T2H_2H - T1H_2O)$

Conociendo que: $MVap = MH_2O = Mr$

$$MVap = \frac{MH_2O * CPH_2O * (T2H_2O - T1H_2O)}{\lambda Vap + CPvH_2O * (T2vH_2O - T1vH_2O) - CPr * (Tr2 - Tr1)}$$

$\lambda Vap = 2\ 208\ 000$ J/kg (Vulkalovitch, 1975)

$CPH_2O = 4\ 180$ J/ kg ^0K (Pavlov, 1981)

$CPvH_2O = 4\ 230$ J/ kg ^0K (Pavlov, 1981)

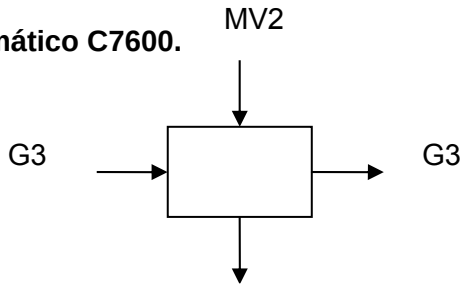
$T1vH_2O = 392,6\ ^0K$ $T2vH_2O = 343\ ^0K$

$T1H_2O = 334,5\ ^0K$ $T2H_2O = 343,0\ ^0K$

$Tr1 = 392,6\ ^0K$ $Tr2 = 343,0\ ^0K$

$MVap = 30,3$ kg/h

➢ **Balance en el intercambiador inactivador enzimático C7600.**



Balance de energía:

$Qg + n * Qc = 0$ [1]

$Qg = G3 * CPM * (T4 - T3)$ [2]

$Qc = MV2 * \lambda V2$ [3]

Sustituir 2 y 3 en 1

$G3 * CPM * (T4 - T3) + n * MV2 * \lambda V2 = 0$

$$MV2 = \frac{G3 * CPM * (T4 - T3)}{n * \lambda V2}$$

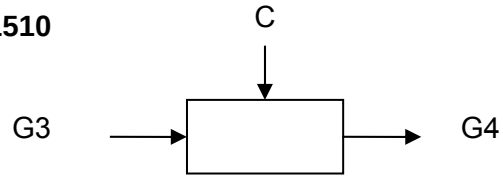
$\lambda V2 = 2\ 141\ 000$ J/kg (Vulkalovitch, 1975)

$CPM = 3\ 310$ J/kg^0K (Corn refiners Association, 1975)

$T4 = 353\ ^0K$ $T3 = 333\ ^0K$

$MV2 = 271$ kg/h

➢ **Balance en el tanque de decoloración R1510**



$G4 = G3 + C$

$C = 0,5\ \%$ de la M.S

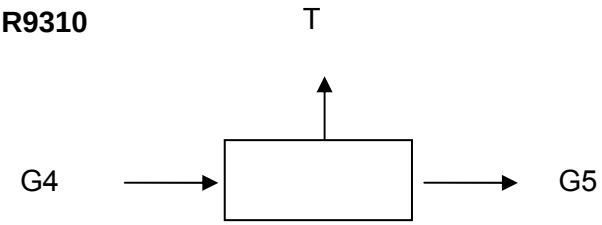
$M.S = G3 * Brix$

$M.S = 3\ 142,52$ kg/h

$C = 15,71$ kg/h

$G4 = 7\ 915,52$ kg/h

➢ **Balance en el filtro rotatorio al vacío R9310**



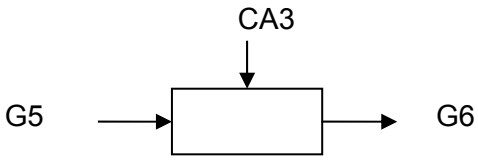
Balance total de masa:

G5 = G4 – T

T = 42,39 kg/h

G5 = 7 873,2 kg/h

➢ **Balance en el tanque de ajuste de pH E1120**



Balance total de masa:

G6 = G5 + CA3

CAT3 = 2,16 kg Na_2CO_3/T.M.S

CA3 = CM3 * CAT3

$$CM3 = \frac{G5 * XG5}{1000}$$

CM3 = 3, 13 T.M.S

CA3 = 6, 76 kg Na_2CO_3 /h

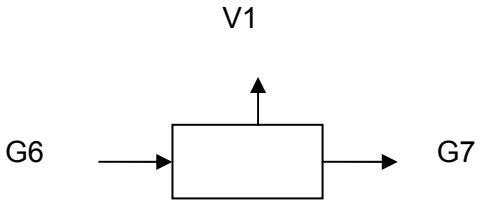
G6 = 7 836,46 kg/h

➢ **Balance de masa y energía en el evaporador de triple efecto.**

Primer Efecto

G6 = V1 + G7

V1 = G6 – G7



Balance Parcial

XG6 = 0,40

XG7 = 0,48

G6 * XG6 = G7* XG7

$$G7 = \frac{G6 * XG6}{XG7}$$

G7 = 6 530,38 kg/h

Entonces: V1 = 1 306, 07 kg/h

Vapor consumido en el primer vaso:

$$S1 = \frac{V1 * \lambda V4 + G6 * CP * (TF - T21)}{\lambda S1}$$

λV4 = 2 271 399 J/kg (Vulkalovitch, 1975)

λS1 = 2 258 410 J/kg (Vulkalovitch, 1975)

CP = 2 866 J/kg^{0}K (Corn refiners Association, 1975)

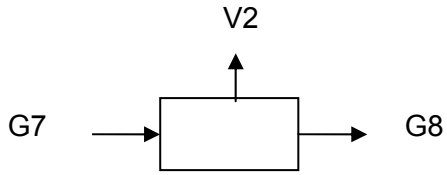
T21 = 348 ^{0}K TF = 333 ^{0}K

S1 = 1 164,41 kg/h

Segundo efecto

G7 = G8 + V2

V2 = G7 – G8



Balance Parcial:

XG8 = 0,54

$$G7 * XG7 = G8 * XG8$$

$$G8 = \frac{G7 * XG7}{XG8}$$

G8 = 5 804, 78 kg/h

Entonces: V2 =725, 59 kg/h

Consumo de vapor en el segundo vaso:

$$S2 = \frac{V2 * \lambda V5 + G7 * CP7 * (T7 - TF) + G8 * CP8 * (T21 - T12)}{\lambda S2}$$

λV5 = 2 324 612 J/kg (Vulkalovitch, 1975)

λS2 = 2 294 863 J/kg (Vulkalovitch, 1975)

CP8 = 2 868.47 J/kg^{0}K (Critical Data Tables, 1975)

CP7 = 2 516.93 J/kg^{0}K (Critical Data Tables, 1975)

T7 = 331, 4 ^{0}K TF = 333 ^{0}K

T21 = 348 ^{0}K T12 = 330.2 ^{0}K

S2 = 897, 99 kg/h

Consumo de vapor vivo en el primer vaso:

Sa = V1 – S2

Sa = 408, 71 kg/h

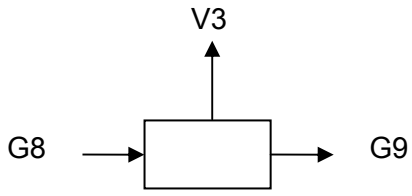
S = S1 – Sa

S = 755, 7 kg/h

Tercer Efecto

G8 = G9 + V3

V3 = G8 – G9



Balance parcial:

XG9 = 0,65

$$G8 * XG8 = G9 * XG9$$

$$G9 = \frac{G8 * XG8}{XG9}$$

G9= 4 822, 43 kg/h

Entonces: V3 = 982, 34 kg/h

Consumo de vapor en el tercer vaso:

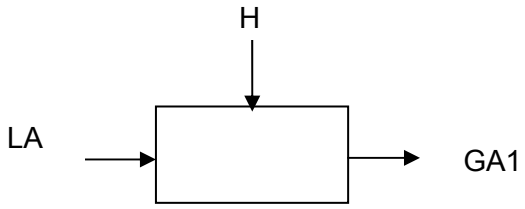
$$S3 = \frac{V3 * \lambda V6 + G8 * CP9 * (T8 - T7)}{\lambda S3}$$

λV6 = 2 346 400 J/kg (Vulkalovitch, 1975)
λS3 = 2 322 014, 2 J/kg (Vulkalovitch, 1975)
CP9 = 2 261, 04 J/kg ^{0}K (Critical Data Tables, 1975)
T8 = 325,48 ^{0}K T7 = 331.40 ^{0}K
S3 = 959,19 kg/h

- **Balance de masa y energía para el proceso por hidrólisis enzimática**

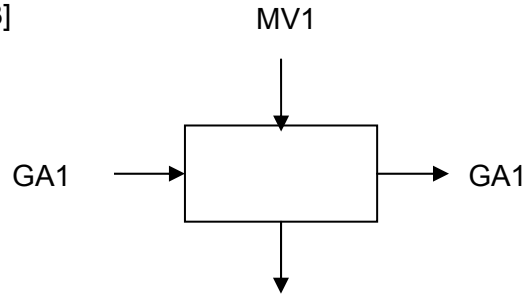
- **Balance en el tanque de acidulación C1140**

Balance total de masa:
GA1 = LA + H
LA = 8287, 2 kg/h
H = 23, 0 kg/h
GA1 = 8310, 2 kg/h



- **Balance en el convertidor C7200**

Balance de energía:
Qg + n * Qc = 0 [1]
Qg = GA1 * CPL * (T2 – T1) [2]
Qc = MV1 * λV1 [3]

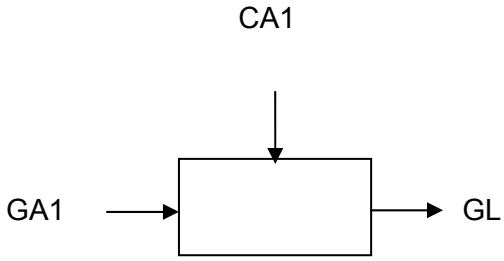


Sustituir 2 y 3 en 1
GA1 * CPL * (T2 – T1) + n * MV1 * λV1 = 0

$$MV1 = \frac{GA1 * CPL * (T2 - T1)}{n * \lambda V1}$$

CPL =} Yi * CPi
CPL = Yi * CPH_2O + Yi * CP Almidón + Yi * CPHCL
CPL = 3 175,03 J/kg ^{0}K
λV1 = 2 141 000 J/kg (Pavlov, 1981)
CP H_2O = 4 180 J/kg ^{0}K (Pavlov, 1981)
CP Almidón = 1 255 J/kg^{0}K (Corn refiners Association, 1975)
CP HCL = 2 681, 65 J/kg^{0}K (Corn refiners Association, 1975)
T1 = 313 ^{0}K T2 = 413^{0}K
MV1 = 1 369,31 kg/h

- **Balance en el neutralizador C4210**



Balance total de masa:
GL = GA1+ CA1
CAT1 = 2, 16 kg Na_2CO_3/TMS
Xah = 38 ^{0}Brix
CA1 = CAT1 * CM1

$$CM1 = \frac{GA1 * XAh}{1000}$$

CM1 = 3, 15 TMS/h

CA1 = 6, 80 kg Na_2CO_3

GL = 8 317, 04 kg/h

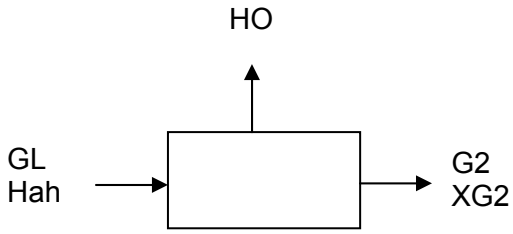
- **Balance en el ciclón de expansión C9200**

Balance total de masa:

