



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

Factibilidad de aprovechar la geotermia como uso directo,  
para la fabricación de leche en polvo

TESIS PROFESIONAL  
Que para obtener el título de  
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:  
EDUARDO MARTÍNEZ JUÁREZ

DIRECTOR DE TESIS:  
M.I. Héctor Miguel Aviña Jiménez



2013

## **JURADO ASIGNADO**

Presidente:	Dr. Francisco Javier Solorio Ordaz
Vocal:	M.I. Héctor Miguel Aviña Jiménez
Secretario:	Dr. Martín Salinas Vázquez
1 <sup>er</sup> Suplente:	Ing. Alejandro Rojas Tapia
2 <sup>do</sup> Suplente:	Dra. Alejandra Castro González

## **TUTOR DE TESIS**

M.I. Héctor Miguel Aviña Jiménez

---

**FIRMA**

## AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Hay tantas personas a las que debo de agradecer y a las cuales va dedicado este trabajo de tesis, ya que gracias a su apoyo, paciencia, comprensión pude terminar exitosamente una etapa más en mi vida de estudiante.

### *A mi familia*

En especial a mis padres por ser el soporte que me ha ayudado a llegar a ser la persona que soy, por estar siempre a mi lado, por haberme dado siempre una buena educación, por haberme dado la vida, por ser esa figura de autoridad cuando se necesita y por todos los momentos felices que hemos pasado acompañados de abrazos y lágrimas de alegría.

A mi hermano con el que tuve la fortuna de crecer, jugar, reír, ser cómplice y compartir nuestros triunfos a lo largo de nuestra vida.

A ti Arely por ese apoyo incondicional que me has dado por alentarme a seguir adelante, por haber soportado a un tesista, por tantos momentos de felicidad que hemos compartido y los que faltan.

### *A mis amigos*

A mis compañeros de carrera con los que tome clase, compartimos buenos momentos y desveladas porque creo que nadie más que ellos entiende lo que se siente terminar una carrera en nuestra querida facultad de Ingeniería.

A mis demás amigos por los grandes momentos que hemos compartido y por estar alentándome en esta etapa de tesista.

### *A la Universidad Nacional Autónoma de México*

En especial a la facultad de Ingeniería, porque fue para mí un gran honor haber pasado por sus aulas y laboratorios. A mis profesores de carrera por darme la formación académica que se necesita para desarrollarme profesionalmente.

A mi director de tesis, por sus conocimientos, su apoyo, consejos y por la confianza que tuvo en mí para la realización de este y otros trabajos.

A mis sinodales por los comentarios y acertadas observaciones que hicieron a este trabajo.

### *A DIOS*

Por los padres que me eligió para guiarme en esta vida, por darme la sabiduría, comprensión y la fuerza para ver terminada mi carrera y tesis profesional.

Todos esto no sería posible de no ser por mi mamá y mi papá, quiero que sepan que todo lo que he logrado se lo debo en gran medida a ustedes dos los quiero y los admiro porque siempre nos han dado a mi hermano y a mí lo mejor en la vida.

## RESUMEN

El aprovechamiento de los recursos naturales para beneficio de los seres humanos, ha sido fundamental para su supervivencia, el presente trabajo es un estudio que relaciona un alimento de alta importancia en la historia del hombre, como lo es el producto de la leche y su posible producción en polvo con la energía geotérmica.

Este trabajo muestra un análisis de la factibilidad económica, técnica y ambiental para aprovechar la energía geotérmica de baja entalpia como uso directo para la producción de leche en polvo, realizando una breve introducción en la que se da un panorama general de la energía geotérmica así como el uso y la explotación de este recurso a nivel nacional y mundial.

Para llevar a cabo el análisis económico se consideraron las necesidades energéticas para hacer una comparación entre el costo de producción con energía geotérmica y el costo de producción con gas natural el cual es el combustible convencional en las industrias de producción de leche en polvo. Y con esto obtener las características del flujo geotérmico y pozo geotérmico que se requiere para satisfacer las necesidades energéticas.

Se hacen dos propuestas de cambio del recurso principal debido a que el recurso geotérmico no tiene las mismas características termodinámicas que el vapor producido por una caldera que trabaja con gas natural, la primera propuesta considera el mismo gasto de leche que se utiliza en la deshidratación con caldera y la segunda considera el mismo gasto de vapor que nos da una caldera.

Una vez elegida la propuesta de mayor beneficio técnico, se obtienen las necesidades energéticas del proceso. En el proceso de deshidratación de leche se requieren 56,856 [KJ/h] para deshidratar 202 [kg/h] de leche lo cual nos dará una producción de 30 [kg/h] de leche en polvo, por lo que se requieren 282 [KJ/Kg] para esta producción de leche en polvo.

Con estos datos se realizó un análisis económico simple con el que se obtiene un beneficio anual neto de \$ 33,547, con un tiempo de retorno de 70 meses, un beneficio neto de \$ 76,884 y una relación beneficio costo de 1.38. Debido a que la relación beneficio costo está en el límite para que el proyecto sea rentable, se realiza un análisis considerando posibles ingresos por bonos de carbono obteniendo una relación beneficio costo de 1.45.

Una vez hecho el análisis económico simple con bonos de carbono se observa que el posible ingreso con dichos bonos no impacta de manera trascendente en la relación beneficio costo, con los bonos y sin los bonos el proyecto resulta rentable aunque no debería dejar de considerarse la posibilidad de incorporar los bonos de carbono al proyecto.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

Determinar la factibilidad técnica de la producción de leche en polvo apoyada de energía geotérmica de baja entalpia.

### **Objetivos específicos:**

1. Dar a conocer los principios y potencial de la energía geotérmica.
2. Conocer los procesos energéticos de la fabricación de la leche en polvo.
3. Definir de acuerdo al proceso de fabricación, las demandas energéticas en cada etapa del proceso.
4. Determinar la cantidad de energía térmica necesaria para la deshidratación de leche.
5. Comparar el costo de producción de la leche en polvo con energía geotérmica y con combustibles fósiles.

## Índice

JURADO ASIGNADO.....	I
AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS.....	II
RESUMEN.....	III
OBJETIVOS.....	IV
ÍNDICE.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	VIII
NOMENCLATURA.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.- USO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA.....	3
Introducción.....	3
1.1 Historia de la energía geotérmica.....	3
1.1.1 Usos directos.....	4
1.1.2 Generación eléctrica.....	14
1.2 Clasificación de la energía geotérmica.....	18
1.2.1 Geotermia de alta entalpia.....	21
1.2.1.1 Usos de la geotermia de alta entalpia.....	21
1.2.2 Geotermia de media entalpia.....	21
1.2.2.1 Usos de la geotermia de media entalpia.....	22
1.2.3 Geotermia de baja entalpia.....	22
1.2.3.1 Usos de la geotermia de baja entalpia.....	22
Conclusiones.....	24
CAPÍTULO II.- INDUSTRIA DE LA LECHE EN POLVO.....	25
Introducción.....	25
2.1 Historia de la leche en polvo.....	25
2.2 Procesos de la leche en polvo.....	26
2.2.1 Precalentamiento.....	27
2.2.2 Pasteurización.....	27
2.2.3 Evaporación.....	28
2.2.4 Homogenización.....	29
2.2.5 Secado spray.....	30
2.3 Estudio de mercado en México.....	32
2.3.1 Análisis del consumidor.....	33
2.3.2 Análisis de la competencia.....	34
2.3.3 Estrategia.....	35
Conclusiones.....	38

CAPÍTULO III.- NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LA PRODUCCIÓN DE LA LECHE EN POLVO.....	39
Introducción.....	39
3.1 Pre calentamiento.....	40
3.2 Pasteurización.....	41
3.2.1 Calentamiento hasta la temperatura de pasteurización.....	41
3.2.2 Etapa de enfriamiento 1.....	42
3.2.3 Etapa de enfriamiento 2.....	42
3.3 Evaporación.....	43
3.4 Homogenización.....	43
3.5 Secado spray.....	44
3.6 Resultados.....	44
Conclusiones.....	45
CAPÍTULO IV.- PROPUESTA DE CAMBIO DEL RECURSO TÉRMICO PRINCIPAL EN EL PROCESO.....	46
Introducción.....	46
4.1 Propuesta del pozo requerido.....	46
4.2 Propuesta uno considerando mismo gasto de leche que en el capítulo anterior.....	47
4.2.1 Gasto de recurso geotérmico requerido.....	48
4.3 Propuesta dos considerando mismo gasto de vapor que en el capítulo anterior.....	48
4.3.1 Gasto de leche que se puede deshidratar.....	49
Conclusiones.....	50
CAPÍTULO V.- EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA PROPUESTA.....	51
Introducción.....	51
5.1 Ahorro en la producción de leche en polvo con geotermia.....	51
5.2 Análisis económico.....	53
5.2.1 Análisis económico de primer nivel.....	54
5.2.2 Método del valor presente neto.....	54
5.3 Bonos de carbono.....	55
Conclusiones.....	58
CAPÍTULO VI.-CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.....	59
ANEXO 1.....	61
ANEXO 2.....	64
ANEXO 3.....	65
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	66

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Variación de la temperatura en diferentes meses del año.....	5
Figura 1.2	Bombas de calor.....	5
Figura 1.3	Calefacción de invernaderos con energía geotérmica.....	6
Figura 1.4	Acuicultura.....	7
Figura 1.5	Secado de cultivos agrícolas.....	8
Figura 1.6	Secado de madera.....	9
Figura 1.7	Fusión de nieve en caminos.....	9
Figura 1.8	Balneología.....	10
Figura 1.9	Capacidad geotérmica térmica mundial.....	11
Figura 1.10	Aprovechamiento de la geotermia en usos directos de México.....	13
Figura 1.11	Primera central geotérmica.....	14
Figura 1.12	Campos geotérmicos en México.....	15
Figura 1.13	Instalación geotermoeléctrica a nivel mundial.....	16
Figura 1.14	Ciclo a contrapresión.....	17
Figura 1.15	Planta a condensación.....	18
Figura 1.16	Ciclo binario.....	18
Figura 1.17	Esquema de un sistema geotérmico.....	19
Figura 1.18	Sistema de roca caliente.....	19
Figura 1.19	Sistema marino.....	20
Figura 1.20	Sistema magmático.....	20
Figura 1.21	Sistema geopresurizado.....	21
Figura 1.22	Usos de la energía geotérmica según su clasificación.....	23
Figura 2.1	Procesos para deshidratar leche.....	27
Figura 2.2	Pre calentador.....	27
Figura 2.3	Intercambiador de calor.....	29
Figura 2.4	Homogeneizador.....	30
Figura 2.5	Diagrama de secado spray.....	30
Figura 2.6	Cámara de secado.....	31
Figura 2.7	Secado por goteo.....	31
Figura 2.8	Vibrofluidizador.....	32
Figura 2.9	Principales países productores de leche entera en el mundo.....	34
Figura 2.10	Localización de las plantas industriales liconsa.....	37
Figura 2.11	Localización de las plantas industriales lala.....	37
Figura 3.1	Ciclo de deshidratación de leche.....	39
Figura 3.2	Parámetros operacionales.....	40
Figura 3.3	Balance de energía en la etapa de pre calentamiento.....	41
Figura 3.4	Balance de energía en la etapa de pasteurización.....	42
Figura 3.5	Balance de energía en la etapa 1 de enfriamiento.....	42
Figura 3.6	Balance de energía en la etapa 2 de enfriamiento.....	43
Figura 3.7	Balance de energía en la etapa de evaporación.....	43
Figura 3.8	Balance de energía en la etapa de homogenización.....	43
Figura 3.9	Balance de energía en la etapa de secado.....	44
Figura 4.1	Diagrama del ciclo con geotermia.....	46
Figura 4.2	Propiedades del agua geotérmica.....	47
Figura 4.3	Parámetros operacionales con el mismo gasto de leche.....	47
Figura 4.4	Balance de energía en la etapa de secado.....	48
Figura 4.5	Parámetros operacionales con el mismo gasto de vapor.....	49
Figura 4.6	Balance de energía en la etapa de secado.....	50
Figura 5.1	Gráfica de costo de deshidratación con gas natural.....	52



Figura 5.2	Gráfica de costo de deshidratación con geotermia.....	52
------------	---	----

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Usos directos del calor geotérmico.....	11
Tabla 1.2	Capacidad y energía, en el ámbito mundial.....	12
Tabla 1.3	Usos directos en México.....	13
Tabla 1.4	Capacidad instalada en todo el mundo a partir de 1950 hasta finales de 2010 y previsión a corto plazo.....	15
Tabla 1.5	Capacidad instalada en diferentes países del mundo.....	16
Tabla 2.1	INPS para la pasteurización.....	28
Tabla 2.2	Consumo mundial de leche en polvo.....	33
Tabla 2.3	Principales países productores de leche en polvo.....	34
Tabla 2.4	México exportaciones de leche en polvo.....	35
Tabla 2.5	México Importaciones de leche en polvo.....	36
Tabla 3.1	Estados termodinámicos en el ciclo.....	44
Tabla 3.2	Resultados de la cantidad de calor necesaria en cada etapa del proceso.....	45
Tabla 4.1	Propiedades del recurso geotérmico requerido.....	48
Tabla 4.2	Datos de la leche a deshidratar.....	49
Tabla 5.1	Tabla de resultados de deshidratación con gas.....	51
Tabla 5.2	Tabla de resultados deshidratación con geotermia.....	53
Tabla 5.3	Datos para el análisis económico.....	54
Tabla 5.4	Resultados del análisis económico.....	55
Tabla 5.5	Toneladas de CO <sub>2</sub> producidas por la quema de gas natural en la fabricación de leche en polvo.....	56
Tabla 5.6	Ingresos económicos por bonos de carbono.....	57
Tabla 5.7	Resultados del análisis de primer nivel considerando bonos de carbono.....	58

## NOMENCLATURA

°C: Grados Celcius

ASNM: altura sobre el nivel del mar

CFE: Comisión Federal de Electricidad

CO<sub>2</sub>: Dióxido de carbono

Cp: Calor específico

DSI: Direct Steam Inyección

FVP: Factor de valor presente

GEA: Geothermal Energy Association

GEI: Gases efecto invernadero

GHP: Geothermal Heat Pumps (bombas de calor geotérmicas)

GWh: Giga Watt hora

INPS: índice de nitrógeno proteico de suero

MJ: Mega joule

MW: Mega Watt

MWe: Mega Watt eléctrico

MWt: Mega Watt térmico

RBC: Relación beneficio costo

RNO: Resultado neto de operación

ROI: retorno de la inversión (Return On Investment)

RTV: Recompresión térmica de vahos

TJ/año: Tera Joule por año

VPN: Valor presente neto

WGC-2005: World Geothermal Congress 2005

WPNI: Wey protein nitrogen index

## INTRODUCCIÓN

La producción de leche en polvo consiste en deshidratar la leche líquida, evaporando el agua que contiene con ayuda de energía térmica. Para lograr esto se hace pasar la leche a través de varios procesos como son la pasteurización, la evaporación y el secado.

