

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

“Análisis de Ahorro de Energía de un Proceso Continuo y su Aprovechamiento en Procesos Batch para una Empresa Fármaco – Química”

T e s i s



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

Que para obtener el título de:

Ingeniero Químico

Presenta:

Aristeo Muñoz Avila

“Por mi raza hablara el Espíritu”

México D.F. 2009





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

<b>OBJETIVOS</b>	<b>10</b>
OBJETIVO GENERAL	10
OBJETIVO PARTICULAR	10
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<hr/>	
DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.	11
JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN.	11
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	12
<b>CAPÍTULO 1 GENERALIDADES</b>	<b>13</b>
<hr/>	
1.1. ASPECTOS TÉCNICOS	13
1.1.1. ¿QUÉ ES EL AHORRO DE ENERGÍA?	13
1.1.2 ASPECTOS ENERGÉTICOS Y AMBIENTALES DEL AHORRO DE ENERGÍA	13
<b>1.2 ASPECTOS GENERALES DE AHORRO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA</b>	<b>14</b>
<hr/>	
1.2.1 ACCIONES Y RECURSOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA.	14
1.2.2 LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD ENERGÉTICA	16
1.2.3. POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA	17
1.2.4 USO EFICIENTE DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA Y SU RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE.	21
<b>1.3 ASPECTOS GENERALES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA</b>	<b>24</b>
<hr/>	
1.3.1 SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA QUÍMICA EN MÉXICO	24
1.3.2 IMPACTO Y POTENCIAL DEL AHORRO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA QUÍMICA MEXICANA	25
1.3.1 POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA	26
<b>CAPÍTULO 2 GENERALIDADES DE LA PLANTA QUÍMICA S.A. C.V.</b>	<b>27</b>
<hr/>	
2.1. OPERACIONES UNITARIAS EN LA INDUSTRIA QUÍMICA ANALIZADA	27
2.1.1 DEFINICIÓN DE DESTILACIÓN	27
2.1.2 DEFINICIÓN DE FERMENTACIÓN	27
2.1.3 DEFINICIÓN DE MICRO FILTRACIÓN	28
2.1.4 DEFINICIÓN ULTRAFILTRACIÓN	28
2.2 DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA	29
2.3 ANÁLISIS DEL SISTEMA QUEMADOR DE GAS NATURAL	33
2.4 ANÁLISIS DEL SISTEMA PRODUCTOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA	35
2.5 ANÁLISIS DEL SISTEMA PRODUCTOR DE ENERGÍA TÉRMICA	36
2.6 ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS CON REQUERIMIENTOS TÉRMICOS ALTOS	38
<b>CAPÍTULO 3 PROPUESTAS DISEÑADAS</b>	<b>40</b>
<hr/>	
3.1 PROPUESTAS EN LOS SISTEMAS CON REQUERIMIENTOS TÉRMICOS ALTOS	40

<b>3.2 CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA EN LA GENERACIÓN Y USO DEL VAPOR</b>	<b>41</b>
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA 1	41
<b>3.3 MEJORAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE CALENTAMIENTO</b>	<b>43</b>
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA 2	43
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA 3	46
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA 4	48
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA 5	50
DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA 6	52
<b>CAPÍTULO 4 SISTEMA ACTUAL VS SISTEMA PROPUESTO</b>	<b>53</b>
<b>1.1 ANÁLISIS DE LA MODIFICACIÓN EN LOS SISTEMAS CON REQUERIMIENTOS TÉRMICOS ALTOS</b>	<b>53</b>
1.1.1 FERMENTACIÓN	53
1.1.2 DESTILACIÓN	54
1.1.3 ENZIMAS	55
1.1.4. VISTA GLOBAL	56
1.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DEL SISTEMA ACTUAL VS EL PROPUESTO	57
1.3 MEMORIA DE CÁLCULOS	60
1.3.1 FERMENTACION	60
1.3.1.1 ALGORITMO	60
1.3.1.2 FORMULAS	61
1.3.2. DESTILACION	62
1.3.2.1 Algoritmo	62
1.3.2.2 Formulas	63
1.3.3 ENZIMAS	65
1.3.3.1 Algoritmo	65
1.3.3.2 Formulas	66
<b>BALANCES FERMENTACIÓN</b>	<b>68</b>
TABLA DE BALANCE DE ESTERILIZACIÓN ACTUAL	68
TABLA DE BALANCE DE ESTERILIZACIÓN CON PRECALENTAMIENTO	70
<b>BALANCES DESTILACIÓN</b>	<b>72</b>
TORRE TD-01	72
BALANCES TORRE TD-02	76
BALANCES TORRE TD-08	81
BALANCES ENZIMAS	84
<b>CAPÍTULO 5 ANÁLISIS ECONÓMICO</b>	<b>88</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>92</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>98</b>

<b>GLOSARIO</b>	<b>99</b>
CONCEPTO DE ENERGÍA	99
TRABAJO	99
CALOR	99
DEFINICIÓN DE COGENERACIÓN	100
MEJORAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE CALENTAMIENTO	100
AVANCES TECNOLÓGICOS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR.	101
INTENSIDAD ENERGÉTICA	101
BENCHMARK	101
DESARROLLO SUSTENTABLE	101
FACTOR DE POTENCIA	102
NÚMERO DE PRANDTL	102
LEY DE LOS GASES IDEALES	102
CALOR ESPECÍFICO	102
BATCH O LOTE	103
AISLAMIENTO	103
ANÁLISIS PINCH	103
NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	103
<b>SIMBOLOGÍA</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN</b>	<b>108</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>110</b>

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Distribución del volumen de agua utilizada en Fermentación .....	31
Ilustración 2 Calor requerido en la esterilización de los lotes .....	32
Ilustración 3 Diagrama de Sankey de la distribución y uso de la energía de gas natural.....	34
Ilustración 4 DFP del sistema de cogeneración.....	37
Ilustración 5 DFP del sistema de Fermentación .....	38
Ilustración 6 DFP del sistema de Destilación.....	39
Ilustración 7 Esquema de realización de las propuestas .....	40
Ilustración 8 DFP de la propuesta 1.....	42
Ilustración 9 DFP de la propuesta 2 .....	45
Ilustración 10 DFP de la propuesta 3.....	47
Ilustración 11 DFP de la propuesta 4.....	49
Ilustración 12 DFP de la propuesta 5 .....	51
Ilustración 13 Esquema del ciclo de agua en la propuesta 6.....	52
Ilustración 14 Esquema del flujo de agua de proceso para fermentación.....	53
Ilustración 15 Esquema del circuito diseñado para destilación .....	54
Ilustración 16 Esquema del flujo de agua de servicio para enzimas.....	55
Ilustración 17 DFP de la propuesta 6.....	56
Ilustración 18 Temperaturas de los equipos y procesos involucrados en las propuestas .....	57
Ilustración 19 Temperaturas de los equipos y procesos con la propuesta 6.....	58
Ilustración 20 Distribución de vapor con máxima producción en Fermentación .....	59
Ilustración 21 Distribución de vapor con máxima producción y con propuesta 6.....	59
Ilustración 22 Algoritmo de cálculos en Fermentación.....	60
Ilustración 23 Algoritmo de cálculos en Destilación .....	62
Ilustración 24 Algoritmo de cálculos en Enzimas.....	65
Ilustración 25 Diagrama X-Y de la Mezcla Acetona - Agua.....	72
Ilustración 26 Diagrama T-x-y de Acetona - Agua.....	73
Ilustración 27 Diagrama T-x-y de la mezcla IPA - Agua.....	76
Ilustración 28 Diagrama X-Y de la mezcla IPA-Agua.....	77
Ilustración 29 Datos cotización .....	90
Ilustración 30 Total Cotización.....	90
Ilustración 31 Comparativo de los costos de la esterilización actual y con propuesta .....	92
Ilustración 32 Comparativo del calentamiento en las columnas de destilación actual vs propuesto .....	94
Ilustración 33 Costo del vapor usado en enzimas .....	95
Ilustración 34 Ahorro global de Gas Natural .....	96
Ilustración 35 Ahorro de Gas Natural en Calderas .....	96

Índice Tablas

Tabla 1 Datos de los tanques a esterilizar ..... 68

Tabla 2 Cantidad de vapor necesitada en la primera etapa de esterilización..... 68

Tabla 3 Costo del vapor utilizado en la primera etapa de esterilización..... 68

Tabla 4 Cantidad de vapor utilizado en la segunda etapa de esterilización..... 69

Tabla 5 costo del vapor utilizado en la segunda etapa de esterilización..... 69

Tabla 6 Vapor y costo total de esterilización con máxima producción con calentamiento desde temperatura ambiente ..... 69

Tabla 7 Datos del vapor necesitado con la propuesta 6 en la etapa de esterilización 1 ..... 70

Tabla 8 Costo del vapor utilizado en la primera etapa de esterilización con propuesta 6 ..... 70

Tabla 9 Costo total de la esterilización con la propuesta 6 ..... 70

Tabla 10 Comparación de Costo de esterilización actual vs Propuesta ..... 71

Tabla 11 Ahorro en Fermentación por lote de producción ..... 71

Tabla 12 Datos de los diagramas de Acetona - Agua .....73

Tabla 13 Flujos y concentraciones de proceso..... 74

Tabla 14 datos de la sustancias..... 74

Tabla 15 datos entálpicos..... 74

Tabla 16 Ecuación de la recta “C” ..... 74

Tabla 17 Ecuación de la curva X-Y ..... 74

Tabla 18 Igualando recta “C” y curva X-Y..... 74

Tabla 19 Ecuación resultante .....75

Tabla 20 Solución de la ecuación resultante .....75

Tabla 21 Valor de  $N_{min}$  y Liq/Vap .....75

Tabla 22 Ecuación de la recta superior .....75

Tabla 23 Valores de Liq,Liq',Vap,Vap' y Liq'/Vap' .....75

Tabla 24 Ecuación de la recta inferior .....75

Tabla 25 Cantidad de vapor requerida si T entrada = T ebullición.....75

Tabla 26 Datos de las Gráficas ..... 78

Tabla 27 Datos de proceso..... 78

Tabla 28 Datos de las sustancias ..... 78

Tabla 29 Datos de entalpías..... 78

Tabla 30 Ecuación de la recta “C” ..... 79

Tabla 31 Ajuste de la curva “X-Y” ..... 79

Tabla 32 Igualando ecuación de la curva “x-y” y la recta “C” ..... 79

Tabla 33 Ecuación resultante..... 79

Tabla 34 Solución de la ecuación resultante..... 79

Tabla 35 valor de  $N_{min}$  y Liq/Vap ..... 79

Tabla 36 Ecuación de la recta superior ..... 80

Tabla 37 Valores de L, L', V, V' y L'V' ..... 80

Tabla 38 Ecuación de la recta inferior .....	80
Tabla 39 cantidad de vapor requerido en el reboiler .....	80
Tabla 40 Datos de proceso .....	81
Tabla 41 Datos de las sustancias.....	81
Tabla 42 Datos entálpicos.....	82
Tabla 43 Ecuación de la recta “C” .....	82
Tabla 44 Ajuste de la curva “X-Y”.....	82
Tabla 45 Igualando recta “X-Y” y la recta “C” .....	82
Tabla 46 Ecuación resultante .....	82
Tabla 47 Resultado de la ecuación resultante.....	83
Tabla 48 Valor de $N_{min}$ y $L/V$ .....	83
Tabla 49 Ecuación de la recta superior .....	83
Tabla 50 Valores de $L, L', V, V'$ , y $L'/V'$ .....	83
Tabla 51 Ecuación de la recta inferior.....	83
Tabla 52 vapor requerido en el reboiler.....	83
Tabla 53 Datos de la UF-1 .....	84
Tabla 54 Datos de la UF-2.....	84
Tabla 55 Datos de la UF-3.....	84
Tabla 56 Datos de la UF-4 .....	85
Tabla 57 Datos de la MF-1.....	85
Tabla 58 Datos de la MF-2.....	85
Tabla 59 Datos de la MF-3.....	86
Tabla 60 valor del flujo de vapor a Enzimas .....	86
Tabla 61 Balance del vapor requerido para los equipos .....	86
Tabla 62 Capital Cost Estimate .....	91
Tabla 63 Ahorro de Vapor debido a la propuesta 6 .....	97



## Resumen

A principios de año se inicio un proyecto de ahorro de energía en una empresa fármaco – química, la primera parte de ese proyecto (ingeniería básica) está plasmado en este trabajo. La energía de una corriente de servicio en un sistema de cogeneración es recuperada en intercambiadores de calor de placas, para su aprovechamiento como precalentamiento de corrientes de proceso en tres distintos departamentos de la planta. Esto a su vez representa un doble ahorro debido a que se disipa el calor de la corriente caliente y a su vez se suministra calor a una corriente que debe calentarse. Se hicieron los cálculos necesarios para conocer cuál sería el ahorro que se tendría intercambiando el calor entre las corrientes y se llego a conclusiones importantes, dos de los tres departamentos estudiados representan casi el 90% del ahorro total del proyecto debido a esto se decide que el tercer departamento no es económicamente viable para su posible implementación e integración dentro del proyecto. Sin embargo el diseño del nuevo sistema de servicios planteado en este trabajo para los otros dos departamentos muestra ser viable. Teniendo retornos de inversión muy cortos debido a la simpleza y efectividad del diseño propuesto.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Minimizar los consumos energéticos de la planta fármaco química.

### **Objetivo Particular**

Realizar diferentes propuestas para el aprovechamiento de energía térmica de servicios en los departamentos de la planta.

Comprobar que la(s) propuesta(s) económicamente viable(s) disminuya(n) los consumos energéticos de la planta y se traduzca en ahorro de capital

## INTRODUCCIÓN

### Descripción de la problemática.

Los consumos energéticos mundiales son altos, mas los altos precios de los combustibles y la situación internacional actual replantean de forma ingenieril si la manera en la que se hacen las cosas hoy en día es la más eficiente.

### Justificación y motivación.

En muchos países actualmente existe una conciencia ecológica que ha hecho presión para la creación de leyes.

Estas nuevas legislaciones que se han ido implementando en los últimos años, además de, nuevos sistemas de calidad, protección al medio ambiente, certificaciones, auditorias, entre otros; sumando también los altos precios en los combustibles, la situación económica mundial en la actualidad, el crecimiento demográfico, la contaminación etc. Replantean las posibilidades de ahorrar energía o capital.

Esto ha llevado a todas las industrias e instituciones académicas a desarrollar o ampliar nuevas ramas de la ingeniería para poder cumplir con los nuevos requisitos. La respuesta de la ingeniería ha sido: ingeniería ambiental, ingeniera verde, ergonomía, reingeniería, exergía, etc. Son solo algunas de estas relativamente nuevas ramas o derivaciones de la ingeniera.

Es por eso que en una planta química se planteo la posibilidad de ahorrar energía, esta oportunidad la haría más competitiva dentro de la situación actual de la industria química. Este trabajo aborda la problemática y propone varias alternativas para hacer un uso eficiente de la energía en una empresa fármaco – química.

Actualmente dentro de una empresa fármaco - química que cuenta con varios departamentos, los consumos energéticos son considerables, aunado a que cada uno de los departamentos ha continuado con un crecimiento progresivo por lo que hace interesante evaluar las opciones para disminuir el consumo de energía, además de la actual crisis financiera y los altos precios de los hidrocarburos.

Con el objetivo de disminuir parte de los consumos energéticos de la planta en este trabajo se estudiaron y proponen varias alternativas para hacer más eficiente la planta desde un punto de vista energético lo cual por consecuencia se convertirá en ahorros.

En la planta fármaco – química en donde se llevo a cabo el proyecto se hizo un análisis de los consumos de vapor. Encontrando que los departamentos que más utilizan este servicio son el departamento de:

1. Fermentación en las esterilizaciones de los medios de cultivo
2. Destilación en los reboilers de las columnas
3. Enzimas en el lavado de los equipos de micro y ultrafiltración

## Descripción del proyecto.

Este proyecto consiste en disminuir los consumos energéticos de la planta, para esto se estudiaron cada uno de los procesos en los cuales se tuviera la oportunidad de ahorrar energía, después de analizar los procesos se llegó a la conclusión de que existían varias alternativas sin embargo solo se desarrollo la ingeniería básica de la tres más importantes en cuanto a ahorro de energía.

Así que la propuesta número seis fue aprobada por el ingeniero de proyectos de la planta y se desarrollo toda la documentación y cálculos necesarios para su posible implementación en la planta.

La propuesta número seis consiste en aprovechar calor remanente de la combustión interna de los motores del departamento denominado “cogeneración” para utilizarla como fuente de calor para precalentamientos en las áreas de oportunidad. Estos precalentamientos funcionarían con el fin de disminuir el calor necesario en los procesos y disminuir el uso de aero-refrigerantes (intercambiadores de placas enfriados con ventiladores), estos equipos funcionan de manera similar a un radiador del calor generado por la combustión de los gases de los motores utilizados en el departamento de cogeneración, así se tendría un doble ahorro al usar el calor dentro de los procesos de la planta y disminuir la energía necesaria para enfriar la corriente dentro del los aero- refrigerantes.

Debido a la naturaleza del sistema de cogeneración utilizado, se trabaja continuamente todo el año, esto significa que la fuente de energía que se pretende utilizar esta disponible todo el tiempo, por esta razón se decidió utilizar esta corriente como una posible fuente de calentamiento para los procesos en la planta.

En esta parte del proyecto me vi en la necesidad de analizar a profundidad todo el sistema de cogeneración por lo que tuve que preguntar a los ingenieros encargados, a la gente del departamento de servicios, a los operadores, medir los datos directamente, hacer el levantamiento del área, así mismo se tuvo que hacer un análisis exhaustivo de los tres departamentos en los cuales se iba a ahorrar energía muchas horas de entrevistas y medición de datos tuvieron que ser invertidas en la recolección de datos.

También en los cálculos se revisaban los avances diariamente con el fin de depurar los cálculos de los balances másicos, energéticos y económicos, después horas de trabajo invertidas se logro desarrollar la ingeniería básica del proyecto llamado ahorro de energía en la planta fármaco química en los cuatro meses que asignaron como tiempo límite para llevar a cabo la tesis en la planta, a pesar de que se tomo un quinto mes en cotizaciones y revisión de hojas de datos, el proyecto fue exitosamente concluido. Después de evaluado mi proyecto por los directivos de la empresa, se me hizo una oferta de trabajo la cual acepte.

Los resultados y conclusiones del proyecto se pueden revisar más a detalle dentro de los últimos capítulos de este trabajo

## Capítulo 1 generalidades

### 1.1. Aspectos Técnicos

#### 1.1.1. ¿Qué es el ahorro de energía?

Los efectos del ahorro de energía es en gran medida algo muy provechoso debido a que no solo se disminuye la cantidad de energía para producir el mismo trabajo si no que se optimiza el funcionamiento general del proceso, se disminuye la emisión de gases contaminantes y se ahorra capital esto a un costo de recursos

En cuanto al rubro ambiental, en el mundo entero la preocupación ambiental se ha agudizado debido a los cambios tan notorios observados en las últimas décadas, como el deshielo de los polos, la irregularidad de las estaciones del año, el aumento de la fuerza de fenómenos meteorológicos, etc., por ello existen tratados internacionales como el Protocolo de Kioto, que pretenden disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero por parte de los países inscritos, y así amortiguar el impacto que ello implica.

#### 1.1.2 Aspectos Energéticos y ambientales del ahorro de energía

Mecánicamente el trabajo se obtiene de la energía sin embargo se requiere mucha energía para generar el trabajo y a su vez los servicios con los cuales estamos familiarizados son proporcionados por maquinas que realizan el trabajo que se necesita para el servicio de forma industrial y para ese trabajo se necesitan grandes cantidades de energía, esta energía es proporcionada principalmente por recursos naturales no renovables: gasolinas, combustóleos, carbón, etc.

Estos combustibles fósiles generan dióxido de carbono, agua, ozono, SOx y NOx los cuales son perjudiciales para la mayoría de los seres vivos en la tierra además de que contribuye en gran medida a al deterioro de la capa de ozono y al calentamiento global.

## 1.2 Aspectos generales de ahorro de energía en la industria

### 1.2.1 Acciones y recursos para el ahorro de energía en la industria.

Dentro del ramo del ahorro y administración energética, se cuenta con una gran variedad de opciones y recursos disponibles para su implementación tanto dentro de la industria como en el hogar. A continuación se enlistan algunos de los aspectos principales dentro del marco de la cultura energética.

Principales actores dentro del ramo de ahorro y administración energética.

- Secretaría de Energía (SENER)

Entidad gubernamental que conduce la política energética del país, dentro del marco constitucional vigente, garantizando el suministro competitivo, suficiente, de alta calidad, económicamente viable y ambientalmente sustentable de energéticos para el desarrollo del país.

- Comisión Reguladora de Energía (CRE)

Regula a las industrias del gas natural y electricidad, otorga los permisos para la generación de energía, aprueba los contratos marco para la provisión de energía, y las metodologías para el cálculo de las tarifas para los proveedores privados de energía.

- Comisión Nacional para el ahorro de energía (CONAE)

Es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Energía, que goza de autonomía técnica y operativa. Tiene por objeto fungir como órgano técnico de consulta de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, así como, de los gobiernos de las entidades federativas, de los municipios y de los particulares, en materia de ahorro y uso eficiente de la energía y de aprovechamiento de energías renovables promueve el ahorro de energía y la eficiencia energética, fomenta el uso de energías renovables.

- Instituto de investigaciones en eléctricas (IIE)

Tiene como función apoyar la investigación tecnológica en el sector eléctrico, incluyendo la vinculada a las energías renovables.

- Comisión Federal de Electricidad y Luz y Fuerza del Centro (CFE y LFC)

Son las empresas estatales que proveen energía eléctrica en México; CFE genera poco más del 80% del total de la energía, y cuenta con el 96% de la red nacional de transmisión, atiende a 22.9 millones de usuarios, mientras que LFC a más de 5 millones.

- Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE)

Organismo de carácter privado, no lucrativo, creado para promover acciones que induzcan y fomenten el ahorro de energía eléctrica tiene como objetivo apoyar la realización de proyectos demostrativos que permitan inducir y promover el ahorro y uso racional de la energía eléctrica en la industria, comercio y servicios, así como asesorar e incidir en los hábitos de consumo eléctrico de la población.

El Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica es un organismo mexicano, privado con participación mixta, creado en 1990 a iniciativas de CFE y con la participación de las principales cámaras industriales del país, encaminado a realizar acciones de eficiencia energética dirigida a los usuarios de los sectores industrial, comercial, de servicios, doméstico y servicios municipales.

El FIDE en coordinación con las Divisiones de Distribución de CFE y las cámaras empresariales CANAME, CMIC, CANACINTRA y CNEC, están impulsando una propuesta de crecimiento, a partir de reconocer las oportunidades de ahorro existentes a todo nivel, así como el desarrollar la cultura de ahorro de energía eléctrica en el país.

- Secretaría de Marina y Recursos Naturales (SEMARNAT)

Establece las políticas nacionales sobre protección ambiental, además de coordinar las acciones relativas a los compromisos de México suscritos en la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, conjuntamente con los sectores de energía, transporte, industria y agricultura, entre otros.

- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL)

Promueve proyectos de desarrollo social, incluyendo el uso de las energías renovables, en particular el aprovechamiento de residuos sólidos en rellenos sanitarios.

- El Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO)

Fideicomiso de apoyo especializado en programas de desarrollo rural, entre los cuales se incluye el uso de energías renovables en actividades productivas agronómicas; promueve proyectos en diversas áreas, todos se caracterizan buscando el desarrollo sustentable y el adecuado uso de los recursos naturales, sociales y económicos Otras asociaciones relevantes de fomento al manejo y uso de energías renovables son: la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES), la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), la Red Mexicana de Bioenergía y la Asociación Mexicana de Economía Energética (AMEE).

### **1.2.2 LEGISLACIÓN Y NORMATIVIDAD ENERGÉTICA**

Una de las herramientas empleadas por países industrializados para verificar y legislar el uso de la energía son las normas de eficiencia energética, de aplicación obligatoria, elaboradas con la participación activa de fabricantes, usuarios, y todas aquellas organizaciones interesadas.

En este contexto, la secretaria de energía obtuvo en 1991, fondos para realizar un estudio sobre normas de ahorro de energía en equipos domésticos e industriales comercializados en México. Lo anterior, considerando que dichos equipos requerían, para su operación, de un consumo de energía eléctrica mayor que el de los equipos de venta en EU y Canadá.

En base a lo anterior la comisión nacional para el ahorro de energía CONAE, constituyo en el año de 1993 el comité consultivo para la preservación y uso racional de los recursos energéticos, para elaborar y expedir las normas oficiales NOM-ENER.

Las NOM ENER son especificaciones técnicas, de aplicación obligatoria, que integran tecnología de punta para asegurar un uso eficiente de la energía en los equipos que se fabriquen o comercialicen en el país. Estas se derivaron del trabajo y consenso de fabricantes, institutos de investigación, asociaciones de profesionales, cámaras de industria y comercio y gobierno.

Actualmente están vigentes 16 Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética, relativas al consumo de energía, las cuales pueden ser revisadas en el Glosario de este trabajo bajo el titulo:

Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética.



### **1.2.3. Potencial de ahorro de energía en la industria**

Entre los principales objetivos a alcanzar dentro de un buen proyecto de administración y gestión energética se encuentran los siguientes:

- Cambiar el equipo existente por otro más eficiente.
- Transformar el equipo existente convirtiéndolo en más eficiente
- Eliminar los consumos de energía excesivos y de desperdicio.
- Cambiar los sistemas de control de procesos.
- Cambiar las etapas altamente consumidoras de energía.
- Cambiar el proceso por otro energéticamente más eficiente.
- Reemplazar aislantes térmicos deteriorados o ineficientes
- Verificar trampas de vapor
- Verificar y controlar los niveles de combustión
- Eliminación de fugas de aire, agua, gas, etc. Que puedan afectar al proceso
- Corregir factor de potencia del consumo eléctrico.

Dependiendo de los recursos con los que se cuente en dicho periodo de implementación, del objetivo de la empresa, de la legislación tanto externa como interna de la misma, y la tecnología disponible. Existen diversos factores que es necesario considerar para la formulación de las estrategias para la administración de la energía, entre los que destacan:

- Las previsiones sobre el entorno económico y administrativo de la empresa
- Un diagnóstico de la capacidad de la misma
- La estrategia de producción.

La estructura del programa depende mucho del tipo de empresa al que se vaya a implementar, aunque existe una serie de actividades que, sin lugar a dudas, son independientes a ésta. Entre ellas destacan las actividades que se deberán programar para desarrollar en orden secuencial y otras en forma paralela.

- Diagnósticos energéticos
- Proposición de proyectos
- Evaluación y selección de proyectos.
- Evaluación técnico-económica
- Presentación y aprobación de los proyectos seleccionados
- Implantación de los mismos
- Puesta en marcha y diagnósticos periódicos
- Supervisión de actividades.
- Análisis comparativos y evaluación de resultados (por etapas y en total)
- Programas de concientización y motivación

Existe una gama muy amplia de criterios que justifican la implantación de un proyecto determinado. Estos pueden agruparse en:

- Identificar qué energéticos utiliza en la empresa

Además de electricidad, es muy posible que la empresa esté utilizando, para sus procesos y operaciones, combustibles como el gas LP, gas natural, combustóleo, diesel o gasolina.

- Determinar cómo mide el consumo y cómo paga la empresa cada uno de estos energéticos:

Ubicar y organizar todos los contratos y recibos por concepto de energía que ha manejado históricamente la empresa. Identificar el tipo de tarifa o precio unitario (precio por unidad de energía) a la que está sujeto el servicio. Además de dónde, cómo y cuándo se mide el consumo de energía en la empresa. Buscar la forma de medir los consumos en períodos más cortos que los de facturación, y de ser necesario, hacerlo por proceso, sistema y por equipo.

- Organizar y sistematizar la información de los consumos energéticos:

Organizar la información sobre consumos de energía por hora, día, semana, mes. Sistematizarla significa ponerla en hojas de cálculo o en una base de datos en una computadora. Igualmente, separar esta información, si es posible, por proceso o por área de la empresa, instalación o equipo.

- Identificar cuándo y dónde hay un gasto mayor de energía:

Con la información que se ha organizado y sistematizado, se puede ubicar dónde y cuándo ocurre la mayor parte de su consumo de energía y así empezar a definir las áreas de oportunidad.