G2 = GL – HO

HO = 650 kg/h

G2 = 7 667,04 kg/h



Balance parcial de agua:

GL * (1 - XAh) = HO + G2 * (1 – XG2)

$$XG2 = \frac{-GL * (1 - XAh) + HO}{G2} + 1$$

XG2 = 41 ^{0}Brix

- **Balance en el tanque de ajuste PH C1330**

Balance total de masa:

G3 = G2 + CA2

CAT2 = 2, 16 kg/ Na_2CO_3/TMS

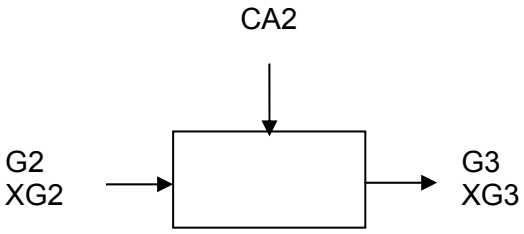
CA2 = CM2 * CAT2

$$CM2 = \frac{G2 * XG2}{1000}$$

CM2 = 3, 14 TMS/h

CA2 = 6, 78 kg/Na_2CO_3/h

G3 = 7 673, 82 kg/h



- **Balance en el tanque de decoloración R1510**

Balance total de masa:

G4 = G3 + C

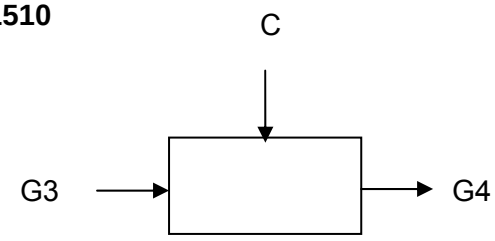
C = 0,5 % de la M.S

M.S = G3 * Brix

M.S = 3128, 93 kg/h

C = 15, 64 kg/h

G = 7689, 46 kg/h



Composición de la corriente de salida del tanque R1510

	kg/kg totales	kg/h
Grasa	0,00149	11,44
Proteínas	0,00249	19,07
Agua	0,5848	4 472,11
Glucosa	0,41	3 128,93
Carbón	0,00204	15, 4

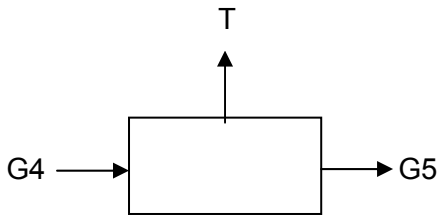
➢ **Balance en el filtro rotatorio al vacío R9310**

Balance total de masa:

G5 = G4 – T

T = 42,39 kg/h

G5 = 7647,07 kg/h



Composición del filtrado

	kg/kg totales	kg/h
Grasa	0.00110	8.43
Proteínas	0.00211	16.06
Agua	0.5861	4457.38
Glucosa	0.41	3122.91

➢ **Balance en el tanque de ajuste de pH E1120**

Balance total de masa:

G6 = G5 + CA3

CAT3 = 2.16 kgNa_2CO_3/T.M.S

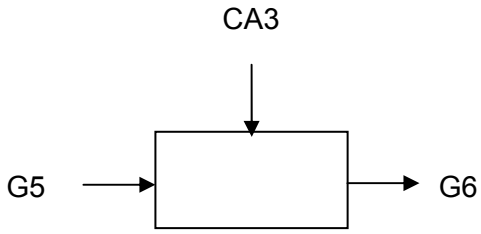
CA3 = CM3 * CAT3

$$CM3 = \frac{G5 * XG5}{1000}$$

CM3 = 3.12 T.M.S

CA3 = 6.73 kgNa_2CO_3/h

G6 = 7653.8 kg/h



➢ **Balance de masa y energía en el evaporador de triple efecto**

Primer vaso:

Balance total de masas:

G6 = V1 + G7

V1 = G6 – G7

V1 = 1268, 51 kg/h

Balance Parcial

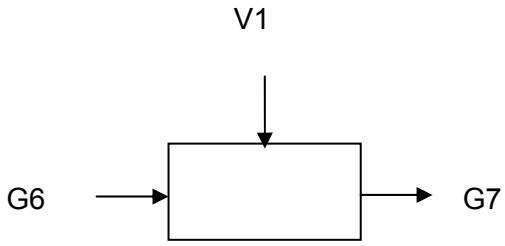
XG6 = 0, 41

XG7 = 0, 48

G6 * XG6 = G7 * XG7

$$G7 = \frac{G6 * XG6}{XG7}$$

G7 = 6537, 62 kg/h

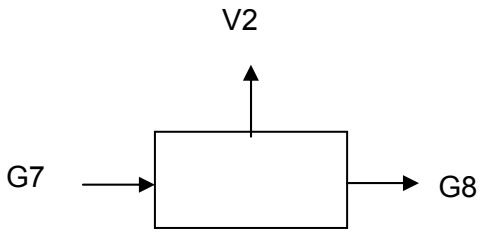


Vapor consumido en el primer vaso

$$S1 = \frac{V1 * \lambda V4 + G6 * CP * (TF - T21)}{\lambda S1}$$

λV4 = 227 399 J/kg (Vulkalovitch, 1975)
λS1 = 2 258 410J/kg (Vulkalovitch, 1975)
CP = 2 866 J/kg ^{0}K (Corn refiners Association, 1975)
T21 = 348 ^{0}K TF = 333 ^{0}K
S1 = 1 130,54 kg/h

Segundo vaso



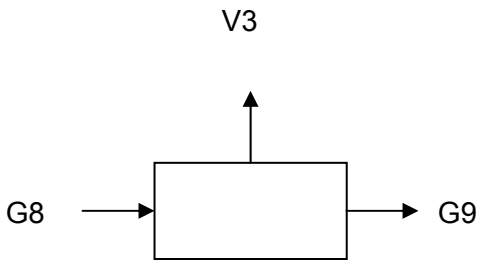
Balance total de masa
G7 = G8+ V2
V2 = G7 – G8
V2 = 726.41 kg/h
Balance parcial:
XG8 = 0, 54
G7 * XG7 = G8 * XG8

$$G8 = \frac{G7 * XG7}{XG8}$$

G8 = 5811,21 kg/h
Consumo de vapor en el Segundo vaso

$$S2 = \frac{V2 * \lambda V5 + G7 * CP7 * (T7 - TF) + G6 * CP6 * (T21 - T12)}{\lambda S2}$$

λV5 = 2 324 612 J/kg (Vulkalovitch, 1975)
λS2 = 2 294 863 J/kg (Vulkalovitch, 1975)
CP6 = 2 868, 47 J/kg^{0}K (Corn refiners Association, 1975)
CP7 = 2 516, 93 J/kg^{0}K (Corn refiners Association, 1975)
T7 = 331, 4 ^{0}K TF = 333 ^{0}K
T21 = 348 ^{0}K T12 = 330, 2 ^{0}K
S2 = 873, 14 kg/h
Consumo de vapor vivo en el primer vaso:
Sa = V1 – S2
Sa = 396,43 kg/h
S = S1 – Sa
S = 733,91 kg/h



Tercer vaso:
Balance total:
G8 = G9 + V3
V3 = G9 – G8
V3 = 954, 15 kg/h

Balance Parcial
XG9 = 0,65
G8 * XG8 = G9 * XG9

$$G9 = \frac{G8 * XG8}{XG9}$$

G9 = 4 627,74 kg/h

Consumo de vapor en el tercer vaso:

$$S3 = \frac{V3 * \lambda V6 + G8 * CP8 * (T8 - T7)}{\lambda S3}$$

λV6 = 2 346 400 J/kg (Vulkalovitch, 1975)

λS3 = 2 322 014,2 J/kg (Vulkalovitch, 1975)

CP8 = 2 261, 04 J/kg^{0}K (Corn refiners Association, 1975)

T8 = 325,48 ^{0}K T7 = 331,40 ^{0}K (Vulkalovitch, 1975)

S3 = 931,66 kg/h

- **Balance de masa y energía en el súper concentrador**

Balance total

G9 = G10 + V4

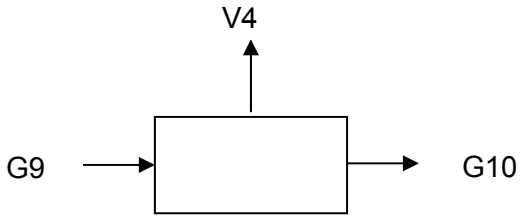
V4 = G9 – G10

V4 = 971,08 kg/h

Balance parcial

XG10 = 0,82

G9 = * XG9 = G10 * XG10



$$G10 = \frac{G9 * XG9}{XG10}$$

G10 = 3532,5 kg/h

Consumo de vapor vivo en el súper concentrador:

$$S4 = \frac{V4 * \lambda V7 + G9 * CP9 * (T9 - T8)}{\lambda S4}$$

λV7 = 2 203 940 J/kg (Vulkalovitch, 1975)

λS4 = 2 115 950 J/kg (Vulkalovitch, 1975)

CP9 = 1 793, 32 J/kg^{0}K (Corn refiners Association, 1975)