El combustible que se utiliza para proveer la energía térmica generalmente es el gas natural. Las plantas de deshidratación de leche cuentan con una caldera en la que se quema el combustible para generar energía calorífica que posteriormente se transferirá a los tubos por donde circula agua, para finalmente evaporarla, posteriormente el vapor pasa por los intercambiadores de calor donde el vapor cede su calor a la leche para que esta se pasteurice, una vez que la leche ha sido pasteurizada pasa a un evaporador que trabaja a vacío para evaporar el agua que contiene la leche, el siguiente paso es pasar la leche por un homogeneizador donde la leche se homogeniza a altas presiones, para que finalmente pase a una torre de secado donde se le dará el secado final, para obtener la leche en polvo.

En las plantas convencionales todo esto se hace con gas natural produciendo toneladas de CO<sub>2</sub> que se van a la atmósfera y que contribuyen al calentamiento global. Es por esto que surge la necesidad de utilizar energías alternativas en los procesos de las industrias ya sea para generar electricidad o bien para su aprovechamiento como uso directo, para evitar seguir quemando combustibles fósiles los cuales tienen la desventaja de que en algún momento las reservas van a agotarse.

Los combustibles fósiles cada día son más escasos es claro que en su momento tuvieron un gran auge pero hoy en día la demanda energética de la sociedad ha hecho que estos combustibles sean insuficientes para satisfacer las necesidades además del problema que se genera enviando el CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Existen otros como la lluvia ácida, los daños derivados de la producción y el transporte que se producen sobre todo por los derrames de petróleo, ya sean accidentales o no.

La energía geotérmica resulta ser una buena opción para obtener la energía térmica que el proceso de deshidratación de leche necesita debido a que se puede encontrar en varios puntos específicos de México y no se requerirían pozos demasiado profundos ya que con geotermia de baja entalpía es más que suficiente.

México tiene un gran potencial geotérmico pero desgraciadamente no se han aprovechado estos recursos de acuerdo a su potencial. Actualmente el país ocupa el cuarto lugar en producción de energía eléctrica pero hace casi 10 años que no se ha aumentado la producción de electricidad con este recurso y en cuanto a sus usos directos de la geotermia solo se ocupa para la recreación (balneología). Por lo que México necesita dejar a un lado la dependencia de los combustibles fósiles diversificando sus procesos de generación de energía eléctrica y energía térmica para poder competir con países desarrollados líderes en el aprovechamiento de energías alternativas.

Este trabajo es un estudio que analiza la factibilidad técnica y económica de la deshidratación de leche con energía geotérmica haciendo diversas propuestas para finalmente elegir la que mejor resulte técnica y económicamente.

El capítulo I se enfoca en dar un panorama general de lo que es la energía geotérmica así como su historia, clasificación, y los usos que se le ha dado a lo largo de la historia a esta energía, mostrando los rangos de temperatura que se toman para su clasificación.

El capítulo II recopila información sobre la historia de la leche en polvo y del detalle del proceso al que se somete la leche para obtenerla en polvo dando los parámetros térmicos necesarios en cada etapa del proceso. También se incluye un estudio de mercado el cual incluye un análisis del consumidor, un análisis de la competencia y la estrategia para que el producto sea colocado en el mercado, así como de las posibilidades que tiene México de colocarse en un mercado mundial.

El capítulo III muestra las necesidades energéticas del proceso para la producción de la leche en polvo en cada una de sus etapas, como son: precalentamiento, pasteurización con sus tres etapas, evaporación, homogenización y la etapa final del secado spray.

El capítulo IV muestra las propuestas de cambio del principal recurso térmico en el proceso las cuales incluyen: propuesta del pozo requerido, así como dos diferentes propuestas en las que se varía el gasto másico del recurso geotérmico y el gasto másico de la leche a deshidratar para después elegir la que mejor convenga.

El capítulo V se muestra la evaluación técnica y económica de la propuesta haciendo un análisis económico simple de primer nivel donde se involucran ahorro en costos de la producción de la leche en polvo con energía geotérmica, costos de inversión, la opción de posibles ingresos económicos por bonos de carbono, dando como resultado la elección de factibilidad económica del proyecto.

Finalmente en el capítulo VI se dan las conclusiones y comentarios referentes a este estudio de la factibilidad técnica y económica del proyecto de deshidratación de leche con energía geotérmica de baja entalpia.

# CAPÍTULO I.- USO DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

## INTRODUCCIÓN

En este capítulo se van a abordar las bases teóricas de la energía geotérmica que servirán para dar un panorama general del tema, comprendiendo temas como su historia, usos directos, generación eléctrica, clasificación de la energía geotérmica y se mencionaran algunos de los aprovechamientos más comunes de la energía geotérmica.

### 1.1.- Historia de la energía geotérmica

La palabra geotérmica consta de dos partes *geo*, que significa Tierra, y *térmica*, que significa calor. Por lo tanto, la geotérmica se preocupa por aprovechar el calor de la Tierra. Por lo que han surgido, algunas diferentes aplicaciones de la tecnología geotérmica (Egg & Brian, 2011).

El calor es una forma de energía y la energía geotérmica es, literalmente, el calor contenido dentro de la tierra que genera fenómenos geológicos a escala planetaria la energía geotérmica se utiliza a menudo hoy en día para diferentes tipos de procesos. En la práctica se le denomina así, al estudio y utilización de la energía térmica que transportada a través de la roca y/o fluidos, se desplaza desde el interior de la corteza terrestre hacia los niveles superficiales de la misma, dando origen a los sistemas geotérmicos (Aviña J. H., Energía geotermica "Generacion electrica y usos directos", 2012).

Es evidente que la utilización del agua termal es tan antigua como el hombre. Los griegos y romanos nos han dejado numerosos ejemplos como balnearios y calefacción urbana. Algunos ejemplos son, las instalaciones de Aeculapium y la antigua Pérgamo, donde el hospital utilizaba el agua caliente procedente de aguas termales de la ciudad (Soliclima.es, 2011).

Los baños turcos fueron introducidos por los Otomanos aprovechando las numerosas manifestaciones geotérmicas superficiales, de casi 100°C, de la región de Anatolia, también hace más de 10,000 años, los Paleo- Indios de América del Norte, ya usaban las aguas termales para cocinar alimentos y sus minerales con propósitos medicinales. Las primeras civilizaciones, unos 3500 años antes de Cristo, apreciaban la práctica de los baños termales y la utilización de barro termo minerales, pero fueron los griegos y, posteriormente, los romanos los que dejaron numerosos ejemplos de la aplicación de la energía geotérmica en la calefacción urbana y en los baños termales. En 1330 ya existía una red de distribución de agua caliente en casas de Francia. Por la misma época en Toscana pequeñas lagunas con agua caliente salobre de las que se escapaba vapor a más de 100°C, eran explotadas para extraer ácido sulfúrico concentrado y alumbre. El descubrimiento en 1818 de sales de boro en Larderello, marco el inicio de la utilización industrial de los recursos geotérmicos. En 1827 el fundador de esta industria, el francés Francois Larderel, desarrolló un sistema para utilizar el calor de los fluidos en el proceso de evaporación, en lugar de quemar madera de los bosques cercanos, que se encontraban en rápida deforestación. En Francia en 1833, en el barrio de Grenelle, en Paris, se inició el primer sondeo profundo, un pozo artesiano de 548m de profundidad que tardó ocho años en construirse y captó agua potable a 30°C en el acuífero de arenas albienses de la Cuenca de Paris. En E.U. la primera red local de calefacción urbana entró en funcionamiento en 1892 en Boise, Idaho.

La primera red moderna de calefacción urbana alimentada por energía geotérmica se instaló en Reikjavik, Islandia, en 1930. Desde entonces, redes de calefacción que utilizan la energía geotérmica se encuentran en funcionamiento en Francia, Italia, Hungría, Rumanía, Rusia, Turquía, Georgia, China, Estados Unidos y la propia Islandia, donde, hoy en día 95% de los habitantes de la isla tienen calefacción por medio de una red de 700km de tuberías aisladas que transportan agua caliente. Después de la Segunda Guerra Mundial, muchos países fueron atraídos por la energía geotérmica al considerarla competitiva respecto de otras fuentes de energía.

A partir de la década de los setenta se inicia, en diversas partes del mundo, una intensa actividad de exploración e investigación de los recursos geotérmicos, se comenzó a utilizar para producción de energía o para calefacción y agua caliente. Es también a partir de esa década, como consecuencia de las alzas de los precios del crudo, pero particularmente a partir de la década de los noventa, bajo la presión de las exigencias ambientales y, más particularmente, de la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, cuando el empleo de bombas de calor geotérmicas empieza a conocer un desarrollo prometedor a nivel internacional (Aviña J. H., 2012).

### **1.1.1 USOS DIRECTOS**

Los romanos utilizaban el agua geotérmica para el tratamiento de los ojos y la enfermedad de la piel y, en Pompeya, para calentar los edificios. Las guerras medievales se libraron incluso a través de tierras con aguas termales. El primer "spa" se estableció en 1326 en Bélgica en aguas termales naturales. Y durante cientos de años, la Toscana, en el centro de Italia ha producido hortalizas en el invierno a partir de los campos calentados mediante vapor natural.

El calor geotérmico se utiliza directamente, sin la participación de una central eléctrica o una bomba de calor, para una variedad de aplicaciones tales como la calefacción y la refrigeración, preparación de alimentos, el baño de aguas termales y los balnearios (termalismo), la agricultura, la acuicultura, invernaderos, y los procesos industriales. Usos para la calefacción y el baño se remonta a la época romana. En la actualidad, la energía geotérmica se utiliza para la calefacción directa en lugares donde la temperatura es baja (GEA, 2011).

La energía geotérmica puede emplearse en diversos procesos cuyos usos van desde agrícolas e industriales hasta turísticos y curativos. En términos generales existen tres categorías para los usos no eléctricos de la geotermia (Pastrana, 1997):

- Ambiental: calefacción de espacios habitacionales, acondicionamiento de aire, bombas de calor, bañarse y nadar.
- Agrícola: Calentamiento de invernaderos y suelos, acuicultura, secado agrícola (deshidratado de cultivos).
- Industrial: Industria química, secado e industrialización de madera, refrigeración/nieve de fusión

#### **Bombas de calor**

Las bombas de calor geotérmicas (GHP) aprovechan la temperatura relativamente constante de la Tierra, a profundidades de cerca de 10 pies a 300 pies, en la figura 1.1 se muestra una gráfica donde se ve como oscila la temperatura en diferentes meses del año, las GHP se puede utilizar en casi todo

el mundo, ya que no comparten los requisitos de la roca fracturada y el agua que son necesarios para un depósito geotérmico convencional. Lo que hacen es circular agua u otros líquidos a través de tuberías enterradas en un bucle continuo, ya sea horizontal o vertical, en una zona ajardinada, aparcamiento, o cualquier número de áreas en todo el edificio (Figura 1.2). La Agencia de Protección Ambiental considera que son una de la calefacción más eficiente y sistemas de refrigeración disponibles (GEA, 2011).

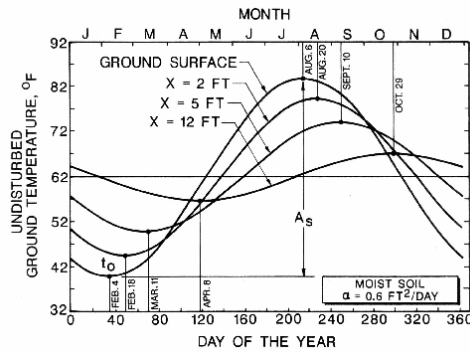


Figura 1.1 Variación de la temperatura en diferentes meses del año (Sanchez, 2009).

Se sabe que existen animales de madriguera bajo tierra en busca de calor en el invierno y para escapar del calor del verano. La misma idea se aplica a la GHP, que proporcionan soluciones de calefacción y refrigeración. Para el suministro de calor, el sistema extrae calor de la Tierra a través del lazo y la distribuye a través de un sistema de conductos convencional. Para el enfriamiento, el proceso se invierte, el sistema extrae calor del edificio y se mueve de nuevo en el bucle de tierra. También se puede dirigir el calor a un acumulador de agua caliente, proporcionando una ventaja - agua caliente gratis. Las GHP no permiten reducir el uso de la electricidad del 30-60% en comparación con sistemas tradicionales de calefacción y refrigeración, porque la electricidad que alimenta ellos se utiliza sólo para recoger, concentrar y entregar el calor, no para producir (GEA, 2011).