- Integrar la información de diseño de los procesos, sistemas y equipos:

Cuando se diseñan los procesos, sistemas y equipos, se establecen (y documentan), por lo general, sus niveles de consumo de energía o, cuando menos, sus condiciones óptimas de operación. Disponer de esta información es fundamental, ya que permitirá tener un referente para saber si su empresa, al nivel que sea, está desperdiciando energía.

- Comparar los índices de consumo de instalaciones con procesos y/o actividades similares a las de la empresa:

Una forma sencilla de saber si los consumos son altos o bajos, es comparar dichos índices energéticos con los de otras empresas o procesos similares. Estos índices establecen consumos de energía por alguna unidad referida a la instalación o proceso. Estos índices se pueden obtener de las cámaras de industria y de publicaciones especializadas. Igualmente, se puede consultar a la CONAE.

- Calcular índices de los energéticos de la empresa:

Con los datos de consumo energético e información sobre la empresa, los procesos y las instalaciones, se puede establecer, índices que se pueden utilizar para hacer comparaciones.

- Ubicar las oportunidades específicas:

Es recomendable buscar ayuda externa a través de consultores especializados o aprovechando la orientación que brinda las distintas organizaciones. En general, son cuatro los elementos que hay que cuantificar para establecer la rentabilidad de una oportunidad específica de mejor aprovechamiento de la energía:

1. La energía que se puede ahorrar, lo cual se establece en función de los parámetros energéticos de la tecnología utilizada y de la que la puede sustituir, y del patrón de uso de la misma.
2. La tarifa o precio de la energía que utiliza, lo cual permite establecer el valor monetario de lo que se puede ahorrar.
3. El costo de la modificación o de la sustitución del equipo o sistema.
4. La tasa de retorno que espera quien hace la inversión para ahorrar energía.

Con estos valores se puede entonces hacer un análisis económico que establezca la rentabilidad del proyecto.

- Comparar los índices y ubicar la situación de su empresa:

Los índices pueden compararse de dos maneras básicas, en un proceso de comparación interna o externa, también llamado Benchmark:

- Benchmark interno: Se realiza dentro de la misma organización o instalación al comparar la evolución histórica de los índices
- Benchmark externo: Se efectúa comparando las instalaciones, procesos, sistemas, equipos, productos y servicios de la propia empresa con los de otra u otras empresas con procesos o productos similares

#### **1.2.4 Uso eficiente de energía en la industria y su relación con el medio ambiente.**

La energía constituye un insumo vital para el desarrollo del país, sin embargo, su producción, transporte y consumo habitualmente presenta impactos ambientales de diferentes niveles, y cuyos efectos pueden ser de carácter local o global.

El crecimiento de la economía nacional, es un factor que inevitablemente lleva a un aumento del consumo energético presionando por un aumento de la oferta energética disponible. Esto se traduce en mayores conflictos ambientales derivados de la generación, distribución y uso de la energía.

El incorporar variables de sustentabilidad en el desarrollo del sistema energético, requiere encontrar un balance entre el abastecimiento de la creciente demanda de energía, con una protección efectiva del medio ambiente, que permita asegurar el derecho de las generaciones futuras por vivir en un medio ambiente sano y libre de contaminación, y al mismo tiempo, alcanzar mejores niveles en la calidad de vida y de un mayor progreso para las actuales generaciones de nuestro país.

Actualmente existe un interés general en los sectores productivos nacionales e internacionales por disminuir sus costos de producción y lograr avances considerables en el campo tecnológico. Una de las formas de lograrlo es abatir sus costos, por consumo de energía que representan un insumo considerable. En ello radica la importancia de establecer políticas de ahorro y conservación de la energía.

México enfrenta el desafío de mantener un crecimiento económico por encima del demográfico. En este proceso, la disponibilidad de energía será un requisito necesario para el desarrollo de actividades productivas, por lo que su papel será crucial para asegurar la competitividad de la economía mexicana a largo plazo.

Se ha comprobado que la eficiencia energética es una alternativa muy rentable para el ahorro de energía y se estima que es posible ahorrar más del 20% de la energía que se consume hoy en el mundo. (Balance nacional de energía 2005, Secretaría de Energía, México.)

Durante 2005 la intensidad energética mantuvo su tendencia a la baja, reflejando mejores niveles de eficiencia. Por su parte, se incrementó la participación de la producción de electricidad primaria a partir de fuentes renovables (hidrógeno, geotermia y energía eólica) respecto a la producción nacional de energía, con la consecuente disminución de emisiones a la atmósfera.

La energía se transforma de una a otra aunque este proceso no siempre es fácil, ni tampoco todas las conversiones son igual de costosas. Al contrario, muchas transformaciones energéticas implican pérdidas importantes, es decir, en ninguna transformación energética se puede aprovechar el 100% de la energía original. Por ello, cuantas más transformaciones se efectúen entre la forma original de la energía y la de su uso final, más energía se pierde, traduciéndose en un aumento en el costo de producción y transporte de la misma, reflejándose en aumento de tarifas y mayor emisión de gases contaminantes conocidos como GEIs o gases de efecto invernadero en el caso de los combustibles fósiles.

Elegir correctamente las fuentes de energía para su uso final, evitar transformaciones no estrictamente necesarias y aprovechar lo hasta ahora considerado como pérdidas energéticas, reduce drásticamente la energía primaria que se precisa para obtener la misma cantidad y calidad de energía final útil. Alrededor del 50% de la energía primaria se pierde en transformaciones, transporte y distribución de la energía. La producción de ésta lleva asociada una problemática muy diversa en cuanto a sus efectos en el medio ambiente.

Ya en el año 2000 a.C., la cultura china utilizaba masivamente el carbón, los babilonios el asfalto y el petróleo crudo y los pueblos del Oriente Medio el gas natural, como combustibles. Estas aplicaciones primarias iniciaron su industrialización en el siglo XVII, y desde entonces, los esfuerzos de optimización han ido acompañados de la reducción de los niveles de contaminación, la seguridad y la eficacia.

El siglo XX ha sido un siglo marcado por la preocupación hacia el medioambiente. En 1972, el "Informe Meadows", que toca el tema de la eficacia como factor clave en la producción energética, se convirtió en el primer estudio de ámbito global sobre las relaciones entre crecimiento, tecnología y medio ambiente. En él se aseguraba que el desarrollo no se puede basar en el crecimiento económico, sino en la renovación de los recursos que consumimos a una velocidad suficiente para que permita un desarrollo futuro. La idea principal en la teoría de Meadows es que podemos producir tanto o más, usando menos.

La ONU, en el "El Informe Mundial de la Energía" en el 2002 en la ciudad de Johan- Nesburgo, avisa de los riesgos que conlleva cualquier modelo de desarrollo económico basado en el uso ineficiente del petróleo, del gas natural y del carbón. Es por ello que gobiernos y administraciones empiezan a ver la importancia de cubrir las necesidades energéticas con otros recursos diferentes a los fósiles y hacer un uso extensivo de las energías alternativas: solar, eólica, geotérmica, hidráulica y biomasa.

Todos los agentes sociales, tecnológicos e industriales han reconocido la importancia de hacer fuerte un desarrollo mundial equilibrado y sostenible y para ello necesitan desarrollar el uso de las energías renovables. Dentro del ramo industrial hay algunos sectores en donde la incidencia de los costos energéticos tiene un peso superior que en otros como, por ejemplo, en el sector químico, de productos minerales no metálicos y el siderúrgico.

Cerca de la tercera parte del consumo energético mundial y el 36% de emisiones de CO<sub>2</sub> se atribuyen a la industria manufacturera o primaria, como en la industria química, petroquímica, siderúrgica, cemento, papel entre otros, y se puede observar un aumento en el consumo de este insumo de un 61% de los años 70 a la fecha.

Aunado a esta situación, en la gran mayoría de las compañías de procesos químicos, su atención radica en minimizar los costos mientras que los efectos secundarios al medio ambiente son ignorados. Por fortuna, esta tendencia ha cambiado poco a poco, ya que se han comenzado a realizar estudios internos para la reutilización o procesamiento de los desechos industriales, ya sea por convicción propia de la empresa o por imposición legislativa.

Una opción para equilibrar el escenario económico de las empresas con el ambiental, es una renovación de equipo en sus plantas, ya que muchas de ellas operan con equipo poco eficiente con tecnología de hace 10 o más años, incrementando sus pérdidas económicas, por falta de eficiencia, y elevando sus tasas de emisión de contaminantes.

Entre otros factores que retrasan la implantación de equipos eficientes, destaca la falta de información y preparación técnica, la incertidumbre empresarial sobre la rentabilidad de las inversiones en tecnologías de alta eficiencia, la falta de incentivos para abordarlas y que la contaminación no vaya incluida en la factura energética.

El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kioto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), como son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gas metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), además de tres gases industriales, Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

Los gobiernos participantes pactaron reducir el total de sus emisiones de esos gases a un nivel inferior de 5% al de 1990 en el período comprendido entre el año 2008 y el 2012. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004.

Según las cifras de Naciones Unidas, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1,4 y 5,8 °C de aquí a 2100, a pesar que los inviernos son más fríos y violentos.

Este instrumento se encuentra dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), suscrita en 1992 dentro de lo que se conoció como la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro.

Además del cumplimiento que estos países hicieron en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero se promovió también la generación de un desarrollo sustentable, de tal forma que se implemente el uso de energías renovables y así disminuir el índice de calentamiento global.

## 1.3 Aspectos generales de la Industria Química

La industria química en México, como en el mundo, es una de los principales motores de la economía, ya que de ella se generan de entre un 60 y un 80% de los insumos para más de cuarenta sectores industriales.

En materia de infraestructura, nuestro país ha crecido a un ritmo muy por debajo de su potencial y ello se debe, entre otros factores, a que no se han desarrollado sectores clave, como las industrias química y petroquímica, lo que repercute en las múltiples cadenas productivas que de ellas dependen.

Proyectando esto a cifras, más de sesenta y tres mil familias dependen de la industria química, en virtud de los empleos que se ubican en 471 plantas productivas, traduciéndose en cerca de 892 mil empleos.

Este sector está compuesto principalmente de siguientes ramas:

- Petroquímica.
- Farmacéutica.
- Agroquímicos y Fertilizantes.
- Fibras.
- Hules.
- Inorgánicos Básicos.
- Resinas.
- Adhesivos.

### 1.3.1 Situación actual de la Industria Química en México

México no sólo es el quinto productor de petróleo crudo en el mundo, sino también el decimosegundo de productos petroquímicos. Hacia 1982 se encontraba entre los primeros cinco por el número de plantas en desarrollo, situación que empeoró debido a la escasa inversión de los años críticos posteriores. Hasta 1995, este sector, contribuía con más del 5% del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, posteriormente en el año 2006 la participación disminuyó al 1.9%, siendo esta situación contrastante con la participación promedio de la industria química mundial en el PIB de los países desarrollados, que es cerca del 4.6%. (Estadísticas de la Industria Química, Asociación Nacional de la Industria Química, ANIQ, México, 2006). El volumen de productos químicos elaborados en el país tiene un valor de 15,830 millones de dólares, según datos de la Asociación Nacional de la Industria Química (2006). Aún con este decrecimiento, la aportación de la industria constituye el 14.7% del PIB del sector manufacturero.

Durante el período de 1995 al 2005, la industria química no sólo no se ha desarrollado y diversificado, sino que ha sufrido un grave retroceso. La producción nacional disminuyó 16% y se encuentra estancada en niveles de producción de 20 millones de toneladas por año, al tiempo que la producción de petroquímicos en PEMEX, disminuyó 43% en ese lapso, mientras que por otro lado las importaciones de productos químicos se han triplicado y constituyen hoy en día el 67% del consumo nacional.



Durante el año de 2005 el déficit comercial de la industria química fue de más de 7,200 millones de dólares, como resultado de importaciones por 14,900 millones así como por exportaciones por 7,700 millones de dólares<sup>1</sup>.

En los últimos años, la inversión en la industria química ha sido de alrededor de 900 millones de dólares anuales, sin embargo ésta ha sido canalizada en mejoras tecnológicas y para la ampliación de capacidades existentes, pero no para nuevas inversiones y proyectos de crecimiento.

La industria química mexicana, por la gran variedad de productos que elabora (petroquímicos, resinas sintéticas, químicos inorgánicos, fibras artificiales, hules, adhesivos, pigmentos, lubricantes, fertilizantes, agroquímicos, fármacos, etc.), es proveedor de más de 40 tipos de industrias, destacando la industria textil, construcción, automotriz, farmacéutica, plástico, electrónica, entre otras.

### **1.3.2 Impacto y potencial del ahorro de energía en la industria química mexicana**

Excluyendo a Pemex, la rama de la industria química en México representó el 9.6 % del consumo final de energía en el sector industrial, mientras que su participación en lo que respecta a energía eléctrica en dicho sector fue del 8.64%. Según el balance nacional energético del 2008.

Debido a los procesos típicos que involucra, la industria química se ha caracterizado históricamente por ser una rama altamente consumidora de energía eléctrica, gas natural y combustóleo. Se presentan diversas áreas de oportunidad para el consumo eficiente y ahorro de energía como son equipo de proceso, calderas y calentadores, sistemas de cogeneración, torres de enfriamiento, unidades de refrigeración, tanques de balance y/o retención, motores, sistemas de aire comprimido, turbinas, iluminación, etc.

---

<sup>1</sup>“La Industria Química en México, Serie de estadísticas Sectoriales, Edición 2006 INEGI, México 2006.”

### **1.3.1 POTENCIAL DE AHORRO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA**

Los resultados mundiales han demostrado que se cuenta un potencial de ahorro de entre 25 y 37 exajoules ( $1 \times 10^{15}$  joules) por año, basados en tecnología y servicios disponibles en el mercado actualmente. Esto equivale a entre 600 y 900 millones de toneladas de combustible por año, o 1.5 veces el consumo energético de Japón. Este ahorro también acarrea grandes beneficios al medio ambiente, ya que se puede evitar entre 1.9 y 3.2 Gton ( $1 \times 10^9$  Toneladas) de emisiones de  $\text{CO}_2$  al año, esto equivale al 12 % del índice actual de emisiones. El cálculo efectuado para las ramas industriales de México permite calcular un potencial de ahorro de energía entre un 20 y 25%. La seguridad energética y el desarrollo sustentable, que son fundamentales para la economía, tienen un gran sustento en el uso eficiente de energía. De acuerdo con los escenarios realizados a nivel internacional y nacional, el uso eficiente de la energía es la opción más importante para reducir las emisiones de  $\text{CO}_2$ .

La pequeña y mediana empresa en México se encuentra en desventaja respecto a su consumo de energía y tecnología, aspecto que debe ser apoyado ampliamente por nuestras autoridades.

En el área de petroquímica, existe un alto potencial de ahorro. Basta mencionar el caso de producción de amoníaco, donde nuestro consumo de energía es el doble del que se tiene a nivel internacional.

Gracias a los esfuerzos realizados en materia energética para encaminar al país hacia un desarrollo sustentable, en los últimos 10 años México ha logrado disminuir tanto la intensidad energética, como la intensidad de emisiones.

## Capítulo 2 Generalidades de la planta química S.A. C.V.

### 2.1. Operaciones unitarias en la industria química analizada

#### 2.1.1 Definición de destilación

La destilación es una operación unitaria que consiste en separar, comúnmente mediante calor, los diferentes componentes líquidos de una mezcla, aprovechando las diferentes temperaturas de ebullición de cada una de las sustancias a separar. Es una de las operaciones más comúnmente usadas en la industria cuando se trata de separaciones líquido- líquido, existe teoría y descripciones de los distintos tipos de destilaciones que se pueden llevar a cabo a nivel laboratorio o a nivel industrial, esto debido a que es una tecnología que data desde la edad media, pero se popularizó a nivel industrial con la sobre-explotación de los pozos petroleros y la refinación de gasolinas. En el caso de este trabajo se trató de optimizar el uso de la energía en las torres de destilación de la planta colocando precalentamientos de las mezclas antes de la entrada a la torre. El precalentamiento se fijó hasta la temperatura de ebullición de la mezcla esto significa que el reboiler solo tendría que suministrar calor latente a la mezcla para que se lleve a cabo la destilación<sup>2</sup>.

#### 2.1.2 Definición de fermentación

La fermentación es un proceso catabólico de oxidación incompleta, totalmente anaeróbico, siendo el producto final un compuesto orgánico.

En la industria, fermentación se refiere más al rompimiento de sustancias orgánicas y su re-acomodo en otras sustancias diferentes. Paradójicamente, la cultura de la fermentación en capacidad industrial normalmente se refiere a condiciones altamente oxigenadas y crecimientos aeróbicos, mientras la fermentación en el contexto bioquímico es estrictamente un proceso anaeróbico.

En este trabajo se hizo una propuesta de cómo hacer un uso más eficiente de la energía en un departamento dedicado a la fermentación, (esta explicación va al principio) para el cual se estudió el proceso global de la fermentación llevado a cabo en la planta y se trató de disminuir los consumos energéticos en los pasos más críticos del proceso; se llegó a la conclusión que la esterilización previa a la fermentación es el paso más crítico en el cual la optimización de la energía, representaría mayor ahorro económico.

---

<sup>2</sup> El departamento de destilación deberá modificar sus condiciones de operación para adaptar la torre a la nueva temperatura de entrada.

### **2.1.3 Definición de micro filtración**

La micro filtración es un proceso de filtración que remueve contaminantes de un fluido, ya sea gas o líquido, por el paso a través de una membrana micro porosa. El rango de tamaño de poro de una micro filtración típica es de 0.1 a 10 micrómetros. La micro filtración no es fundamentalmente diferente de la osmosis inversa, la ultrafiltración o la nano filtración, excepto por el tamaño de las moléculas que retiene.

### **2.1.4 Definición ultrafiltración**

La ultrafiltración es una variedad de la filtración por membrana en la cual la presión hidrostática fuerza a un líquido en contra de una membrana semipermeable. Los sólidos suspendidos y los solutos de peso molecular altos son retenidos, mientras el agua y los solutos de pesos moleculares bajos pasan a través de la membrana. Este proceso de separación es usado en la industria y en las áreas de investigación para purificar y concentrar soluciones macromoleculares, especialmente soluciones de proteínas. La ultrafiltración tampoco es fundamentalmente diferente de la osmosis inversa, la micro filtración o la nano filtración, excepto por el tamaño de las moléculas que retiene.

## 2.2 Descripción del estado actual de la planta

En la planta fármaco – química en donde se aplico el proyecto se producen varios productos que son del tipo farmacéutico, la planta ha dividido sus procesos en departamentos para poder mantener un mayor nivel de control en sus procesos estos departamentos han incrementado su capacidad de producción y también sus consumos energéticos. De hecho, el crecimiento de la planta ha sido casi exponencial y algunos departamentos han tenido que sufrir expansiones muy súbitas, con el fin de alcanzar los niveles de producción planeados. En muchos de los casos no se tiene un registro de los cambios hechos a la planta.

En esta planta casi se pueden encontrar la mitad o más de todas la operaciones unitarias conocidas, se tienen dos plantas pilotos, 4 laboratorios y 5 departamentos de producción más tres departamentos de servicios. De estos dos últimos uno de ellos es un departamento de cogeneración el cual aporta una tercera parte de la electricidad consumida en la planta y también aporta una cuarta parte del vapor por los gases de combustión del motor.

El resto de la electricidad la suministra luz y fuerza y es puesta en paralelo con la producida en el departamento de cogeneración.

El vapor es producido en tres calderas de gas natural y una mixta que funciona con los gases de combustión de los motores y gas natural.

La columna vertebral de la planta es el departamento fermentación el cual duplica su producción aproximadamente cada 10 años, los fermentadores actuales tienen en su tag la capacidad del fermentador por ejemplo: F-50 E, F-70 A, F-90B, F-190C, además de que están en proceso de instalación mas fermentadores por lo que este trabajo se baso en el máximo de producción que se tendría si estos tanques estuvieran en operación por lo que todos los cálculos y planos se hicieron tomando en cuenta esta expansión.

Este departamento es el departamento más exigente en cuestión de recursos energéticos, además de que las mediciones y controles en algunas partes del proceso deben ser casi muy rigurosas para así mantener los parámetros adecuados para el crecimiento y reproducción de los microorganismos que llevan a cabo la fermentación ya que cualquier desviación de los parámetros establecidos puede resultar en el desecho completo del lote producido. Pero en cuestión energética este departamento es muy demandante debido a los altos niveles de producción que se deben de mantener.

El departamento funciona los 365 días del año las 24 horas del día y ha mantenido esta operación desde el día en que se inicio la planta, además de ser el más grande de toda la planta es en el cual trabajan más empleados por turno y en el cual siempre se están desarrollando proyectos para su mejora.

El departamento de destilación es un departamento de servicio que recupera los solventes utilizados en algunas partes de los procesos y los recicla “n” veces antes de que el solvente deje de ser útil, este departamento es uno de los mayores consumidores de vapor y ha sufrido expansiones súbitas en los últimos año además de que la naturaleza de los solventes con los que trabajan han hecho que el departamento tenga una rigurosa medición y control momento a momento de todo lo sucedido en el

proceso, además de que toda la instalación fue aterrizada con el fin de evitar chispas que pudieran en algún momento provocar un incendio o explosión del mismo departamento.

El departamento de enzimas es el más completo de los departamentos de la planta debido a que en este departamento el producto recorre varias operaciones unitarias y se empaqueta como producto final. Sin embargo es un departamento en el cual no se tienen requerimientos térmicos grandes, el único sistema de calentamiento que se tiene en el departamento sufre deficiencias por lo que se me propuso incluir este departamento dentro del proyecto de ahorro de energía para dar solución a ese equipo.

La empresa fármaco – química cuenta con una planta de cogeneración que suministra el 40-35 % de los consumos eléctricos de la empresa y también suministra el 35% del vapor consumido en la planta con ayuda de los gases de combustión de los motores. La energía eléctrica es generada con motores de combustión interna que usan gas natural y es puesta en paralelo con la suministrada por luz y fuerza.

Se cuenta con dos tipos de enfriamiento uno para aceite y otro para los motores, este último tiene un flujo de casi 150 m<sup>3</sup>/h que entra y sale de los motores y es enfriado en dos aero - refrigerantes que disminuyen su temperatura de 90 – 70° C

El departamento de fermentación ha tenido expansiones considerables en los últimos años, llegando incluso a separar el departamento en dos. El consumo de vapor en esta área es el mayor con respecto al resto de los departamentos a pesar de que los procesos que se llevan a cabo son de tipo batch.

El calentamiento de los fermentadores se lleva a cabo en dos etapas; la primera es de 20 – 80 °C y la segunda es de 80 – 121 °C, actualmente ambos calentamientos se efectúan usando únicamente vapor.

El departamento de destilación es un departamento que también ha crecido y que se trabaja casi a su capacidad instalada todos los días del año. Este departamento ocupa el segundo lugar en el consumo del vapor, es por eso que este trabajo aborda una alternativa al servicio de calentamiento de este departamento.

También se valoro la oportunidad de cubrir la demanda de agua caliente utilizada para lavar equipos de micro y ultrafiltración.

Como la producción en el departamento es muy variada debido a que el proceso de fermentación es batch se analizo el consumo de agua en un mes para tratar de dar una idea de la magnitud de los requerimientos a cubrir en el proyecto.

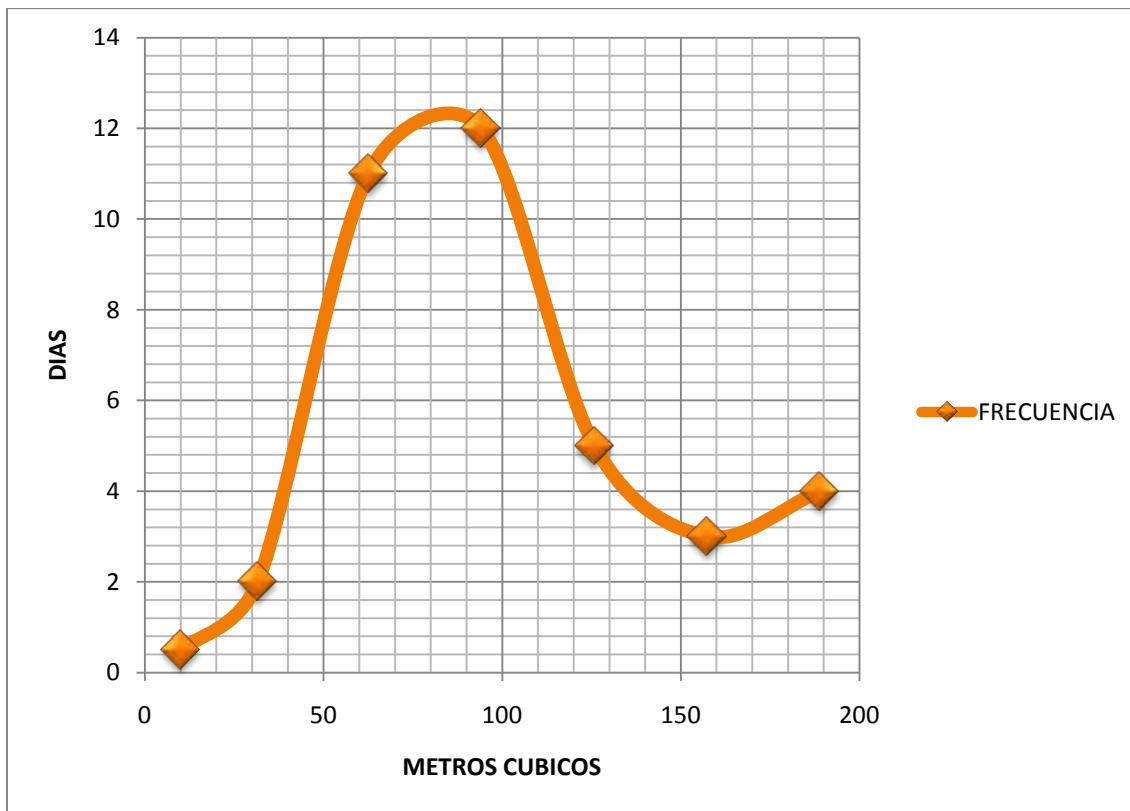


Ilustración 1 Distribución del volumen de agua utilizada en Fermentación

Como se puede apreciar en la ilustración 1 el consumo de agua al mes se comportan con una distribución gaussiana con sesgo negativo por lo que no es imperativo el diseño de un proceso que tenga que cubrir grandes requerimientos energéticos en la mayor parte del mes.