T8 = 325,48 ^{0}K T9 = 353 ^{0}K

S4 = 1 118,71 kg/h

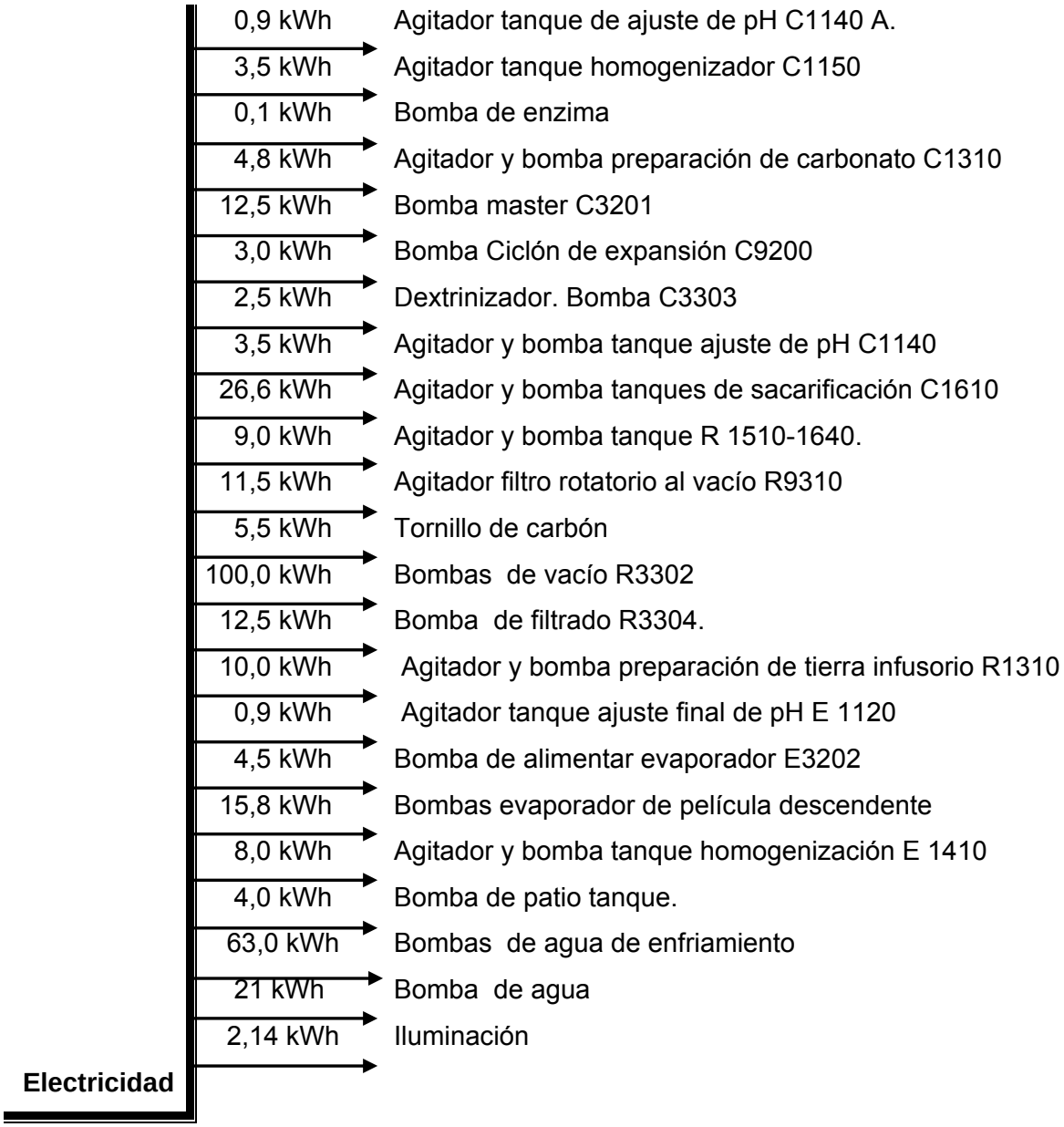
Significado de los términos

Símbolo	Significado	Unidad
LA	Flujo de alimentación al tanque C1140 A.	kg/h
GA1	Flujo de salida del tanque de preparación de la lechada	kg/h
G2	Flujo de sirope a la salida del ciclón de expansión	kg/h
GL	Flujo de sirope a la salida del ciclón de expansión	kg/h
G3	Flujo de sirope a la salida del tanque C1140 ó C1330	kg/h
G4	Flujo de salida del tanque de decoloración.	kg/h
G5	Flujo de salida del filtro rotatorio al vacío.	kg/h
G6	Flujo de sirope a la salida del tanque E1120.	kg/h
G7	Flujo de sirope a la salida del primer vaso.	kg/h
G8	Flujo de sirope a la salida del segundo vaso.	kg/h
G9	Flujo de sirope a la salida del tercer vaso	kg/h
G10	Flujo de sirope a la salida del súper concentrador.	kg/h
E_0	Flujo de enzima a añadir en el tanque C1140A	kg/h
H	Flujo de ácido en el tanque de acidulación	kg/h
HO	Agua evaporada en el ciclón de expansión.	kg/h
E1	Flujo de enzima a añadir en el tanque C1140	kg/h
H1	Flujo de ácido en el tanque de ajuste pH para sacarificación	kg/h
MH_2O	Flujo de agua calentador tanques de sacarificación	kg/h
CAO	Flujo de carbonato de sodio en el tanque C1140A	kg/h
CA1	Flujo de carbonato en el neutralizador C4210	kg/h
Mi	Flujo de agua de enfriamiento en el intercambiador de placas C7600A.	kg/h
CA3	Flujo de carbonato de sodio a añadir en el tanque de ajuste pH E1120.	kg/h
CM2	Flujo de materia seca en tanque de ajuste pH C1330	kg/h
CM3	Flujo de materia seca en tanque de ajuste pH E1120	kg/h
CAT3	Índice de carbonato de sodio en el tanque de ajuste de pH E1120 por tonelada de materia seca	Kg
MV1	Masa de vapor consumida en el convertidor.	kg/h
Mvap	Vapor consumido por el calentador de mezcla de los tanques de sacarificación	kg/h
Mr	Flujo de agua de reboso en el calentador de mezcla de los tanques de sacarificación.	kg/h
MH_2O	Masa de agua a calentar en los tanques de sacarificación.	kg/h
MV2	Masa de vapor consumida en el inactivador C7600	kg/h

Xah	Concentración de materia seca en la corriente de entrada del ciclón de expansión	kg/h
XG2	Concentración de materia seca en la corriente de salida del ciclón de expansión.	^{0}Brix
XG6	Concentración del sirope de entrada al primer vaso.	^{0}Brix
XG7	Concentración del sirope a la salida del primer vaso.	^{0}Brix
XG8	Concentración del sirope a la salida del segundo vaso.	^{0}Brix
XG9	Concentración del sirope a la salida del tercer vaso.	^{0}Brix
XG10	Concentración del sirope a la salida del súper concentrador	^{0}Brix
T1	Temperatura de entrada del sirope al convertidor.	^{0}K
T2	Temperatura de salida del sirope del convertidor.	^{0}K
T3	Temperatura de entrada del sirope al intercambiador.	^{0}K
T4	Temperatura de salida del sirope del intercambiador.	^{0}K
T21	Temperatura de entrada del sirope al primer vaso.	^{0}K
TF	Temperatura de salida del sirope del primer vaso.	^{0}K
T7	Temperatura del sirope a la salida del segundo vaso.	^{0}K
T8	Temperatura de salida del sirope del tercer vaso.	^{0}K
T9	Temperatura de salida del sirope del súper concentrador	^{0}K
TGs	Temperatura de salida del sirope del intercambiador de placas C7600A.	^{0}K
TGe	Temperatura del sirope en el intercambiador C7600A.	^{0}K
Ti1	Temperatura de entrada del agua de enfriamiento en el intercambiador C7600A.	^{0}K
Ti2	Temperatura de salida del agua de enfriamiento del intercambiador C7600A.	^{0}K
T12	Temperatura del sirope a la entrada del primer serpentín.	^{0}K
CPL	Calor específico de la mezcla.	J/kg ^{0}K
CPM	Calor específico del sirope en el intercambiador de placas C7600.	J/kg ^{0}K
CP	Calor específico del sirope en el primer vaso.	J/kg ^{0}K
CP8	Calor específico del sirope en el segundo vaso.	J/kg ^{0}K
CPH_2O	Calor específico del agua de enfriamiento en el intercambiador de placas C7600A.	J/kg ^{0}K
CP7	Calor específico de sirope en el serpentín de segundo vaso.	J/kg ^{0}K
CP9	Calor específico de sirope en el tercer vaso.	J/kg ^{0}K
CP10	Calor específico de sirope en el súper concentrador.	J/kg ^{0}K
CPv H_2O	Calor específico de la masa de agua que se produce por el cambio de fase del vapor.	J/kg ^{0}K
CPMA	Calor específico del sirope en el intercambiador de placas C7600A.	J/kg
CPi	Calor específico del agua de enfriamiento en el intercambiador de	J/kg

	placas C7600A.	
λV1	Calor latente cedido por el vapor en el convertidor C7200.	J/kg
λV2	Calor latente cedido por el vapor en el intercambiador de placas C7600.	J/kg
λV4	Calor de evaporación de los vahos producidos en el primer vaso.	J/kg
λV5	Calor de evaporación de los vahos producidos en el segundo vaso.	J/kg
λV6	Calor de evaporación de los vahos producidos en el tercer vaso.	J/kg
λV7	Calor de evaporación de los vahos producidos en el súper concentrador.	J/kg
λVap	Calor latente cedido por el vapor para calentar el agua a utilizar como medio de calentamiento en los tanques de sacarificación.	J/kg
λS1	Calor de evaporación a la temperatura del vapor del primer vaso	J/kg
λS2	Calor de evaporación a la temperatura del vapor del segundo vaso.	J/kg
λS3	Calor de evaporación a la temperatura del vapor del tercer vaso.	J/kg
λS4	Calor de evaporación a la temperatura del vapor del súper concentrador.	J/kg
S1	Vapor consumido en el primer vaso.	kg/h
S2	Vapor consumido en el segundo vaso.	kg/h
S3	Vapor consumido en el tercer vaso.	kg/h
Sa	Parte de los vahos que se producen en el primer vaso y que son aspirados por el termocompresor.	kg/h
S	Vapor vivo consumido en el primer vaso.	kg/h
S4	Vapor vivo consumido en el súper concentrador.	kg/h
V1	Vahos producidos en el primer vaso.	kg/h
V2	Vahos producidos en el segundo vaso.	kg/h
V3	Vahos producidos en el tercer vaso.	kg/h
V4	Vahos producidos en el súper concentrador.	kg/h
HO	Agua evaporada en el ciclón de expansión.	kg/h
MS	Materia seca a la entrada del tanque de decoloración.	kg/h
C	Flujo de carbón activado a añadir en el tanque de decoloración.	kg/h
T	Flujo de torta en el filtro.	kg/h

ANEXO M: Consumo de electricidad y vapor por equipos de la Planta de glucosa. Fuente: Elaboración Propia.



ANEXO N: Especificaciones de calidad de materias primas y materiales. Fuente: Elaboración Propia

Materias Primas y materiales	Especificaciones
Lechada de almidón refino	Concentración: 17-20 ^{0}Be
	pH: 5,0 – 7,0
	Proteínas: 0,8% máximo
	Grasas: 0,5 % máximo
	Contenido de SO_2 :70 mg/l máximo
Carbonato de Sodio	Pureza: 96,0 % mínimo.
	Ceniza: 3,0 % máximo.
Ácido Clorhídrico	Densidad: 1,15 -1,18 g/l
	Pureza: 6,5 %
Enzima Termamyl	Actividad: 120 KNU/g
	Densidad: 1,2 -1,25 g/l
	Estabilidad: Hasta 105 ^{0}C -110 ^{0}C
	Color: Marrón oscuro
	Olor: Característico
	Sabor: Característico
Enzima AMG	Densidad: 1,2 -1,25 g/l
	Actividad: 300 KNU/g
	Estabilidad: Hasta 60 ^{0}C – 65 ^{0}C
	Color: Marrón oscuro
	Olor: Característico
	Sabor: Característico
Carbón Activado	Ceniza: 7,0 % máximo
	Poder adsorbente: 70,0 % mínimo.
	Superficie interna total: 800,0 m^2/g
	Humedad: 6,0 % máximo
	PH: 4,0-5,0
Tierra infusorio	Peso específico: 2,33 g/l
	Densidad húmeda: 19 lb / pie^3
	Color: Blanco
Agua	Color: Transparente

	Olor: inodoro
	Sabor: Insípido y agradable
	PH: 6,5-8,0
	Turbidez: no detectable a simple vista
	Materias en suspensión: Menor de 30mg/l
	Cloro residual: 0,1-0,3 mg/l
	Dureza 250-300 mg/l
Fuel Oil	Densidad: 0,9353 kg/l
	Temperatura: 45-50 ^{0}C
	Factor de viscosidad: 0,9787
Energía eléctrica	Corriente trifásica, 440V, 60Hz

Anexo Ñ: Mediciones para determinar el consumo de agua de la planta de Glucosa. Fuente: Elaboración Propia

Mediciones	Consumo de agua de las plantas de Almidón y de Glucosa (m^3)	Consumo de agua de la planta de Almidón(m^3)	Consumo de agua de la planta de Glucosa (Diferencia) (m^3)
1	1 020	480	540
2	1 145	564	581
3	1 300	688	612
4	985	505	480
5	1 112	460	652
6	958	408	550
7	1 152	482	670
8	910	400	510
9	1 200	615	585
10	988	418	570
Promedio	1 077	502	575

ANEXO O: Cálculo del consumo de vapor y de energía eléctrica anual. Fuente: Elaboración Propia

Consumo de vapor por equipos para la producción de glucosa ácida

Proceso	Horas trabajadas	Consumo Vapor (kg/h)	Consumo Anual (t)
Conversión	1 880	1 369,31	2 574,3
Evaporación	1 519	1 852,62	2 814,13
Total			**5 388,43**