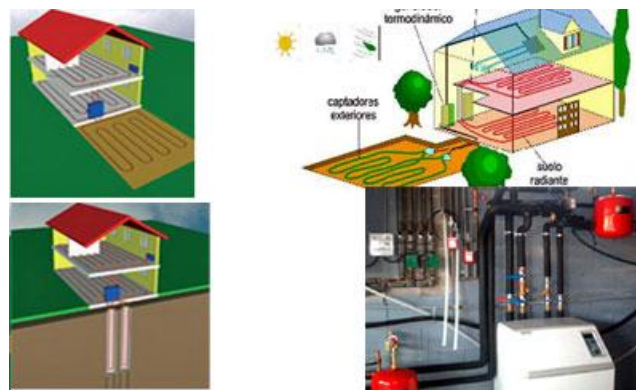


Figura 1.2 Bombas de calor

### Calefacción

La calefacción con energía geotérmica se ha incrementado un 24% de la capacidad mundial instalada y el 14% en el uso de la energía anual, reportados por el WGC-2005. La capacidad de la

instalación asciende ahora a 5.391 MWt, y el uso anual de energía es 62.984 TJ / año. El 85% de la capacidad instalada y el 84% del consumo anual de energía se encuentran en calefacción de 24 países. Los países líderes en calefacción son Islandia, China, Turquía, Francia y Rusia, mientras que Turquía, Italia, Estados Unidos, Japón y Georgia son los principales usuarios en el sector de la calefacción de un total de 27 países (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).

Invernadero y calentamiento de suelos

El uso mundial de energía geotérmica utilizada para calefacción de invernaderos aumentó en un 10% de la capacidad instalada y 13% en el consumo de energía anual. La capacidad instalada es de 1.544 MWt y de 23.264 TJ / año en consumo de energía. Un total de 34 son los que utilizan el calor geotérmico para calentar invernaderos (en comparación con los 30 países reportados por WGC2005), siendo los principales países: Turquía, Hungría, Rusia, China e Italia. Los principales cultivos en los invernaderos son las verduras y flores, sin embargo, las plántulas de árboles (EE.UU.) y frutas, tales como los plátanos (Islandia) también se cultivan (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).

Al usar la energía geotérmica se reducen los costos de operación, que pueden ser de alrededor del 35% del costo del producto, permitiendo su operación en climas fríos en donde los invernaderos comerciales no son rentables. El uso de vapor geotérmico permite además de un mejor control de la temperatura y por lo tanto del crecimiento de las plantas para su venta cuando alcanzan los mejores precios en el mercado. Facilita también el control de plagas y enfermedades (Zirahuén, 1997).

La experiencia en México con el uso de la energía geotérmica como fuente de calor en invernaderos sólo cuenta con proyectos demostrativos. En el campo geotérmico de Los Azufres se instaló un vivero experimental con calentamiento geotérmico que tiene como objeto demostrar la factibilidad técnica y económica, in situ, de este sistema (Zirahuén, 1997).

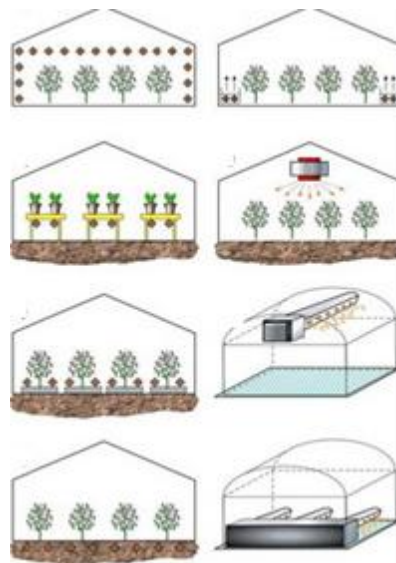


Figura 1.3 Calefacción de invernaderos con energía geotérmica (Probito, 2012)



### Acuicultura

La acuicultura (figura 1.4) es la crianza controlada de organismos acuáticos, actividad que actualmente está adquiriendo importancia a nivel mundial, debido al aumento de la demanda. El control de las temperaturas de cultivo de especies acuáticas es de mucho mayor importancia que respecto de las especies terrestres. Manteniendo artificialmente una temperatura optima es posible cultivar más especies exóticas, mejorar la producción e incluso, en algunos casos, duplicar el ciclo reproductivo.

Las especies que habitualmente son cultivadas incluyen: carpas, barbos, róbalo, salmonetes, anguilas, salmones, esturiones, camarones, langostas, cangrejos de río, cangrejos, ostras, almejas, ostiones, mejillones y abalones (Probico, 2012).



Figura 1.4 Acuicultura

La acuicultura también incluye la crianza de caimanes y cocodrilos, como atracciones turísticas y por su piel, lo cual puede ser una actividad lucrativa. Experiencias realizadas en Estados Unidos muestran, que criando a una temperatura de alrededor de 30° C, un caimán puede crecer hasta a unos 2 metros en 3 años, mientras que un caimán criado en condiciones naturales alcanzará un largo de solo 1,2 m en ese mismo período. Durante algunos años estos reptiles han sido criados en granjas de Colorado e Idaho, los Islandeses están planeando algo similar. Las temperaturas que se requieren para especies acuáticas son generalmente del orden de 20-30°C. El tamaño de la instalación dependerá de la temperatura del recurso geotermal, de la temperatura requerida en las piletas de peces y de la pérdida de calor de éstas (Probico, 2012).

El uso de la energía geotérmica para la acuicultura se ha incrementado un poco más desde WGC 2005, sin embargo, todavía es baja si se compara con WGC1995. El aumento en los últimos cinco años ha sido 6% de la capacidad instalada y el 5% para el uso anual de energía (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).

### Secado de cultivos agrícolas

Catorce países reportan el uso de la energía geotérmica para secado de diferentes granos, hortalizas y frutas en comparación a 15 de WGC2005. Algunos ejemplos son: las algas marinas (Islandia), cebolla (EE.UU.), trigo y otros cereales (Serbia), frutas (El Salvador, Guatemala y México), Lucerna o alfalfa (Nueva Zelanda), la carne de coco (Filipinas), y madera (México, Nueva Zelanda)

y Rumania). Un total de 127 MWt y 1.662 TJ / año se están utilizando, una disminución desde WGC2005, principalmente debido al cierre de la cebolla y el ajo en la planta de deshidratación de Nevada, EE.UU. (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).

En México la CFE instaló un deshidratador de fruta piloto que funciona con energía geotérmica, al detectar, que en la época de producción de fruta en la región del mercado se satura, ocasionando un desplome en el precio del fruto, por lo cual los productores no obtienen las ganancias esperadas aun cuando tengan buenos rendimientos en los huertos. El deshidratar los frutos proporciona la ventaja de conservar el producto por un periodo mayor (Casimiro, 1997).

Algunas comunidades de cercanías a Los Azufres, como Jeráhuaro y Ucareo, son productores de frutas. Con la instalación del deshidratador de fruta (figura 1.5), los productores tendrán la posibilidad de diversificar sus productos en el mercado y venderlos con un mayor margen de ganancia (Casimiro, 1997).



**Figura 1.5 secado de cultivos agrícolas**

La experiencia adquirida en el uso directo de la energía geotérmica en México indica que la construcción y operación de un deshidratador de vegetales es una aplicación viable y económica, habiéndose obtenido resultados satisfactorios en el deshidratador (Casimiro, 1997).

#### Calor para procesos industriales

A nivel internacional existen complejos industriales que actualmente se encuentran operando y desarrollando este tipo de proyectos. Tal es el caso de Nueva Zelanda, en donde se cuenta con una planta de pulpa, papel y procesamiento de madera, y de Japón y Taiwán donde se realiza el secado de madera utilizando calor geotérmico. En México se está dando especial importancia al desarrollo de esta aplicación retomando las experiencias al respecto (Pastrana, 1997).

Esta es una categoría que tiene aplicaciones en 19 países, hasta el año 2000. Estas operaciones tienden a ser grandes y de alto consumo de energía. Algunos ejemplos son: curado de concreto (Guatemala y Eslovenia), el envasado de agua y gaseosas las bebidas (Bulgaria, Serbia y Estados Unidos), la pasteurización de leche (Rumania), industria del cuero (Serbia y Eslovenia), extracción de productos químicos (Bulgaria, Polonia y Rusia), la extracción de CO<sub>2</sub> (Islandia y Turquía), pulpa y procesamiento de papel (Nueva Zelanda), el yodo y la extracción de sal (Vietnam), y la

producción de borato y ácido bórico (Italia). La capacidad instalada mundial es de 533 MWt y la energía anual a utilizar 11.746 TJ / año, por lo que hay un aumento del 10% y un 8% respecto a 2005 respectivamente. Esta aplicación cuenta con la más alta capacidad de todos los usos directos (0,70), como es de esperar, porque de sus casi durante todo el año la operación (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).



**Figura 1.6 Secado de madera**

### Refrigeración y fusión de nieve

Hay aplicaciones muy limitadas en este ámbito, con la fusión de nieve del pavimento proyecto en Argentina, Islandia, Japón, Suiza y los Estados Unidos (Figura 1.7). Un total de aproximadamente dos millones de metros cuadrados de pavimento se calienta en todo el mundo, la mayoría de los cuales está en Islandia. Un proyecto en Argentina utiliza vapor geotérmico para la fusión de la nieve en la carretera en los Andes para mantener una comunidad turística abierta durante inviernos, y en los Estados Unidos, la mayor parte del pavimento de nieve que se derrite es en el Instituto de Tecnología de Oregon y en la ciudad de Klamath Falls, Oregon. La potencia requerida varía desde 130 hasta 180 W/m<sup>2</sup> (Estados Unidos e Islandia). La capacidad instalada es de 311 MWt y el consumo de energía anual es de 1.845 TJ / año, un aumento con respecto a 2005. La refrigeración se informó en cinco países, que asciende a 56 MWt y 281 TJ / año. Las bombas de calor en el modo de refrigeración no se incluyen ya que como regresa el calor subsuelo, y por lo tanto no utilizan la energía geotérmica (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).



**Figura 1.7 Fusión de nieve en caminos**

### Baño y natación

Las cifras de este uso son las más difíciles de cuantificar. Casi cada país tiene algunos de sus balnearios y complejos turísticos con piscinas climatizadas con agua geotérmica sin cuantificar la energía que están usando, pero muchos permiten que el agua fluya continuamente, independientemente de su uso. Como resultado, las cifras reales de uso y la capacidad puede ser alta. En algunos casos donde el uso se informó, no hay flujo o la temperatura baja, en estos casos se sabe 0,35 y 7,0 MWt TJ / año fueron para estimar la capacidad y el uso de energía para un funcionamiento típico instalaciones. Además de los 67 condados (frente a 60 en 2005) que informó bañarse y nadar uso de la piscina, también somos conscientes de la evolución de Malasia, Mozambique, Singapur y Zambia, aunque no se dispone de información. La capacidad instalada es de 6.689 MWt y el uso anual de energía es 109.032 TJ / año, un 24% y 31% respectivamente con respecto a 2005. También hemos incluido los hoteles de estilo japonés que utilizan agua de manantial caliente para el baño, ya que hemos incluido en estas cifras 2000 y 2005.

Los mayores usos reportados son de China, Japón, Turquía, Brasil y México.



Figura 1.8 Balneología

### Panorama en México y en el mundo de los usos propios

En 2005, la capacidad instalada en 72 países ascendió a alrededor de 28,000 MWt (Figura 1.9) de los cuales unos 15,000 MWt corresponden a bombas de calor geotérmicas (Aviña J. H., 2012).

Actualmente 78 países tienen utilización directa de la energía geotérmica, esto es un importante aumento de los 72 reportados en 2005, y los 58 reportados en 2000, y los 28 reportados en 1995.

Una estimación de la potencia instalada térmica para utilización directa en el extremo de 2009, es 50.583 MWt, casi un 79% aumentado en los datos de 2005, creciendo a una tasa compuesta de 12.3% anual, con un factor de capacidad de 0.27.



Figura 1.9 Capacidad geotermia térmica mundial (Aviña J. H., 2012)

La energía térmica utilizada es 438.071 TJ / año (121.696 GWh / año), lo que representa un aumento cerca del 60% respecto a 2005, creciendo a una tasa compuesta de 9.9% anual. La distribución de energía térmica utilizadas por la categoría es de aproximadamente 49.0% para suelo-fuente bombas de calor, el 24.9% para el baño y la natación (incluidos termalismo), el 14.4% para la calefacción (de los cuales 85% es para calefacción de distrito), el 5.3% para los invernaderos y campo abierto calefacción, un 2.7% para la calefacción de procesos industriales, el 2.6% de la acuicultura estanque y calefacción pista de rodadura, el 0.4% de secado agrícola, 0.5% para la fusión de la nieve y el enfriamiento, y 0.2% para otros usos. El ahorro de energía ascendió a 307.8 millones de barriles (46.2 millones de toneladas) de petróleo equivalente anualmente, la prevención de 46.6 millones de toneladas de carbono y 148.2 millones de toneladas de la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, que incluye ahorros en el calor geotérmico bomba de refrigeración (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).

En la tabla 1.1 se muestra la cantidad de energía térmica utilizada en porcentaje a nivel mundial para usos propios.