La ilustración 2 pretende dar una idea del calor necesario para completar las etapas de esterilización de cada tanque, cabe resaltar que la primera etapa es mayor con respecto a la segunda, esto es debido a la diferencia de temperatura que se tiene que alcanzar, o sea:

$$\Delta T_{etapa1} > \Delta T_{etapa2}$$

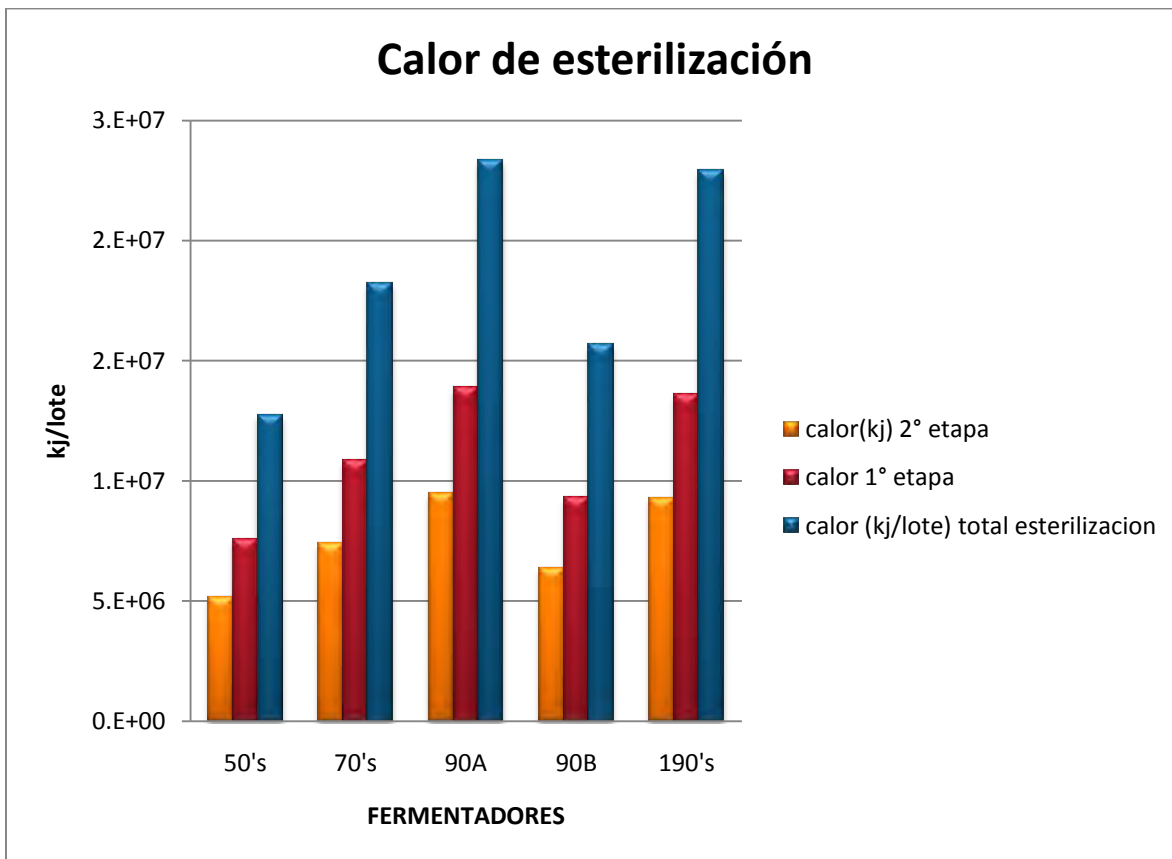


Ilustración 2 Calor requerido en la esterilización de los lotes



### 2.3 Análisis del sistema quemador de gas natural

Este sistema es manejado por dos departamentos, cogeneración y servicios. El gas natural es dirigido a dos tipos de equipos fundamentalmente; a los motores de combustión interna y a las calderas.

El primer equipo quema gas natural con el fin de producir energía eléctrica, gracias a los generadores eléctricos a los cuales están conectados; el calor producido por la combustión interna del motor es aprovechada en una caldera mixta para producir vapor a  $7 \text{ kg/cm}^2$ , este vapor producido representa casi el 33% de todo el vapor consumido en la planta, además de que en esta misma caldera se produce vapor por medio de gas natural dejando a la caldera con una producción total de 8 ton/hora.

El resto del vapor es producido en tres calderas de la misma capacidad, sin embargo, no todas funcionan a su máxima capacidad ya que son auto reguladas según la demanda de la planta. En otras palabras significa que la caldera mixta y otra de las calderas convencionales funcionan casi las 24 horas y las otras dos funcionan si los procesos así lo requieren. La manera en la cual funcionan estas últimas calderas complico mucho los cálculos debido a que operan aleatoriamente por lo que no se puede sacar un cálculo rápido de la producción total de vapor. Así que usando un promedio de la facturación del gas natural consumido en la planta se obtuvieron los resultados siguientes:

- El 63% del gas natural consumido en la planta se va a los motores de cogeneración.
- El resto del gas natural es consumido en las calderas.
- Los gases calientes producidos en la combustión del gas natural dentro de los motores son enviados a la caldera mixta para la producción de vapor.

Así mismo existe una corriente agua caliente que no es aprovechada actualmente y que es prácticamente constante a lo largo del año, de hecho, el disipar el calor de la corriente para su rehusó conlleva un gasto. Para ser mas específico esta corriente funciona como el radiador de los motores de cogeneración, esta corriente sigue un loop en el cual entra agua (que sirve como enfriamiento a los motores) a  $70^\circ\text{C}$  es calentada en un intercambiador interno dentro del motor hasta  $90^\circ\text{C}$  y posteriormente es enviada a dos aero – refrigerantes (intercambiadores de placas enfriados con ventiladores) en los cuales el agua es enfriada con aire hasta  $70^\circ\text{C}$  para poder ser utilizada nuevamente en el sistema de refrigeración de los motores. Debido a que los motores funcionan la mayor parte del año, la corriente tiene que hacer este ciclo de manera continua con el fin de que los motores puedan seguir funcionando adecuadamente. Otra pequeña parte del calor producido por la combustión es perdido por radiación pero el análisis cuantitativo de este no se llevo a cabo asumiendo que es despreciable como para evaluarlo.

El siguiente diagrama de Sankey (ilustración 3) nos da una idea más clara de la distribución y producción de gas natural en la planta.

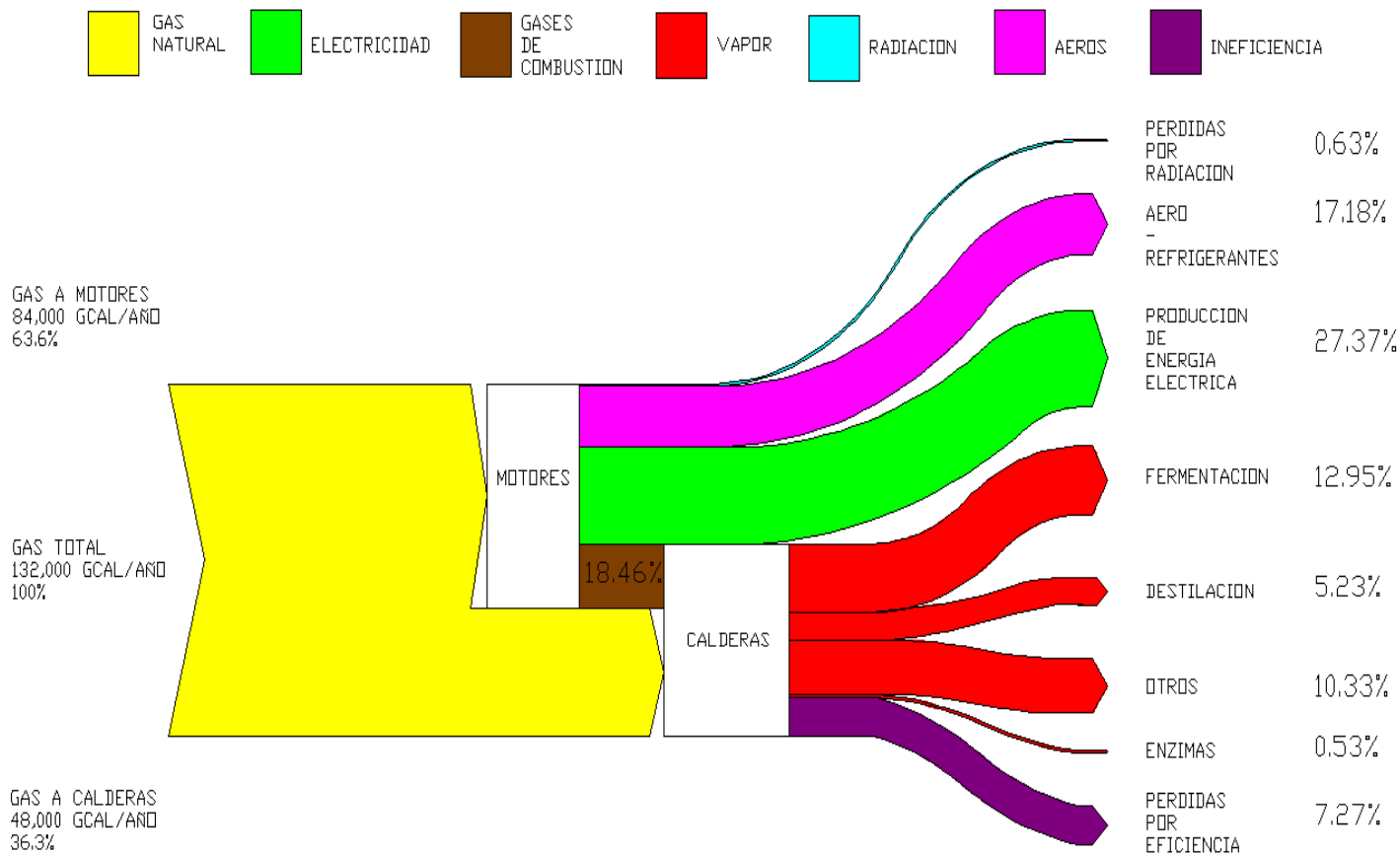


Ilustración 3 Diagrama de Sankey de la distribución y uso de la energía de gas natural

## **2.4 Análisis del sistema productor de energía eléctrica**

La corriente eléctrica es suministrada por luz y fuerza y es puesta en paralelo con la producida en cogeneración. Se tienen tres acometidas en la planta fármaco - química las cuales suministran el 70% de toda la electricidad consumida en la planta. La corriente suministrada es de tipo trifásica y es facturada bajo la tarifa HM del centro; esta tarifa se aplica a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en media tensión, con una demanda de 100 kilowatts más. Para ver más detalles sobre esta tarifa visitar: <http://www.lfc.gob.mx/>

Como los motores de cogeneración están conectados en paralelo con la corriente externa, están propensos a recibir descargas variables y en algunos casos muy altas así como sucede en nuestros hogares, por lo tanto los motores fueron instalados con sistemas de protección para descargas muy altas los cuales hacen paro automático del motor cuando se presentan, estas descargas altas son muy variables, tratar de predecirlas es imposible y suceden en lapsos de tiempos tan variados como 3 mili segundos hasta 30 segundos. Para los lapsos muy pequeños, menores a medio segundo, al sistema le es imposible detectar los cambios de intensidad. Estas descargas altas hacen parar a los motores hasta 15 veces al mes y estos paros pueden ser de segundos, o minutos u horas dependiendo de la intensidad de la descarga. Además el motor puede parar por alta o baja temperatura, insuficiencia de combustible o exceso del mismo y por muchas otras razones que no fueron estudiadas a fondo.

## 2.5 Análisis del sistema productor de energía Térmica

El sistema productor de energía calórica en la planta son cuatro calderas, tres de ellas convencionales y una mixta. Normalmente se trabaja con dos calderas la mixta y una convencional trabajando a su máxima capacidad y dos de soporte, estas producen vapor a  $7 \text{ kg/cm}^2$  y es reducida a la presión requerida en los procesos de cada uno de los departamentos y se distribuye en dos cabezales principales.

La línea que alimenta vapor al departamento de fermentación es una tubería de 12" de diámetro y se disminuye su presión hasta  $3 \text{ kg/cm}^2$ , después reduce su diámetro a 6" u 8" dependiendo del reactor a calentar.

De acuerdo con los encargados de mantenimiento y los del departamento de instrumentación, la eficiencia de las calderas esta alrededor del 82 – 85%, sin embargo utilice el valor de 80% de eficiencia global de las calderas. Y para los cálculos de este rubro se tomo el valor de los consumos de Gcal ( $1 \times 10^9$  calorías) al mes promedio debido a que el gas suministrado cambia de composición en pequeñas proporciones lo cual complica la facturación si se maneja por kilogramos de combustible.

La propuesta de este trabajo es incrementar el sistema de suministro térmico de la planta al hacer uso de la corriente de refrigeración de los motores de combustión interna, explicados en el punto anterior, con el fin de disminuir los consumos de vapor en los procesos, haciendo uso del calor que potencialmente se puede aprovechar de esta corriente.

El siguiente DFP (ilustración 4) muestra de forma general como es producido el vapor en la planta

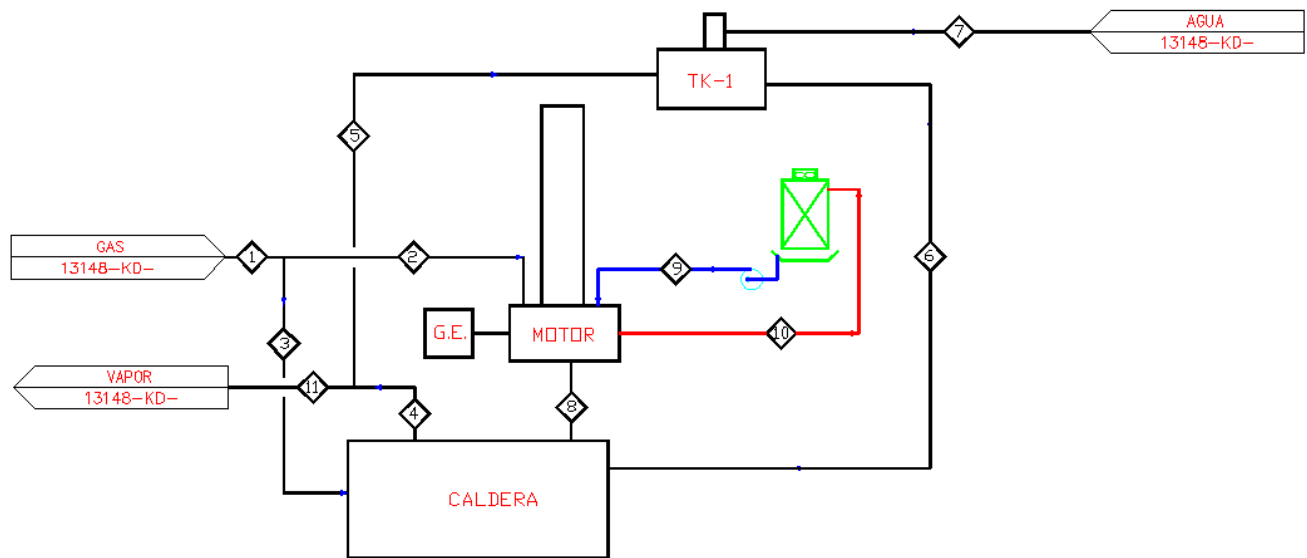


Ilustración 4 DFP del sistema de cogeneración

## 2.6 Análisis de los sistemas con requerimientos térmicos altos

Como se ha venido platicando en los puntos anteriores son tres los departamentos que presentan consumos térmicos altos. El primero de ellos es el departamento de fermentación en el cual el calor suministrado es utilizado para diversas funciones como: el calentamiento de dextrosa, esterilización de líneas y tanques, esterilización de medios de cultivo y algunas veces limpieza del área de dextrosa. Este trabajo solo estudio y disminuyo el consumo de vapor, específicamente solo en el vapor utilizado en la esterilización de los medios de cultivo. En este proceso el vapor es introducido dentro del tanque que contiene el medio de cultivo a esterilizar y es calentado hasta alcanzar una temperatura de 80°C, una vez alcanzada la temperatura se controlan niveles de oxígeno, pH y concentraciones; a este paso se le llama primera etapa de esterilización, después, el medio de cultivo es calentado hasta 121°C durante media hora con el fin de disminuir en 99% el número de bacterias y organismos que pudieran competir contra el organismo que lleva acabo la inoculación del medio y la fermentación.

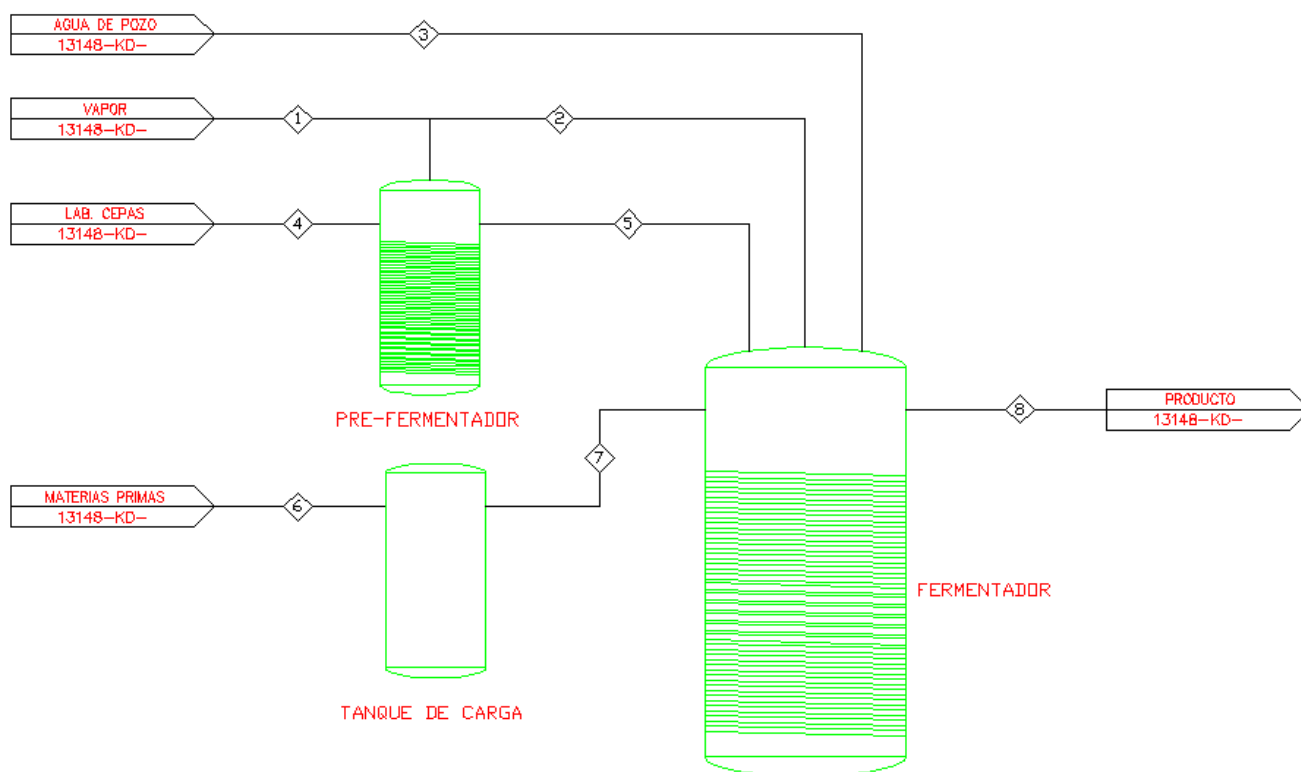


Ilustración 5 DFP del sistema de Fermentación

El segundo departamento en importancia de consumo térmico es destilación; en el cual el uso del vapor es únicamente para el calentamiento y vaporización de las mezclas de agua madres a separar dentro de las columnas, el calor es intercambiado por un reboiler de tipo kettle en las bases de todas las columnas.

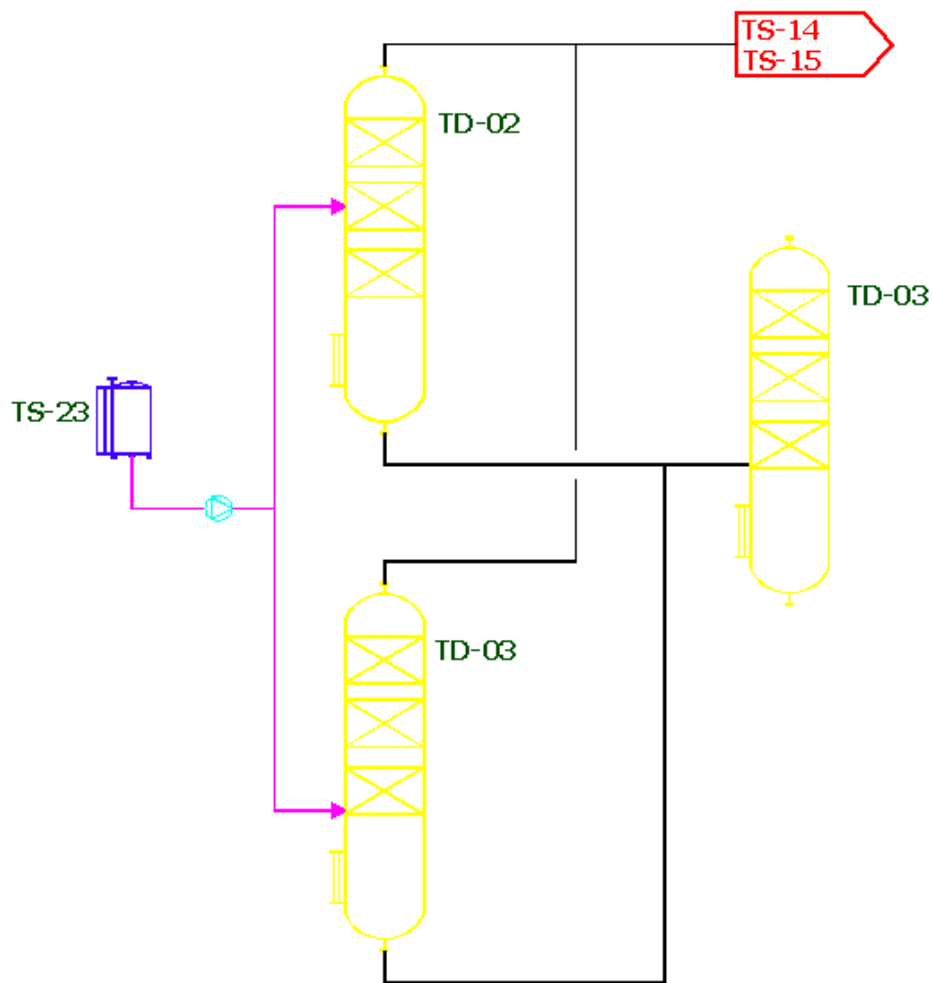


Ilustración 6 DFP del sistema de Destilación

El tercer departamento es enzimas y aunque no presenta los requerimientos de los departamentos anteriores, ocupa el tercer lugar en consumo de vapor en la planta. Aquí se utiliza el vapor como fuente de calentamiento para el agua de lavado de los equipos de ultra y micro filtración. La transferencia de calor es llevada a cabo en dos intercambiadores de tubos y coraza que presentan actualmente un mal funcionamiento por lo que me fue propuesto por parte de los encargados de proyectos en el área de enzimas, incluir este departamento en el proyecto de recuperación de energía.

## Capítulo 3 Propuestas diseñadas

### 3.1 Propuestas en los sistemas con requerimientos térmicos altos

En este punto se explican brevemente las propuestas generadas y como la que presentaba más beneficios fue la que finalmente se aprobó por el jefe de proyectos de la planta. En algunas de las propuestas no se profundizo mucho en su estudio debido a que mi parecer y/o el jefe de proyectos considero que conceptualmente no eran propuestas fuertes o que no parecían ser las propuestas más económicamente viables.

Muchas de las propuestas se quedaron en revisión “A”. Y a partir de la propuesta cuatro las propuestas numéricamente menores empezaron a ser obsoletas hasta que se llego a la propuesta final la propuesta número 6. La propuesta 1 es la única que consideraba una mejora en el departamento de cogeneración que a diferencia de las otras 5 propuestas que solo consideran a los departamentos de requerimientos térmicos grandes. En la propuesta 4 se incluye por primera vez al departamento de destilación y en la propuesta 6 se incluye al departamento de enzimas.

Se considero que cada vez que la conceptualización del proceso cambiaba se generaba otra propuesta y que las mejoras a se convertían en revisiones. Teniendo que:

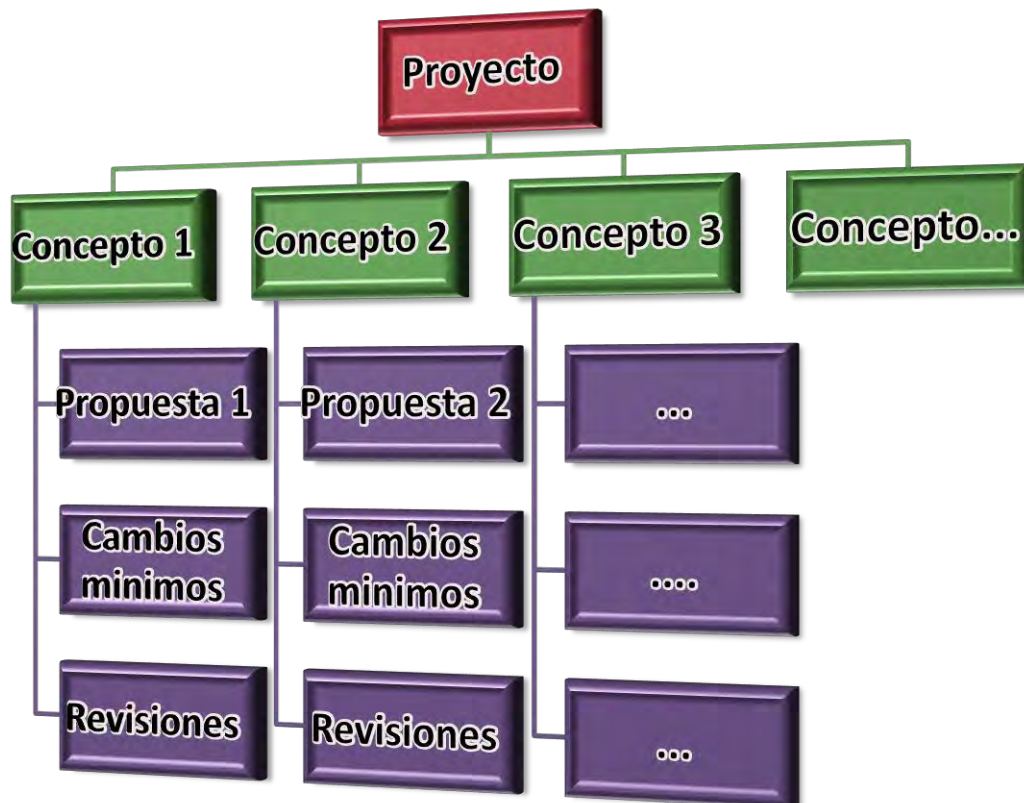


Ilustración 7 Esquema de realización de las propuestas



### 3.2 Conservación de la energía en la generación y uso del vapor

#### Descripción de la Propuesta 1

En esta propuesta se evalúa la instalación de dos intercambiadores en el área de cogeneración con el fin de dar un segundo precalentamiento al agua que entra a la caldera. Esto con el fin de disminuir el consumo de gas l.p.

En un principio cuando se instalo el área de cogeneración, la planta contaba con un intercambiador de tubos aletados dentro de la chimenea de la caldera cuya función era dar un segundo precalentamiento al agua que entraba en la caldera, debido a la calidad del agua el intercambiador fue presentando incrustaciones hasta el punto en el que quedo completamente obstruido. Se ha intentado dar mantenimiento a este equipo, Sin embargo, el incrustamiento es muy severo, además de que el contacto directo con gases a alta temperatura han desgastado las paredes de los tubos, los ingenieros que operan y dan mantenimiento al área de cogeneración han evaluado la situación y llegaron a la conclusión de que el intercambiador necesitaría ser desinstalado y cambiado por uno equipo nuevo para funcionar, pero, si el agua con la cual alimentan a la caldera continua con las mismas características que provocaron las incrustaciones no tendría caso el renovar el equipo.

En esta propuesta se sugiere hacer lo siguiente:

Quitar el intercambiador de tubos aletados de la chimenea de la caldera y cambiarlo por uno nuevo.

Instalar un segundo intercambiador de placas en la línea que conecta al deaerador (TK-1, mostrado en DFP de cogeneración) con la caldera.