Consumo de vapor por equipos para la producción de glucosa enzimática

Proceso	Horas trabajadas	Consumo Vapor (kg/h)	Consumo Anual (t)
Conversión	1 050 h	888,56	932,99
Sacarificación	2 850 h	30,3	86,35
Inactivación	420 h	271	113,82
Evaporación	920 h	755,7	695,24
Total			**1 828,4**

Consumo anual de vapor: 7 216.83 T

Consumo anual de fuel oil: 360 841.5 litros= 352.6T+ 46.48T=399.1T

Consumo de energía eléctrica por equipos

Proceso	Horas trabajadas	Consumo (kWh)	Consumo anual (mW)
Conversión	2 930	26,0	76,180
Sacarificación	1380	29,11	40,172
Refinación	3 658,5	143,5	524,995
Evaporación	2439	29,2	71,229
Bombeo agua de enfriamiento	2 700	63,0	170,1
Bombeo agua planta	354	21	7,43
Iluminación	2 160	2,14	4,62
Total		**313,95**	**894,72**

Anexo P: Mediciones para determinar el consumo de fuel oil de la planta de Glucosa. Fuente: Elaboración Propia

Mediciones	Consumo de fuel oil de las plantas de Almidón y de Glucosa (l)	Consumo de fuel oil de la planta de Almidón (l)	Consumo de fuel oil de la planta de Glucosa (Diferencia)(l)
1	5 024	2 243	2 781
2	4 588	2 356	2 232
3	3 812	1 962	1 850
4	4 737	2 287	2 450
5	4 380	1 865	2 515
6	3 856	1 880	1 976
7	5 028	2 152	2 876
8	4 436	1 964	2 472
9	3 822	2 025	1 797
10	4 913	2 261	2 652
Promedio	**4 459,6**	**2 099,5**	**2 360,1**

ANEXO Q: Cálculos de las pérdidas de vapor en la Planta de glucosa. Fuente: Elaboración Propia

Las pérdidas de vapor se calculan teniendo en cuenta las tablas para evaluar las pérdidas por salideros en función del tamaño del orificio, del Manual del Buró energético del Ministerio de la Industria Alimentaria.

La estimación de pérdidas en kilocalorías por hora para cada metro lineal sin aislamiento en tuberías de vapor se calcula teniendo en cuenta las tablas del mismo manual y aplicando luego la fórmula siguiente se determinan las pérdidas en tuberías sin aislar, expresadas en toneladas de fuel oil por hora.

$$(\text{Ton/h}) = \frac{\text{Número de metros x kcal. /m lineal hora}}{9600 \text{ kcal/kg x } 1000 \text{kg/t}}$$

Presión de trabajo = 7 kg/cm^2

Precio del fuel oil = 656, 55 CUP/t

Consumo de fuel oil caldera: 48,85 kg / t de vapor generado.

Pérdidas por falta de aislamiento: 399 kcal/m lineal/ hora

Días trabajados planta de glucosa al año: 180 días

Lo cual se resume en la tabla siguiente:

Número de fugas	**Diámetro de la fuga (mm)**	**Flujo de vapor perdido total (kg/h)**	**Cantidad de fuel oil perdido (kg/h)**	**Costo de la pérdida (CUP/h)**
2	4,0	83,0	4,05	2,66
3	1,58	24,0	1,17	0,77
3	0,80	6,0	0,29	0,19
3	3,18	99,0	4,84	3,17
Subtotal		212,0	10,35	6,79
Tubería sin aislar	Longitud (m)	Flujo de vapor perdido total (kg/h)	Cantidad de fuel oil perdido (kg/h)	Costo de la pérdida (CUP/h)
2"	200	8,31	0,41	0,27
Total		**220,31**	**10,76**	**7,06**

ANEXO R: Especificaciones de calidad de los siropes de glucosa. Fuente: NEIAL 2306, 2003.

- **Sirope de glucosa de alto ED Clase A**

Equivalente dextrosa(ED): 92 mínimo

PH: 4,4-5,2

SO_2: 0 - 25 mg/l

Sólidos solubles (Brix) %: 65 mínimo

Conductividad: 150us-cm^3

Proteína: Menos de 0,01mg/ml

Color: ≤ Patrón 3

Sabor: Característico

Olor: Característico

Aspecto: Transparente o Ligeramente opalescente.

- **Sirope de glucosa de alto ED Clase B**

Equivalente dextrosa(ED): 91,5- 92 mín.

PH: 4,0 – 5,2

SO_2: 25,01- 40 mg/l

Sólidos solubles (Brix) %: 65 mínimo

Conductividad: 150,01-155 us/cm^3

Proteína: 0,01 – 0,05 mg/ml

Color: ≤ Patrón 3

Sabor: Característico

Olor: Característico

Aspecto: Transparente o Ligeramente opalescente.

- **Sirope de glucosa de alto ED Clase C**

Equivalente dextrosa(ED): 91,5 - 92 mín.
PH: 4,0- 5,2

SO_2: 40,01-50 mg/l

Sólidos solubles (Brix) %: 65 mínimo

Conductividad: 155,01-160 us/cm^3

Proteína: 0,05 – 0,08 mg/ml

Color: ≤ Patrón 3

Sabor: Característico

Olor: Característico

Aspecto: Transparente o Ligeramente opalescente.

- **Sirope de glucosa de alto ED Clase D**

Equivalente dextrosa (ED): 91.5-92 mín.

PH: 4,0 – 5,2

SO_2: 50 – 70 mg/l

Sólidos solubles (Brix) %: 65 mínimo

Conductividad: 160,01 – 250 us/cm^3

Proteína: 0,08 – 0,10 mg/ml

Color: ≤ Patrón 3

Sabor: Característico

Olor: Característico

Aspecto: Transparente o Ligeramente opalescente.

- **Sirope de glucosa ácida**

Equivalente dextrosa (ED): 38-42

PH: 4,4 – 5,2

SO2: 400 mg/kg máximo

Sólidos solubles (Brix) %: 80 - 85

Color: ≤ Patrón 3

Sabor: Característico

Olor: Característico

Aspecto: Transparente o ligeramente opalescente.

ANEXO S: Valores de pH a la entrada y salida de la planta de tratamiento de residuales. Fuente: Elaboración propia.

Tiempo en Días	Meses					
	Septiembre		Octubre		Noviembre	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	Entrada	Salida
1			4,32	4,08	3,8	7,3
1					4,64	4,86
1					4,94	4,8
2	5,77	5,24	5,34	4,1	4,26	4,18
2	4,61	4,08	3,72	4,06	4,2	4,1
2			4,27	4,82	4,19	4,12
3			5,99	4,72	4,56	4,39
3			5,65	3,87	4,61	4,82
3			5,58	4,42	3,94	4,7
4			4,72	4,74	3,9	4,77
4			4,83	4,6	4,23	4,62
4			5,33	4,39	4,3	4,8
5	5,32	4,78	4,19	4,23	3,72	5,04
5	5,51	4,38	4,51	3,6	4,28	5,11
5	3,69				4,09	4,98
6	3,88	4,78	5,68	3,8	4,04	4,63
6	4,21	4,96	6,06	3,68	4,32	4,64
6	4,46	5,71	4,17	3,72	4,64	4,83
7	3,58	4,24	3,61	3,9	5,46	4,54
7	3,32	4,54	4,33	4,51	5,16	4,89
7	3,52	4,54	3,54	4,11	4,64	4,38
8	5,44	4,05	4,02	3,55	4,84	4,32
8	5,41	4,26	4,3	4,2	4,89	5,04
8	4,24	4,13	4,28	4,2	4,72	5,21
9	3,53	4,33	4,01	4,36	3,76	3,95
9	3,96	4,76	4,4	4,05	4,1	4,31
9			4,29	4,43	3,94	4,76
10	3,9	4,35	3,94	4,29	4,28	4,45
10	3,61	4,94			4,69	4,59
10	4,31	4,43			4,4	5,07
11	4,56	4,92				
11	5,77	4,98				
11	5,09	4,74				
11	3,82					
12	4	5,59			3,96	4,52
12					4,59	4,28
12					4,73	4,43
13	3,83	5,72			4,63	4,84
13	3,83	5,34			8,52	4,58
13	4	5,51			5,13	4,96
14	6,2	5,7			4,63	4,85
14	6,1	5,33			4,48	4,89
14	6,09	5,62			4,51	4,32
15	3,77	3,78	4,2	4,5	6,31	4,06
15					5,43	5,21
16	4,84	6,15	3,99	4,46		
16	4,72	5,81				

16	5,19	6,23				
17	5,9	5,65			3,89	4,26
17	5,3	5,22			4,21	4,82
17	4,88	5,15			5,6	4,6
17	4,21	4,24			4,99	4,62
18	3,73	4,11			4,89	4,51
18	4,02	4,79			5,03	4,94
18	4,37	4,96			5,8	4,4
19	4,85	4,86			5,11	4,7
19	4,54	4,7			5,22	4,78
19	4,06	4,8			6,49	4,55
20	4,51	5,07			4,8	4,34
20	4,46	4,92			5,79	4,63
20	4,03	5,02			4,05	4,73
21	3,93	5,96	6,5	4,9	6,74	4,41
21	4,06	5,77	3,66	5,23	6,4	4,33
21	4,81	5,69				
22	4,2	5,47	3,56	3,55	4,08	4,95
22	4,73	5,21	4,28	4,72	4,56	5,02
22	4,12	4,74	3,8	4,2	4,95	5,01
23	3,86	5,51	4,54	4,93	4,55	3,81
23	4,19	5,73	4,94	5,03	6,95	4,68
23	4,41		4,4	4,25	5,69	4,44
24	4,02	6,01	3,14	4,28		
24	4,06	4,98	4,05	4,72		
24	4,16	5,03	4,1	4,8		
25	5,37	4,05	4,12	4,33	5,16	4,78
25	3,94	4,1	4,6	4,81	5,36	4,92
25	4,09	4,29	3,34	4,3	5,75	4,83
26	4,26		4,94	4,02	5,6	5,7
26	3,81	4,22	4,61	4,38	5,4	6,4
26	4,03	4,09	5,45	4,22	6,05	5,06
27	6,18	3,77	5,88	4,79	5,6	5,9
27	6,98	4,29	5,42	4,74	5,2	5,8
27	5,07	4,5	4,5	4,76	3,47	5,95
28			4,03	4,64	5,72	5,26
28			4,18	5	5,66	5,48
28			4,11	4,84	5,43	5,46
29	4,56	5,01	2,94	4,54	3,9	4,33
29	4,32	4,89	3,26	4,73	4,21	4,52
30	3,7	5,17				
30	4,37	5				
31			3,96	4,57		
31			3,56	4,68		
31			3,73	4,56		

ANEXO T: Cálculos para cuantificar el agua en el proceso, los residuos líquidos y sólidos y sus costos Fuente: Elaboración Propia.

- **Residuos generados en la operación del convertidor**

Tiempo promedio proceso de arrancada convertidor: 45 minutos

Tiempo promedio proceso de parada convertidor: 40 minutos

Flujo de la Bomba: 7,5 m^3 / h

Cantidad de residuo líquido generado en cada operación de arrancada: 5,62 m^3.