Tabla 1.1 Usos directos del calor geotérmico a nivel mundial (Quijano, 2007)

TIPO DE USO	PORCENTAJE (%)
Bombas de calor	56
Recreación	17.7
Calefacción	15
Invernaderos	5
Acuicultura	2
Industrial	2
Secado	1
Fusión de nieve	1
Otros	0.3



En la tabla 1.2 se mencionan los países que mayor uso hacen de esta energía:

**Tabla 1.2 Capacidad y energía, en el ámbito mundial (Quijano, 2007)**

<i>PAÍS</i>	<i>ENERGÍA TJ/año</i>	<i>CAPACIDAD MW<sub>t</sub></i>
CHINA	45 373	3 687
SUECIA	36 000	3 840
ESTADOS UNIDOS	31 239	7 817
ISLANDIA	23 813	1 791
TURQUÍA	19 623	1 177
HUNGRÍA	7 940	694
ITALIA	7 554	607
NUEVA ZELANDA	7 086	308
BRASIL	6 622	360
GEORGIA	6 307	250
RUSIA	6 143	308
FRANCIA	5 196	308
JAPON	5 161	413
OTROS	53 361	6 264
<b>TOTAL</b>	<b>261 418</b>	<b>27 824</b>

En la actualidad los usos directos de la energía geotérmica en México están todavía en desarrollo y se limitan a la balneología. Aunque no existe información precisa acerca de estos aprovechamientos, se estima una capacidad instalada de aproximadamente 164MWt, distribuida en más de 160 sitios en 19 estados de la República. Esta capacidad instalada es modesta en relación con el tamaño de los recursos existentes y también en cuanto a la variedad de aplicaciones posibles (Aviña J. H., 2012).

En la figura 1.10 se muestra un mapa de las zonas geográficas de la República Mexicana donde se aprovechan los recursos geotérmicos para usos propios.

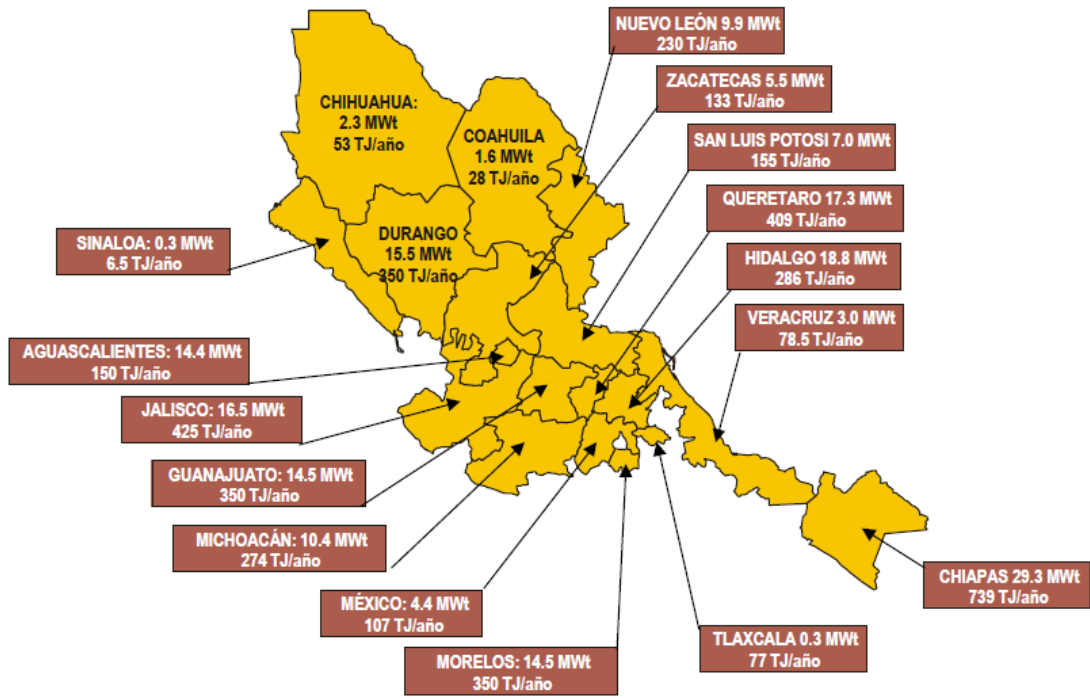


Figura 1.10 Aprovechamiento de la geotermia en usos directos de México (Aviña J. H., Energía geotermica "Generacion electrica y usos directos", 2012)

Casi todos de los centros turísticos se han desarrollado y operado por la los inversionistas privados, sin embargo, hay instalaciones aisladas operadas por el gobierno federal, estatal, municipal, o en algunos casos, a través de las instituciones federales como el Instituto Nacional Mexicano de Seguridad Social (IMSS).

Comisión Federal de Electricidad (CFE) ha desarrollado algunos de los usos directos de la los recursos geotérmicos en el campo geotérmico de Los Azufres, los que incluyen secado de madera, un deshidratador de vegetales y fruta , un invernadero y un sistema de calentamiento de las oficinas y las instalaciones en este campo. Una instalación de cultivo de hongos en el campo geotérmico Los Humeros se ha cerrado. El espacio individual para calefacción es poco utilizado en México debido a las suaves temperaturas durante todo el año en la mayor parte del país (Lund, Freeston, & Boyd, 2010).

Las diversas aplicaciones de uso directo en México son:

Tabla 1.3 Usos directos en México

USOS	MWt	TJ/año
Calefacción individual	0.460	4.397
Calefacción de invernaderos	0.004	0.059
Secado agrícola	0.007	0.101
Bañarse y nadar	155.347	4,018.229
<b>Total</b>	<b>155.818</b>	<b>4,022.786</b>

### 1.1.2 GENERACIÓN ELÉCTRICA

En el siglo XX el empleo de la energía geotérmica se incrementa arrastrado por las necesidades cada vez más elevadas de energía para abastecer a la civilización moderna. La industria del ácido bórico en Larderello dio paso, en 1904 a la generación de electricidad a partir de vapor geotérmico, entrando en funcionamiento en 1913 una central de 250kW (Figura 1.11). Entre 1910 y 1940, el vapor de baja presión fue utilizado para calefacción de invernaderos y edificios industriales y residenciales. A finales de la Segunda Guerra Mundial, las tropas alemanas, durante su retirada, destruyeron por completo la central, los pozos y las tuberías. En 1919 se perforaron los primeros pozos en Beppu, Japón, y en 1924 se instaló una planta experimental de 1kW para producir energía eléctrica. En 1921, en Estados Unidos, en la zona de The Geysers, en California, se perforaron dos pozos y se instaló una pequeña máquina de vapor que, conectaba un dinamo, producía electricidad para un pequeño establecimiento termal (Aviña J. H., 2012).



Figura 1.11 Primera central geotérmica (Solielima.es, 2011)

Para producir electricidad a partir de recursos geotérmicos, se perforan pozos en un yacimiento geotérmico. Los pozos deben de traer el agua geotérmica a la superficie, donde se convierte la energía térmica en electricidad en una planta geotermoeléctrica (GEA, 2011).

La capacidad geotérmica instalada en México es 958 MW a partir de 37 unidades, que actualmente opera en cuatro campos geotérmicos: Cerro Prieto (720 MW), Los Azufres (188 MW), Los Humeros (40 MW) y Las Tres Vírgenes (10 MW). Ninguna adición nueva e importante se ha realizado desde el año 2005, a excepción de una unidad de 5 MW en Los Humeros. Sin embargo, los proyectos de Cerro Prieto V (100 MW) y Los 10.09 Humeros (50 MW) se han aprobado y se espera que tanto se completará en 2011. Todos los campos son operados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). El proyecto Cerritos Colorados (75 MW), antes conocido como La Primavera, se ha programado para 2014 (Figura 1.12).

Con el cierre planeado de algunas unidades antiguas, el aumento neto para el año 2015 el país será de unos 160 MW.





Figura 1.12 Campos geotérmicos en México (Aviña J. H., 2012)

La capacidad eléctrica total instalada en todo el mundo a partir de energía geotérmica se da en la siguiente tabla.

Tabla 1.4 Capacidad total instalada en todo el mundo a partir de 1950 hasta finales de 2010 y previsión a corto plazo. (Ruggero, 2010)

AÑO	CAPACIDAD INSTALADA (MW)	ENERGÍA PRODUCIDA GWh
1950	200	-
1955	270	-
1960	386	-
1965	520	-
1970	720	-
1985	1,180	-
1990	5,834	-
1995	6,833	38,035
2000	7,972	49,261
2005	8,933	55,709
2010	10,715	67,246
2015	18,500	-

México ocupa el cuarto lugar a nivel mundial en producción de energía eléctrica con energía geotérmica, esto se puede ver en la tabla 1.5 que incluye datos a febrero de 2012 y en la figura 1.13:

Tabla1.5 Capacidad instalada en diferentes países del mundo (Aviña J. H., 2012)

No.	PAÍS	MWe
1	Estados Unidos	3,151.5
2	Filipinas	1,904.0
3	Indonesia	1,197.3
4	México	958.0
5	Italia	882.5
6	Islandia	664.6
7	Nueva Zelanda	628.0
8	Japón	536.0
9	Costa Rica	207.1
10	El Salvador	204.4
11	Kenia	172.0
12	Nicaragua	123.5
13	Rusia	81.9
14	Turquía	76.8
15	Papúa-Nueva Guinea (Isla Lihir)	56.0
16	Guatemala	52.0
17	China (incluye Tíbet)	24.2
18	Portugal (Islas Azores)	23.0
19	Francia (Isla Guadalupe y Alsacia)	17.2
20	Etiopía	7.3
21	Alemania	6.6
22	Austria	1.4
23	Tailandia	0.3
24	Australia	0.1
<b>TOTAL</b>		<b>10,975.6</b>



Figura 1.13 Instalación geotermoelectrica a nivel mundial (Aviña J. H., 2012)

Las plantas geotermoelectricas funcionan igual que una termoeléctrica, pero tienen muchas más ventajas que las termoeléctricas, son más económicas, emiten menor cantidad de gases de efecto invernadero, y el factor de planta es más alto.

Hay tres tipos comerciales de plantas de energía geotérmica (Dickson & Fanelli, 1995):

- Descarga atmosférica de la turbina de vapor convencional (Contrapresión)
- Condensación de la descarga de la Turbina convencional de vapor
- Plantas binarias de potencia

#### Descarga atmosférica de la turbina de vapor convencional (Contrapresión)

Con este tipo de planta el vapor es separado desde la salida del pozo geotérmico y a través de esto alimenta a una turbina convencional de flujo axial de vapor, que descarga directamente a la atmósfera (Dickson & Fanelli, 1995).

Un esquema simplificado de esta planta se muestra en la figura 1.14

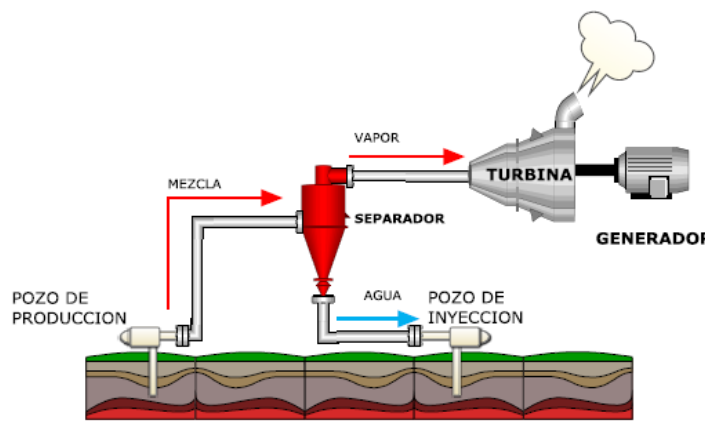


Figura 1.14 Ciclo a contrapresión (Aviña J. H., Tipos de centrales geotermoeléctricas convencionales, 2012)

#### Condensación de la descarga de la Turbina convencional de vapor

Este tipo de planta es una mejora termodinámica, en el diseño de la descarga atmosférica. En lugar de la descarga del vapor de la turbina a la atmósfera esta se descarga a una cámara de condensación que se mantiene a una presión absoluta muy baja típicamente alrededor de 0.12 bara. Porque la caída de mayor presión a través de una turbina de condensación de aproximadamente genera dos veces más de energía a partir de un flujo de vapor dada, en condiciones típicas de entrada, en comparación con una turbina de escape atmosférico. La razón por la que debe ser condensado el vapor de escape es que una cantidad poco práctica de trabajo sería necesario para bombear el líquido de las condiciones de baja presión en el condensador, a menos que se convierta primero en estado líquido (Dickson & Fanelli, 1995).

Un esquema simplificado de esta planta se ve en la figura 1.15, casi siempre la adición de un condensador, la torre de enfriamiento y el equipo de bombeo incrementan el costo total de la planta.

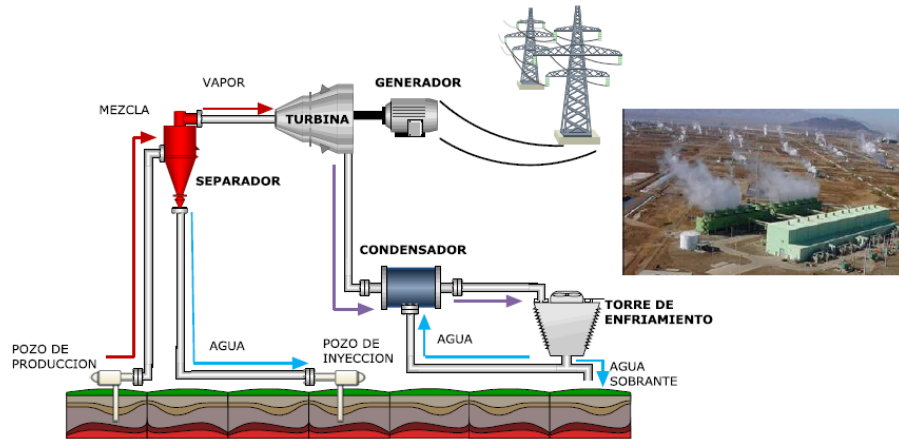


Figura 1.15 Planta a condensación (Aviña J. H., Tipos de centrales geotermoeléctricas convencionales, 2012)

### Plantas binarias de potencia

La tecnología de fluidos binarios en geotermia se ha desarrollado principalmente para generar electricidad a partir de baja-media temperatura de los recursos y aumentar la utilización de los recursos térmicos mediante la recuperación de calor residual (Dickson & Fanelli, 1995).