Conectar las líneas de los dos intercambiadores nuevos entre si y hacer fluir un aceite que tenga un valor alto de numero de Prandtl ( $\frac{C_p \mu}{k}$ ), que este limpio y que tenga una viscosidad baja. Se necesita también instalar y conectar una bomba que desplace el fluido a través del circuito de precalentamiento

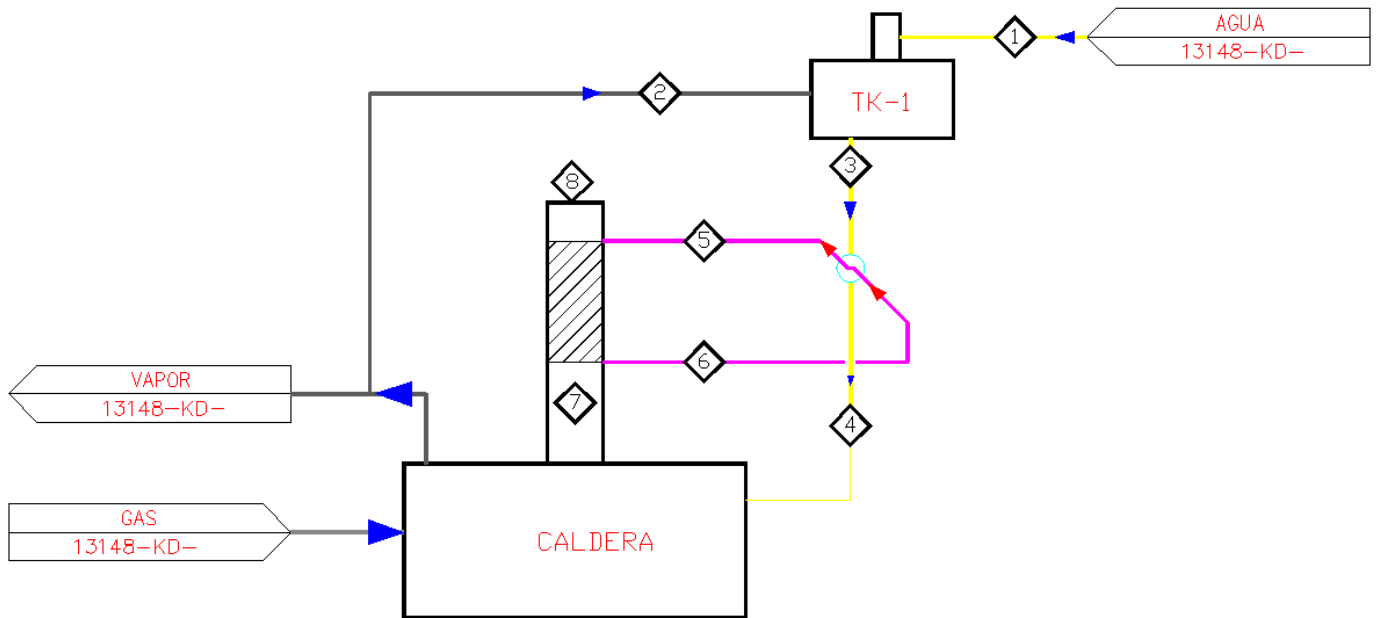


Ilustración 8 DFP de la propuesta 1

### 3.3 Mejoramiento de los métodos de calentamiento

#### Descripción de la Propuesta 2

En esta propuesta se planea utilizar el agua que enfría a los motores de cogeneración como precalentamiento en tanques de fermentación.

Actualmente el agua de cogeneración tiene un flujo de 138 m<sup>3</sup>/hora y es enfriada en dos aero - refrigerantes de 90° C a 70° C, estos aero – refrigerantes (intercambiadores de placas enfriados con ventiladores) cuentan con un sistema inteligente de enfriamiento el cual prende y/o apaga ventiladores dependiendo de la temperatura a la cual entra. Este sistema tiene que disipar cerca de 11 millones de BTU/ hora, este calor puede ser utilizado en otra área de la planta en donde se requiera calor.

En esta empresa fármaco química se calienta con vapor, la empresa genera su vapor con cuatro calderas las cuales funcionan al mismo tiempo. En esta propuesta se pretende disminuir el consumo de vapor en la planta para eso se escogió solo una de las áreas de la planta, el área que más consume vapor es el área de fermentación, es por eso que esta fue escogida para reutilizar el agua de cogeneración como precalentamiento en los tanques.

Estos tanques se calientan en una primera etapa de 20 ° C a 80° C y en una segunda etapa de 80° C a 121° C.

La idea es calentar estos tanques por medio de sus medias cañas, serpentines y en algunos casos por chaqueta con el agua de cogeneración.

El sistema que se propone consta de un intercambiador de placas, dos bombas y dos tanques de almacenamiento con aislamiento.

Se instalaría el intercambiador de placas en la línea que entra al aero – refrigerante.

Se harían injertos en todas las líneas que alimentan a los serpentines medias cañas o chaquetas todas estas líneas injertadas se conectarían a un cabezal.

Se harían injertos en todas las líneas que salen de los serpentines medias cañas o chaquetas todas estas líneas injertadas se conectarían a un cabezal.

El cabezal de retorno estaría conectado a un tanque de almacenamiento.

El tanque de almacenamiento de retornos estaría conectado a una bomba centrífuga que alimentaría a otro tanque de almacenamiento.

El tanque de almacenamiento estaría conectado a una segunda bomba centrífuga que es la que alimentaría al intercambiador de placas.

La corriente que sale del intercambiador estaría conectada al cabezal de alimentación.

Cuando sea necesario; un sistema de recirculación calentara el agua hasta la temperatura necesaria utilizando el tanque de almacenamiento y la bomba que alimenta al intercambiador, con el fin de que la temperatura sea más homogénea.

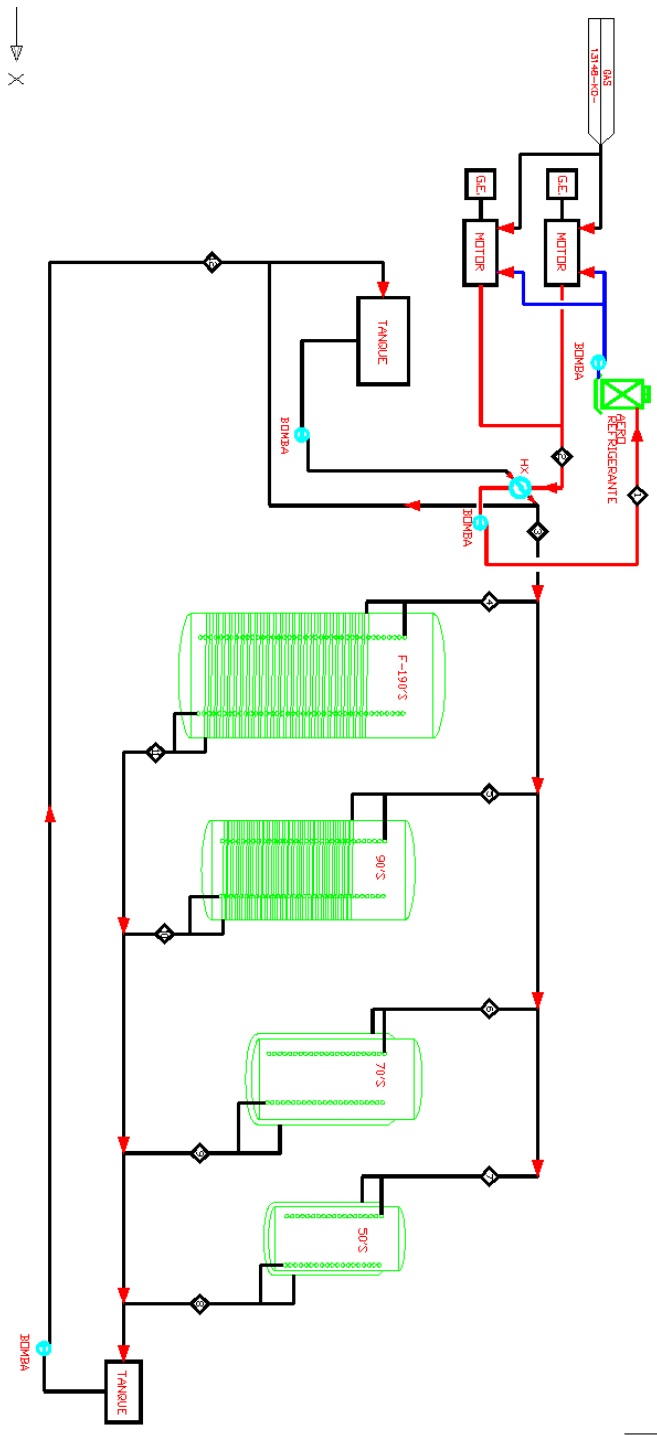


Ilustración 9 DFP de la propuesta 2

### Descripción de la Propuesta 3

La propuesta tres consiste en utilizar el agua de enfriamiento de cogeneración para calentar la línea de agua de pozo con la cual aforan el tanque.

Esta agua de pozo representa el 70% del volumen que se encuentra dentro del tanque antes de fermentar, la tubería con la cual alimentan el tanque es de 4 pulgadas de diámetro a todo lo largo de la línea. La idea es calentar esta línea antes del cabezal de distribución esto sería para fermentación nueva y existente.

El agua con la cual aforarían los fermentadores tendría una temperatura cercana a los 80° C con lo cual nos ahorraríamos el calor suministrado con vapor para hacer el calentamiento de temperatura ambiente a 80° C.

La distribución sería la misma que ya existe en planta para el agua de pozo.

Se instalaría un intercambiador de placas y una bomba centrífuga

El intercambiador se instalaría en el área de cogeneración.

La bomba centrífuga mandara el agua de la cisterna dos a el intercambiador de cogeneración.

El retorno caliente se reconectara con la línea que alimenta al cabezal que distribuye el agua a fermentación nueva, existente, tanque de carga, y el agua de la caldera mixta de cogeneración.

Se aislara toda la tubería que lleve agua caliente.

Otras recomendaciones para el proceso

Instalar una bomba de relevo para el tanque de carga que alimenta a fermentación nueva

Instalar tubería que alimente de los tanques de carga hacia fermentación.

Instalar tubería que alimente el agua de suavizada directamente a los fermentadores, para el caso de los fermentadores f190 es más importante esta nueva configuración debido a que la cantidad de agua suavizada adicionada al fermentador es grande.

Instalar válvulas automáticas que controlen los nuevos cambios en fermentación con la finalidad de que el operador controle desde el cuarto de control.

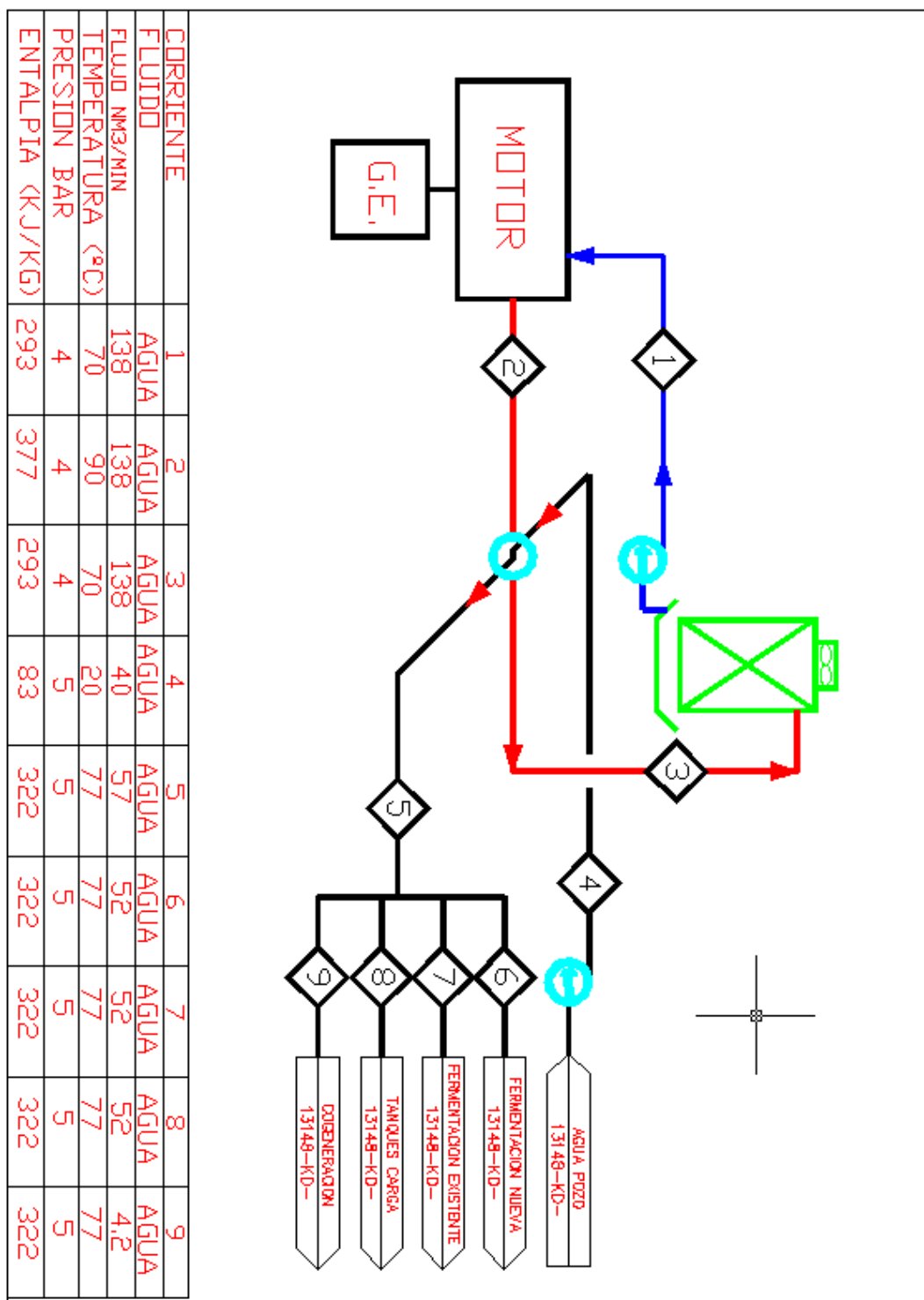


Ilustración 10 DFP de la propuesta 3

### Descripción de la Propuesta 4

Esta propuesta se basa en la propuesta 3 en la cual utilizábamos una corriente caliente del departamento de cogeneración para calentar una corriente fría del departamento de fermentación.

Esta idea permanece sin embargo dado que los procesos en fermentación son batch y el uso de la energía de la corriente del departamento de fermentación, no es completamente explotada.

Por esta razón se decidió expandir el proyecto a un nuevo departamento en el cual el cual es grande el consumo de vapor, el nuevo departamento en el proyecto es destilación, aquí en contraste con fermentación los procesos son continuos y el uso de vapor es continuo.

En este departamento funcionan 5 torres de destilación continuamente, lo que se busca en esta propuesta es precalentar las corrientes que alimentan a las torres, y se planea que el precalentamiento sea hasta una temperatura muy cercana a la temperatura de ebullición de los respectivos fluidos que alimentan a las torres: acetona  $t_b = 49\text{ }^{\circ}\text{C}$  y alcohol isopropilico  $t_b = 70^{\circ}\text{c}$ .

Con respecto a los intercambiadores de calor que se utilizarían para permutar la energía de una corriente a otra se mantiene el intercambiador que se proponía en la propuesta 3 (hx-001) que calentaría el agua de proceso de fermentación y sobre la misma línea se instalaría un segundo intercambiador (hx-002) que circularía un circuito de agua que iría de este intercambiador hacia 5 intercambiadores (hx-003, hx-004, hx-005, hx-006, hx-007) que precalentarían las alimentaciones de las torres de destilación y re circularían el agua nuevamente al intercambiador de calor hx-002 del departamento de cogeneración.

Sin embargo este nuevo circuito se vería afectado cuando el intercambiador de fermentación (hx-001) caliente el agua de proceso retirando casi todo el calor de la línea caliente de cogeneración.

En esta nueva propuesta se suman los beneficios de la propuesta 3 (disminución en el tiempo de producción de fermentación, disminución del uso del vapor, disminución de agua que se convierte en vapor y disminución de la potencia de los motores de los aero- refrigerantes) más los nuevos beneficios de esta propuesta, se podría disminuir aun más el consumo total de vapor, se disminuiría el gasto de agua que se convierte en vapor dentro de las calderas además de que los aero - refrigerantes trabajarían a una potencia menor de la que trabajan normalmente y se podría aumentar la producción en destilación.



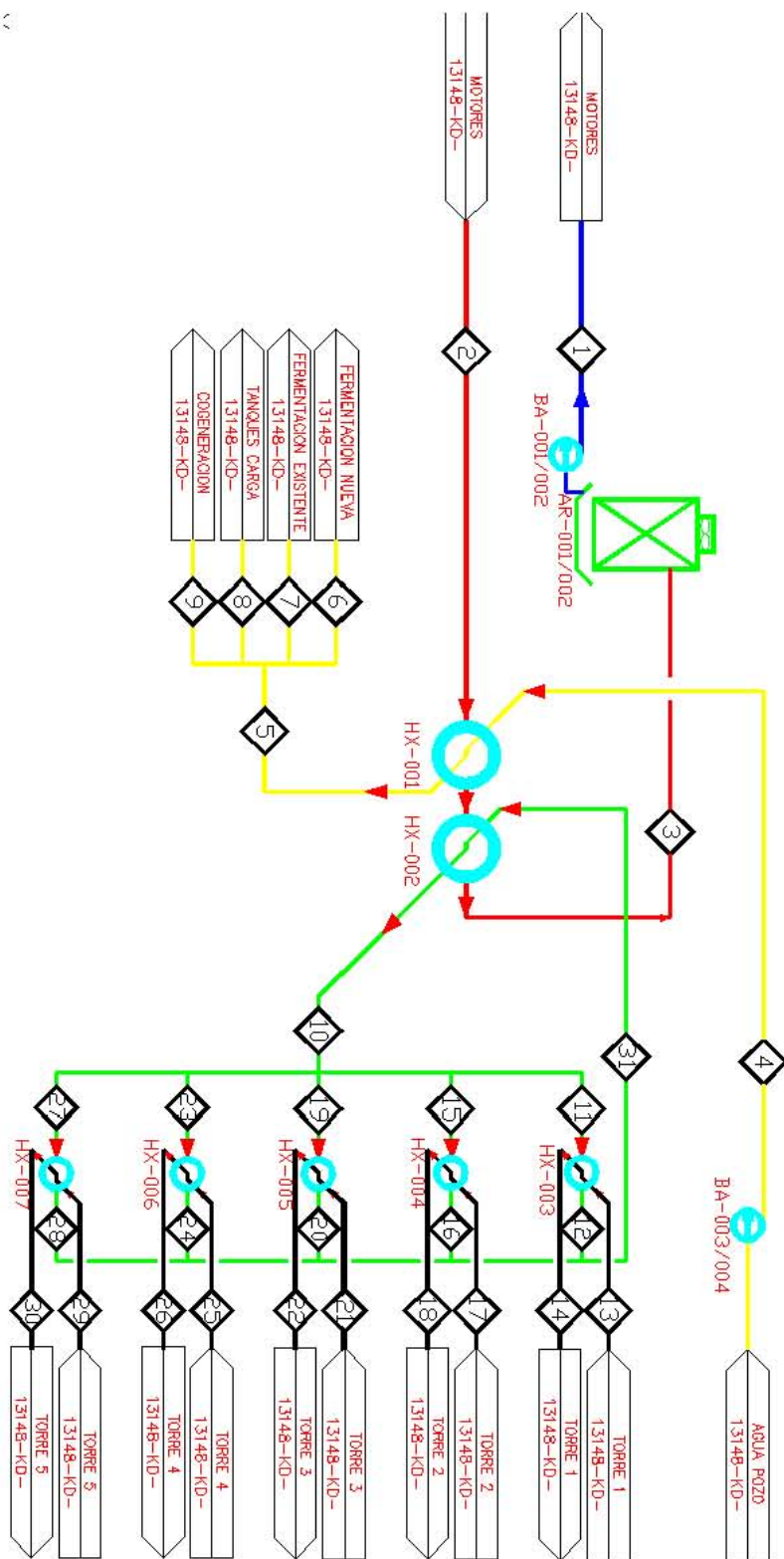


Ilustración 11 DFP de la propuesta 4

### **Descripción de la Propuesta 5**

La propuesta 5 es básicamente la propuesta 4 con todos sus beneficios y atributos menos el número de intercambiadores.

Se estudiaron los procesos de destilación y se llegó a la conclusión de que solo se necesitan 3 intercambiadores dentro del área de destilación:

Uno para las dos torres que destilan acetona

Uno para las dos torres que destilan alcohol isopropílico

Uno para los fondos de las torres que destilan acetona

Debido a que todas las corrientes que alimentan a las torres salen una área de tanques de almacenamiento se podría instalar “un solo intercambiador (hx-003)” que permitiera la entrada y salida de los tres fluidos (acetona, ipa y fondos de acetona).

Igualmente se estudiara la opción de que en lugar de tener dos intercambiadores en el área de cogeneración se utilice un solo intercambiador que permita calentar dos líneas distintas.

También se estudiara la mejor opción de acomodar los intercambiadores en paralelo o en serie.

Esta nueva propuesta tendría los beneficios de la propuesta 4 pero a un menor costo en cuanto a equipos, instalación y tubería.

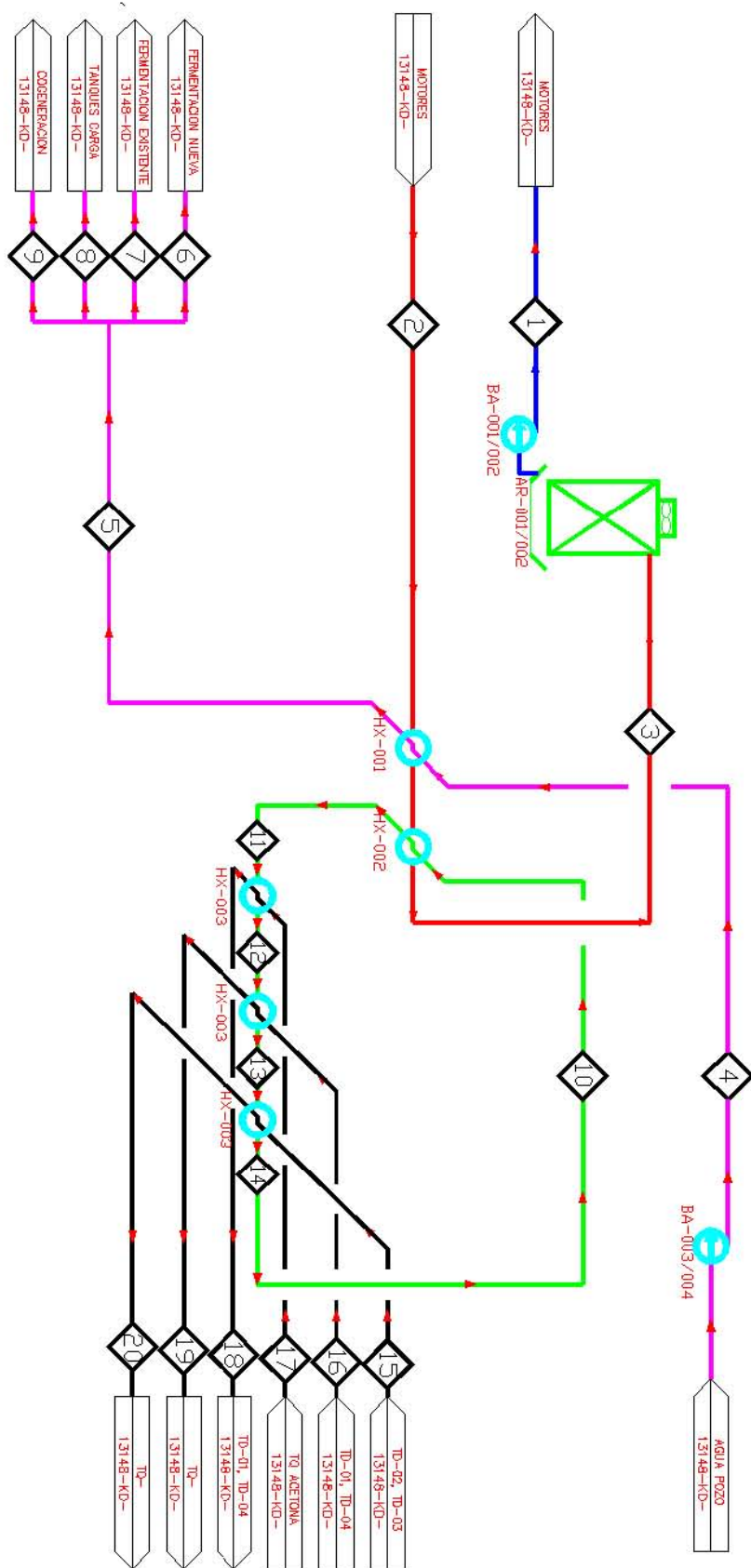


Ilustración 12 DFP de la propuesta 5

### DESCRIPCION DE LA PROPUESTA 6

En esta propuesta se propone disminuir los requerimientos de servicios de tres de departamentos: fermentación, destilación y enzimas.

de acuerdo con el diagrama de flujo de proceso se instalarían tres intercambiadores de placas en paralelo (hx's), uno para cada uno de los departamentos, estos hx's recuperarían el calor de la corriente de cogeneración y disminuirían la cantidad de calor que tiene que ser disipado en los aero – refrigerantes (ar's) después el flujo pasaría a enfriar los motores de cogeneración y que a su vez estos calienten nuevamente la corriente para alimentar los intercambiadores y así repetir el ciclo nuevamente.

El flujo seguiría esta secuencia



Ilustración 13 Esquema del ciclo de agua en la propuesta 6

Debido a que esta propuesta fue la aprobada por el jefe de proyectos una explicación más detallada de esta es explicada más adelante en el tercer capítulo cuando se habla de análisis de la modificación en los sistemas con requerimientos térmicos altos

## Capítulo 4 Sistema Actual vs Sistema Propuesto

Por cuestiones de confidencialidad en este trabajo solo se hablan de porcentajes y solo se habla en forma muy general de los procesos, siempre que se pueda se trata de manejar todos los resultados en forma de índices.

### 1.1 Análisis de la modificación en los sistemas con requerimientos térmicos altos

Como ya se mencionaba antes los sistemas de suministro de calor fueron modificados pero no así la forma en que se operan los procesos de producción por lo que las modificaciones solo fueron sustanciales en los servicios. En cuestión de proceso las únicas modificaciones fueron que el proceso se lleva a cabo en menos tiempo y a un menor costo.

La propuesta 6 explicada en el capítulo anterior fue la que finalmente fue aprobada para su completo análisis y se desarrolló la ingeniería básica completa de esta. Parte de esta puede revisarse en los anexos.

#### 1.1.1 Fermentación

Fermentación es un departamento que trabaja por lotes y la frecuencia de sus procesos es muy baja pero se tienen gran cantidad de fermentadores.

En este departamento se buscaría dar al medio de cultivo (agua) un calentamiento previo a su esterilización.

Se utilizaría el intercambiador (hx-01) instalado en el área de cogeneración para dar servicio a fermentación se utilizaría la energía de cogeneración casi en un 70% cuando operara.

Pero solo se utilizaría una quinta parte del año.

El calentamiento del flujo de agua de medio de cultivo tendría esta secuencia:

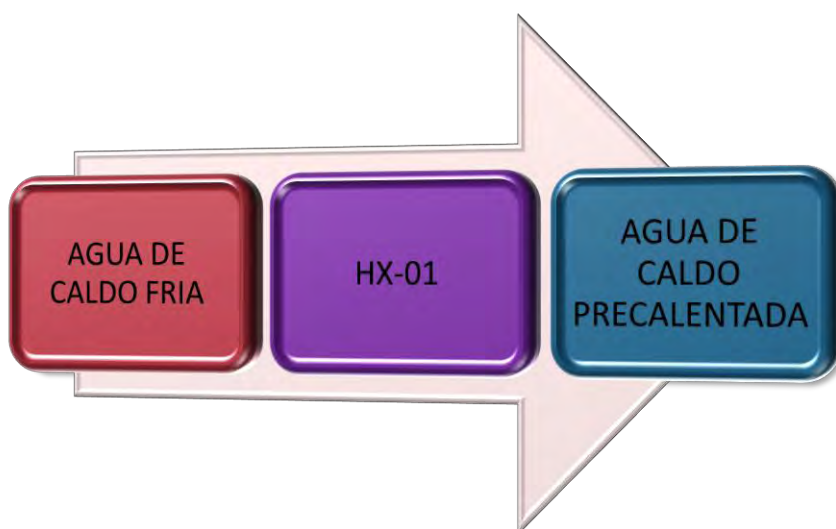


Ilustración 14 Esquema del flujo de agua de proceso para fermentación

### 1.1.2 Destilación

Destilación es el único departamento que maneja flujos de producción constantes a lo largo del día.

Al igual que en fermentación se buscaría dar un precalentamiento a los flujos que alimentan a las columnas.

la distancia entre destilación y cogeneración es relativamente corta sin embargo los fluidos que se manejan en destilación son flamables y tóxicos por lo tanto se pretende crear un circuito que recupere el calor en el intercambiador (hx-02) instalado en cogeneración y lo lleve hasta el departamento de destilación en el cual entre este flujo a los tres intercambiadores que se instalarían dentro del área de destilación (hx-04, hx-05, hx-06) de forma paralela y que regrese al intercambiador (hx-02) para repetir el ciclo.