Cantidad de residuo líquido generado en cada operación de parada: 5 m^3

Número de operaciones de arrancada y parada al año: 325 (según libro de incidencias)

Residuos generados en la operación de arrancada anuales: 1 826,5 m^3

Residuos generados en la operación de parada anuales: 1 625 m^3

Residuos líquidos generados totales anuales: 3 451,5 m^3

Residuos generados en la operación del convertidor tienen como promedio: 8 ^oBx

Costo total: Costo del agua + Costo de la electricidad

Costo total= 1 159,32 CUP

- **Residuos generados en la operación del evaporador**

Tiempo promedio proceso de arrancada del evaporador: 45 minutos

Tiempo promedio proceso de parada convertidor: 55 minutos

Flujo de la Bomba: 7,8 m^3 / h

Cantidad de residuo líquido generado en cada operación de arrancada: 5,85 m^3

Cantidad de residuo líquido generado en cada operación de parada: 7,15 m^3

Número de operaciones de arrancada y parada al año: 280 (según libro de incidencias)

Residuos generados en la operación de arrancada anuales: 1 638 m^3

Residuos generados en la operación de parada anuales: 2 002 m^3

Residuos líquidos generados totales anuales: 3 640 m^3

Costo total: Costo del agua + Costo de la electricidad

Costo total= 1 212,52 CUP

- **Residuos generados por el agua de enfriamiento intercambiador C7600A**

Flujo de agua de enfriamiento (según el balance de materiales): 6 m^3/h

Tiempo requerido para enfriar el producto a sacarificar en un tanque (20 toneladas de glucosa) se demora el proceso: 8 horas

Para producir 1126,54 t de glucosa se necesita realizar enfriamiento: 450,6 horas.

Cantidad de residuo líquido generado anual: 2 703.7 m^3 al año.

- **Residuos generados por reboso del calentador de agua C 9530**

Consumo de agua del calentador: 0,030 m^3/h

Cantidad de tanques sacarificados: 57 tanques

Tiempo de sacarificación promedio: 50 horas = 2 850 horas anuales

Residuos líquidos generados anuales: 85,5 m^3

Cantidad de residuo líquido anual para transferencia de calor: 2 789,2 m^3

Costo total: Costo del agua + Costo de la electricidad+ Costo del fuel oil

Costo total= 3 545,35 CUP

- **Residuos generados en la operación de filtración al vacío**

Número de capas realizadas: 61 capas (según el libro de incidencias)

Tiempo promedio de lavado de la tela: 3 horas

Flujo de agua de las toberas de lavado: 3 m^3/h *5 toberas

Cantidad de residuo líquido generado anual: 2 745 m^3

Costo total: Costo del agua + Costo de la electricidad

Costo total=948,81 CUP

- **Residuos generados en la limpieza química de la planta**

Cantidad de limpiezas químicas realizadas al evaporador al año: 6

Flujo de agua utilizado: 7,8 m^3/h

Tiempo promedio de la limpieza: 16 horas

Cantidad de residuo líquido generado anual: 748,8 m^3

Cantidad de limpiezas químicas realizadas al convertidor al año: 5

Flujo de agua utilizado: 7,5 m^3/h

Tiempo promedio de la limpieza: 8 horas

Cantidad de residuo líquido generado anual: 300 m^3

Cantidad de residuo líquido total generado anual: 1 048,8 m^3

- **Residuos generados en la limpieza de pisos y equipos de la planta**

Cantidad de agua consumida promedio diaria en la limpieza: 10,5 m^3

Cantidad de días trabajados en la planta: 180 días

Cantidad de agua consumida promedio en la limpieza de tanques de producto final: 800 m^3

Cantidad de residuo líquido total generado anual: 2 690 m^3

Cantidad de residuo líquido total generado para operaciones de limpieza: 3 354 m^3

Costo total: Costo del agua + Costo de la electricidad

Costo total= 1 274,76 CUP

- **Agua perdida por salideros**

Salideros en la planta: 8 de 180L/día (CNP+LH, 2009)

Agua perdida promedio por día: 1 440 litros

Cantidad de agua perdida anual: 259,2 m^3

- **Agua perdida por malas prácticas**

Total: 31 586,85 m^3

Flujo de agua de sello: 8 m^3/h

Tiempo trabajado el filtro: 3 658,5 horas

Pérdida por agua de sello en bombas de vacío**:** 29 268 m^3

Cantidad de electricidad perdida por bombeo: 5 344.6 kW

Costo total: 1336.14 + 8 780.4=10 116.54 CUP

Derrame de piscina de agua de enfriamiento: 24 390 m^3

- **Residuos generados por no aprovechamiento del agua de condensados**

Durante la producción de glucosa enzimática.

Condensado generado en el triple efecto: 3,01 m^3/h (según el balance de masa)

Horas trabajadas evaporador: 920 horas (según el libro de incidencias)

Condensado generado anual: 2 769.2 m^3

Durante la producción de glucosa ácida.

Condensado generado en el triple efecto: 2,93 m^3/h (según el balance de masa)

Condensado generado en el súper concentrador: 0,971 m^3/h (según el balance de masa)

Condensado generado total: 3,901 m^3/h

Horas trabajadas evaporador: 1 519 horas (según el libro de incidencias)

Condensado generado: 5 925,62 m^3

Cantidad de residuo líquido total generado anual: 8 694.82 m^3

Costo total: Costo del fuel oil

Consumo de fuel oil: 175 468,5 litros=171,46 t

Costo total=112 573 CUP

- **Agua perdida del agua de enfriamiento**

Durante la producción de glucosa enzimática.

Horas trabajadas evaporador: 920 horas (según el libro de incidencias)

Horas trabajadas convertidor: 1 050 horas (según el libro de incidencias)

Durante la producción de glucosa ácida.

Horas trabajadas evaporador: 1 519 horas (según el libro de incidencias)

Horas trabajadas convertidor: 1 880 horas (según el libro de incidencias)

Horas totales que se utiliza la torre de enfriamiento: 5 369 horas

Por hora de trabajo se reponen en la piscina de enfriamiento: 10 m^3 de agua

Cantidad de agua total perdida anual: 53 690 m^3

Por deterioro de la torre: 29 300 m^3

Costo total: Costo del agua + Costo de la electricidad

Costo total=18 558,06 CUP

- **Costo total de los residuos líquidos**

Costo del hidróxido de cal: 184CUP/t

Costo total=Costo de cada uno +Costo de tratamiento.

Costo total=149 477,96 + 6 635,88=156 113,84 CUP

- **Agua consumida en la preparación de las materias primas**

Carbonato consumido anual: 7,027 toneladas

Tierra infusorio consumido anual: 36,379 toneladas

Se necesitan 0.1 kg de carbonato por litro de agua para preparar la suspensión a 12°Be.

Número de capas realizadas: 61 capas (según el libro de incidencias)

Se consumen aproximadamente 14 m^3 por cada capa confeccionada.

Agua requerida anual para la preparación del carbonato: 70,27 m^3

Agua requerida anual para la preparación de la tierra infusorio: 854 m^3

Ácido clorhídrico consumido para glucosa enzimática anual: 2 315 l

Agua requerida anual para la preparación del ácido clorhídrico: 11,18 m^3

Agua requerida total en la preparación de las materias primas: 935,45 m^3

- **Residuo sólido de la filtración**

Torta de filtrado: 42.39 kg/h (según balance de masa)

Se producen como promedio: 1,25 t de glucosa/hora

Se generan 33.9 kg de residuo por tonelada de glucosa

Cantidad total de glucosa producida: 1973,87 toneladas

Cantidad de residuo producido al año: 6 6914.19 kg

Se efectuó además el pesado de residuo y se comparó con las toneladas de glucosa producidas como se muestra en la siguiente tabla:

Peso del residuo (kg)	Glucosa producida (t)	kg de residuo/ t
1 420,44	42,0	33,82
1 751,36	52,0	33,68
1 016,7	30,0	33,89
2 145,15	63,0	34,05
1871,65	55,0	34,03
2 548,5	75,0	33,98
5 245,5	75,0	33,94
1022,7	30,0	34,09
2 034,6	60,0	33,9
2 515,5	75,0	33,54
Promedio		**33,89**

- **Cantidad de papel generado durante el proceso para el año**

Sacos de carbón activado: 418 unidades

Sacos de carbonato de sodio: 353 unidades

Sacos de tierra infusorio: 1 819 unidades

Peso por unidad de un saco de carbón activado: 180 gramos

Peso por unidad de un saco de carbonato de sodio: 200 gramos

Peso por unidad de un saco de tierra infusorio: 220 gramos

Peso en papel total anual: 546,02 kg

Anexo U: Composición promedio del residuo de la filtración y cálculo del precio de la torta residual del filtrado. Fuente: Elaboración Propia.

Característica	Composición
Grasa	8,07%
Proteínas	8,10%
Humedad	32,13%
Glucosa	14,9%
Carbón	36,8%
pH	4,47
SO_2	12,68 mg/l

- **Cálculo del precio por correlación de la torta residual del filtrado**

Caracterización Gluten Líquido.

- Proteínas ……. 50 %
- Grasa …… 6 %

Caracterización Torta Residual del Filtrado.

- Proteínas ……. 8,10 %
- Grasa …… 8,07 %

Se realizan los análisis correspondientes a partir de las características presentadas por el laboratorio y el departamento de calidad y se determina, tomar los indicadores de proteínas y grasa para hallar la correlación

Según Resolución No. 21 del 11 de Agosto de 1999 en su Epígrafe III. Métodos Generales para la Formación y Aprobación de Precios de su anexo se determina el precio de la Torta Residual del Filtrado, por Correlación.

Precio Aprobado Gluten Líquido…… 200,10 CUP

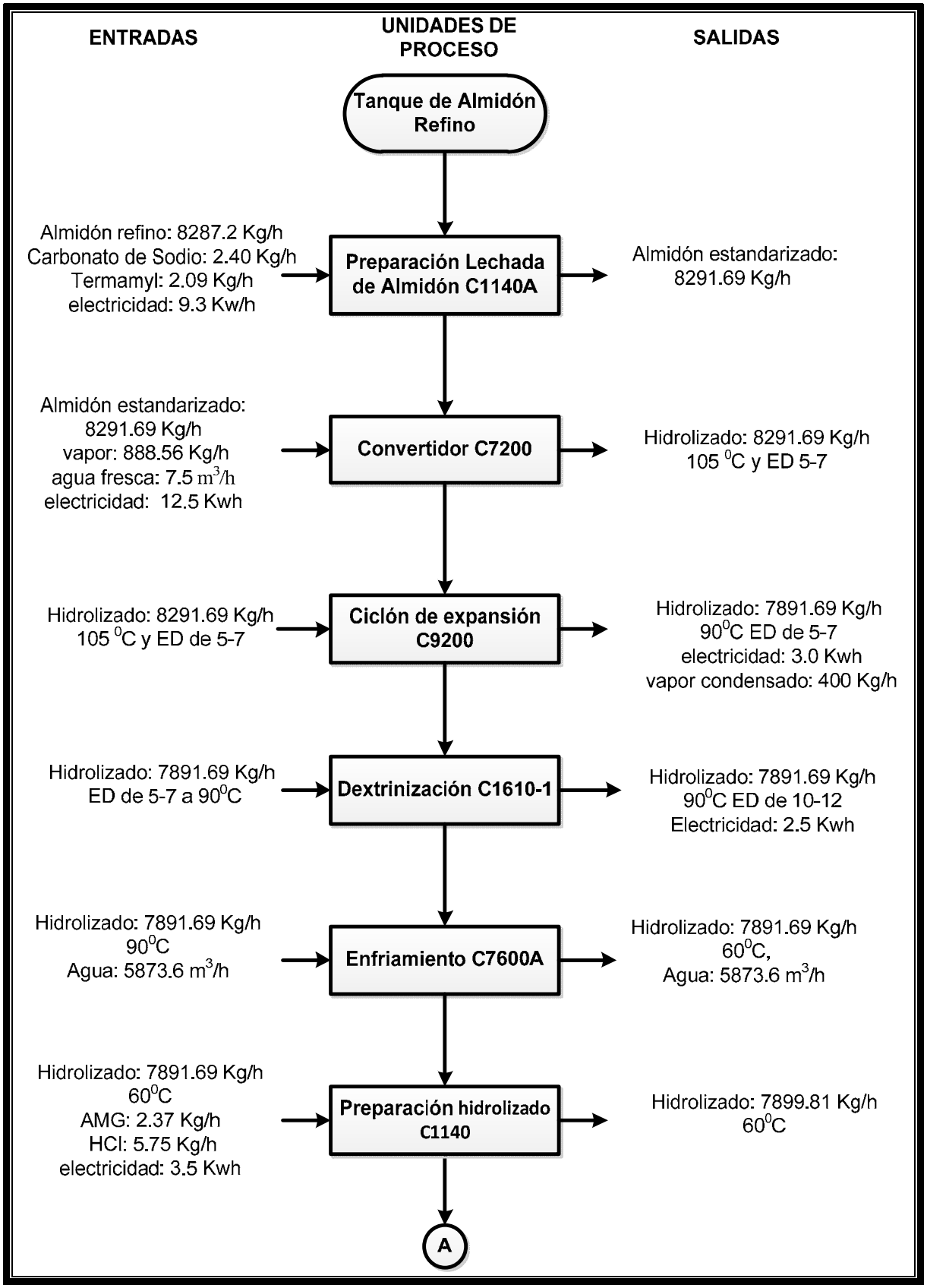
Formación de Precio de la Torta Residual del Filtrado por Correlación