En esta tecnología se utiliza un fluido con un punto de ebullición menor al del agua como fluido auxiliar, este fluido se evapora con ayuda del recurso geotérmico para posteriormente incorporarse al ciclo de generación eléctrica, un esquema de esta planta se ve en la figura 1.16.

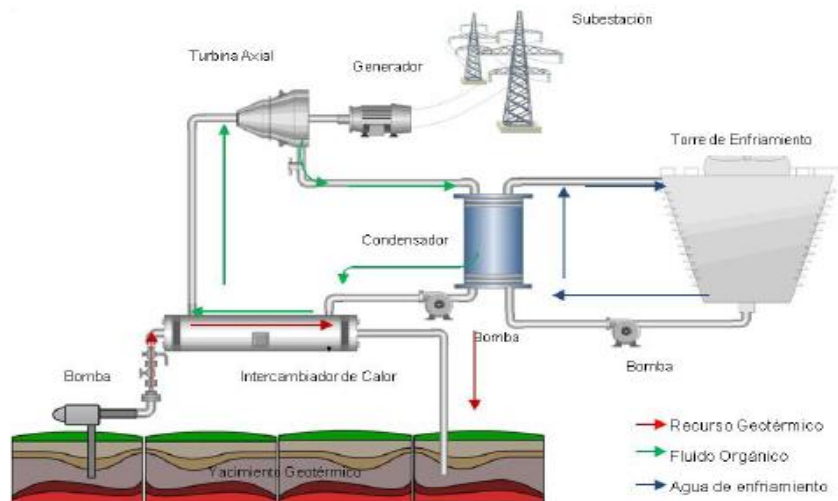


Figura 1.16 Ciclo binario (Aviña J. H., Tipos de centrales geotermoeléctricas convencionales, 2012)

## 1.2 CLASIFICACIÓN DE LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

Los recursos geotérmicos, el agua caliente y/o roca caliente, de los cuales es posible extraer energía, se forman por la acumulación del calor en zonas llamadas sistemas geotérmicos a pocos kilómetros de profundidad en la corteza. Se pueden clasificar de varias formas, dependiendo de su tipo o temperatura. Los sistemas de acuerdo con su tipo se pueden clasificar en (Aviña J. H., 2012):

- Sistemas hidrotermales:* Son conocidos como reservorios geotérmicos o yacimientos geotérmicos y son sistemas de agua muy caliente y/o vapor. Si las condiciones geológicas de la zona lo permiten se forma una intrusión de magma en la corteza terrestre que calienta las rocas aledañas; si agua subterránea pasa por estas rocas calientes se forma un acuífero de agua caliente o vapor a alta presión. Este reservorio se puede aprovechar perforando hasta llegar a él, se atraviesa la capa sello de rocas impermeables hasta llegar a las rocas permeables que forman el yacimiento, el agua entonces dependiendo de la temperatura y profundidad, saldrá a la superficie en forma de vapor, mezcla o agua caliente esto lo podemos ver en la figura 1.17.

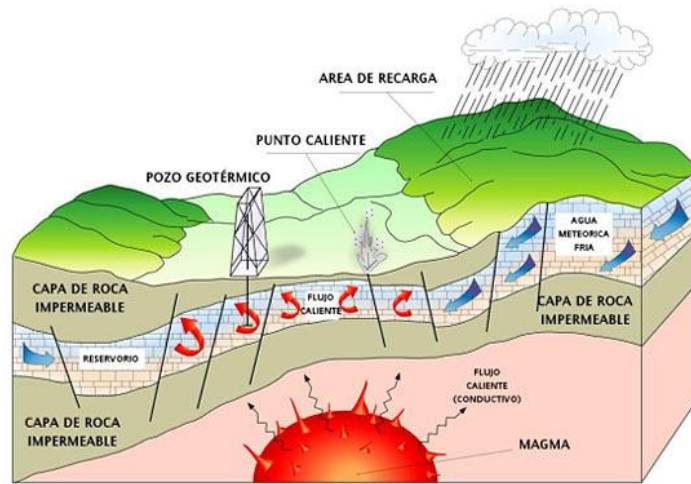


Figura 1.17 Esquema de un sistema geotérmico (Dickson & Fanelli, 1995)

- Sistemas de roca seca caliente:* En este tipo de sistema (figura 1.18) no existe fluido portador de calor ni materiales permeables. Ambos factores son introducidos artificialmente por el hombre. Generalmente este tipo de sistemas son de baja y media entalpía.

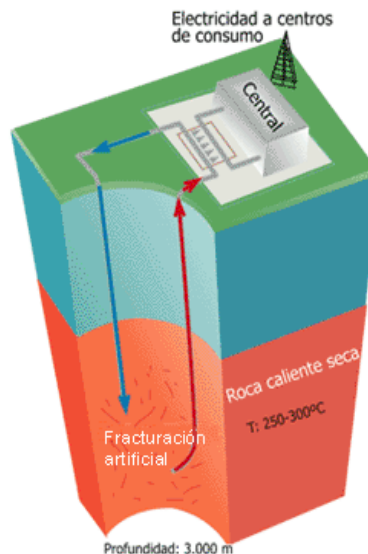


Figura 1.18 Sistema de roca caliente Fuente especificada no válida.



- *Sistemas marinos*: En este tipo de sistema el recurso geotérmico se encuentra en el fondo del océano (figura 1.19), donde también existen fuentes de agua muy caliente que se manifiestan como descargas hidrotermales chimeneas o fumarolas. Estos sistemas han sido poco estudiados hasta ahora aunque se han detectados ya algunos en México en el Golfo de California con temperaturas hasta de 350 °C y flujos de calor de hasta 0.34 W/m<sup>2</sup> (Santoyo & Torres, 2010).



Figura 1.19 Sistema marino

- *Sistemas magmáticos*: Son sistemas de roca fundida existentes en las cámaras magmáticas de los volcanes (figura 1.20). El atractivo más importante son las altas temperaturas disponibles ( $T > 800^{\circ}\text{C}$ ). Pero la limitante es que no se cuentan con tecnología ni materiales para poder hacer uso de este sistema. A largo plazo, cuando se disponga la tecnología y los materiales adecuados para resistir la corrosión y las altas temperaturas, se podría explotar la enorme cantidad de energía almacenada en las cámaras magmáticas de los volcanes activos.



Figura 1.20 Sistema magmático (Aviña J. H., 2012)

- *Sistemas geopresurizados*: Estos sistemas contienen agua y metano disueltos a alta presión (~700 bar) y mediana temperatura (entre 90 y 200°C) y están generalmente confinados en yacimientos de roca sedimentaria (figura 1.21). Este tipo de recursos de alta presión pueden ofrecer energías: térmica (agua caliente), química (metano) y mecánica (energía cinética debido a que los fluidos con alta presión). Actualmente no se explotan comercialmente y en México se desconoce el potencial de este recurso en México (Santoyo & Torres, 2010).



**Figura 1.21 Sistema geopresurizado (Aviña J. H., Tipos de centrales geotermoelectricas convencionales, 2012)**

También podemos encontrar otra clasificación según su temperatura para sistemas hidrotermales que contienen agua, según Muffler y Cataldi:

- Geotermia de alta entalpia
- Geotermia de media entalpia
- Geotermia de baja entalpia

Esta clasificación resulta ser de gran utilidad para la industria ya que nos da una idea más clara y aproximada de la cantidad de energía que se le puede extraer al recurso geotérmico.

### **1.2.1 GEOTERMIA DE ALTA ENTALPÍA**

Estos recursos son los que se cumplen las condiciones clásicas de existencia de un yacimiento y el foco de calor permite que el fluido se encuentre en condiciones de presión y alta temperatura superior al menos a los 150°C. Las características termodinámicas del fluido permiten su aprovechamiento para producción de electricidad.

En general, los yacimientos de alta entalpía se localizan en zonas de flujo de calor anómalo, mientras que los de baja entalpía corresponden a zonas estables de la corteza, con flujos de calor y gradientes geotérmicos normales que aprovechan los fluidos calientes contenidos en acuíferos profundos, en general sin cobertera impermeable (IDAE, 2008).

#### **1.2.1.1 USOS DE LA GEOTERMIA DE ALTA ENTALPÍA**

Los fluidos de alta temperatura ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ) generalmente se utilizan para la producción directa de electricidad, y en algunos casos para la refrigeración por absorción con amoníaco como se mencionó en el tema anterior.

### **1.2.2 GEOTERMIA DE MEDIA ENTALPÍA**

En este caso los fluidos se encuentran a temperaturas situadas entre los 100 y los 150°C, lo que permite su uso para producción de electricidad mediante ciclos binarios que, en general, tienen rendimientos algo inferiores, por lo que se prefieren los usos industriales para aprovechar de una mejor forma los recursos.

### **1.2.2.1 USOS DE LA GEOTERMIA DE MEDIA ENTALPÍA**

Los usos que se le dan a los recursos de media entalpia son muy variados algunos de los más comunes son los siguientes:

- Calefacción urbana
- Secado de productos agrícolas, maderas, pescados
- Fábrica de conservas
- Lavado de lana-tintes
- Secado de productos industriales
- Producción de energía eléctrica, ciclo binario
- Refrigeración por absorción
- Extracción de sustancias químicas
- Destilación de agua dulce
- Recuperación de metales
- Evaporación de soluciones concentradas.
- Fabricación de pasta de papel
- Pasteurización de leche

### **1.2.3 GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA**

Cuando la temperatura del fluido es inferior a los 100°C y su aplicación son los usos directos del calor (calefacción, procesos industriales y usos en balneoterapia) (IDAE, 2008).

Los sistemas de utilización de la energía contenida en los fluidos geotérmicos de baja temperatura, así como sus aplicaciones, dependen de las características del yacimiento o campo geotérmico. Entre estas las fundamentales son:

- Caudal de producción
- Temperatura
- Calidad del agua, especialmente salinidad

El caudal de producción y la temperatura van a definir las dimensiones de la operación geotérmica, que vendrán dadas por la potencia térmica.

La calidad del agua va a definir el sistema de explotación del recurso y va a influir en el esquema que se adopte. Si el agua geotérmica es dulce con salinidad menor de 4-5 gramos por litro podrá ser utilizada o eliminada en superficie.

#### **1.2.3.1 USOS DE LA GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA**

La energía geotérmica de baja entalpia basa sus aplicaciones en la capacidad que el subsuelo posee de acumular calor y de mantener una temperatura sensiblemente constante, entre 10 y 20 m de profundidad, a lo largo de todo el año.



Los usos directos que ya se mencionaron anteriormente, son los usos que se le dan a estos recursos de baja entalpía, sus utilizaciones más habituales son los siguientes:

- Precalentamiento agua-aire
- Deshielo
- Secado de productos agrícolas
- Calefacción de invernaderos
- Cultivo de setas
- Piscicultura-acuicultura
- Calefacción por bombas de calor
- Calefacción por suelo radiante
- Centros de ocios, balneario, termalismo
- Agua caliente sanitaria
- Calefacción urbana

En la figura 1.22 se pueden ver los usos que se les dan a los recursos geotérmicos según su clasificación:

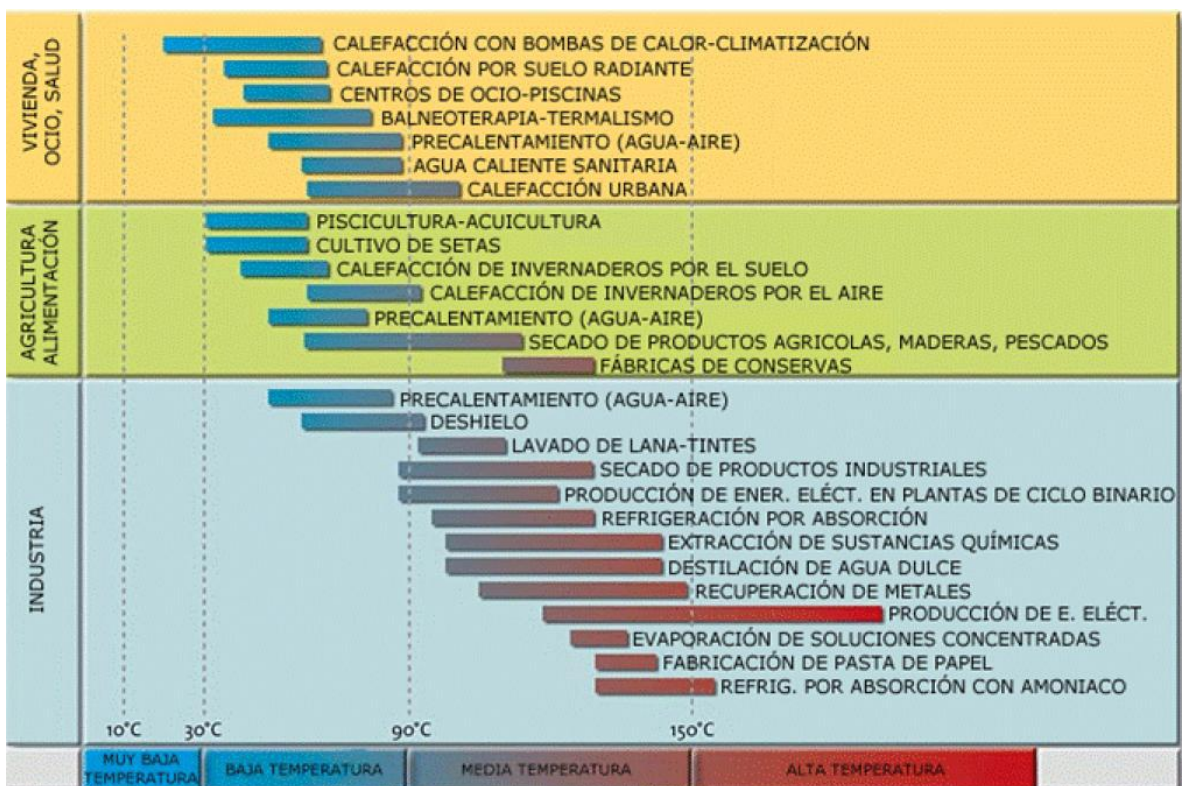


Figura 1.22 Usos de la energía geotérmica según su clasificación

## **Conclusiones**

En este capítulo se abordaron las bases teóricas de la energía geotérmica, para poder entender de mejor manera los conceptos que se manejarán en los capítulos siguientes. Algunos de los temas que se abordaron fueron temas como la historia de la energía geotérmica, su clasificación y los usos propios que se le pueden dar a las diferentes clasificaciones de la geotermia, ventajas y desventajas de cada una, cuales son las características de cada una de las clasificaciones y a si mismo también se mencionaron los diferentes tipos de centrales geotermoeléctricas con sus principales características y componentes, dando a conocer también sus ventajas y desventajas de cada una de ellas.