El intercambiador hx-02, operaría casi el 100% del año.

El flujo del agua del circuito tendría esta secuencia:

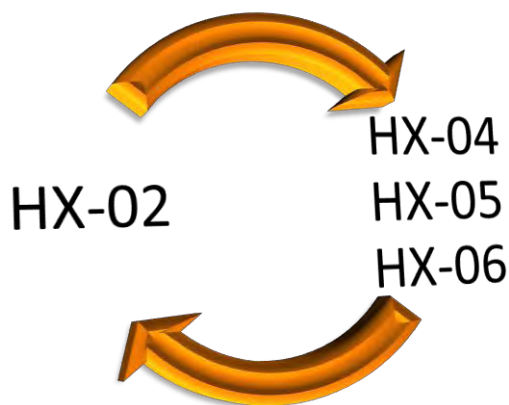


Ilustración 15 Esquema del circuito diseñado para destilación

### 1.1.3 Enzimas

Este departamento tiene una necesidad del servicio pequeña con respecto a las áreas anteriores y también es un área en donde se manejan lotes de proceso, aunque sus requerimientos de servicios tienen una mayor frecuencia que fermentación las cargas térmicas que se necesitan cubrir son menores.

Para este departamento se instalaría el intercambiador de placas hx-03 dentro del área de cogeneración y este calentaría el agua de enzimas teniendo un arreglo similar al de fermentación.

El intercambiador hx-03 operaría solo una octava parte del año.

El calentamiento del flujo de agua para enzimas tendría esta secuencia:

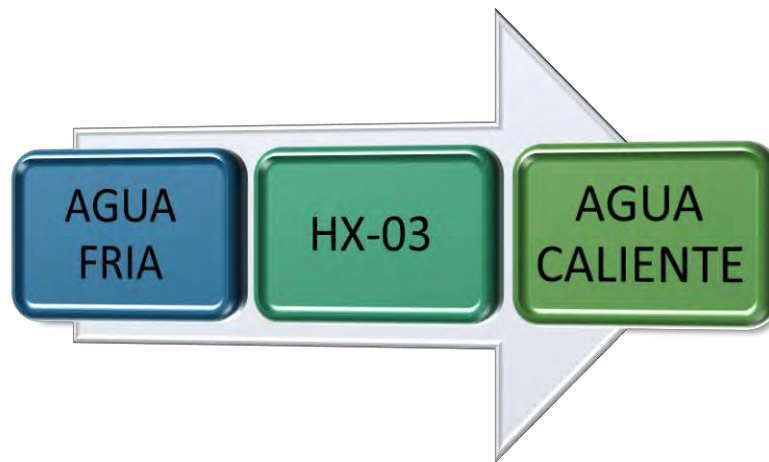


Ilustración 16 Esquema del flujo de agua de servicio para enzimas

### 1.1.4. Vista global

La siguiente imagen muestra el diagrama de flujo de proceso de la propuesta 6 en el cual se muestra el diseño creado para disminuir los requerimientos térmicos de los departamentos más demandantes.

El DFP mostrado es la versión “D” y fue aprobado el 13 de marzo del 2009

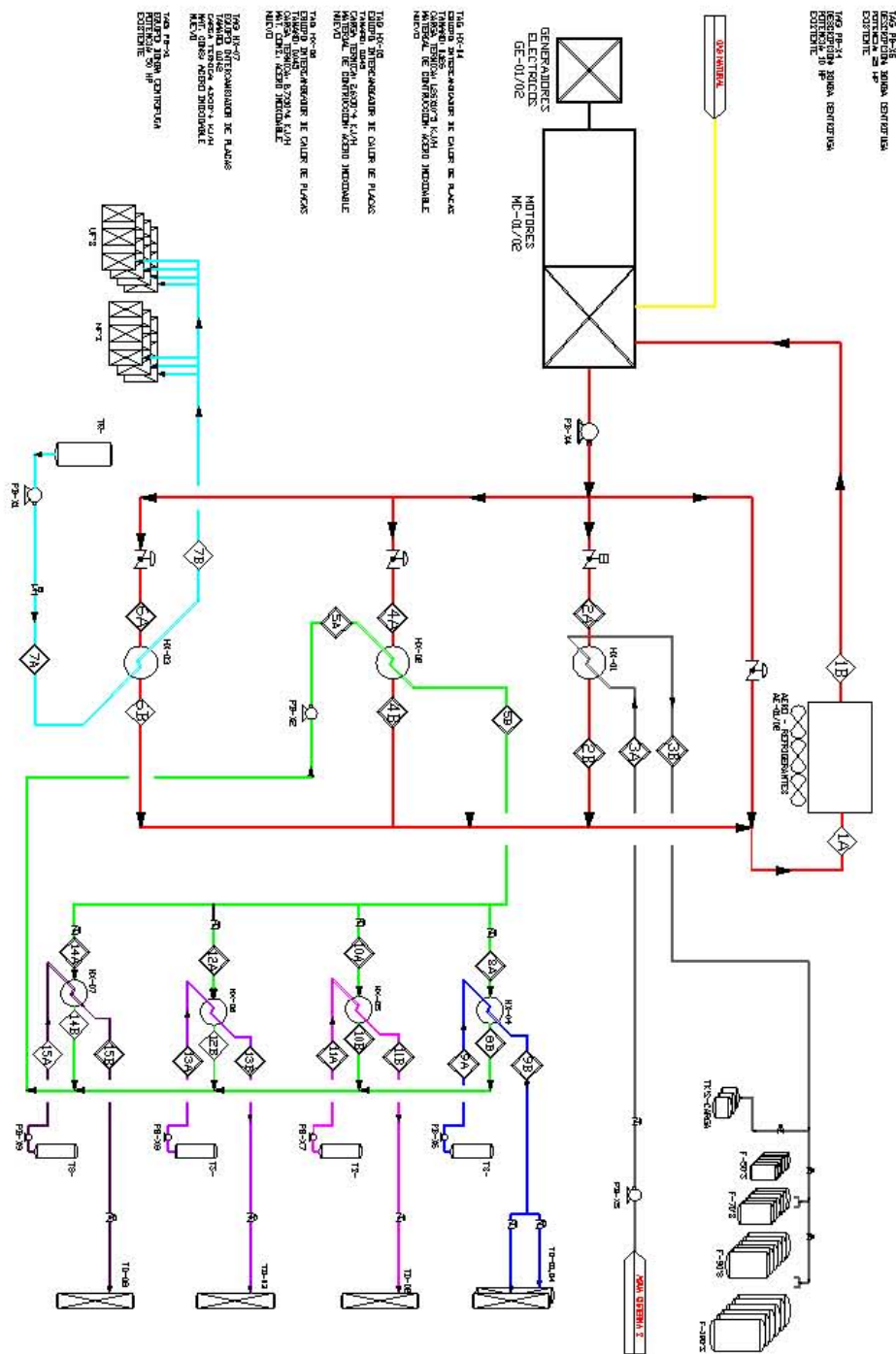


Ilustración 17 DFP de la propuesta 6



## 1.2 Análisis comparativo del sistema actual vs el propuesto

En cuanto al análisis de cuales serian los beneficios económicos que podrían traer las modificaciones en los servicios sugeridas:

- Ahorro en agua (el vapor ahorrado)
- Ahorro en combustible (Gas L.P.)
- Ahorro en energía eléctrica (Potencia disminuida en los ventiladores de los aero – refrigerantes)

De estos posibles ahorro solo se estudio el ahorro en gas L.P. considerando que los otros dos ahorro no son tan significativos, aunque si representan un ahorro.

La siguiente ilustración representa las temperaturas de proceso que se tienen actualmente en la planta (solo se muestran las que le interesan al proyecto) la columna amarilla representa la temperatura de entrada del proceso y la columna roja representa la temperatura máxima a la cual se requiere trabajar el proceso.

Como se puede observar el primer par de columnas tiene que la barra amarilla es más alta que la barra roja esto significa que el proceso requiere de enfriamiento, el segundo par de columnas son las temperaturas del agua en calderas, solo en este proceso se cuenta con un precalentamiento el cual calienta el agua de temperatura ambiente hasta una temperatura cercana al punto de ebullición del agua sin embargo no se ejemplifico en esta ilustración con el fin de no confundir al lector.

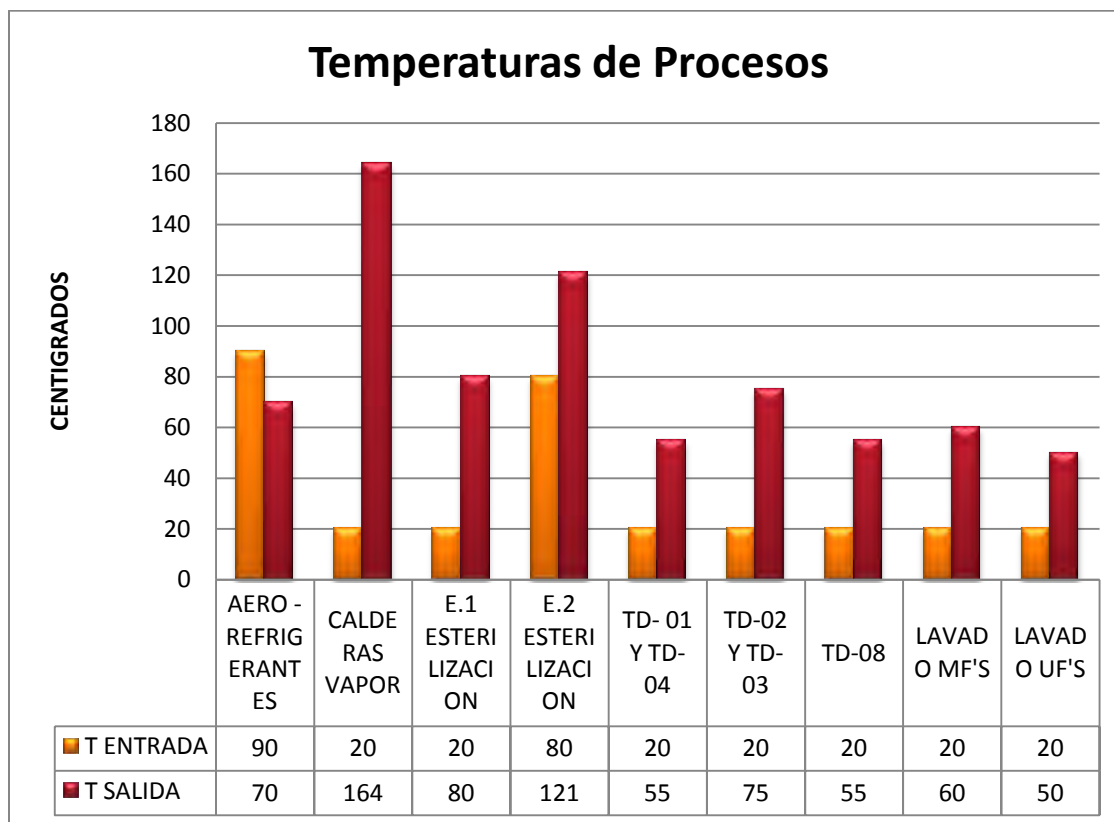


Ilustración 18 Temperaturas de los equipos y procesos involucrados en las propuestas

La siguiente ilustración muestra las temperaturas calculadas después de la implementación del proyecto “ahorro de energía” en esta ilustración se muestra que a diferencia del gráfico anterior los pares de columnas de la etapa de esterilización 1 las columnas de destilación y las columnas de micro y ultrafiltración fueron modificadas, en el caso de fermentación el calentamiento no logro cubrir la temperatura total necesaria en la etapa de esterilización 1 sin embargo se tiene un acercamiento aceptable en el caso de destilación el calentamiento es casi total y en caso de enzimas el requerimiento térmico se cubrió al 100%.

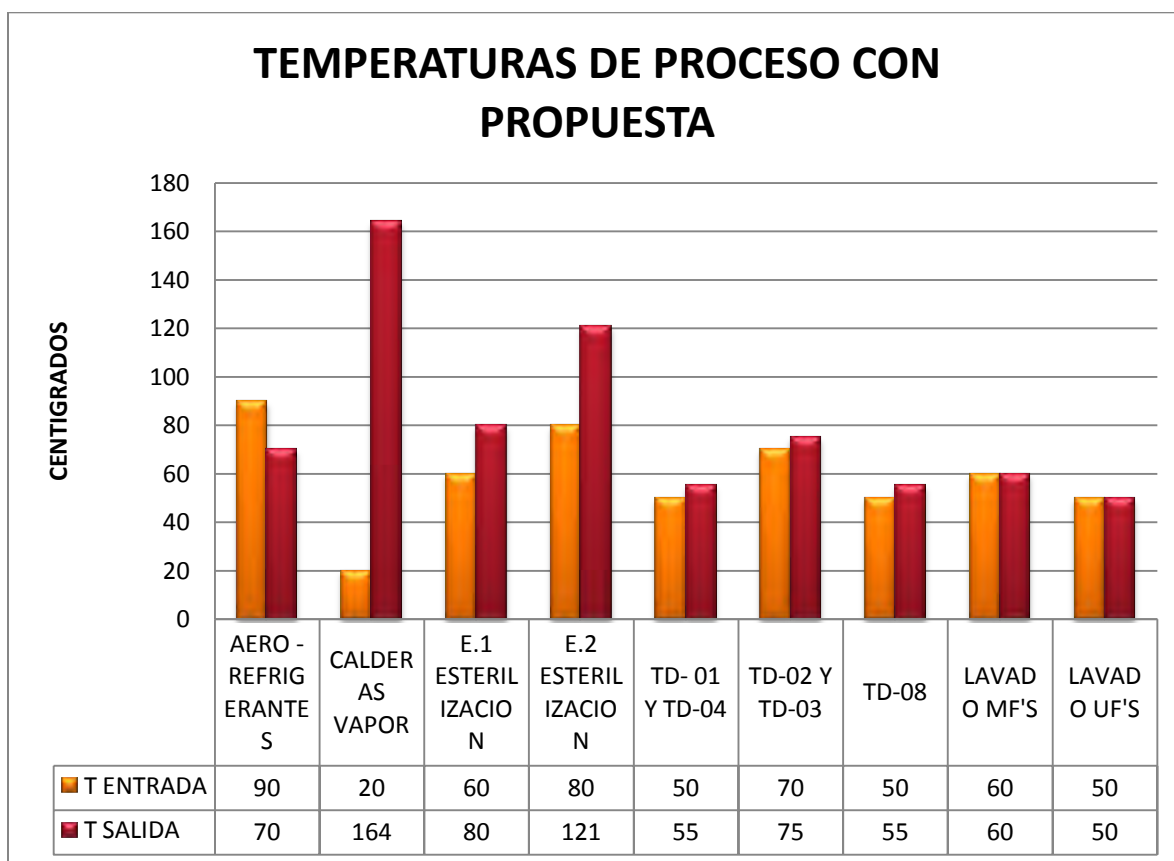


Ilustración 19 Temperaturas de los equipos y procesos con la propuesta 6

El análisis de estas dos ilustraciones sirvió mucho a la hora de aterrizar los cálculos y darle un significado lógico a los algoritmos de cálculo, un ejemplo claro es el que marca la temperatura de los aero – refrigerantes con respecto a la temperatura de esterilización de la etapa 2; por la segunda ley de la termodinámica que entre otras cosas que no se puede transferir calor de un cuerpo de cierta temperatura a uno de mayor temperatura. También cabe recalcar que a pesar de que los aero – refrigerantes no tienen una diferencia de temperaturas grande, si tiene una masa importante.

La siguiente ilustración muestra la distribución obtenida por el análisis de los cálculos de aprovechamiento de vapor en los distintos departamentos (solo los de los procesos estudiados, esterilización, destilación, y lavado de micro y ultra filtradores)

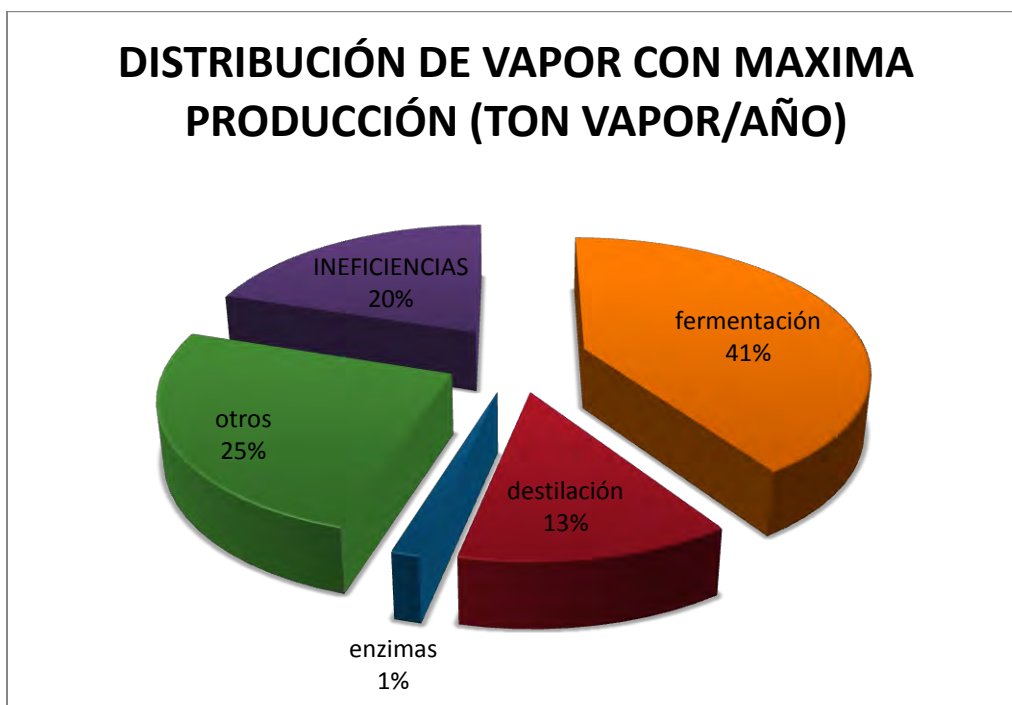


Ilustración 20 Distribución de vapor con máxima producción en Fermentación

El grafico siguiente muestra la misma idea pero con la implementación del nuevo diseño de servicios térmicos propuesto en la cual se puede apreciar que los departamentos involucrados presentaron una disminución considerable con respecto al grafico anterior este análisis también me ayudo para comparar el aprovechamiento y las ventajas del proyecto en cuestión de vapor ahorrado.

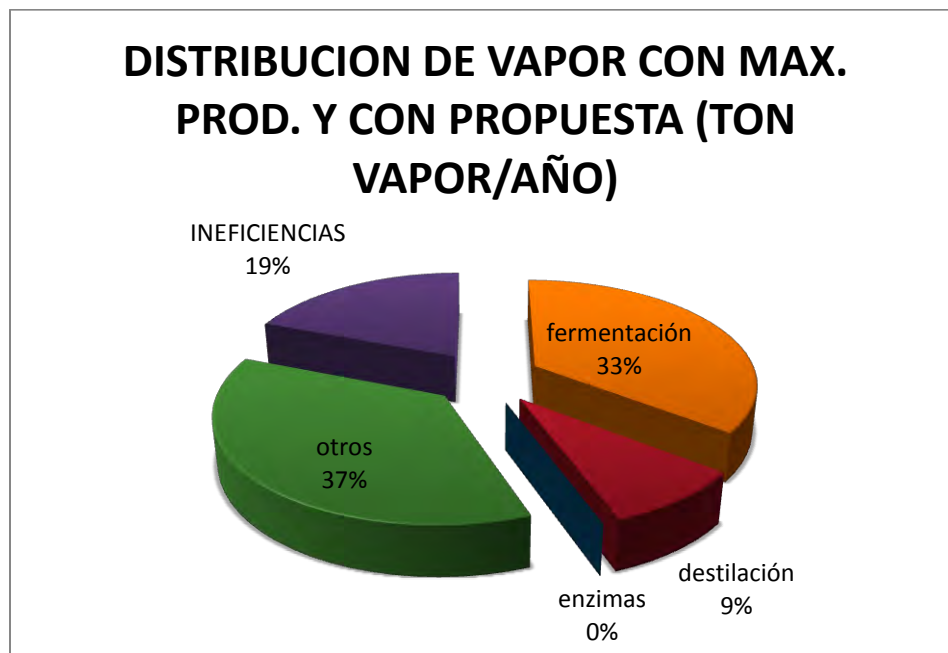


Ilustración 21 Distribución de vapor con máxima producción y con propuesta 6

### 1.3 Memoria de cálculos

#### 1.3.1 FERMENTACION

##### 1.3.1.1 ALGORITMO

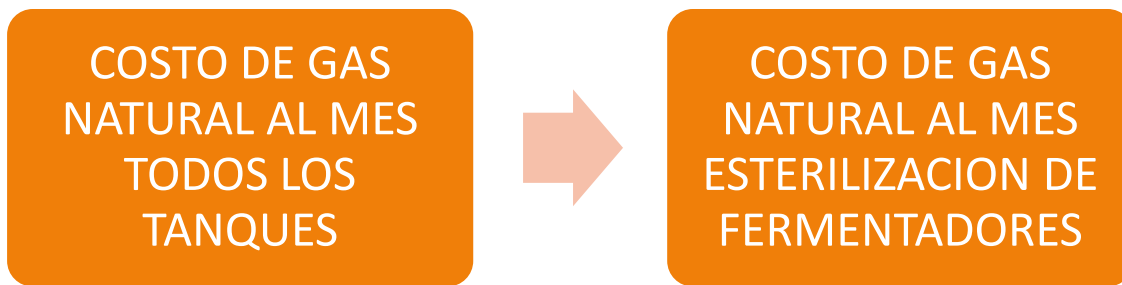
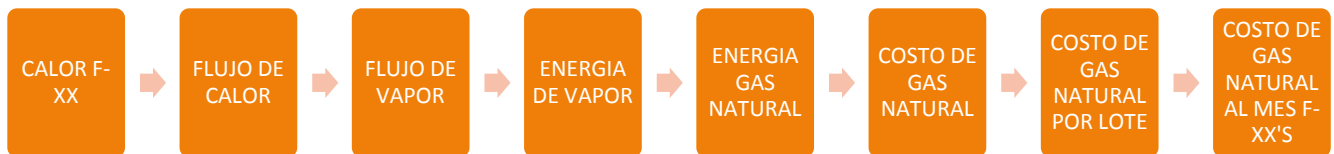


Ilustración 22 Algoritmo de cálculos en Fermentación

### 1.3.1.2 FORMULAS<sup>3</sup>

$$CALOR = (VOL. TANQUE)(\rho)(Cp)(\Delta T) [=] (L^3) \left(\frac{M}{L^3}\right) \left(\frac{E}{MT}\right) (T) [=] E$$

$$FLUJO DE CALOR = \left(\frac{CALOR}{\theta}\right) [=] \frac{E}{\theta}$$

$$FLUJO DE VAPOR = \frac{FLUJO DE CALOR}{\lambda} [=] \left(\frac{\frac{E}{\theta}}{\frac{E}{M}}\right) [=] \left(\frac{M}{\theta}\right)$$

$$ENERGIA VAPOR = (FLUJO DE VAPOR)(Hvap_{(3BAR)}) [=] \left(\frac{M}{\theta}\right) \left(\frac{E}{M}\right) [=] \frac{E}{\theta}$$

$$ENERGIA GAS NATURAL = \frac{ENERGIA VAPOR}{\eta_{GLOBAL CALDERAS}} [=] \frac{E}{\theta}$$

*COSTO ENERGIA GAS NATURAL*

$$= (ENERGIA GAS NATURAL)(COSTO ENERGIA GAS NATURAL) [=] \left(\frac{E}{\theta}\right) \left(\frac{\$}{E}\right) [=] \frac{\$}{\theta}$$

$$COSTO GAS NATURAL POR LOTE = (COSTO ENERGIA GAS NATURAL)(\theta) [=] \left(\frac{\$}{\theta}\right) \theta [=] \$$$

*COSTO TOTAL GAS NATURAL AL MES*

$$= (COSTO GAS NATURAL POR LOTE) \left(\frac{CICLO}{MES}\right) (NUMERO DE TANQUES) [=] (\$) \left(\frac{1}{\theta}\right) [=] \frac{\$}{\theta}$$

---

<sup>3</sup> Revisar simbología al final de este trabajo

### 1.3.2. DESTILACION

#### 1.3.2.1 Algoritmo<sup>4</sup>

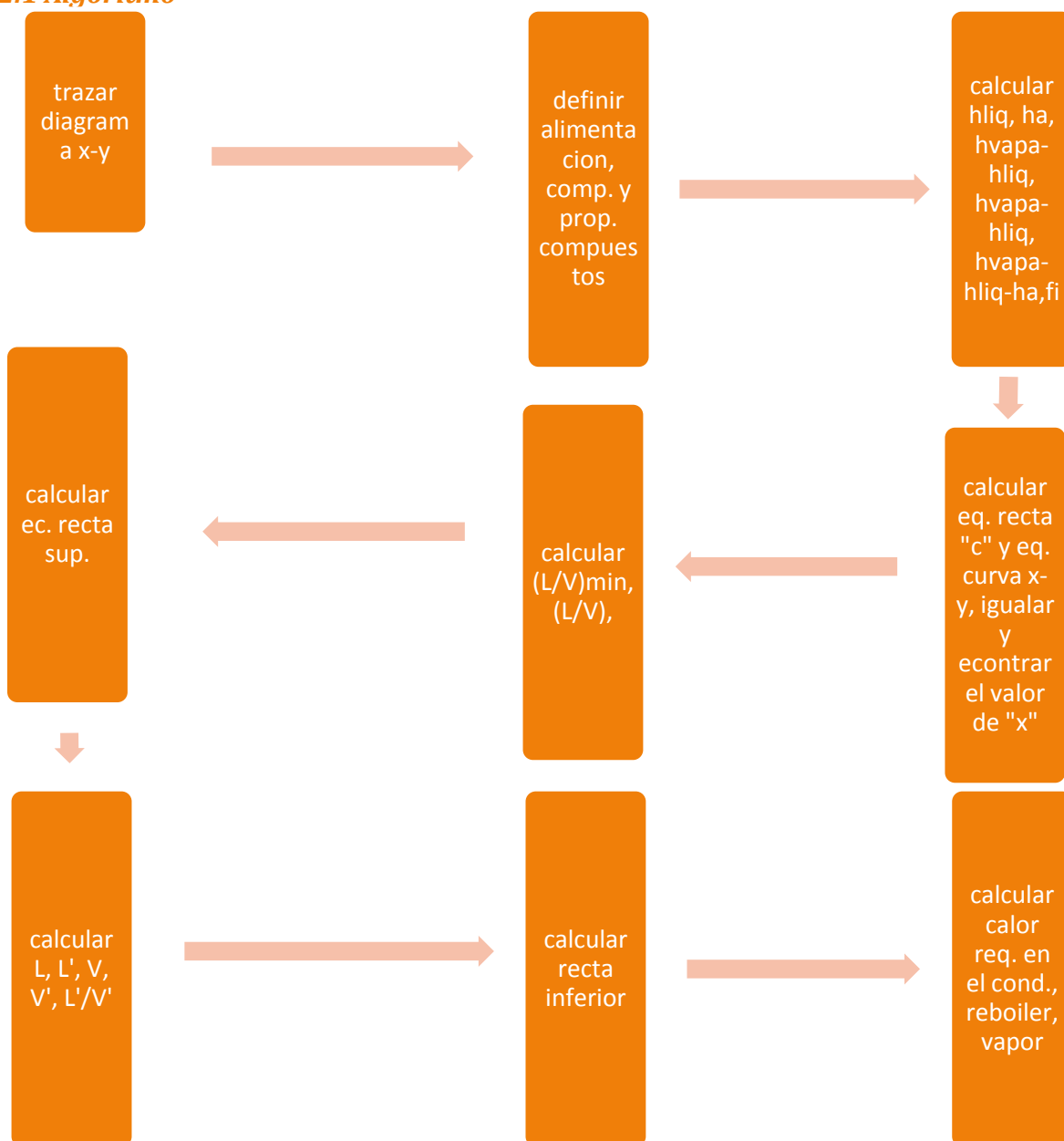


Ilustración 23 Algoritmo de cálculos en Destilación

<sup>4</sup> Este algoritmo descrito es el método McCabe – Thiele el cual es comúnmente utilizado para mezclas binarias, las formulas y parte de la simbología se baso en la descripción de este método realizada en el libro publicado por ocon-tojo, ver bibliografía.