- 1 tonelada de Gluten tiene el 50 % de Proteínas y el 6 % de Grasa
- 1 tonelada de Torta Residual del Filtrado tiene el 8,10 % de Proteínas y el 8,07 % Grasa

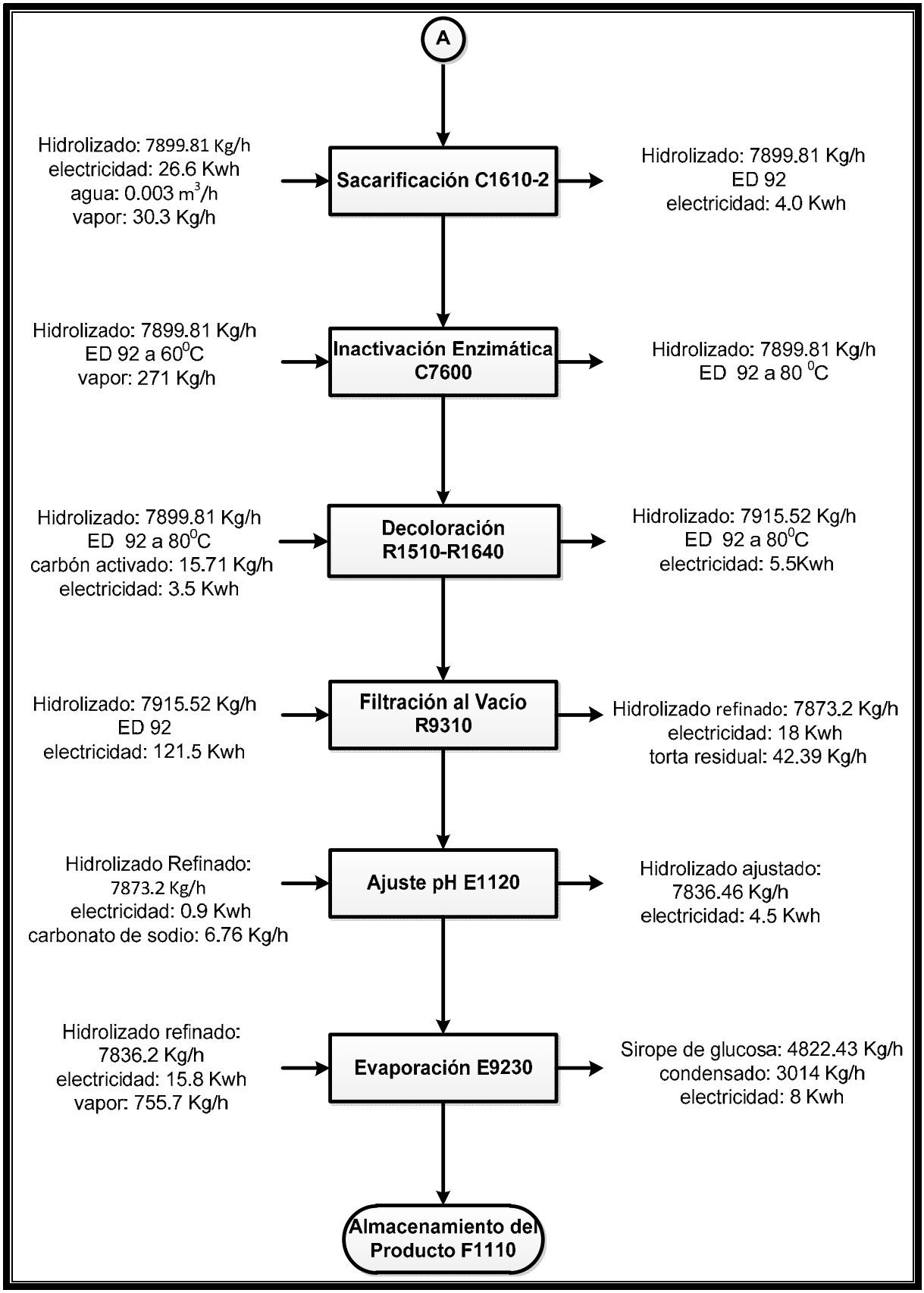
Atendiendo a los indicadores seleccionados de los mismos se desprende una correlación del 29 % lo que da como resultado: 200,10 x 29 % = 58,02

Precio por tonelada de la Torta Residual del Filtrado: 58,02 CUP

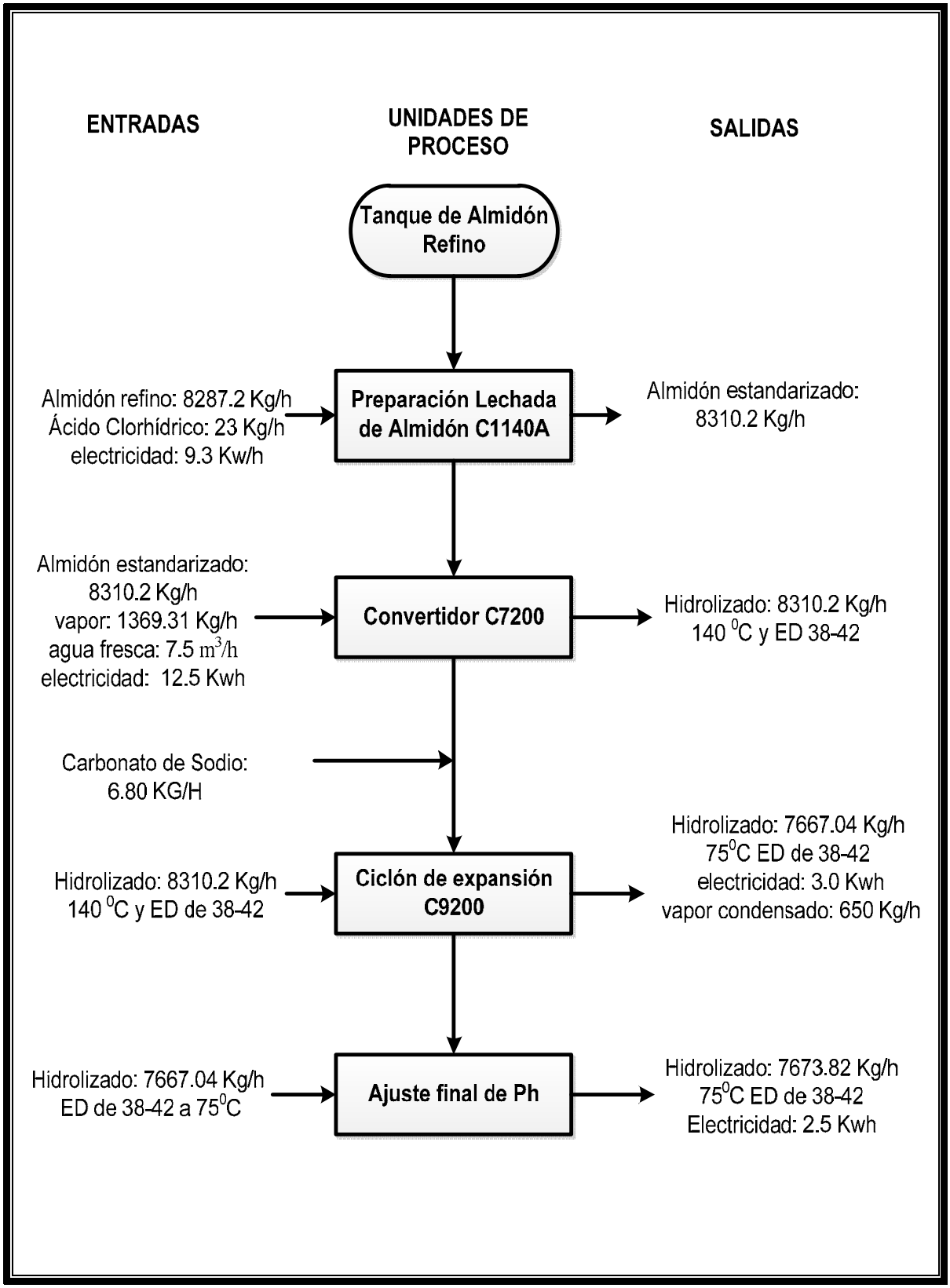
Anexo V: Diagrama de entradas y salidas en el proceso de Glucosa Enzimática. Fuente: Elaboración Propia



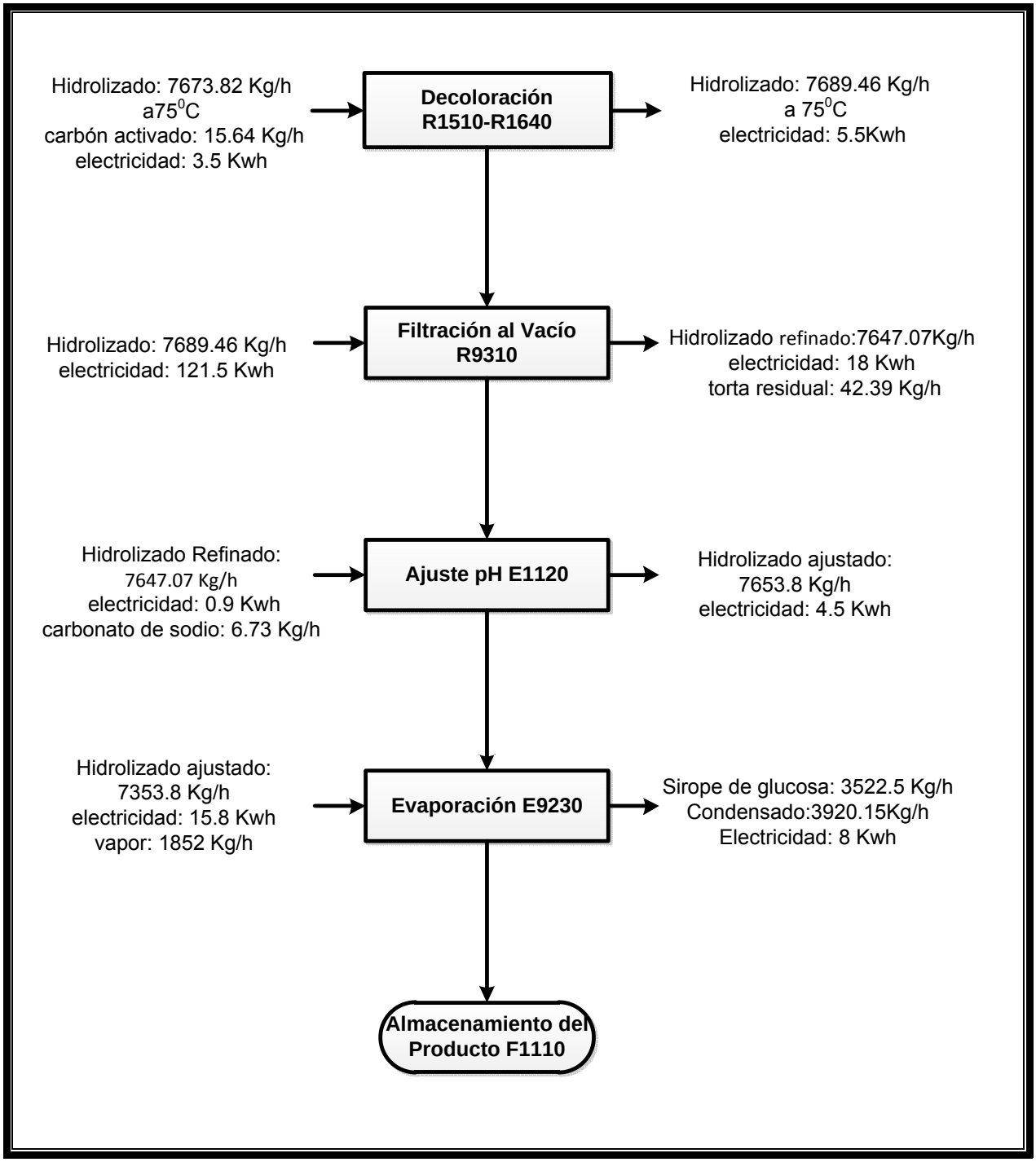
Anexo V: Diagrama de entradas y salidas en el proceso de Glucosa Enzimática. Fuente: Elaboración Propia (Continuación)