## CAPÍTULO II.- INDUSTRIA DE LA LECHE EN POLVO

### Introducción

Este capítulo se enfoca a estudiar el proceso de la deshidratación de la leche para su fabricación en polvo, haciendo mención de los orígenes de este producto.

A continuación se mencionara las generalidades del proceso.

Básicamente el proceso se divide en dos etapas:

- Evaporación
- Secado por atomización (spray)

En este capítulo se detallarán más a fondo estos procesos de los cuales se dividen a su vez en más subprocesos.

Finalmente al final del capítulo se hace un estudio de mercado en México de este producto.

### 2.1 Historia de la leche en polvo

Hace 5,000 años, en la época mesolítica, el hombre ya había pasado del estadio en que solamente recolectaba y cazaba, a otro en que se dedicaba al cultivo y a la cría de ganado. Un buen día, descubrió el ordeño y toda su vida se transformó. A partir de aquel momento, la leche, en particular la de vaca, fue considerada como alimento por excelencia, fuente de fortaleza y de vida.

Entre los hebreos, la fortuna de un propietario se evaluaba según la cantidad de leche producida por sus rebaños. Además, la vaca fue promovida al rango de animal sagrado, es decir, de "diosa". En Caldea, más de 2.000 años antes de nuestra era, se le dedicó uno de los principales templos de Ur. La diosa egipcia del cielo y de la alegría, Hathor, se representaba con cuerpo de mujer y cabeza de vaca.

El hombre aprendió a transformar la leche, tanto para conservarla durante más tiempo como para variar sus formas de consumo. Según la leyenda, las leches fermentadas fueron reveladas por los ángeles a Abraham, siendo éste el origen de su longevidad. Los yogures eran conocidos en tiempos remotos, en particular en el norte de África y en los Balcanes. También la elaboración de los quesos se remonta a la más lejana antigüedad. Se dice, incluso, que los mongoles inventaron la leche en polvo, evaporando la leche por ebullición y secándola después del sol (Nestle, 2009).

Sin embargo, es a principios del siglo XIX cuando se inicia la historia de las leches en conserva, el doctor ruso Osip Krichevsky produjo por primera vez en 1802 la leche en polvo. Se halla abundantemente en muchos países en vías de desarrollo a causa de su bajo costo de transporte y almacenamiento (ya que no requiere refrigeración), doce meses si se empaqueta en bolsas de 25 kg y de seis meses en el caso de paquetes de 200 y 400 kg (la cantidad del producto en el envase es un factor importante). Al igual que otros productos secos, es considerada no-perecedera y es preferida por supervivencialistas, y otras personas que necesitan alimentos no perecederos fáciles de preparar. En 1822, el francés Nicolás Appert puso en práctica un procedimiento para extraer las sustancias

alimenticias de la leche fresca, evaporando el agua por ebullición a baño de María, método que mejoro en 1829 trabajando al vacío.

En 1835, un inglés llamado William Newton comprobó que también se podía conservar la leche calentándola a una temperatura menos elevada pero añadiéndole azúcar. Sin embargo, recién 20 años más tarde se fundó la primera fábrica de leche concentrada azucarada según la iniciativa del norteamericano Gail Borden (Peña, 2009).

## **2.2 Procesos de la leche en polvo**

La fabricación de la leche en polvo se logra en condiciones de vacío a bajas temperaturas en un rango de 45-70°C, logrando que la leche pierda alrededor de la mitad del agua para conservar todos sus nutrientes.

El método más utilizado para obtener leche en polvo es la deshidratación por "Spray". Este método se puede utilizar sólo en aquellos alimentos de consistencia líquida, o semilíquida que puedan ser atomizados, es decir, ser separados en pequeñas gotitas. Este proceso se lleva a cabo en torres especiales de atomización, en donde el agua que contiene la leche es evaporada, obteniendo un polvo de color blanco amarillento que conserva las propiedades naturales de la leche. Para beberla, el polvo debe disolverse en agua potable. Este producto es de gran importancia ya que, a diferencia de la leche fluida, no precisa ser conservada en frío y por lo tanto su vida útil es más prolongada. Presenta ventajas como ser de menor coste y de ser mucho más fácil de almacenar. A pesar de poseer las propiedades de la leche natural, nunca tiene el mismo sabor de la leche fresca. Se puede encontrar en tres clases básicas: entera, semi-descremada y descremada. Además puede o no estar fortificada con vitaminas A y D. La leche en polvo contiene un elevado contenido en calcio. Así por 100 g de leche entera en polvo se obtienen 909 mg de calcio frente a los 118 mg que se obtienen por la misma cantidad de leche entera. Solamente ciertos quesos superan estas tasas tan elevadas de calcio, como el Emmental 1180 mg o el Parmesano rallado 1027 mg (gimolimpo, 2009).

La leche en polvo se obtiene después de dos etapas de eliminación de agua (figura 2.1). En la primera etapa se concentra la leche en un evaporador de múltiples efectos esta etapa incluye:

- Precalentamiento
- Pasteurización
- Evaporación

La segunda se realiza por atomización en una instalación llamada torre de atomización. Allí la leche concentrada es dividida en finísimas gotas que se encuentran con una corriente de aire caliente que las seca dentro de la cámara de secado, esta etapa incluye:

- Homogenización
- Secado spray

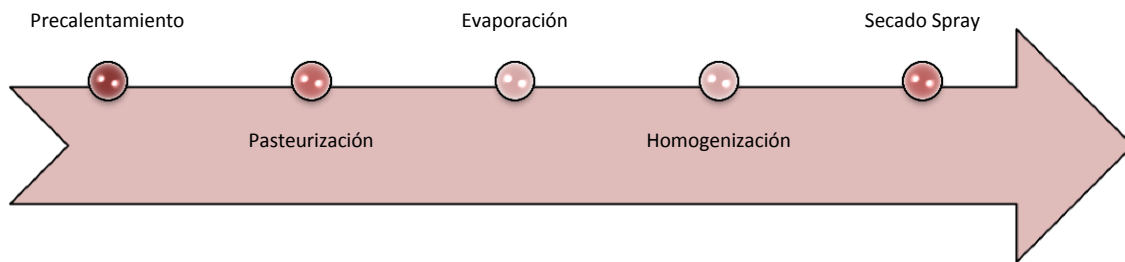


Figura 2.1 Procesos para deshidratar leche

### 2.2.1 Precalentamiento

La leche normalmente tiene una temperatura de 4 a 8°C. En los precalentadores (figura 2.2) se eleva la temperatura hasta el punto de ebullición de la primera etapa. Esto implica un ahorro importante de energía de calefacción (Rodrigo, 2011).

Distintos tipos de pre calentadores utilizados

- Tubo en espiral
- Tubo recto
- Intercambiadores de calor a placa



Figura 2.2 Precalentador (Rodrigo, 2011)

### 2.2.2 Pasteurización

La aplicación de este paso previo a la evaporación propiamente dicha, es de exigencia netamente bacteriológica.

A mayor temperatura aplicada y mayor tiempo de retención mayor cantidad de bacterias eliminadas. Se debe tener en cuenta que una temperatura elevada desmejora la calidad de la leche.

A partir de la pasteurización se puede determinar, clasificación de la leche en polvo descremada, conservación de la leche entera (Rodrigo, 2011).

Clasificación según INPS o WPNI

Tabla INPS 2.1 para la pasteurización (Rodrigo, 2011)

CLASIFICACIÓN	TEMPERATURA/TIEMPO	INPS(mg NP/ g polvo)
<b>Calor extra bajo</b>	< 70°C	N/D
<b>Calor bajo</b>	70°C/ 15seg	> 6.0
<b>Calor medio</b>	85°C/20 seg	5.0-6.0
<b>Calor medio</b>	90°C/30seg	4.0-5.0
<b>Calor medio</b>	95°C/30seg	3.0-4.0
<b>Calor medio alto</b>	124°C/30seg	1.5-2.0
<b>Calor alto</b>	135°C/30seg	<1.4

Distintos tipos de pasteurizadores usados

Indirectos:

- tubos en espiral.
- tubos rectos.
- intercambiadores de calor a placa.

Directos:

- DSI (direct steam injection)
- automatización sobre la atmosfera de vapor controlada (T/presión)

### 2.2.3 Evaporación

Características de un evaporador (figura 2.3):

- Multietapas: genera un ahorro de energía tal que por Kg de agua evaporada se utiliza ¼ kg de vapor vivo (aplicable a un evaporador de 4 efectos)
- Trabajo bajo vacío: hace que la temperatura de ebullición/evaporación del agua disminuya. En estos equipos el rango de temperaturas va desde los 80°C 45°C.
- RTV: aprovechamiento del vapor de leche remanente de uno de los efectos, para utilizar menos vapor de caldera de calefacción del 1° efecto. Con este sistema sumamos ahorro de energía utilizada para evaporar 1kg agua / 1/5 kg vapor vivo.
- Película descendiente: La denominación hace referencia a que el producto es inyectado desde la parte superior del equipo y cae por gravedad formando una fina película sobre toda la superficie del tubo, haciendo mayor contacto con la parte calefaccionada.

### *Cuerpo de calentamiento ( calandria )*

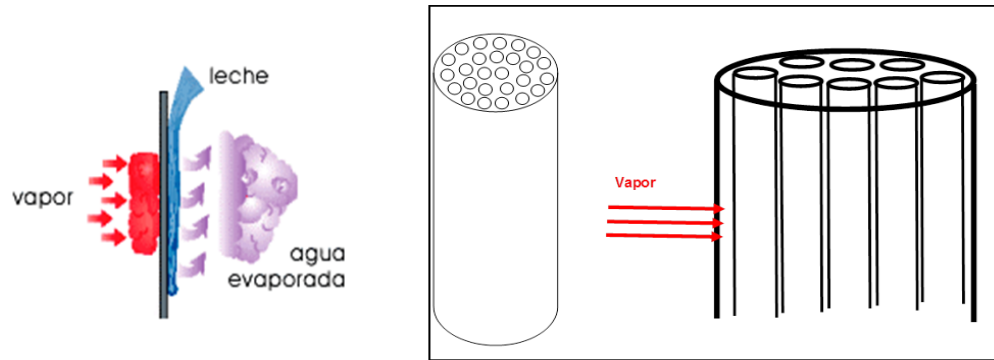


Figura 2.3 Intercambiador de calor

Los evaporadores son equipos para procesos continuos generalmente trabajan entre 20 a 28 h. Los volúmenes de proceso diario van desde los 400 a 1000 m<sup>3</sup> de leche.

En la actualidad están altamente automatizados e informatizados.

El producto obtenido es un concentrado de leche, con un contenido de solidos totales de 48-50%.

<b>LECHE FLUIDA ( 11,5 – 12% ST )</b>	→	<b>CONCENTRADO ( 48 – 50 % )</b>
<b>Agua contenida ( 88.5 – 88 % )</b>	EVAPORACION	<b>Agua contenida ( 52 – 50% )</b>

#### 2.2.4 Homogenización

Homogenización: Consiste en forzar al concentrado a atravesar por finas aberturas (en algunos casos estriadas), que producen, por roce y alta presión la división de los glóbulos grasos. En la figura 2.4 se presenta un homogeneizador.

Las presiones de homogenización van desde los 50 a 300 kg/cm<sup>2</sup>

Resultado:

- Obtención de las características uniformes, posibilitan la formación de gotitas homogéneas en la automatización para el secado. Esto facilita a una evaporación más uniforme en la partícula de polvo.
- Mejora su solubilidad del polvo al momento de su reconstitución.
- Reducción de la sensibilidad a los procesos oxidativos de la grasa.