### 1.3.2.2 Formulas

$$\ln(p^\circ) = A + \frac{B}{T + C}$$

$$P = \frac{p^\circ X}{Y}$$

$$P = p_1^\circ X_1 + p_2^\circ X_2$$

$$Cp = A' + B'T + C'T^2 + D'T^3$$

$$F_{ALIM} = F_{C1} + F_{C2}$$

$$F_{C1} = F_{ALIM} X_{C1}$$

$$F_{C2} = F_{ALIM} X_{C2}$$

$$F_f = \frac{F_{ALIM} X_{ALIMC1} - F_{ALIM} X_{DC1}}{X_{DC2} - X_{DC1}}$$

$$H_{LIQ} = (Cp_{MEZCLA})(T_{b_{MEZCLA}})$$

$$H_{ALIM} = (Cp_{MEZCLA})(T_{ENTRADA})$$

$$H_{VAP ALIM} - H_{LIQ} = \frac{(\lambda_{C1} X_{ALIMC1})}{PM_{C1}} + \frac{(\lambda_{C2} X_{ALIMC2})}{PM_{C2}}$$

$$\phi = \frac{(H_{VAP ALIM} - H_{LIQ})}{H_{VAP ALIM} - H_{LIQ} - H_{ALIM}}$$

$$Y_{RECTAC} = \left(\frac{\phi}{\phi - 1}\right) X + (\theta X_{ALIMC1} + X_{ALIMC1})$$

$$\left(\frac{Liq}{Vap}\right)_{MIN} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$\frac{Liq}{Vap} = \left( \frac{Liq}{Vap} \right)_{MIN} \quad (1.2)$$

$$Y_{RECTA SUP.} = \left( \frac{Liq}{Vap} \right) X + \left( X_{DC1} \frac{Liq}{Vap} - X_{DC1} \right)$$

$$Liq = \frac{F_D}{\frac{1}{\frac{Liq}{Vap}} - 1}$$

$$Liq' = Liq + (F_A \phi)$$

$$Vap = Liq + F_D$$

$$Vap' = Vap + F_A(1 - \phi)$$

$$Y_{RECTA INF.} = \left( \frac{Vap'}{Liq'} \right) X + \left( \left( \frac{Vap'}{Liq'} \right) X_{FC1} + X_{FC1} \right)$$

$$CALOR REQ. CONDENSADOR = Vap \left( \frac{\lambda_{C1} X_{DC1}}{PM_{C1}} + \frac{\lambda_{C2} X_{DC2}}{PM_{C2}} \right)$$

$$CALOR REQ. REBOILER = Vap \left( \frac{\lambda_{C1} X_{FC1}}{PM_{C1}} + \frac{\lambda_{C2} X_{FC2}}{PM_{C2}} \right)$$

$$VAPOR REQUERIDO = \frac{CALOR REQUERIDO}{ENTALPIA DE VAPOR}$$



### 1.3.3 ENZIMAS

#### 1.3.3.1 Algoritmo



Ilustración 24 Algoritmo de cálculos en Enzimas

### 1.3.3.2 Formulas

$$TIEMPO\ CICLO = TIEMPO\ PRODUCCION + TIEMPO\ LAVADO [=]\theta$$

$$CICLO = \frac{(TIEMPO\ CICLO)}{(TIEMPO\ MES)} [=] \frac{CICLO}{MES}$$

$$TIEMPO\ LLENADO = \frac{VOLUMEN}{FLUJO} [=] \theta$$

$$FLUJO\ CALOR = FLUJO (\rho)(Cp)(\Delta T) [=] \frac{E}{\theta}$$

$$FLUJO\ VAPOR = \frac{FLUJO\ CALOR}{ENTALPIA_{3BAR}} [=] \frac{\frac{E}{\theta}}{\frac{E}{M}} [=] \frac{M}{\theta}$$

$$VAPOR\ X\ CICLO = (FLUJO\ VAPOR)(TIEMPO\ LLENADO)[=] \frac{M}{CICLO}$$

$$VAPOR\ AL\ MES = \left(\frac{VAPOR}{CICLO}\right) \left(\frac{CICLOS}{MES}\right) [=] \left(\frac{M}{CICLO}\right) \left(\frac{CICLO}{\theta}\right) [=] \frac{M}{\theta}$$

$$ENERGIA\ AL\ MES\ VAPOR = (VAPOR\ AL\ MES)(ENTALPIA_{3BAR}) [=] \left(\frac{M}{\theta}\right) \left(\frac{E}{M}\right) [=] \frac{E}{\theta}$$

$$ENERGIA\ AL\ MES\ GAS = \frac{(ENERGIA\ AL\ MES\ VAPOR)}{\eta_{CALDERA}} [=] \frac{E}{\theta}$$

$$COSTO\ AL\ MES = (ENERGIA\ AL\ MES) \left(\frac{COSTO}{ENERGIA}\right) [=] \left(\frac{E}{\theta}\right) \left(\frac{\$}{E}\right) [=] \frac{\$}{\theta}$$

## Balances fermentación

### Tabla de balance de esterilización actual<sup>5</sup>

Tabla 1 Datos de los tanques a esterilizar

tanques	numero de fermentadores	ciclos	volumen agua total(1 ciclo)
TAGS		1/MES	M3
50's	5.00	6.00	30.00
70's	5.00	6.00	43.00
90A	1.00	4.00	55.00
90B	1.00	4.00	37.00
190's	5.00	4.00	54.00
total		24.00	219.00

Tabla 2 Cantidad de vapor necesitada en la primera etapa de esterilización

tiempo calentamiento	calor 1° etapa <sup>6</sup>	Calor requerido por unidad de tiempo	flujo vapor <sup>7</sup>	VAPOR CONSUMIDO AL MES E.1
H	KJ	KJ/H	KG/H	TON/MES
1.33	7.6E+06	5.7E+06	1.4E+04	577.10
1.91	1.1E+07	5.7E+06	1.4E+04	827.18
2.45	1.4E+07	5.7E+06	1.4E+04	141.07
1.65	9.3E+06	5.7E+06	1.4E+04	94.90
2.40	1.4E+07	5.7E+06	1.4E+04	692.52
	5.5E+07			2,332.76

Tabla 3 Costo del vapor utilizado en la primera etapa de esterilización

energía vapor	energía gas	costo gas	costo gas por lote <sup>8</sup> E.1	COSTO X CICLOS X FERM'S E.1
KJ/H	KJ/H	USD/H	USD	USD/MES
3.4E+07	4.2E+07	384.96	513.56	1.5E+04
3.4E+07	4.2E+07	384.96	736.11	2.2E+04
3.4E+07	4.2E+07	384.96	941.54	3.8E+03
3.4E+07	4.2E+07	384.96	633.40	2.5E+03
3.4E+07	4.2E+07	384.96	924.42	1.8E+04
				6.2E+04

<sup>5</sup> Cada fila de datos en todas las tablas está regida por los parámetros y tags correspondientes de la tabla 1

<sup>6</sup> Calor requerido para calentar el volumen en el tanque de 20-80°C

<sup>7</sup> El flujo de vapor es el mismo en todos los casos debido a que es la misma tubería y se considera que no existe una caída de presión significativo a todo lo largo de esta.

<sup>8</sup> Ver glosario

**Tabla 4 Cantidad de vapor utilizado en la segunda etapa de esterilización**

tiempo calentamiento	calor(kJ) 2° etapa	flujo calor(kJ/h)	flujo vapor(kg/h) <sup>9</sup>	VAPOR CONSUMIDO AL MES E.2
H	KJ	KJ/H	KG/H	TON/MES
0.91	5.2E+06	5.7E+06	1.4E+04	394.35
1.31	7.4E+06	5.7E+06	1.4E+04	565.24
1.67	9.5E+06	5.7E+06	1.4E+04	96.40
1.12	6.4E+06	5.7E+06	1.4E+04	64.85
1.64	9.3E+06	5.7E+06	1.4E+04	473.22
	3.8E+07			1,594.05

**Tabla 5 costo del vapor utilizado en la segunda etapa de esterilización**

energía vapor(kJ/h)	energía gas(kJ/h)	costo gas(usd/h)	costo gas usd por lote E.2	COSTO X CICLOS X FERM'S E.2
KJ/H	KJ/H	USD/H	USD	USD/MES
3.4E+07	4.2E+07	384.96	350.94	1.1E+04
3.4E+07	4.2E+07	384.96	503.01	1.5E+04
3.4E+07	4.2E+07	384.96	643.38	2.6E+03
3.4E+07	4.2E+07	384.96	432.82	1.7E+03
3.4E+07	4.2E+07	384.96	631.68	1.3E+04
				4.3E+04

**Tabla 6 Vapor y costo total de esterilización con máxima producción con calentamiento desde temperatura ambiente**

tanques	numero de fermentadores	VAPOR CONSUMIDO AL MES TOTAL	costo gas usd por lote total	C. ESTERILIZACION MAX PROD.
Tags		TON/MES	USD	USD/MES
50's	5.00	971.45	864.50	25,935.01
70's	5.00	1,392.41	1,239.12	37,173.52
90A	1.00	237.47	1,584.92	6,339.67
90B	1.00	159.75	1,066.22	4,264.87
190's	5.00	1,165.74	1,556.10	31,122.02
total		3,926.82		104,835.09

<sup>9</sup> El flujo de vapor se considera constante debido a que la tubería de vapor es la misma, no hay caída de presión significativa y mantiene el mismo diámetro a la entrada de todos los tanques debido, sin embargo para el cálculo de este flujo se midieron los tiempos que tardaban en esterilizar, haciendo uso de estos tiempos, el volumen a esterilizar y haciendo las suposiciones anteriores se iteró varias veces hasta que los flujos de vapor se igualaron, el resultado se comparó con el dato reportado en el libro, “Manual de selmec de calderas” en el cual reportan los flujos de vapor dado un diámetro y una presión.

### Tabla de balance de esterilización con precalentamiento

Siguiendo los mismos datos de volúmenes y cambiando a la temperatura máxima permisible para calentar 45.45 m<sup>3</sup>/h desde 20°C hasta 70°C <sup>10</sup> con un flujo de 130m<sup>3</sup>/h de 90°C hasta 70°C. Tenemos que:

Tabla 7 Datos del vapor necesitado con la propuesta 6 en la etapa de esterilización 1

tiempo calentamiento	calor 1° etapa	flujo calor	flujo vapor	VAPOR CONSUMIDO AL MES E.1
H	KJ	KJ/H	KG/H	TON/MES
0.2223	1,260,000.00	5,666,828.13	14,419.41	96.18
0.3186	1,806,000.00	5,666,828.13	14,419.41	137.86
0.4076	2,310,000.00	5,666,828.13	14,419.41	23.51
0.2742	1,554,000.00	5,666,828.13	14,419.41	15.82
0.4002	2,268,000.00	5,666,828.13	14,419.41	115.42
	9,198,000.00			388.79

Tabla 8 Costo del vapor utilizado en la primera etapa de esterilización con propuesta 6

energía vapor	energía gas	costo gas	costo gas por lote E.1	COSTO X CICLOS X FERM'S E.1
KJ/H	KJ/H	USD/H	USD	USD/MES
33,842,355.27	42,302,944.09	384.95	85.59	2,567.82
33,842,355.27	42,302,944.09	384.95	122.68	3,680.55
33,842,355.27	42,302,944.09	384.95	156.92	627.69
33,842,355.27	42,302,944.09	384.95	105.57	422.26
33,842,355.27	42,302,944.09	384.95	154.07	3,081.39
				10,379.71

Tabla 9 Costo total de la esterilización con la propuesta 6

tanques	VAPOR CONSUMIDO AL MES TOTAL	costo gas usd por lote total	C. ESTERILIZACION MAX PROD.
	TON/MES	USD	USD/MES
50's	490.53	436.53	13,095.90
70's	703.10	625.69	18,770.79
90A	119.91	800.30	3,201.22
90B	80.67	538.39	2,153.55
190's	588.64	785.75	15,715.08
total	1,982.85		52,936.53

<sup>10</sup> Se toma el dato de 70°C debido a las pérdidas de energía resultantes a lo largo de la línea en este caso se considero un  $\Delta T \approx 10^\circ\text{C}$  que sería el caso extremo en invierno

**Tabla 10 Comparación de Costo de esterilización actual vs Propuesta**

Tanques	C. ESTERILIZACION MAX PROD.	C. ESTERILIZACION MAX PROD. C/PROP
	USD/MES	USD/MES
50's	25,935.01	13,095.89
70's	37,173.52	18,770.78
90A	6,339.67	3,201.21
90B	4,264.86	2,153.54
190's	31,122.01	15,715.07
total	104,835.09	52,936.53

**Tabla 11 Ahorro en Fermentación por lote de producción**

tanques	Ahorro
	USD/MES
50's	12,839.11
70's	18,402.73
90A	3,138.45
90B	2,111.32
190's	15,406.93

## Balances destilación <sup>11</sup>

### Torre TD-01

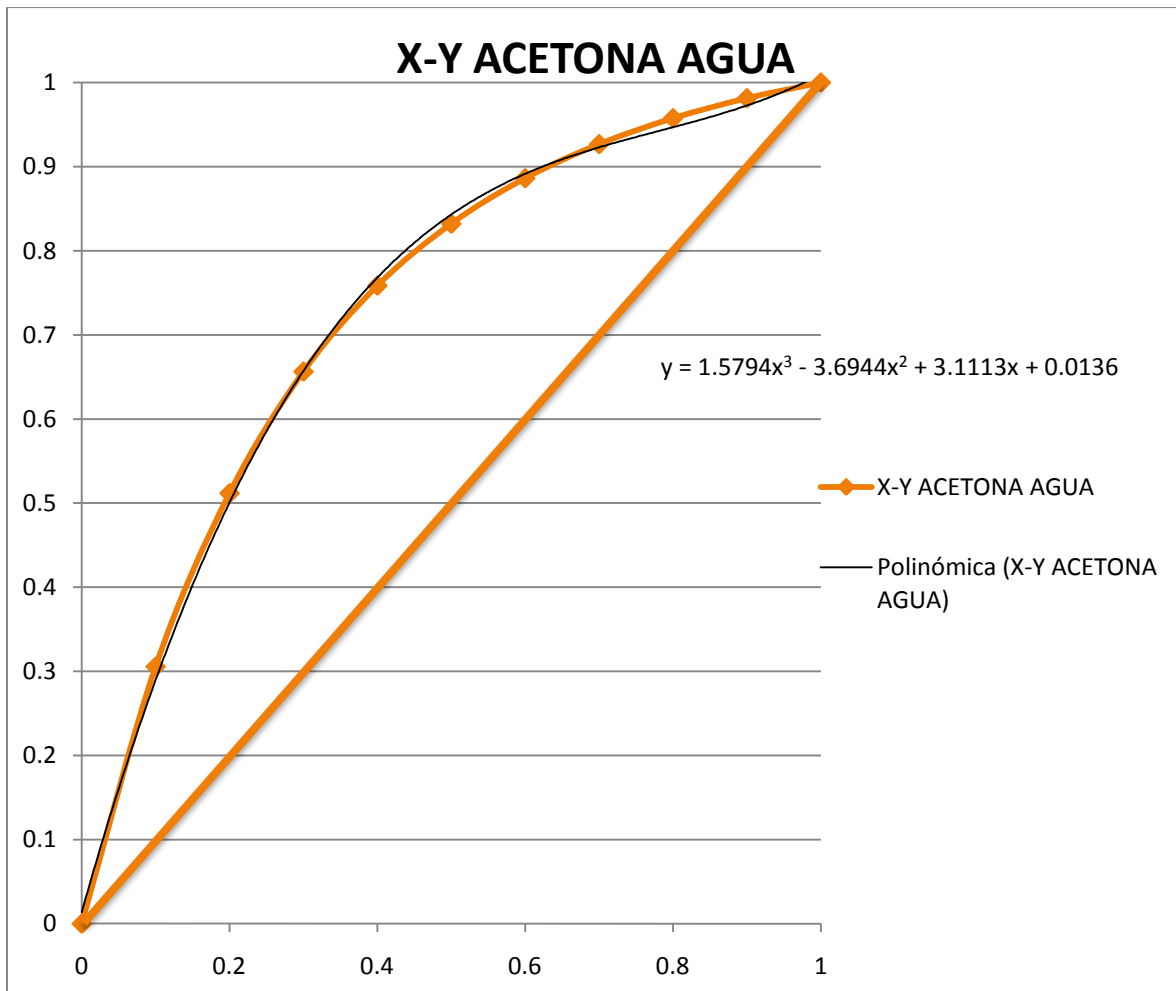


Ilustración 25 Diagrama X-Y de la Mezcla Acetona - Agua

<sup>11</sup> Se aplicó la metodología McCabe – Thiele para determinar las cargas térmicas obtenidas en el reboiler, no se utilizaron simuladores debido a que no cuento con esa tecnología



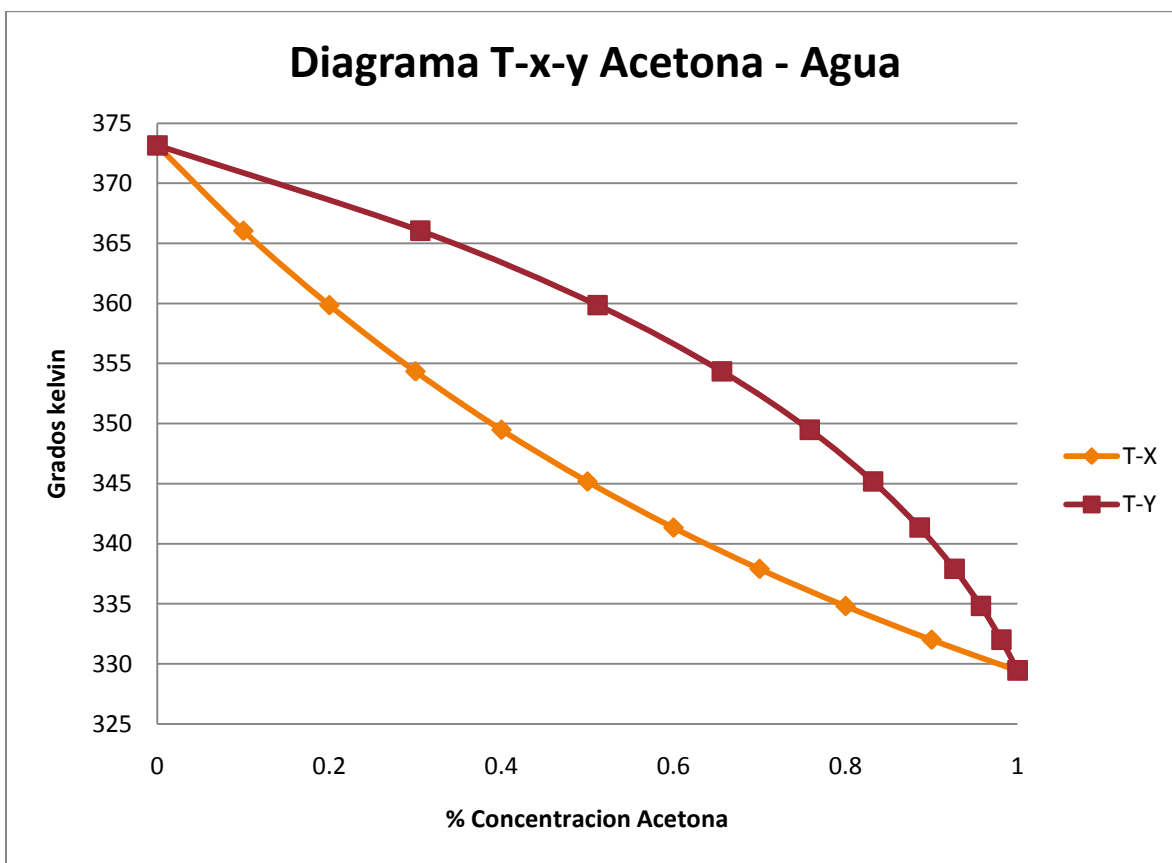


Ilustración 26 Diagrama T-x-y de Acetona - Agua

Tabla 12 Datos de los diagramas de Acetona - Agua

ACETONA AGUA		
Xi	T K	Yi
0	373.15	0
0.1	366.05	0.3056
0.2	359.85	0.5117
0.3	354.34	0.6563
0.4	349.481	0.7585
0.5	345.17	0.8321
0.6	341.34	0.8862
0.7	337.90	0.9267
0.8	334.81	0.9575
0.9	332.00	0.9813
1	329.44	1

**Tabla 13 Flujos y concentraciones de proceso**

		ACETONA	AGUA	TOTAL
FLUJO <sub>ALIM</sub>	(KG/H)	823.81	34.32	858.15
FLUJO <sub>D</sub>	(KG/H)	823.54	8.31	831.86
FLUJO <sub>F</sub>	(KG/H)	0.2628	26.02	26.28
X <sub>A</sub>		0.96	0.04	
X <sub>D</sub>		0.99	0.01	
X <sub>F</sub>		0.01	0.99	

**Tabla 14 datos de la sustancias**

		ACETONA	AGUA	MEZCLA
CP	KCAL <sup>12</sup> /KG °C	0.5517	1.0	0.5697
LAMDA	KCAL /KMOL	6,960.0	9,717.0	7,070.16
PM	KG/KMOL	58.08	18.015	56.47

**Tabla 15 datos entálpicos**

H <sub>liq</sub> <sub>ALIM</sub>	KCAL/KG	33.0509
H <sub>ALIM</sub>	KCAL/KG	27.8457
H <sub>vap</sub> <sub>ALIM</sub> -h <sub>liq</sub>	KCAL/KG	136.6147
H <sub>vap</sub> <sub>ALIM</sub> -h <sub>liq</sub> -H <sub>ALIM</sub>	KCAL/KG	141.8199
FI=		1.0381

**Tabla 16 Ecuación de la recta “C”**

EQ RECTA C	Y=	27.2459	X +	-25.1957
------------	----	---------	-----	----------

**Tabla 17 Ecuación de la curva X-Y**

Curva X-Y (AJUSTE)	$y = 1.5794x^3 - 3.6944x^2 + 3.1113x + 0.0136$
--------------------	--

**Tabla 18 Igualando recta “C” y curva X-Y**

IGUALANDO EQ RECTA X-Y Y EQ RECTA C					
MX	B=	KX3	CX2	MX	B
27.2459	-25.1957	1.5794	-3.6944	3.1113	0.0136

<sup>12</sup> 1 KCAL equivale a 4.1868kj

**Tabla 19 Ecuación resultante**

KX3	CX2	MX	B
1.5794	-3.6944	-24.1346	25.2093

**Tabla 20 Solución de la ecuación resultante**

X1=	0.9611	X2	0.9900
Y1=	0.9895	Y2	0.9900
m=	(Liq/Vap) <sub>MIN</sub> =	0.0174	

**Tabla 21 Valor de N<sub>min</sub> y Liq/Vap**

N <sub>min</sub>	11.0
Liq/Vap	0.0221

**Tabla 22 Ecuación de la recta superior**

EQ RECTA SUP	Y=	0.0221x-0.968
--------------	----	---------------

**Tabla 23 Valores de Liq, Liq', Vap, Vap' y Liq'/Vap'**

Liq	18.812	KG/H
Liq'	910.7325	KG/H
Vap	850.9797	KG/H
Vap'	816.9112	KG/H
Liq'/Vap'	1.1148	

**Tabla 24 Ecuación de la recta inferior**

EQ DE LA RECTA INFERIOR	
M	0.8970
ORDENADA	-0.0010

**Tabla 25 Cantidad de vapor requerida si T entrada = T ebullición**

CALOR REQUERIDO EN EL CONDENSADOR	105,509.9813	KCAL/H
CALOR REQUERIDO PARA REBOILER	140,154.0429	KCAL/H
VAPOR REQUERIDO(3 BAR)	249.8999	KG/H

### Balances Torre TD-02

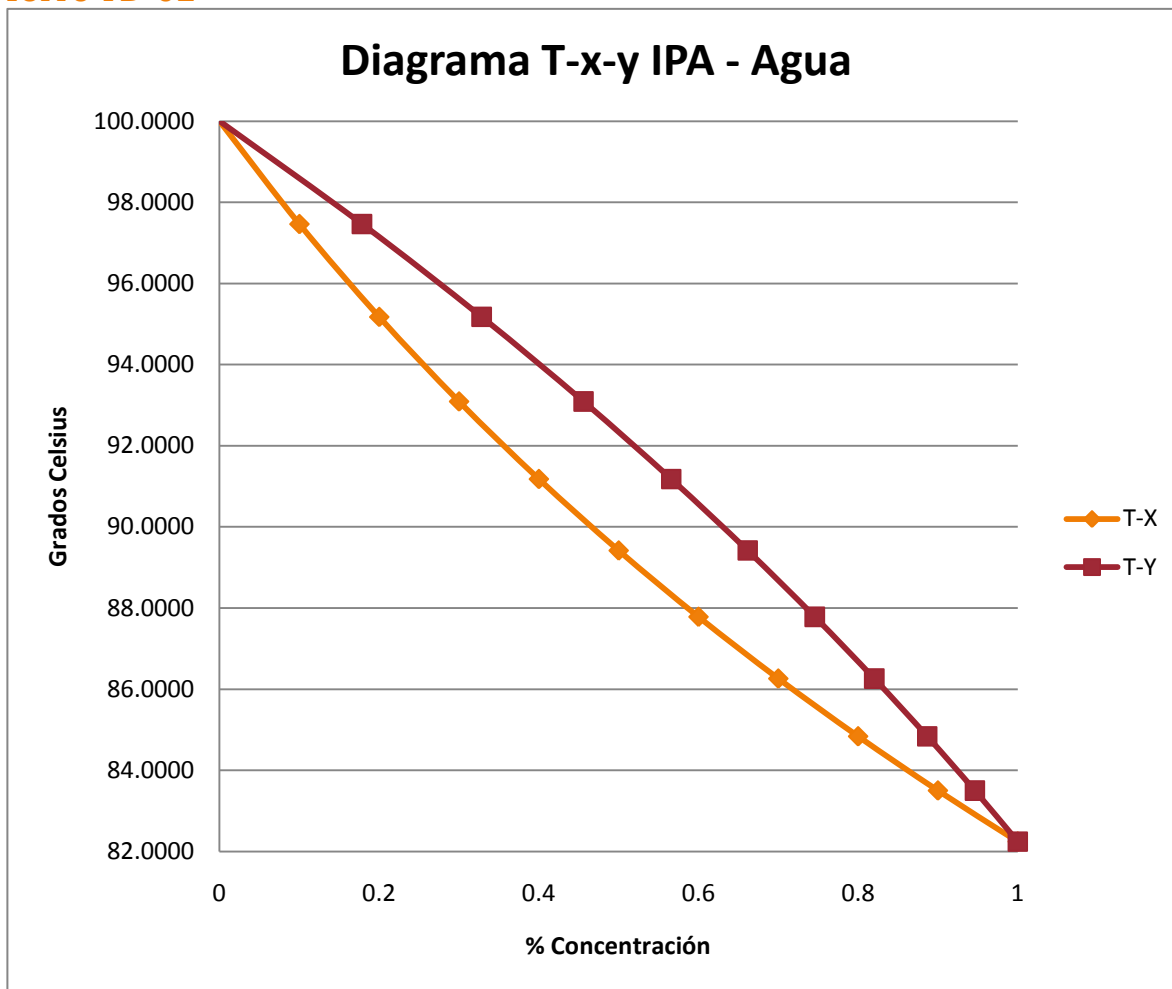


Ilustración 27 Diagrama T-x-y de la mezcla IPA - Agua

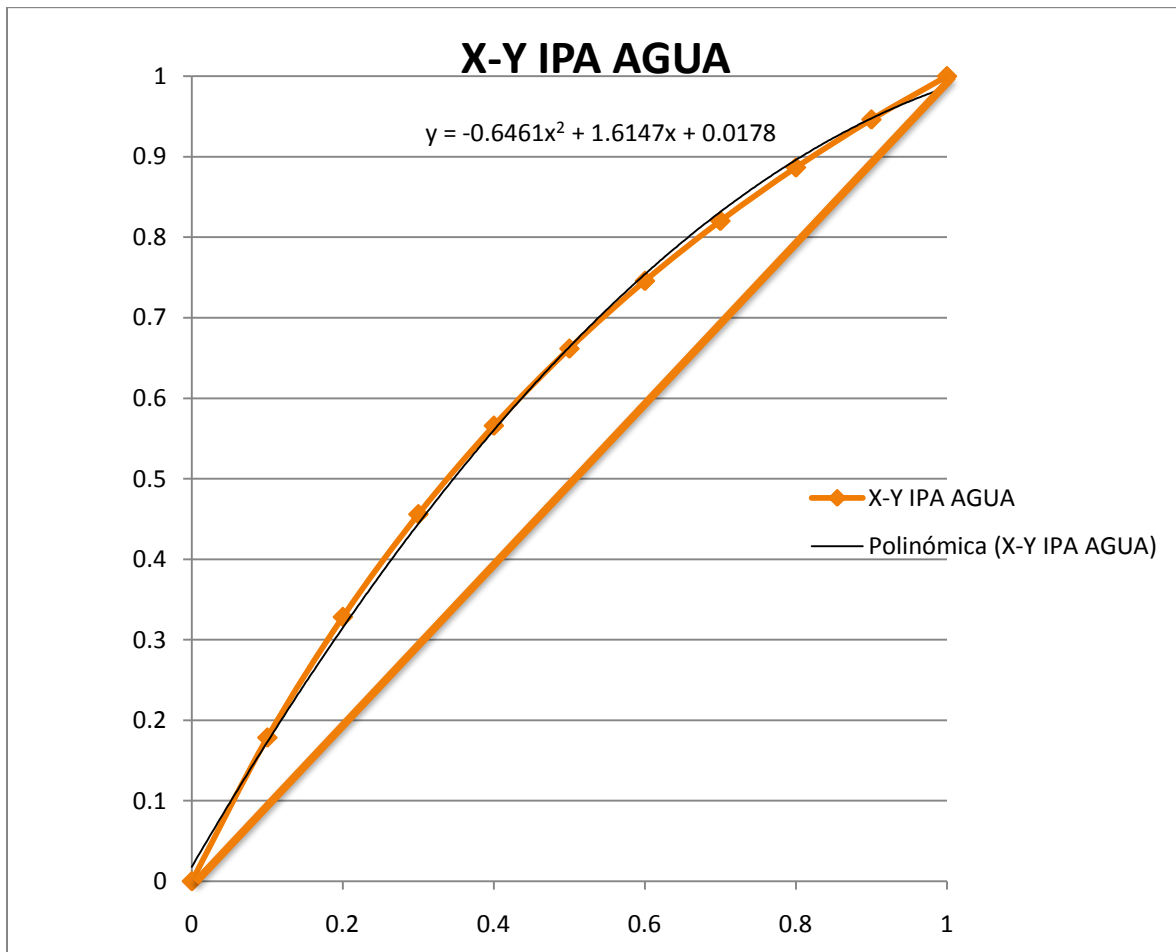


Ilustración 28 Diagrama X-Y de la mezcla IPA-Agua

Tabla 26 Datos de las Gráficas

IPA AGUA		
$X_i$	T °C	$Y_i$
0	100.0021	0
0.1	97.4666	0.1784
0.2	95.1768	0.3282
0.3	93.0919	0.4558
0.4	91.1804	0.5658
0.5	89.4174	0.6615
0.6	87.7829	0.7457
0.7	86.2604	0.8201
0.8	84.8365	0.8866
0.9	83.4999	0.9462
1	82.2413	1