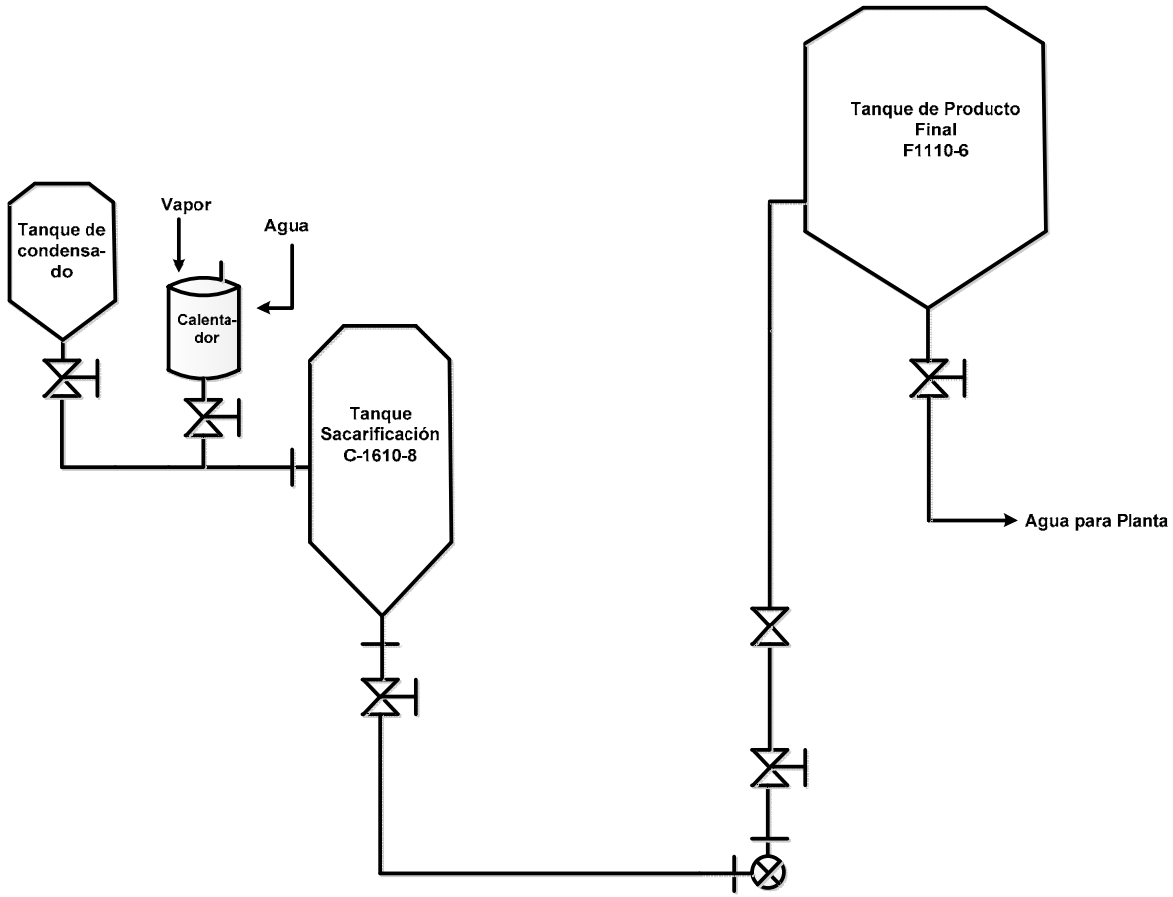
Anexo W: Diagrama de entradas y salidas en el proceso de Glucosa Ácida. Fuente: Elaboración Propia.



Anexo W: Diagrama de entradas y salidas en el proceso de Glucosa Ácida. Fuente: Elaboración Propia. (Continuación)



ANEXO X: Croquis del sistema de recuperación de agua propuesto. Fuente: Elaboración Propia



ANEXO Y: Cálculos del estudio de factibilidad económica. Fuente: Elaboración Propia

1. Cálculos para el estudio de factibilidad económica de la recuperación de la torre de enfriamiento de agua.

Datos:

Cantidad de tablillas a reponer: 1 440 tablillas

Cantidad de agua perdida anual: 12 782 m^3

Materiales requeridos:

Materiales	Cantidad	Precio CUP	Importe CUP
Arena	14.4 m^3	16.09	2 41.35
Gravilla	9.22 m^3	20.53	195.04
Cemento	0.980 t	130.6	127.99
Alambrón de 7mm	4 032 m	0.128	516.1
Total			**1 080.48**

Mano de obra:

Integrantes	Cantidad	Salario CUP	Gasto en salario (CUP)
Albañil B	2	260,0	520,0
Ayudante de construcción	4	235,0	940,0
Total			**1 460,0**

El periodo de retorno de la inversión simple (PIR) se calcula como:

$$\textbf{PIR} = \frac{\text{Costo de la Inversión}}{\text{Incremento de Utilidades}}$$

Costo de la inversión = Costo de los Materiales + Costo de Mano de Obra = 2 540,48 CUP

Incremento de Utilidades = Incremento de los Ingresos (I) + Reducción de gastos (II)

(I) Incremento de los Ingresos= 0

(II) Reducción de los gastos = Reducción Gasto agua + Reducción Gasto electricidad

Reducción del gasto agua = 29 300 m^3 x 0,30 CUP/ m^3 = 8 790 CUP

Horas de bombeo: 255 horas

Consumo de la bomba: 21,0 kWh

Reducción del gasto de electricidad= 5 355 kW x 0,25 CUP/kW.= 1338,75 CUP

Incremento de Utilidades = Reducción de gastos = 8 790 + 1 338,75

= 10 128,75 CUP

El PIR= Costo de la inversión = 2 540, 48 CUP = 0,25 años

Incremento de utilidades 10 128,75 CUP

El periodo de retorno de la inversión es aproximadamente 3 meses.

2. Cálculos para el estudio de factibilidad económica del sistema de arrancada del convertidor.

Para activar este sistema es necesario reparar una válvula automática de diafragma y reparar la válvula con flotante de entrada de agua al tanque de arrancada del convertidor.

Datos:

Se consumen los siguientes materiales:

Materiales	Cantidad	Precio CUP	Importe CUP
Diafragma válvula	1	17,36	17,36
Electrodos 6013	0,1kg.	4,56	0,456
Gases	1 m^3	1,75	1,75
Total			**19,57**

Para lo cual se necesitan trabajar 1 día una brigada compuesta por los siguientes miembros:

Integrantes	Cantidad	Salario CUP	Gasto en salario CUP
Mecánico B	1	285.0	11.88
Instrumentista B	1	285.0	11.88
Soldador	1	255.0	10.62
Total			**34.38**

PIR = Costo de la Inversión

Incremento de Utilidades

Costo de la inversión = Costo de los Materiales + Costo de la Mano de obra = 53,95 CUP

Incremento de Utilidades = Incremento de los Ingresos (I) + Reducción de gastos (II)

(I) Incremento de los Ingresos= 0

(II) Reducción de gastos = Reducción Gasto agua + Reducción Gasto electricidad

Reducción del gasto agua = 1 500 m^3 x 0,30 CUP/ m^3 = 450 CUP

Horas de bombeo: 13 horas.

Consumo de la bomba: 21,0 kWh.

Reducción del gasto de electricidad= 273,9 kW x 0,25 CUP/ kW= 68,47CUP

Incremento de Utilidades = Reducción de gastos = 450+ 68,47

= 518,47CUP

El PIR= Costo de la inversión = 53,95 = 0,1 años

Incremento de utilidades 518,47

El periodo estimado de retorno de la inversión es aproximadamente 1 mes.

3. Cálculos para el estudio de factibilidad económica de eliminar salideros y recuperar el aislamiento en tuberías de vapor.

Para acometer este trabajo se necesitan contratar los servicios de una entidad especializada, la cual tiene como tarifa aprobada el precio de 25,22 CUP/m de tubería de $2^{1/2}$ pulgadas a insular. Se requieren insular y reparar 200 m de tuberías de vapor.

PIR = Costo de la Inversión

Incremento de Utilidades

Costo de la inversión = Costo de los Materiales + Costo de Mano de Obra = 5 044 CUP

Incremento de Utilidades = Incremento de los Ingresos (I) + Reducción de gastos (II)

(I) Incremento de los Ingresos= 0

(II) Reducción de gastos = Reducción gasto fuel oil

Pérdidas estimadas por estos conceptos: 10.76 kg de fuel oil por hora.

Horas trabajadas reales totales: 4 320

Cantidad de fuel oil perdido anual: 46,48 toneladas

Incremento de Utilidades = Reducción de gastos = 30 516,44 CUP

El PIR= Costo de la inversión = 5 044 = 0,16 años

Incremento de utilidades 30 516,44

El periodo estimado de retorno de la inversión es de aproximadamente 2 meses.

4. Cálculos para el estudio de factibilidad económica de colocar gatillos con válvulas de cierre rápido en mangueras para agua de limpieza.

Datos:

Se necesita comprar:

Materiales	Cantidad	Precio CUP	Importe CUP
Válvulas de cierre rápido	3	26,05	**78,15**

PIR = Costo de la Inversión
Incremento de Utilidades

Costo de la inversión = 78,15 CUP

Incremento de Utilidades = Incremento de los Ingresos (I) + Reducción de gastos (II)

(I) Incremento de los Ingresos= 0

(II) Reducción de gastos = Reducción gasto de agua y de energía eléctrica por bombeo.