Figura 2.4 Homogeneizador (Rodrigo, 2011)

### 2.2.5 Secado spray

Cámara de secado: En esta etapa se obtiene el secado final del producto y su transformación en polvo. El concentrado de leche es atomizado (toberas o rotativas), sobre una corriente de aire caliente circulante, que es inyectada tangencialmente para lograr una corriente ciclónica, capaz de arrastrar a las partículas de polvo e impedir que estas queden adheridas a las partes del recinto. El diagrama de este proceso se puede ver en la figura 2.5.

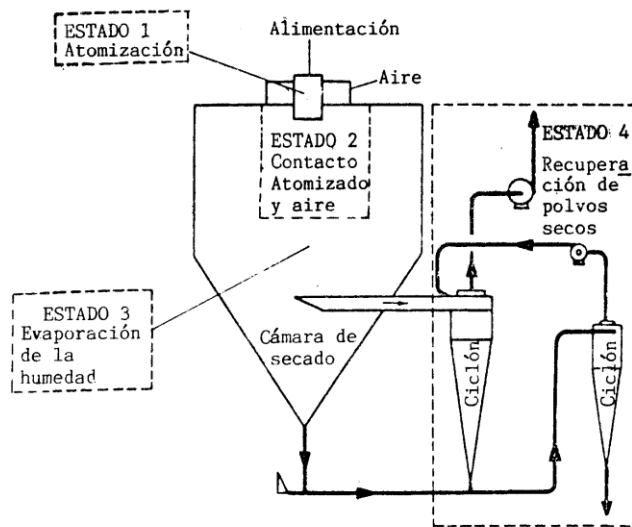


Figura 2.5 Diagrama de secado spray (Roma, 1996)

El polvo obtenido en primera instancia contiene 6-8% de humedad, para lo cual se necesita un paso posterior de secado para alcanzar la humedad requerida de 3-4%.

Cámara de secado cónica: dispone de un equipo independiente donde se lleva a cabo la operación de secado final (figura 2.6).





Figura 2.6 Cámara de secado (Rodrigo, 2011)

Cámara de secado compacta (figura 2.7): Son de terminación plana, con un piso de chapa perforada (branquiada), en el cual se deposita el polvo, y con una corriente de aire caliente inyectado con un sentido de giro otorgado por el diseño de las perforaciones, se seca y extrae de la cámara hacia la etapa siguiente.

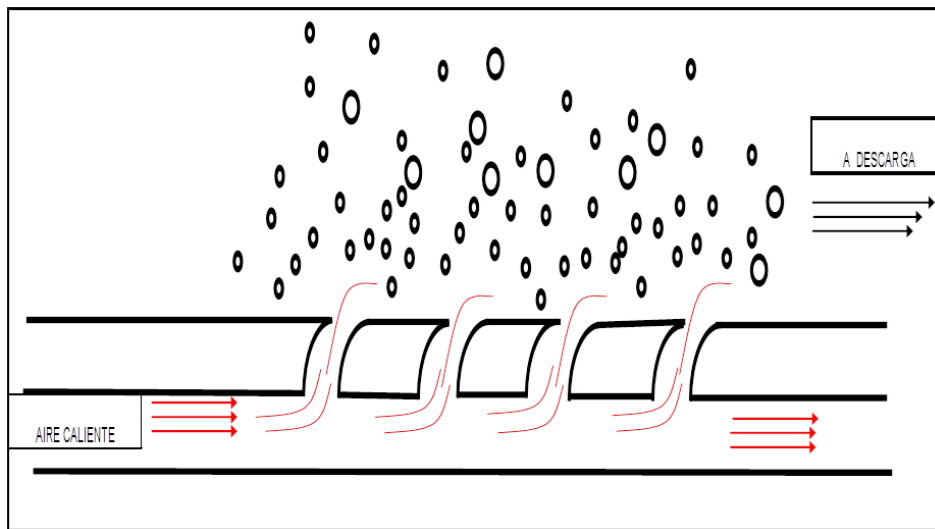


Figura 2.7 Secado por goteo

Vibrofluidizador: Estos equipos son utilizados para el enfriamiento del polvo obtenido luego del secadero (figura 2.8)

Resultados:

- Transporte tranquilo del polvo, sin golpes que causen roturas de partículas.
- Enfriamiento controlado del polvo con todas las ventajas correspondientes en cuanto a estabilidad del mismo durante el almacenaje.



**Figura 2.8 Vibrofluidizador (Rodrigo, 2011)**

Estos equipos también son usados para la instataneización del polvo. Previo al ingreso del polvo al equipo se inyecta lecitina de soja, que posteriormente se mezcla a temperatura adecuada para su correcta homogenización.

Instataneización: Desde el punto de vista de la reconstitución, el polvo debe tener:

- **Mojabilidad:** Capacidad de la partícula de absorber agua en su superficie
- **Sumergencia:** Capacidad de sumergirse después de haber sido mojada
- **Dispersabilidad:** Capacidad para distribuirse uniformemente en toda el agua.
- **Solubilidad:** Para que esta característica quede definida en el producto, deben presentarse las tres anteriores.
- **Ciclones:** Tanto el aire de secado que sale de la cámara, como del aire de transporte, es necesario separar el polvo que arrastran. El polvo recuperado es incorporado nuevamente al sistema.

La ventaja de este método es que se realiza a altas temperaturas, y en muy poco tiempo por lo que se obtienen productos de alta calidad. Luego de ser deshidratada la leche, el polvo debe empaquetarse en envases que lo protejan de la humedad, el aire y la luz, factores todos que pueden descomponer el producto.

### **2.3 Estudio de mercado en México**

Algunas de las ventajas de la leche en polvo son que la leche en polvo se conserva en perfecto estado durante más tiempo, es más práctico su almacenamiento y su transporte. Puede ser preparada en cualquier momento y lugar, siendo además muy rendidora, 1 kg de leche en polvo equivale a 8.5L de leche.

Una vez envasada puede almacenarse por largos períodos de hasta 6 meses generalmente, a temperatura ambiente. Los envases deben proteger a la leche de la humedad, el aire y la luz, factores que la descompondrían.

La razón por la cual la leche se conserva en perfecto estado es por el bajo contenido de agua ya que no les permite a los microorganismos desarrollarse. La leche utilizada para la producción de leche

en polvo es sometida a procedimientos térmicos que destruyen todos los microorganismos que pueden producir enfermedad y alterar la leche. La alta temperatura a la que se le somete también inactiva a la "lipasa", enzima responsable de la degradación de las grasas de la leche.

### 2.3.1 Análisis del consumidor

La leche, en cualquiera de sus formas, constituye un alimento básico en la alimentación humana, especialmente en los niños aportándoles los nutrientes que éstos requieren de manera esencial para su crecimiento y desarrollo.

El uso de la leche en polvo es muy variado como puede ser para alimentar a bebés, para hacer café en la oficina, hospitales, escuelas o la industria.

Chile posee uno de los mayores porcentajes (56%) de consumo de leche en polvo del mundo. En países como Alemania, Japón y Suiza es del 0% (ACNielsen, 2004).

Una de las razones por la cual es alto el nivel de consumo de leche en polvo en Chile sería su geografía. En el sur se encuentran la mayoría de las lecherías del país, lo que antiguamente no permitía que la leche llegara en buen estado después de tantas horas de traslado (ACNielsen, 2004).

El consumo mundial de leche y sus derivados se está incrementando principalmente en los países en desarrollo, en la tabla 2.2 se muestra el consumo mundial de leche en polvo. Se estima que la población mundial consume anualmente cerca de 2.6 millones de toneladas en equivalente leche en diversas presentaciones para alimento humano (MIFIC, 2007).

En los últimos seis años, el consumo humano total de leche en polvo ha crecido a una tasa promedio anual del 3.07% observándose dos comportamientos paralelamente, el de los países desarrollados y el de los países en desarrollo:

**Tabla 2.2 Consumo mundial de leche entera en polvo (miles de toneladas métricas) (USDA, 2006)**

PAÍS	2003	2004	2005	2006	2007
<b>TOTAL</b>	2,538	2,579	2,703	2,554	2,738
REPUBLICA POPULAR CHINA	821	898	951	1,081	1,214
BRASIL	430	440	449	469	500
UNIÓN EUROPEA – 25	368	343	348	351	351
ARGELIA	118	140	175	176	180
FEDERACIÓN RUSA	124	109	110	115	120
ARGENTINA	84	86	98	102	110
INDONESIA	63	65	75	74	75
CHILE	52	52	50	51	53
MÉXICO	45	34	42	36	34
TAIWÁN	34	36	31	31	30
AUSTRALIA	25	23	22	27	29
FILIPINAS	17	17	15	16	18
ESTADOS UNIDOS	21	22	17	14	13
UCRANIA	12	10	8	10	10
NUEVA ZELANDA	1	1	1	1	1
RESTO DEL MUNDO	323	303	311	nr	nr

### 2.3.2 Análisis de la competencia

México es un país deficitario en la producción de leche y para cubrir la demanda nacional se importan productos lácteos sin transformar como la leche en polvo, suero en polvo, preparaciones alimenticias) y productos terminados (queso, yogurt, mantequilla, etc.), en años anteriores ha tenido crisis de lácteos provocado por la masiva importación de lácteos al país lo que ha provocado crisis internas con los productores que han venido mirando reducido sus precios (MIFIC, 2007). En la tabla 2.3 se muestra la producción mundial de leche en polvo.

Tabla 2.3 Principales países productores de leche entera en polvo (miles toneladas métricas) (USDA, 2006)

PAIS	2003	2004	2005	2006	2007
TOTAL MUNDIAL	3,347	3,533	3,570	3,632	3,783
REPUBLICA POPULAR CHINA	750	832	918	1,030	1,150
UNION EUROPEA – 25	865	857	840	790	770
NUEVA ZELANDA	619	628	585	651	664
BRASIL	390	420	440	465	485
ARGENTINA	198	260	255	295	310
AUSTRALIA	170	187	189	160	154
FEDERACION RUSA	110	90	85	90	95
CHILE	50	51	47	54	58
INDONESIA	46	45	48	48	47
UCRANIA	20	28	28	30	32
ESTADOS UNIDOS	18	19	15	13	12
TAIWAN	7	6	5	6	6

Como podemos observar en la figura 2.9, cerca del 81% de la producción mundial de leche entera en polvo es producida por Cuatro países: (1) República Popular de China (28%), (2) Unión Europea (22%), (3) Nueva Zelanda (18%) y (4) Brasil (13%).

Principales países Productores de Leche entera en polvo en el mundo 2006

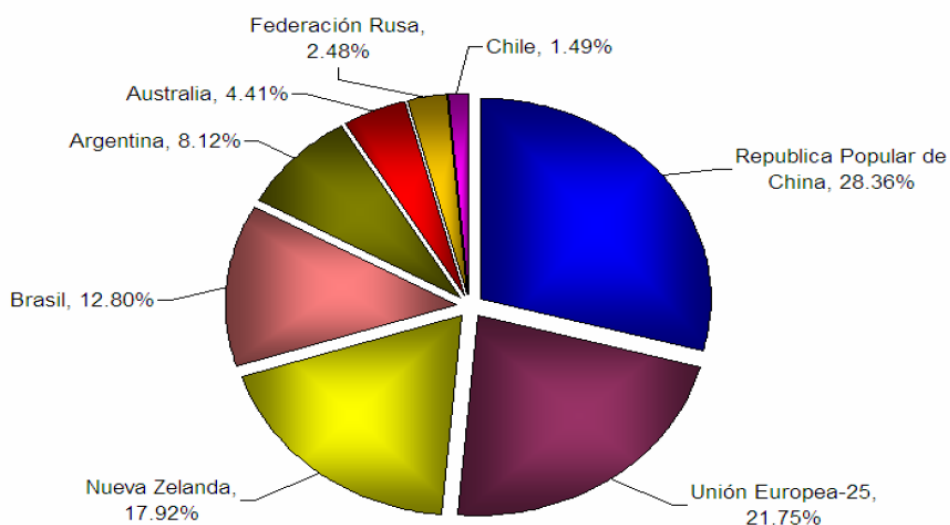


Figura 2.9 Principales países Productores de Leche entera en polvo en el mundo (USDA, 2006)

En el contexto internacional la producción de leche en polvo se divide en dos grandes grupos integrados, por los países altamente desarrollados, tales como: Los Estados Unidos, Canadá y los ubicados en Europa que disfrutan de amplios subsidios; y por otra parte, los países con bajos costos de producción como Australia, Nueva Zelanda, Argentina y Uruguay, que poseen condiciones agro climáticas muy favorables para la producción y cuentan con la infraestructura necesaria (MIFIC, 2007).

### 2.3.3 Estrategia

La mayoría de los países considera la producción y abasto de leche como una prioridad nacional en sus estrategias de seguridad alimentaria, por lo cual establecen políticas de alto proteccionismo para el sector, por desgracia México tiene descuidado este sector de producción, aun y con esto hay pocas empresas que se dedican a la producción de leche en polvo como: Nestlé, LALA, Alpura, Liconsa, la tabla 2.4 muestra las exportaciones de leche en polvo de México.