Tabla 27 Datos de proceso

	Unidades	IPA	AGUA	TOTAL
FLUJO <sub>A</sub>	(KG/H)	237.12	9.88	247.0
FLUJO <sub>D</sub>	(KG/H)	237.04	2.39	239.43
FLUJO <sub>F</sub>	(KG/H)	0.0756	7.48	7.56
$X_A$		0.96	0.04	
$X_D$		0.99	0.01	
$X_F$		0.01	0.99	

Tabla 28 Datos de las sustancias

	Unidades	IPA	AGUA	MEZCLA
CP	KCAL/KG °C	0.4849	1.0	0.5055
LAMDA	KCAL /KMOL	9,520.0	9,717.0	9,527.88
PM	KG/KMOL	60.096	18.015	58.4128

Tabla 29 Datos de entalpias

H <sub>LIQ</sub> <sub>ALIM</sub>	KCAL/KG	35.3319
H <sub>ALIM</sub>	KCAL/KG	30.3278
H <sub>vap</sub> <sub>ALIM</sub> -h <sub>liq</sub>	KCAL/KG	173.6520
H <sub>vap</sub> <sub>ALIM</sub> -h <sub>liq</sub> -H <sub>ALIM</sub>	KCAL/KG	178.6561

FI	unidimensional	1.0288
----	----------------	--------

Tabla 30 Ecuación de la recta “C”

EQ RECTA C	Y=	35.7021	X +	-33.3140
------------	----	---------	-----	----------

Tabla 31 Ajuste de la curva “X-Y”

RECTA X-Y (AJUSTE CUADRATICO)	$y = -0.6461x^2 + 1.6147x + 0.0178$
-------------------------------	-------------------------------------

Tabla 32 Igualando ecuación de la curva “x-y” y la recta “C”

IGUALANDO EQ RECTA X-Y Y EQ RECTA C				
MX	B=	CX2	MX	B
35.7021	-33.3140	-0.6461	+ 1.6147	0.0178

Tabla 33 Ecuación resultante

CX2	MX	B
-0.6461	-34.0874	33.3318

Tabla 34 Solución de la ecuación resultante

X1	0.9604	X2=	0.99
Y1	0.9726	Y2=	0.99
m	$(Liq/Vap)_{MIN} =$	0.5871	

Tabla 35 valor de Nmin y Liq/Vap

$N_{min}$	22.1884	22.0
Liq/Vap	0.7045	

**Tabla 36 Ecuación de la recta superior**

EQ RECTA SUP	Y=	0.7044X-0.292
--------------	----	---------------

**Tabla 37 Valores de L, L', V, V' y L'V'**

Liq	570.7444	KG/H
Liq'	824.8622	KG/H
Vap	810.1832	KG/H
Vap'	803.0655	KG/H
Liq'/Vap'	1.0271	

**Tabla 38 Ecuación de la recta inferior**

EQ DE LA RECTA INFERIOR		
M		0.9736
ORDENADA		-0.0003

**Tabla 39 cantidad de vapor requerido en el reboiler**

CALOR REQUERIDO EN EL CONDENSADOR	131,430.2796	KCAL/H
CALOR REQUERIDO PARA REBOILER	133,563.3726	KCAL/H
VAPOR REQUERIDO(3 BAR)	238.2439	KG/H



### Balances Torre TD-08

Sistema Acetona – Agua mismo que Torre TD-01

Diagrama X-Y

Ver Torre TD-01

Diagrama T-X-Y

Ver Torre TD-01

Datos de los gráficos ver Tabla 12 Datos de los diagramas de Acetona - Agua

**Tabla 40 Datos de proceso**

	Unidades	ACETONA	AGUA	TOTAL
FLUJO ALIMENTACION	(KG/H)	112.2	261.80	374.0
FLUJO DESTILADO	(KG/H)	109.56	1.1067	110.67
FLUJO FONDOS	(KG/H)	2.63	260.6933	263.32
XALIM		0.30	0.70	
XD		0.99	0.01	
XF		0.01	0.99	

**Tabla 41 Datos de las sustancias**

		ACETONA	AGUA	MEZCLA
CP	KCAL/KG °C	0.5517	1.0	0.8655
LAMDA	KCAL /KMOL	6,960.0	9,717.0	8,889.9
PM	KG/KMOL	58.08	18.015	30.0345

Tabla 42 Datos entálpicos

HLIQ <sub>A</sub>	KCAL/KG	43.1895
H <sub>A</sub>	KCAL/KG	43.2760
Hvap <sub>A</sub> -hliq	KCAL/KG	413.5191
Hvap <sub>A</sub> -hliq-H <sub>A</sub>	KCAL/KG	413.4326
FI		0.9998

Tabla 43 Ecuación de la recta “C”

EQ RECTA C	Y=	-4,776.6944	X +	1,433.3083
------------	----	-------------	-----	------------

Tabla 44 Ajuste de la curva “X-Y”

Curva X-Y (AJUSTE CUADRATICO)	$y = 1.5794x^3 - 3.6944x^2 + 3.1113x + 0.0136$
-------------------------------	--

Tabla 45 Igualando recta “X-Y” y la recta “C”

IGUALANDO EQ CURVA X-Y Y EQ RECTA C					
MX	B=	KX3	CX2	MX	B
-4,776.6944	1,433.3083	1.5794	-3.6944	3.1113	0.0136

Tabla 46 Ecuación resultante

KX3	CX2	MX	B
1.5794	-3.6944	4,779.8057	-1,433.2947

**Tabla 47 Resultado de la ecuación resultante**

X1	0.2999	X2=	0.9900
Y1	0.6570	Y2=	0.9900
m	(Liq/Vap) <sub>MIN</sub> =	0.4825	

**Tabla 48 Valor de Nmin y L/V**

N <sub>min</sub> =	10.6512
Liq/Vap	0.5790

**Tabla 49 Ecuación de la recta superior**

EQ RECTA SUP	Y=	0.5789X-0.416
--------------	----	---------------

**Tabla 50 Valores de L, L', V, V', y L'/V'**

Liq	152.2088	KG/H
Liq'	526.1305	KG/H
Vap	262.8823	KG/H
Vap'	262.9605	KG/H
Liq'/Vap'	2.0008	

**Tabla 51 Ecuación de la recta inferior**

EQ DE LA RECTA INFERIOR	
M	0.4998
ORDENADA	-0.0050

**Tabla 52 vapor requerido en el reboiler**

CALOR REQUERIDO EN EL CONDENSADOR	32,605.3393	KCAL/H
CALOR REQUERIDO PARA REBOILER	84,833.6982	KCAL/H
VAPOR REQUERIDO(3 BAR)	151.3222	KG/H

## Balances Enzimas

Tabla 53 Datos de la UF-1

uf-1		
volumen=	40	m3
tiempo producción	60	h
tiempo lavado=	4	h
tiempo ciclo=	64	h
ciclo=	11	
temperatura=	50	°C
tiempo llenado=	2	h
Calor	2,508,000.00	kJ <sup>13</sup> /h

Tabla 54 Datos de la UF-2

uf-2		
volumen=	25	m3
tiempo producción	60	h
tiempo lavado=	4	h
tiempo ciclo=	64	h
ciclo=	11	
temperatura=	50	°C
tiempo llenado=	1.25	h
Calor	2,508,000.00	kJ/h

Tabla 55 Datos de la UF-3

uf-3		
volumen=	25	m3
tiempo producción	60	h
tiempo lavado=	4	h
tiempo ciclo=	64	h
ciclo=	11	
temperatura=	50	°C
tiempo llenado=	1.25	h
Calor	2,508,000.00	kJ/h

<sup>13</sup> 1 kJ equivale a 0.2388 Kcal

**Tabla 56 Datos de la UF-4**

uf-4		
volumen=	15	m3
tiempo producción	48	h
tiempo lavado=	4	h
tiempo ciclo=	52	h
ciclo=	14	
temperatura=	50	°C
tiempo llenado=	0.75	h
calor	2,508,000.00	kJ/h

**Tabla 57 Datos de la MF-1**

mf-1		
volumen=	15	m3
tiempo producción	50	h
tiempo lavado=	4	h
tiempo ciclo=	54	h
ciclo=	13	
temperatura=	60	°C
tiempo llenado=	0.75	h
calor	3,344,000.00	kJ/h

**Tabla 58 Datos de la MF-2**

mf-2		
volumen=	15	m3
tiempo producción	50	h
tiempo lavado=	4	h
tiempo ciclo=	54	h
ciclo=	13	
temperatura=	60	°C
tiempo llenado=	0.75	h
calor	3,344,000.00	kJ/h

Tabla 59 Datos de la MF-3

mf-3		
volumen=	15	m3
tiempo producción	50	h
tiempo lavado=	4	h
tiempo ciclo=	54	h
ciclo=	13	
temperatura=	60	°C
tiempo llenado=	0.75	h
Calor	3,344,000.00	kJ/h

Tabla 60 valor del flujo de vapor a Enzimas

Flujo vapor=	1.462777536	ton/h
--------------	-------------	-------

Tabla 61 Balance del vapor requerido para los equipos

Equipo	Vapor consumido por ciclo	Vapor consumido al mes	Energía consumida al mes <sup>14</sup>
tag	ton	ton	KJ VAP
uf-1	2.9255	32.1819	73,920,000
uf-2	1.8284	20.1131	46,200,000
uf-3	1.8284	20.1131	46,200,000
uf-4	1.097	15.3591	35,280,000
mf-1	1.097	14.2620	32,760,000
mf-2	1.097	14.2620	32,760,000
mf-3	1.097	14.2620	32,760,000
total	10.97	130.5528	299,880,000
Al año		1566.6347	3,598,560,000

<sup>14</sup> Presion del vapor que alimenta Pabs=1 kg/cm<sup>2</sup>

Tabla 57 Calor requerido en

Equipo	Flujo de Calor	Calor	Flujo de calor al mes	Flujo de calor
Tag	KJ/H	KJ	KJ/MES	KJ/AÑO
uf-1	2.5E+06	5.0E+06	5.5E+07	6.6E+08
uf-2	2.5E+06	3.1E+06	3.4E+07	4.1E+08
uf-3	2.5E+06	3.1E+06	3.4E+07	4.1E+08
uf-4	2.5E+06	1.9E+06	2.6E+07	3.2E+08
mf-1	3.3E+06	2.5E+06	3.3E+07	3.9E+08
mf-2	3.3E+06	2.5E+06	3.3E+07	3.9E+08
mf-3	3.3E+06	2.5E+06	3.3E+07	3.9E+08
		2.1E+07	2.5E+08	3.0E+09

Tabla 58 Costo del vapor a los equipos

Equipo	Energía consumida al mes	Costo al mes
Tag	KJ GAS	DOLARES
uf-1	92,400,000	840.8426
uf-2	57,750,000	525.5266
uf-3	57,750,000	525.5266
uf-4	44,100,000	401.3112
mf-1	40,950,000	372.6461
mf-2	40,950,000	372.6461
mf-3	40,950,000	372.6461
total	374,850,000	3,411.1457
Al año	4,498,200,000	40,933.7495

## Capítulo 5 Análisis Económico

Sabiendo que para este proyecto la importancia del buen diseño y la eficiencia que este pudiese alcanzar era primordial se seleccionaron intercambiadores de placas debido a que han demostrado ser superiores en muchos aspectos pero sobre todo porque para el sistema diseñado (liquido - liquido) ofrecen más ventajas que otros tipos de intercambiadores.

Es por eso que se mando cotizar con alfa laval los intercambiadores de placas debido a que esta compañía lleva décadas diseñando este tipo de intercambiadores, además de que en México son de las pocas compañías que diseñan este tipo de intercambiadores, así que siendo la compañía de mayor importancia en cuanto intercambiadores se les pidió cotizar y diseñar los intercambiadores de este proyecto.

Finalmente el diseño se trabajo y diseño varias veces hasta que se encontró el más óptimo para el proyecto, los diseños llegaron a cubrir las expectativas y objetivos; a continuación se muestra la hoja de datos del intercambiador HX-01:

Con respecto al circuito diseñado para destilación se cumplió con la expectativa de elevar las corrientes de alimentación de las torres hasta su punto de ebullición<sup>15</sup>. En el caso de este circuito se mandaron cotizar cinco intercambiadores de placas, a pesar de la cantidad de intercambiadores cotizados el tamaño de estos es pequeño comparándolos contra el HX-01.

Con respecto al intercambiador HX-03 para el área de enzimas se hace su descripción más adelante.

---

<sup>15</sup> Se da por hecho que las adaptaciones necesarias para la operación de la torre serán llevadas a cabo por el departamento de destilación



**PARTIDA 1: HX-01**

**Intercambiador de Calor a Placas Modelo: M10-MFG<sup>16</sup>**

**CONDICIONES DE OPERACION**

---

		<b>Lado caliente</b>	<b>Lado frío</b>
Fluido		Water	Water
Flujo	m <sup>3</sup> /h	<b>129.5</b>	42.0
Temperatura de entrada	°C	90.0	20.0
Temperatura de salida	°C	70.0	79.8
Caída de presión	kPa	211	25.1

**PROPIEDADES DE LOS FLUIDO**

---

Densidad	kg/m <sup>3</sup>	969.5	983.0
Calor específico	kJ/ (kg*K)	4.19	4.17
Conductividad térmica	W/ (m*K)	0.672	0.651
Viscosidad entrada	cP	0.314	1.01
Viscosidad salida	cP	0.403	0.365

**CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO**

---

Patrón de los fluidos		Countercurrent	
Numero de placas		51	
Material de placas / espesor		ALLOY 316 / 0.50 mm	
Material de empaques CLIP-ON		NBRP CLIP-ON	NBRP
Material de conexiones steel		Stainless steel	Stainless
Connection diameter	mm	100	100
Orientación de conexiones		S1 -> S2	S4 <- S3
Código de diseño		ASME	
Conexiones		Preparado para Brida	
Presión de diseño	bar	10.3	10.3
Presión de prueba	bar	15.5	15.5
Temperatura de diseño	°C	121.1	121.1

**DIMENSIONES PRINCIPALES**

---

Medidas largo x ancho x alto	mm	1125 x 470 x 1084	
------------------------------	----	-------------------	--

La cotización enviada por alfa laval el día 14 de abril de 2009 fue:

Por medio de la presente y dando seguimiento al proyecto que hemos revisado en las últimas semanas, tenemos el agrado de poner a su amable consideración la cotización correspondiente para los intercambiadores de calor solicitados.

Ln #	Cant	Descripción	Precio	Subtotal	Plazo de Entrega
1	1	INTERCAMBIADOR DE CALOR HX-01 PARA AGUA CALIENTE DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A PERFORMANCE, QUE INCLUYE: VÁLVULA DE CONTROL DE 6" ANSI 125, POSICIONADOR Y ACTUADOR NEUMÁTICO CON CONTROL UNIVERSAL VÁLVULA DE CORTE Y FILTRO PARA ENTRADA A SISTEMA	\$37,672.68	\$ 37,672.68	70 Dias
2	1	INTERCAMBIADOR DE CALOR HX-02 PARA AGUA CALIENTE DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A PERFORMANCE, QUE INCLUYE: VÁLVULA DE CONTROL DE 1-1/2" NPT, POSICIONADOR Y ACTUADOR NEUMÁTICO CON CONTROL UNIVERSAL	\$9,159.17	\$ 9,159.17	70 Dias
3	1	INTERCAMBIADOR DE CALOR HX-03 PARA AGUA CALIENTE DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A PERFORMANCE, QUE INCLUYE: VÁLVULA DE CONTROL DE 6" ANSI 125, POSICIONADOR Y ACTUADOR NEUMÁTICO CON CONTROL UNIVERSAL VÁLVULA DE CORTE Y FILTRO PARA ENTRADA A SISTEMA	\$33,121.81	\$ 33,121.81	70 Dias
4	1	INTERCAMBIADOR DE CALOR HX-04 PARA AGUA CALIENTE Y ACETONA DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A PERFORMANCE, QUE INCLUYE: VÁLVULA DE CONTROL DE 1/2" NPT, POSICIONADOR Y ACTUADOR NEUMÁTICO CON CONTROL UNIVERSAL	\$7,634.21	\$ 7,634.21	70 Dias
5	1	INTERCAMBIADOR DE CALOR HX-05 PARA AGUA CALIENTE E IPA DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A PERFORMANCE, QUE INCLUYE: VÁLVULA DE CONTROL DE 1/2" NPT, POSICIONADOR Y ACTUADOR NEUMÁTICO CON CONTROL UNIVERSAL	\$9,886.28	\$ 9,886.28	70 Dias
6	1	INTERCAMBIADOR DE CALOR HX-06 PARA AGUA CALIENTE E IPA DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A PERFORMANCE, QUE INCLUYE: VÁLVULA DE CONTROL DE 1/2" NPT, POSICIONADOR Y ACTUADOR NEUMÁTICO CON CONTROL UNIVERSAL	\$9,390.95	\$ 9,390.95	70 Dias
7	1	INTERCAMBIADOR DE CALOR HX-07 PARA AGUA CALIENTE Y ACETONA DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A PERFORMANCE, QUE INCLUYE: VÁLVULA DE CONTROL DE 1/2" NPT, POSICIONADOR Y ACTUADOR NEUMÁTICO CON CONTROL UNIVERSAL	\$7,983.18	\$ 7,983.18	70 Dias

17

#### Ilustración 29 Datos cotización

Ln #	Cant	Descripción	Precio	Subtotal
			<b>Subtotal</b>	\$ 114,848.28
			<b>I.V.A.</b>	\$ 17,227.24
<b>Condiciones de pago: 30 Dias</b>				
<b>Tipo de Entrega: Envío directo al cliente</b>				
<b>Tipo de moneda: Dolares Americanos</b>				
			<b>Total USD</b>	<b>\$ 132,075.52</b>

#### Ilustración 30 Total Cotización

<sup>16</sup> Alcanzando casi un área de transferencia de 50m<sup>2</sup> en un espacio de 0.57 m<sup>3</sup>

<sup>17</sup> Los intercambiadores incluyen en el precio válvulas de control de flujo

Sacando del proyecto al departamento de enzimas y pensando el proyecto en dos fases tendríamos que:

Tabla 62 Capital Cost Estimate

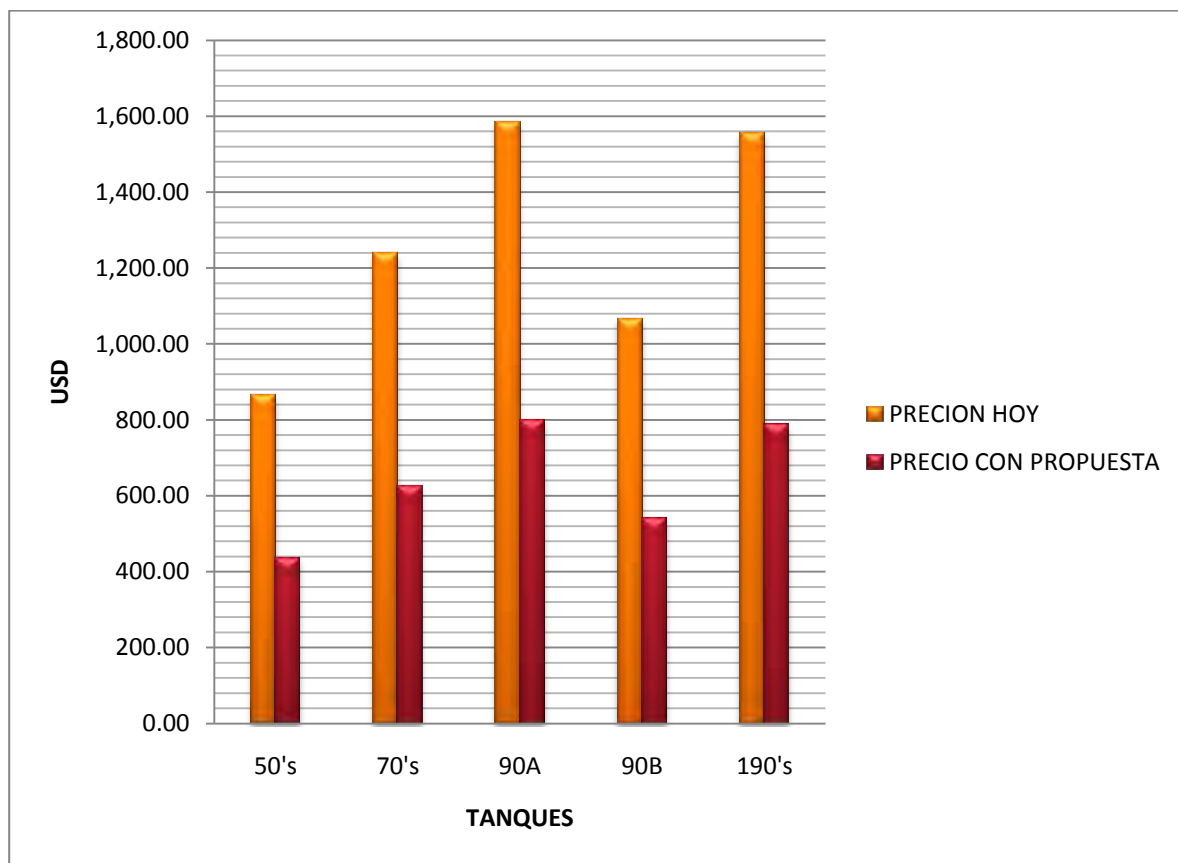
ENERGY SAVING PROJECT <sup>18</sup>					
Conceptual Capital Cost Estimate					
<b>PHASE 1 (FERMENTATION)</b>					
HEAT EXCHANGER (HX-01)	1 EA @		\$ 37,673.00	\$ 43,323.95	
Mechanical Installation and Piping	50%	of Equipment Cost		\$ 21,661.98	
Electrical and Controls	35%	of Equipment Cost		\$ 15,163.38	
		<b>Phase 1 Subtotal</b>		<b>\$ 80,149.31</b>	<b>24%</b>
<b>PHASE 2 (DISTILLATION)</b>					
HEAT EXCHANGER (HX-02)	1 EA @		\$ 9,159.17	\$ 10,533.05	
HEAT EXCHANGER (HX-04)	1 EA @		\$ 7,634.21	\$ 8,779.34	
HEAT EXCHANGER (HX-05)	1 EA @		\$ 9,886.28	\$ 11,369.22	
HEAT EXCHANGER (HX-06)	1 EA @		\$ 9,390.95	\$ 10,799.59	
HEAT EXCHANGER (HX-07)	1 EA @		\$ 7,983.18	\$ 9,180.66	
Mechanical Installation and Piping	50%	of Equipment Cost		\$ 25,330.93	
Electrical and Controls	35%	of Equipment Cost		\$ 17,731.65	
Pumps and Mechanical Equipment	1 EA @		\$0	\$0	
		<b>Phase 2 Subtotal</b>		<b>\$ 93,724.44</b>	<b>29%</b>
<b>Other Direct Cost</b>					
	Project Management			\$26,081	
	Engineering and Detailed Desing			\$52,162	
	<b>Other Direct Costs Subtotal</b>			<b>\$78,243</b>	<b>24%</b>
		<b>Total Installed Cost</b>		<b>\$ 252,117</b>	
<b>Construction Cost Recap</b>					
		Equipment		\$ 93,986	28.7
		Foundation and structural		\$75,635	23.1
		Mechanical Inst. and Piping		\$ 46,992.90	14.3
		Electrical and Cost		\$ 32,895.03	10.0
		Other Cost		\$78,243	23.9
		<b>Total Installed Cost</b>		<b>\$ 327,752</b>	<b>100%</b>
<b>Total Capital Required</b>				<b>\$ 327,752</b>	

Redondeando el costo total del proyecto en dos fases es de casi 328,000 Dólares.

<sup>18</sup> Esta tabla solo da un aproximado del costo real del proyecto un análisis más detallado se hace en la etapa de ingeniería de detalle del proyecto, sin embargo es un presupuesto que en teoría se encuentra arriba del precio real.

## Conclusiones

El análisis de cuanto se ahorraría se hizo comparando el costo de la esterilización de un lote de producción actual (columna amarilla) contra el costo de la esterilización de un lote de producción con la propuesta implementada en fermentación (columna roja). El grafico muestra el costo total de esterilización es decir etapa 1 mas etapa 2, el ahorro es indiscutible a pesar de que no se alcanza a cubrir la temperatura máxima requerida en la primera etapa de esterilización. Los costos calculados son de gas natural L.P.