Según tabla en Guía de P+L para la caña de azúcar.(CNP+LH, 2009)

Diámetro manguera	Tiempo limpieza actual	Cantidad agua utilizada	Tiempo de limpieza con pistolas	Cantidad de agua con pistolas	Ahorro
3/4″	10,3 h/día	10,5 m^3/ día	8,24 h / día	7,9 m^3/ día	2,6 m^3/día

Reducción gasto de agua:

Días trabajados durante el año: 180 días

Agua ahorrada: 2,6 m^3/día x 3 mangueras = 7,8 m^3/día x 180 días = 1 404 m^3

1 404 m^3 * 0,30 CUP/ m^3 = 421,2 CUP anuales

Horas necesarias para el bombeo: 7,79 h* 21kWh= 256.4 kW = $ 64.09

Reducción de gastos = 421,2 + 64,09= 485,3 CUP

Reducción de gastos de agua por malas prácticas: 2 318,85 m^3= 695,65 CUP

Horas necesarias para el bombeo: 20.16 h* 21kwh= 223,4 kW = 105,86 CUP

Ahorro total: 1 286,8 CUP

PIR= Costo de la inversión = 78,15 = 0,06 años
Incremento de utilidades 1 286,8

El periodo estimado de retorno de la inversión es de aproximadamente 1 mes.

5. Cálculos para el estudio de factibilidad económica del sistema de recuperación del condensado y agua de reboso del calentador.

El condensado generado en el evaporador se propone que del tanque de recuperación de condensados, ubicado en la tercera planta del área de glucosa, pasen por gravedad hasta el tanque de sacarificación 8, luego de ahí serán bombeados hasta el tanque 6 de producto final, desde donde se distribuirá por gravedad hasta la tubería de agua de la planta para utilizarse en diferentes operaciones en la planta.

Datos:

Se necesitan los materiales siguientes:

Materiales	Cantidad	Precio CUP	Importe CUP
Tubería galvanizada de 2″	35 m	4,05	141,75
Válvula de 2″	6	10,62	63,72
Unión universal	2	3,06	6,12
Tee	3	0,85	2,55
Codos 90^0	6	0,60	3,6
Bomba	1	2 300	2 000
Total			**2 217,74**

Para lo cual se necesitan trabajar una brigada compuesta por:

Integrantes	Cantidad	Salario CUP	Gasto en salario CUP
Mecánico B (2 días)	1	285	23,75
Pailero B (5 días)	2	260	108,33
Soldador B (2 días)	1	255	21,25
Total			**153,33**

PIR = Costo de la Inversión

Incremento de Utilidades

Costo de la inversión = Costo de los Materiales + Costo de Mano de Obra = 2 371,07 CUP

Incremento de Utilidades = Incremento de los Ingresos (I) + Reducción de gastos (II)

(I) Incremento de los Ingresos= 0

(II) Reducción de gastos = Reducción gasto de agua y de energía eléctrica por bombeo.

Se ahorra por este concepto:

Operaciones	Volumen de agua recuperado (m^3)	Ahorro(CUP)
Condensado generado	8 694,82	3 005,39
Calentador de patio tanques.	85,5	29,55
Total	**8 780.32**	**3 034,94**

Incremento de Utilidades = Reducción de gastos = 1 426,22 CUP

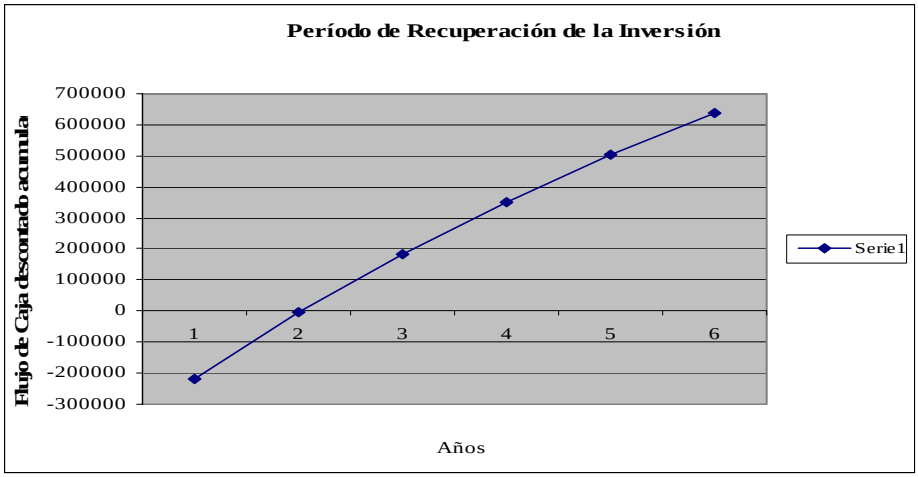
El PIR= Costo de la inversión = 2 371,07 = 0,78 años
Incremento de utilidades 3 034,94

El periodo estimado de retorno de la inversión es de aproximadamente 10 meses.

6. Cálculos para el estudio de factibilidad económica del proyecto de automatización del proceso productivo.

En esta tabla se muestran los pronósticos de gastos e ingresos para la inversión de automatización de planta de glucosa calculados mediante Microsoft Office Excel 2003.

Concepto (CUP)	Años				
	2013	2014	2015	2016	2017
Ingresos por ventas	1 591 915	1 591 915	1 591 915	1 591 915	1 591 915
Costos de Producción	1 083 461,7	1 083 461,7	1 083 461,7	1 083 461,7	1 083 461,7
Utilidad Marginal	508 453,27	508 453,27	508 453,27	508 453,27	508 453,27
Gastos Generales	62 515,5	62 515,5	62 515,5	62 515,5	62 515,5
Utilidad bruta	445 937,77	445 937,77	445 937,77	445 937,77	445 937,77
Impuestos sobre la renta (36 %)	160 537,59	160 537,59	160 537,59	160 537,59	160 537,59
Utilidad neta	285 400,17	285 400,17	285 400,17	285 400,17	285 400,17
Depreciación	-13 017,843	-13 017,843	-13 017,843	-13 017,843	-13 017,843
Flujo neto efectivo	298 418,02	298 418,02	298 418,02	298 418,02	298 418,02
Inversión inicial	216 964,05				
VAN	977,108,22				
TIR	106 %				
Tiempo de recuperación de la inversión : 1,5 años					



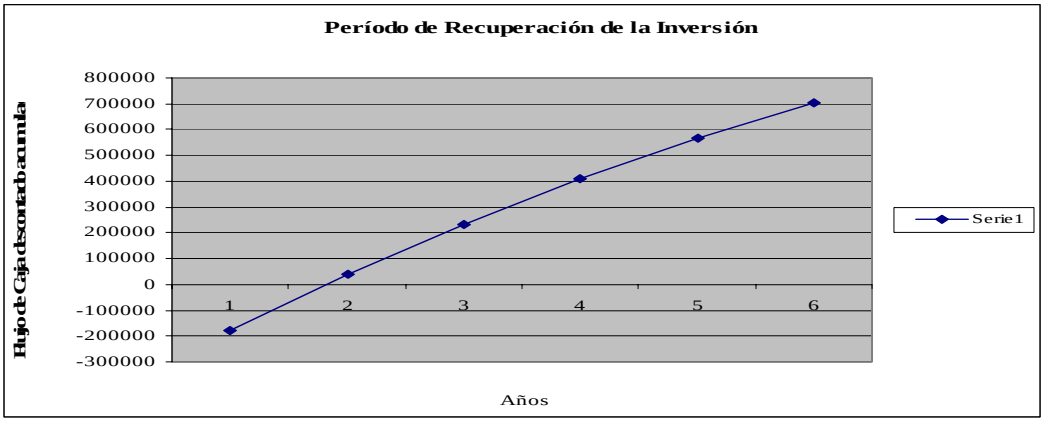
Con este proyecto se logra la corrección de los índices de consumo de las materias primas que actualmente están desviados, se logra una disminución de los tiempos perdidos por causas relacionadas con las frecuentes averías y el alto nivel de operaciones manuales que se ejecutan y calidades alejadas de los estándares que puede alcanzar esta planta por lo que se puede incrementar la producción en 300 toneladas anuales. En el caso de la producción de glucosa enzimática, el 26.12% de las mismas presenta desviaciones en el precio por no tener la calidad óptima. Sobre la base de los indicadores anteriormente relacionados se realiza el análisis comparativo que se muestra en la siguiente tabla.

Indicador	En las condiciones actuales (CUP)	Si se realiza la inversión (CUP)	Diferencia (CUP)
Costo por consumo de tierra de infusorio	43 291,01	32 581,01	10 710
Costo por consumo de ácido clorhídrico	2 091,39	1 640,94	450,45
Costo por consumo de Carbonato	3 444,7	3 221,75	222,95
Costo por consumo de enzima AMG	10 442,4	10 320,11	122,29
Subtotal Reducción de los gastos			**11 505,69**
Afectaciones de precio por calidad	13 984,68	0	13 984,68
Incremento de las producciones	0	173 655	173 655
Subtotal aumento de los ingresos			**187 639,68**
Total de recuperación			**199 145,37**

7. Cálculos para el estudio de factibilidad económica de recuperar la separadora de proteínas.

En esta tabla se muestran los pronósticos de gastos e ingresos para la inversión de automatización de planta de glucosa calculados mediante Microsoft office Excel 2003.

Concepto (CUP)	Años				
	2013	2014	2015	2016	2017
Ingresos por ventas	1 591 915	1 591 915	1 591 915	1 591 915	1 591 915
Costos de Producción	1 083 461,7	1 083 461,7	1 083 461,7	1 083 461,7	1 083 461,7
Utilidad Marginal	508 453,3	508 453,3	508 453,3	508 453,3	508 453,3
Gastos Generales	62 515,5	62 515,5	62 515,5	62 515,5	62 515,5
Utilidad bruta	445 937,77	445 937,77	445 937,77	445 937,77	445 937,77
Impuestos sobre la renta (36 %)	160 537,6	160 537,6	160 537,6	160 537,6	160 537,6
Utilidad neta	285 400,17	285 400,17	285 400,17	285 400,17	285 400,17
Depreciación	-10 800	-10 800	-10 800	-10 800	-10 800
Flujo neto efectivo	40 320	40 320	40 320	40 320	40 320
Inversión inicial	-180 000				
VAN	969.846,35				
TIR	134 %				
Tiempo de recuperación de la inversión	1,3 años				



Con este proyecto se logra mejorar el índice de consumo de la tierra de infusorio en un 50%. Además se puede incrementar la producción en 300 toneladas anuales al mejorar la eficiencia del filtrado. Sobre la base de los indicadores anteriormente relacionados se realiza el análisis comparativo que se muestra en la siguiente tabla:

Indicador	**En las condiciones actuales (CUP)**	**Si se realiza la inversión (CUP)**	**Diferencia (CUP)**
Costo por consumo de tierra de infusorio	43 291,01	37 936,01	5 355
Incremento de las producciones	0	173 655	173 655
Total			**179 010**

8. Cálculos para el estudio de factibilidad económica de poner en funcionamiento el intercambiador C 7600 A

Datos:

Costo juntas del intercambiador: 198,0 CUP

Mano de obra: 23,75 CUP

Cantidad de agua ahorrada: 2 080 m^3 * 0.30 CUP/ m^3 = 624 CUP

Horas de bombeo: 18

Consumo Bomba: 21 kWh

Reducción del gasto de electricidad= 378 kW. x 0.25 CUP/ kW= 94,5 CUP

PIR = Costo de la Inversión / Incremento de Utilidades

Costo de la inversión = Costo de los Materiales + Costo de Mano de Obra = 221,75 CUP

Incremento de Utilidades = Incremento de los Ingresos (I) + Reducción de gastos (II)

(I) Incremento de los Ingresos= 0

(II) Reducción de gastos = Reducción gasto de agua y de energía eléctrica por bombeo.

Incremento de Utilidades = **Reducción de gastos** = 624+ 94,5= 718,5 CUP

El PIR= Costo de la inversión / Incremento de utilidades = 221,75 / 718,5 = 0,31 años

El periodo estimado de retorno de la inversión es de aproximadamente 4 meses.