19

Ilustración 31 Comparativo de los costos de la esterilización actual y con propuesta

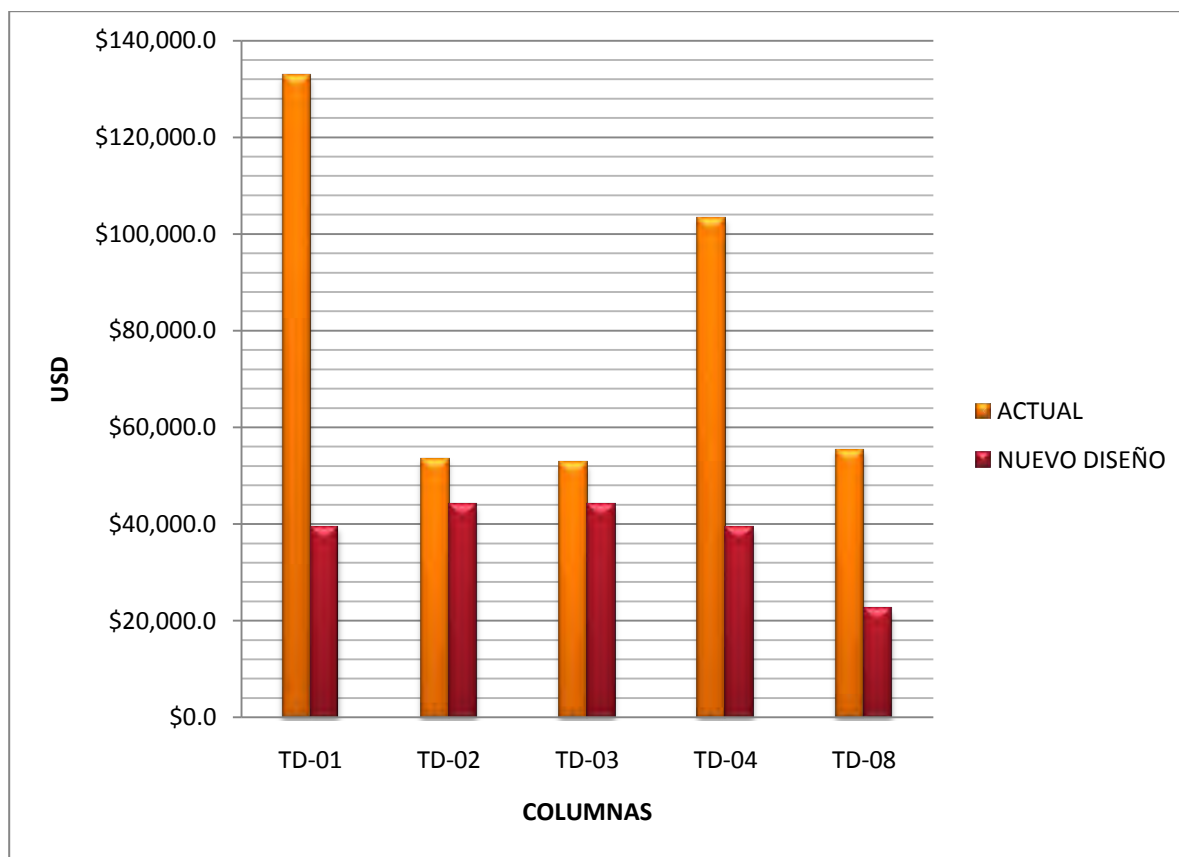
<sup>19</sup> Considerando máxima capacidad instalada

El siguiente grafico muestra un análisis similar al de fermentación pero para el área de destilación en el cual la primera columna es el costo del gas natural utilizado para el vapor ocupado en el reboiler de cada columna (columna amarilla) contra el costo de gas natural utilizado para el vapor del reboiler si la propuesta ya hubiese sido implementada. En el caso de la primera columna el ahorro es grande debido a que la masa de acetona suministrada a la columna es grande y actualmente toda la materia suministrada es calentada de la temperatura ambiente hasta la temperatura de ebullición (columna amarilla) y en la segunda columna (columna roja) el vapor suministrado es solo para hacer que la misma masa evapore, o sea solo se suministra calor latente al reboiler.

En el segundo par de columnas así como en el tercer par el ahorro no es tan significativo debido a que la masa suministrada a la columna es pequeña y el factor de volatilidad de la mezcla Agua - IPA no es tan grande como el de la mezcla Agua – Acetona

Teniendo que:

$$\alpha_{agua-acetona} \gg \gg \alpha_{agua-ipa}$$



2021

Ilustración 32 Comparativo del calentamiento en las columnas de destilación actual vs propuesto

<sup>20</sup> Las columnas TD-01 y TD-04 son iguales y trabajan las mismas sustancias a los mismos flujos, igualmente las columnas TD-02 y TD-03 son iguales, la TD-08 destila los fondos de las columnas TD-01 y TD-04

<sup>21</sup> Considerando producción constante y re-arreglo de operación en las columnas debido a la nueva temperatura de alimentación.

En el caso de enzimas se hizo una ilustración similar para hacer el mismo comparativo que en los ilustraciones anteriores sin embargo solo se tienen columnas amarillas debido a que todo este gasto sería completamente cubierto por el proyecto, es decir no se necesitaría vapor para cubrir este requerimiento.

La diferencia del tamaño de la columna se debe al tamaño de los equipos a lavar.

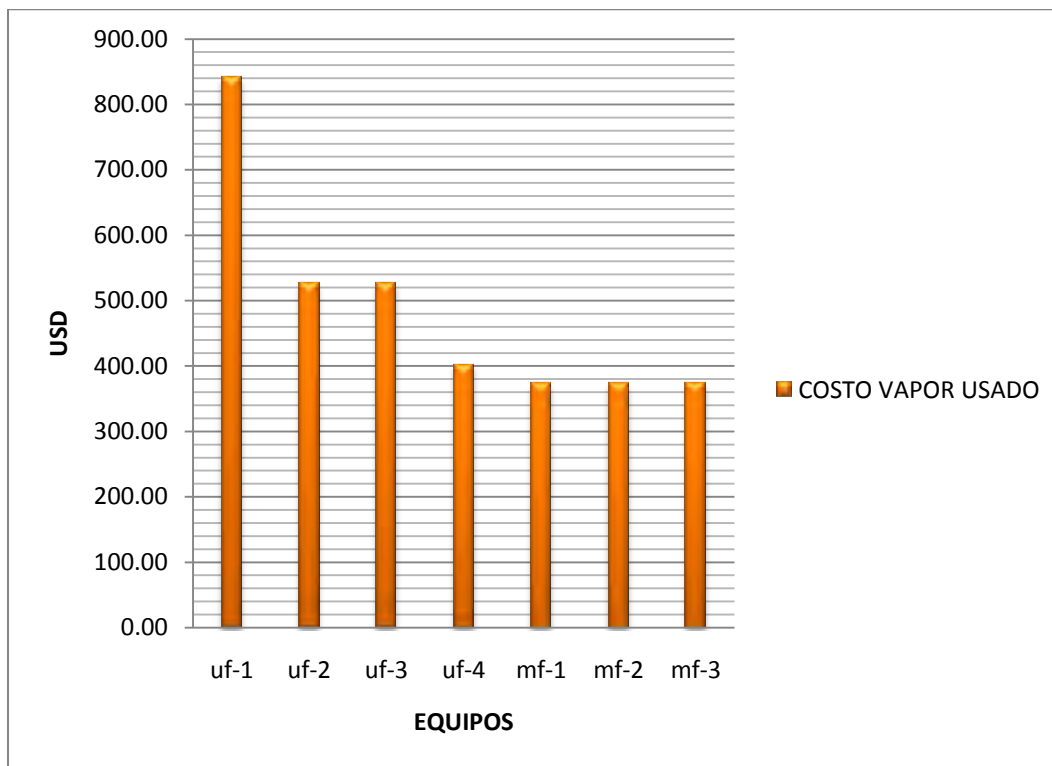


Ilustración 33 Costo del vapor usado en enzimas<sup>22</sup>

Por lo que se concluye que se tendría un ahorro de gas natural en la planta del 20% con respecto al consumo actual.

<sup>22</sup> No hay columna roja contra la cual comparar debido a que el ahorro es del 100%

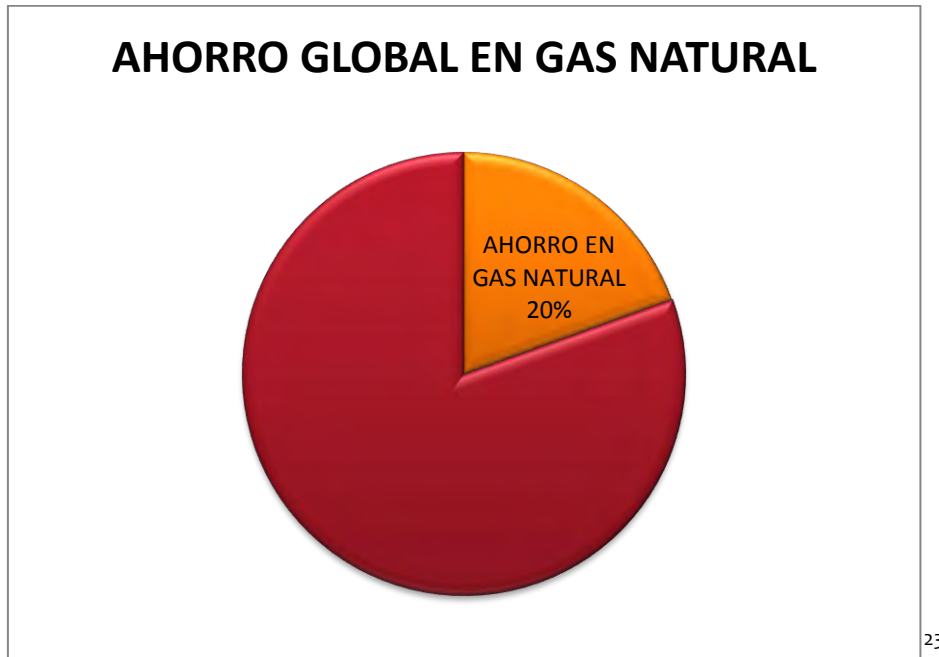


Ilustración 34 Ahorro global de Gas Natural

Y un ahorro en gas natural a calderas de 48% con respecto al consumo actual

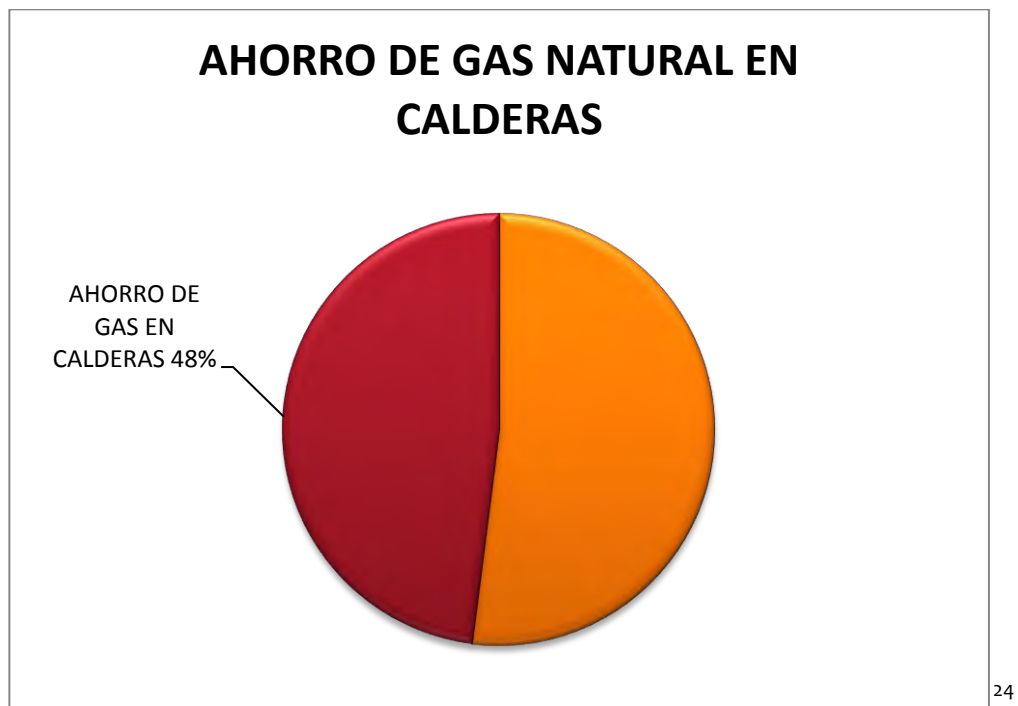


Ilustración 35 Ahorro de Gas Natural en Calderas

<sup>23</sup> Consumo de gas natural en la planta 11,000 Gcal

<sup>24</sup> Considerando que la producción se mantiene constante



En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de ahorro en vapor por departamento que se obtendría con el proyecto

Tabla 63 Ahorro de Vapor debido a la propuesta 6

Ahorro de Vapor por Departamento		
Fermentación	Destilación	Enzimas <sup>25</sup>
50%	52%	100.0%

Teniendo que el proyecto total cuesta 328,000 Dólares y los ahorros de la tabla anterior tenemos un retorno de inversión de 5 meses después de instalación y puesta en marcha de los intercambiadores si se maneja en fases el proyecto siendo la instalación del HX-01 la primera fase el retorno de la inversión sería de 3 meses, así mismo si la inversión y el ahorro de la fase dos (destilación) se llevara a cabo sin contemplar el ahorro y gasto en la fase 1 (fermentación); la fase 2 se paga a sí misma en 10 meses. Inclusive si solo se instalara el intercambiador de Fermentación después de 7 meses se habría recuperado la inversión de esta fase y se tendría el dinero para la construcción de la fase dos.

---

<sup>25</sup> Recordando que a pesar de este ahorro de vapor no se aprobó el gasto en el departamento de Enzimas

## Recomendaciones

- Aterrizar la instalación de instrumentos en el área de destilación
- Tratar de programar el mayor número de esterilizaciones durante el día
- Utilizar empaques especiales para los intercambiadores instalados en destilación.
- En el caso de fermentación estudiar la posibilidad de sustituir el sistema de tuberías que alimentan agua a los fermentadores y a los tanques de carga con el propuesto en este trabajo y crear un nuevo sistema de tuberías que suministre agua exclusiva para el lavado del área

## Glosario

### Concepto de energía

La energía se define dependiendo de la ciencia que la estudia de diferentes formas sin embargo en forma general se puede decir que es:

La suma del valor escalar que presenta un cuerpo debido a su posición en el espacio y el valor escalar que tiene un cuerpo debido a su cantidad de movimiento. Lo cual se presenta a nivel micro y macro otra definición de la energía desde un punto de vista mecánico es la capacidad de un cuerpo para producir trabajo.

Y recordando las leyes de la termodinámica:

1. Existe una conservación de la energía debido a que esta se presenta de formas distintas ya sea como energía calorífica, mecánica, eléctrica, etc. Y su transformación de una forma a otra es inevitable.
2. Se puede convertir el trabajo en calor sin embargo el calor no se puede convertir en su totalidad en trabajo debido a una propiedad llamada entropía que a grandes rasgos se podría definir como la cantidad de la energía que no sirve para realizar trabajo o en otros términos es el grado de irreversibilidad alcanzada después de un proceso que implique transformación de la energía.

Además se establece que la energía tiene un flujo unidireccional es decir solo se transmite de un sistema de alta energía a otro de baja energía y no al revés.

### Trabajo

En la mecánica clásica se define trabajo como la fuerza suministrada a un cuerpo para desplazarla una distancia.

En termodinámica se define como el área bajo la curva del cambio del volumen de un gas con respecto a un estado A con respecto al estado B multiplicado por la fuerza sobre unidad de área.

En el caso de este trabajo no se realiza trabajo en ninguna de las propuestas.

En el caso de la relación entre la energía y el trabajo se define como “la diferencia de la energía es igual al cambio del calor mas el cambio en el trabajo” ; recordando la segunda ley de la termodinámica, explicada en el apartado anterior.

### Calor

El calor se define como la suma de las energías cinéticas de los átomos de los cuerpos. En termodinámica se define como la diferencia de la energía interna menos la temperatura absoluta del sistema multiplicado por la entropía del mismo.

Existen tres formas de transferir el calor: conducción, convección y radiación las tres se presentan al mismo tiempo en todos los sistemas de transferencia de calor.

### **Definición de cogeneración**

La cogeneración se define como el uso de un motor o turbina para generar electricidad y calor útil. Mayormente este calor es usado para generar vapor para los servicios de calentamiento de la planta, este caso es el que sucede en la planta química en la que se realiza este trabajo. Pero a su vez en este sistema de cogeneración hay calor no utilizado para producir vapor e incluso se gasta capital en dispersar ese calor producido constantemente.

### **Mejoramiento de los métodos de calentamiento**

El mejoramiento de los métodos de calentamiento son el quehacer diario de la ingeniería estos dependen totalmente de los métodos en los que se transfiere el calor conducción, convección y radiación.

Para el caso del departamento de fermentación se tiene un sistema muy parecido al que se tiene en el laboratorio, una gran olla en la cual se hacen todas las reacciones, mezclas, agitaciones e inclusive el mismo calentamiento. En este caso el calentamiento se lleva a cabo inyectando el vapor directamente dentro del reactor. Esta manera de calentamiento se puede describir como convección forzada mas conducción en la capa límite entre el vapor y el líquido dentro del reactor, la suma de estas dos son la que proporcionan el calentamiento al reactor; sin embargo esta manera a pesar de ser muy efectiva presenta ineficiencias debido a la manera en que se es aplicado debido a que la masa a calentar es grande comparada con el flujo que entra por la tubería, tardando un tiempo significativo en calentar el reactor. La única modificación que pudiera permitir una mejora al sistema es un calentamiento previo del fluido antes de entrar al tanque mediante un equipo específicamente diseñado para el sistema que asegure una transferencia de calor efectiva.

En el caso del departamento de destilación el calentamiento es llevado a cabo dentro de un reboiler que funciona con vapor, en este caso específico las torres de destilación calientan desde temperatura ambiente hasta la temperatura de ebullición de la mezcla, así que cualquier calentamiento previo a la entrada representaría un ahorro de energía, siempre y cuando las condiciones de operación de la columna se modifiquen junto con la opción propuesta.

Y en el tercer caso el calentamiento se lleva a cabo en un intercambiador de tubos y coraza el cual presenta condiciones de operación distintas a las de diseño, esto puede ser debido a una mal funcionamiento de sus trampas de vapor o de un mal diseño de intercambiador, por lo cual se propuso un sistema de calentamiento distinto al existente que podría reemplazar o funcionar como sistema principal de calentamiento y dejar al existente como relevo.

### **Avances tecnológicos en intercambiadores de calor.**

Nuevos diseños en intercambiadores de calor han demostrado ser más útiles en ciertos sistemas más útiles que los tradicionales tubos y coraza (STHE por sus siglas en ingles). Sin embargo estos nuevos intercambiadores no han podido alcanzar las presiones que pueden soportar los STHE. Pero si el sistema a diseñar no tiene que funcionar a altas presiones se pueden hacer uso de estos nuevos diseños que ofrecen más ventajas que el clásico STHE y que han demostrado tener mayores coeficientes totales de transferencia de calor. Algunos de estos intercambiadores que realmente no son tan nuevos son:

Intercambiadores de Placas (PFHE)

Intercambiadores de tipo espiral (SHE)

Intercambiadores del tipo Plate and Coil (PCHE)

Y las marcas que fabrican estos intercambiadores siguen siendo las mismas marcas que empezaron a innovar hace décadas y que hoy son transnacionales importantes y que sin embargo aun no tienen gran presencia en México.

### **Intensidad energética**

Una medida de la eficiencia es la intensidad energética. Ésta mide la cantidad de energía que le es necesaria a cada país para producir un dólar de producto interior bruto.

### **Benchmark**

Es una técnica utilizada para medir el rendimiento de un sistema o componente de un sistema, frecuentemente en comparación con el cual se refiere específicamente a la acción de ejecutar un benchmark. La palabra benchmark es un anglicismo traducible al castellano como comparativa

### **Desarrollo sustentable**

El ámbito del desarrollo sostenible puede dividirse conceptualmente en tres partes: ambiental, económica y social. Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica. El triple resultado es un conjunto de indicadores de desempeño de una organización en las tres áreas.

## Factor de Potencia

Se define factor de potencia, f.p., de un circuito de corriente alterna, como la relación entre la potencia activa,  $POT_{act}$ , y la potencia aparente,  $POT_{apa}$ , o bien como el coseno del ángulo que forman los fasores de la intensidad y el voltaje, designándose en este caso como  $\cos\varphi$ , siendo  $\varphi$  el valor de dicho ángulo. De acuerdo con el triángulo de potencias de la figura 1:

$$f.p. \equiv \cos\varphi = \frac{POT_{act}}{POT_{apa}}$$

El dispositivo utilizado para medir el f.p. se denomina cosímetro.

## Número de Prandtl

Es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica. Se llama así en honor a Ludwig Prandtl.

Se define como:

$$Pr = \frac{\text{velocidad de difusión de momento}}{\text{velocidad de difusión de calor}} = \frac{Cp\mu}{k}$$

## Ley de los gases ideales

Es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales, sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía cinética). Los gases reales que más se aproximan al comportamiento del gas ideal son los gases monoatómicos en condiciones de baja presión y alta temperatura.

Empíricamente, se observan una serie de relaciones entre la temperatura, la presión y el volumen que dan lugar a la ley de los gases ideales, deducida por primera vez por Émile Clapeyron en 1834.

## Calor específico

Es la energía necesaria para incrementar en una unidad de temperatura una cantidad de sustancia; usando el SI es la cantidad de julios de energía necesaria para elevar en un 1 K la temperatura de 1 kg de masa. Se la representa por lo general con las letras Cp

### **Batch o lote**

Es la técnica de manufactura de crear un componente en una estación de trabajo antes de moverlo al siguiente paso de producción.

### **Aislamiento**

Existen distintos tipos de aislamientos ya sea aislamiento acústico, eléctrico y térmico o una combinación de ambas. Para esto existen diversos materiales que oponen resistencia al paso del sonido, calor o electricidad según sea el caso. En el caso del aislamiento térmico el material aislante opone una resistencia al paso del calor dependiendo de su resistencia térmica o a su conductividad térmica. En el caso de este trabajo fue imperativo el aislamiento térmico de las tuberías que distribuyen los fluidos calientes, se optó por fibra de vidrio ya que es barata y presenta una conductividad térmica muy baja.

### **Análisis Pinch**

Es la metodología para minimizar el consumo de energía en procesos químicos, calculando termodinámicamente objetivos energéticos logrables (o consumos de energía mínimos) y alcanzándolos por la optimización de sistemas de recuperación de energía, métodos de suministro y las condiciones operacionales del proceso, siempre y cuando el proceso donde aplica sea continuo, en esta tesis los procesos son discontinuos por lo cual esta metodología no aplica

### **Normas Oficiales Mexicanas de eficiencia energética**

NOM-001-ENER-2000

Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical. Límites y método de prueba.

NOM-003-ENER-2000

Eficiencia térmica de calentadores de agua para uso doméstico y comercial. Límites, método de prueba y etiquetado.

NOM-004-ENER-1995

Eficiencia energética de bombas centrífugas para bombeo de agua para uso doméstico en potencias de 0,187 kW a 0,746 kW.- Límites, método de prueba y etiquetado.

NOM-005-ENER-2000

Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.

NOM-006-ENER-1995

Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación.- Límites y método de prueba.

NOM-007-ENER-2004

Eficiencia energética en sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.

NOM-008-ENER-2001

Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales.

NOM-009-ENER-1995

Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.

NOM-010-ENER-2004

Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo. Límites y método de prueba.

NOM-011-ENER-2006

Eficiencia energética en acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

NOM-013-ENER-2004

Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades y áreas exteriores públicas.



NOM-014-ENER-2004

Eficiencia energética de motores de corriente alterna, monofásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, enfriados con aire, en potencia nominal de 0,180 a 1,500 Kw. Límites, método de prueba y marcado.

NOM-015-ENER-2002

Eficiencia energética de refrigeradores y congeladores electrodomésticos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

NOM-016-ENER-2002

Eficiencia energética de motores de corriente alterna, trifásicos, de inducción, tipo jaula de ardilla, en potencia nominal de 0,746 a 373 kW. Límites, método de prueba y marcado.

NOM-017-ENER-1997

Eficiencia energética de lámparas fluorescentes compactas. Límites y métodos de prueba.

NOM-018-ENER-1997

Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.

NOM-021-ENER/SCFI/ECOL-2000

Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario y eliminación de clorofluorocarbonos (CFC's) en acondicionadores de aire tipo cuarto. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

NOM-022-ENER/SCFI/ECOL-2000

Eficiencia energética, requisitos de seguridad al usuario y eliminación de clorofluorocarbonos (CFC's) para aparatos de refrigeración comercial auto contenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado.

## Simbología

### Letras griegas

$\rho$	Densidad
$\mu$	Viscosidad
$\lambda$	Calor Latente
$\theta$	Tiempo
$\eta$	Eficiencia
$\phi$	Relación entre entalpías (ver formula de la sección 1.3.2.2)

### Letras y abreviaturas

A	Primera constante de la ecuación de Antoine
A'	Primera constante de la ecuación para el cálculo del calor específico
B	Segunda constante de la constante de Antoine
B'	Segunda constante de la ecuación para el cálculo del calor específico
C	Tercera constante de la ecuación de Antoine
C'	Tercera constante de la ecuación para el cálculo del calor específico
Cp	Calor específico
D'	Cuarta constante de la ecuación para el cálculo del calor específico
E	Energía
F	Flujo
L	Longitud
Liq	Líquido
M	Masa
T	Temperatura
Tb	Temperatura de ebullición
H	Entalpia

Hliq	Entalpia del líquido
Hvap	Entalpia del Vapor
P	Presión
$p^{\circ}$	Presión de Vapor
PM	Peso Molecular
ln()	Logaritmo Natural
Vap	Vapor
\$	Dólares
X	fracción peso del liquido
Y	fracción peso del gas

#### Subíndices

(Bar)	Presión a la cual la variable es expresada
$c_1$	Componente número 1
$c_2$	Componente número 2
D	Destilado
F	Fondos
ALIM	Alimentado
MEZCLA	Mezcla
ENTRADA	Entrada
MIN	Mínimo

## **BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INFORMACIÓN**

Serie de estadísticas Sectoriales. *La Industria Química en México*, Edición 2006 INEGI, México 2006.

Asociación Nacional de la Industria Química. *Estadísticas de la industria Química ANIQ*, [WWW] <http://www.aniq.org.mx>, México.

Secretaría de Energía. *Prospectiva del sector eléctrico 2005-2014*, México 2006.

Subsecretaría de Planeación y Desarrollo Tecnológico, Dirección general de información y estudios energéticos. Secretaría de Energía. *Balance nacional de energía 2005*, México 2006.

Secretaría de Energía. *Programa de investigación y desarrollo tecnológico del sector energía 2002-2006*, México 2002.

Dirección General de Planeación Energética, Secretaría de Energía. *Prospectiva de petrolíferos 2006-2015*, México 2006

Secretaría de Energía. *Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable en México*, México 2006

Secretaría de Energía. *Perfil energético de América del Norte*, México 2002.

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico. *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2002*, México 2002.

Secretaría de Energía. *Anuario estadístico de la industria petroquímica*, México 2006.

Secretaría de Energía. *Prospectiva del mercado de gas natural 2006-2015*, México 2006.

Secretaría de Energía. *Prospectiva de Petrolíferos 2006-2015*, México 2006.

INEGI. *Información estadística por sector industrial*, [WWW] <http://www.inegi.gob.mx>.

FIDE. *Página web del Fideicomiso para el ahorro de Energía Eléctrica FIDE*, [WWW] <http://www.fide.org.mx>.

Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT. *El sector industrial y generación de residuos*, México 2007.

PEMEX. *Página web de Petróleos Mexicanos PEMEX*, [WWW] <http://www.pemex.com>

International Research & Development Co. Ltd. *Uso eficiente de Energía en la Industria*, Newcastle, Inglaterra 1977.

Naciones Unidas. *Protocolo de Kioto de la convención Marco de las naciones unidas sobre el Cambio climático*, 1998.

FIDE. *Oportunidades de ahorro de energía eléctrica en la rama industrial Química*, México 2004.

Gerardo Bazán Navarrete y Gilberto Ortiz Muñiz. *Consumo de energía en el sector industrial mexicano*, Revista Energía a Debate, Mundi Comunicaciones, S.A. de C.V. México 2006

Ocon Garcia y Tojo Barreiro. *Problemas de ingeniería Química Operaciones Básicas*, Tomo I, Madrid España 1988

Sociedad electromecánica, S.A de C.V., *Manual Selmec de Calderas*, México 1976

## **Anexos**