Tabla 2.4 México: Exportaciones de Leche en Polvo (miles de toneladas métricas) (USDA, 2006)

PAÍS	2003	2004	2005	2006
<b>TOTAL</b>	11,175.94	8,602.79	10,819.90	6,198.46
Estados Unidos de América	1,248.44	1,272.39	2,020.88	2,407.84
Puerto Rico	1,142.19	1,680.49	1,291.95	1,432.91
Guatemala	3,073.24	2,597.15	3,523.87	1,260.56
Trinidad y Tobago	0.00	0.00	235.07	499.16
El Salvador	2,334.92	2,193.98	2,238.56	383.11
Honduras	1,089.08	559.11	1,000.22	175.00
Nicaragua	86.32	92.73	377.96	21.42
Belice	1.03	4.37	73.58	13.29
Haití	0.00	0.00	0.00	3.00
Irlanda	0.00	0.00	0.00	1.50
Indonesia	0.00	0.00	0.47	0.35
Argentina	0.02	0.22	0.10	0.25
Canadá	0.20	0.38	0.52	0.05
Costa Rica	1,052.53	79.22	0.25	0.01
Venezuela	35.02	0.00	29.02	0.01
Colombia	0.00	0.00	0.09	0.01
Bélgica	0.00	0.00	0.00	0.01
Francia	0.00	0.00	0.00	0.00
Alemania	0.00	0.00	0.34	0.00
Chile	0.00	13.16	0.00	0.00
Cuba	3.09	11.71	0.00	0.00
Dinamarca	0.00	0.00	0.00	0.00
Ecuador	5.60	0.00	0.06	0.00
Jamaica	3.63	0.00	0.00	0.00
Nueva Zelanda	0.00	42.73	0.00	0.00
Panamá	1,099.35	38.12	1.05	0.00
Perú	0.00	0.00	22.46	0.00
República Dominicana	0.00	12.28	3.20	0.00
Sri Lanka	0.00	0.00	0.24	0.00
Suiza	1.30	4.78	0.03	0.00

Los Principales países donde México exporta la leche en polvo son: En primer lugar los Estados Unidos (38.85%), en segundo lugar Puerto Rico (23.12%) y en tercer lugar, Guatemala (20.34%), representando las exportaciones totales de México a estos tres países un total de 82.30% del total exportado.

Si comparamos esta tabla con las importaciones que hace México de este producto (Tabla 2.5) nos daremos cuenta de que el país no satisface la demanda de leche, por lo tanto he aquí la oportunidad de poner nuevas plantas con energías renovables en la siguiente tabla se muestran los datos correspondientes en primer lugar los Estados Unidos (55.03%), en segundo lugar Nueva Zelanda (32.22%), representando estos dos países el 87.250% del total importado de leche en polvo.

**Tabla 2.5 México: Importaciones de Leche en Polvo (miles toneladas métricas) (USDA, 2006)**

PAÍS	2003	2004	2005	2006
<b>TOTAL</b>	173,063.43	174,985.16	199,208.02	153,972.78
Estados Unidos de América	66,989.53	100,264.62	129,644.07	84,738.73
Nueva Zelanda	56,023.50	43,032.52	47,416.53	49,606.10
Argentina	7,890.13	14,050.88	11,025.00	12,274.55
Australia	4,043.68	49.92	972.29	5,224.51
Canadá	5,751.67	1,346.25	1,407.88	1,118.67
Reino Unido	10,923.23	4,547.75	2,708.00	525.00
Brasil	0.00	0.00	0.00	379.93
Chile	0.00	100.00	0.03	80.00
Holanda	386.14	168.10	150.00	25.00
España	119.00	0.00	0.00	0.20
Dinamarca	0.00	0.00	0.50	0.10
Alemania	8,381.40	2,897.00	225.00	0.00
Austria	0.00	0.10	0.00	0.00
Bélgica	284.00	0.00	442.73	0.00
Bielorrusia	0.00	240.00	0.00	0.00
Estonia	0.00	0.00	180.00	0.00
Francia	381.46	0.00	0.00	0.00
Irlanda	3,262.06	25.00	1,116.00	0.00
Italia	0.00	0.00	0.00	0.00
Lituania	0.00	0.00	125.00	0.00
Polonia	6,256.63	5,923.03	1,570.00	0.00
Portugal	0.00	0.00	300.00	0.00
Republica Checa	200.00	0.00	0.00	0.00
Suecia	0.00	47.00	0.00	0.00
Ucrania	0.00	0.00	125.00	0.00
Uruguay	2,171.01	2,293.00	1,800.00	0.00

En base a lo anterior se propone el proceso de la deshidratación de leche con energía geotérmica ya que en México y en gran parte del mundo se hace con gas esto significaría un ahorro en cuanto a dinero y se reduciría la quema de combustibles fósiles, en las figuras 2.10 y 2.11 se muestran unos mapas de México con algunas de las plantas industriales de leche más importantes que existen en el país.





Figura 2.10 Localización de las plantas industriales Liconsa (Liconsa, 2012)



Figura 2.11 localización de plantas industriales leche lala (MURO, 2007)

Como se mencionó en el capítulo anterior hay países en los cuales ya se utiliza la energía geotérmica para pasteurizar la leche, pero el objetivo del presente trabajo es verificar que tan rentable es aplicar la energía geotérmica a todo el proceso de la deshidratación de leche estos cálculos se analizarán en el siguiente capítulo.

## **Conclusiones**

En este capítulo se analizó el proceso de deshidratación de leche, también se pudo ver que la leche en polvo se conserva en perfecto estado durante más tiempo por el bajo contenido de agua ya que no les permite a los microorganismos desarrollarse, también otra ventaja es que es muy práctico el almacenamiento y su transporte ya que 1Kg de leche en polvo equivale a 8.5L de leche líquida.

En cuanto al estudio de mercado, se puede observar que México carece de la infraestructura necesaria para satisfacer la demanda de la población por lo que sería algo innovador, y siendo ambiciosos podría ayudar a reducir los números en cuanto a toneladas de leche importadas y a aumentar el número de exportaciones.



## CAPITULO III.- NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LA PRODUCCIÓN DE LA LECHE EN POLVO

### Introducción

En este capítulo se analizarán las necesidades energéticas que requiere cada una de las etapas del proceso para la producción de leche en polvo.

Actualmente las industrias obtienen el vapor de agua con ayuda de una caldera, la cual quema combustibles fósiles para producir el vapor, el cual regularmente es gas natural.

En la figura 3.1 se muestra la propuesta del proceso para el deshidratado de la leche desde la pasteurización hasta el secado, el cual se divide básicamente en dos procesos la evaporación (precalentamiento, pasteurización, evaporación) y el secado por atomización (homogenización, secado spray).

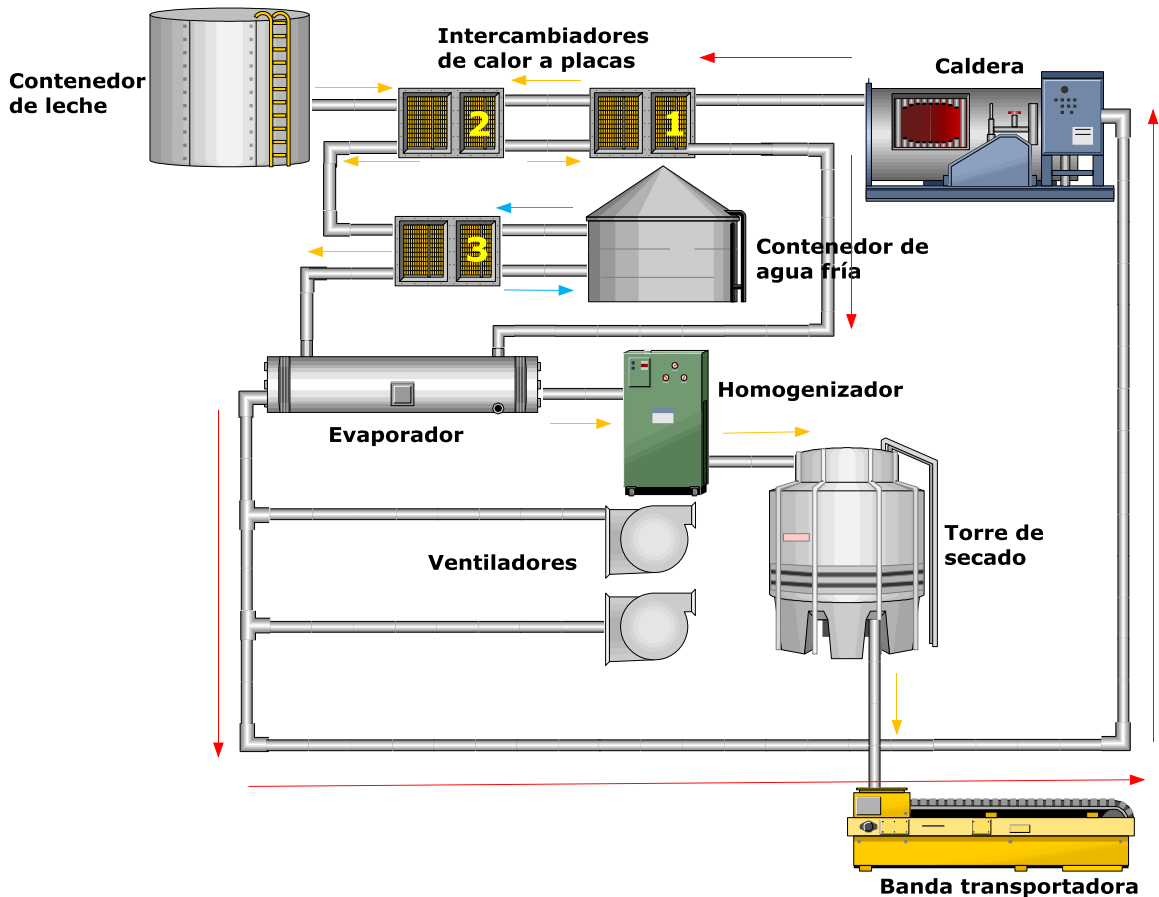


Figura 3.1 ciclo de deshidratación de la leche

Los parámetros operacionales considerados se muestran a continuación.

Se requiere deshidratar leche con un intercambiador de calor con eficiencia	95.00%
La leche se recibe con 88% de humedad y sale a 50% de humedad	
La leche se recibe con 50% de humedad y sale a 3% de humedad	
El gasto de leches es de	386 L/h

### Datos del sitio

Precio del gas natural	0.07745	\$/MJ
ASNM	2240	m
PRESIÓN BAROMÉTRICA	0.7713	bara
TEM. AMBIENTE	25.00	°C
HORAS OPERACIÓN ANUALES	8,760	h

### Datos operativos

#### Vapor

Presión manométrica	4	barm	bara
temperatura	145	°C	4.77
Presión de descarga	0.7713	atmosférica	

#### Cps

Densidad	1035 Kg/m <sup>3</sup>	1.035	kg/l
Cp leche		3.767	kJ/kg °C
Cp aire		1.012	kJ/kg °C

Figura 3.2 Parámetros operacionales

En el anexo 1 se puede encontrar con más detalle el procedimiento del cálculo de los balances de masa y energía en las distintas etapas del deshidratado de la leche.

### 3.1 Pre calentamiento

La leche llega al equipo intercambiador de calor (No.2) a 8°C aproximadamente, proveniente de un tanque regulador; en el primer tramo se calienta por regeneración hasta una temperatura aproximada de 58°C aproximadamente por medio de la leche ya pasteurizada cuya temperatura se aprovecha en esta zona de regeneración.

La ecuación del balance de energía para un intercambiador de calor es:

$$\text{Aporte de calor al fluido frío} - \text{Aporte de calor al fluido caliente} + \text{perdidas de calor} = 0$$

Despreciando las pérdidas de calor, que van directamente proporcionales a la eficiencia del intercambiador.

$$\text{Aporte de calor al fluido frío} = \text{Aporte de calor al fluido caliente}$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$M_1 * C_{p1} * (T_1 - T_2) = m_2 * C_{p2} * (t_1 - t_2)$$

Dónde:

- $M_1$  =Caudal másico del fluido 1
- $m_2$  =Caudal másico del fluido 2
- $C_{p1}$  =Calor específico del fluido 1
- $C_{p2}$  =Calor específico del fluido 2
- $T_1$ = temperatura inicial fluido 1
- $T_2$  =temperatura final fluido 1
- $t_1$  = temperatura inicial fluido 2
- $t_2$ =temperatura final fluido 2

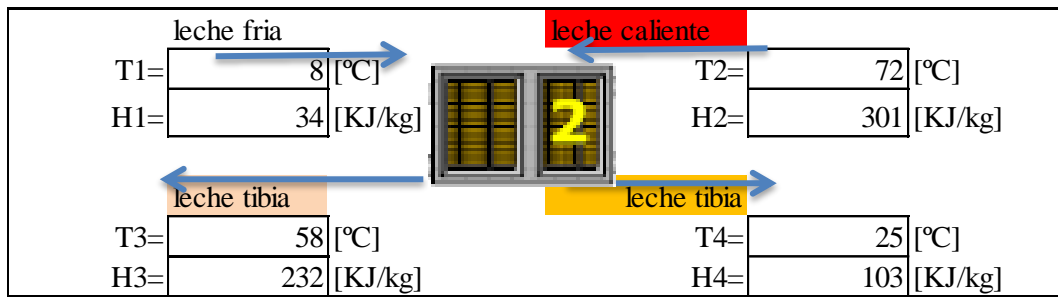


Figura 3.3 Balance de energía en la etapa de precalentamiento

### 3.2 Pasteurización

En este proceso la leche pasa por 3 intercambiadores de calor, en el primero se calienta la leche hasta la temperatura de 72-73 °C después pasa al intercambiador de regeneración (No.2) donde la leche sale de 18-25 °C y finalmente pasa al último intercambiador donde el agua se enfría bruscamente hasta una temperatura de 4°C.

#### 3.2.1 Calentamiento hasta la temperatura de pasteurización

Al salir de la sección de regeneración a una temperatura de 58°C, la leche pasa a través de un filtro que elimina impurezas que pueda contener, luego la leche pasa a los intercambiadores de calor (No.1) de la zona o área de calentamiento donde cede energía hasta la temperatura de pasteurización, esta es 72 - 73°C por medio de agua caliente.

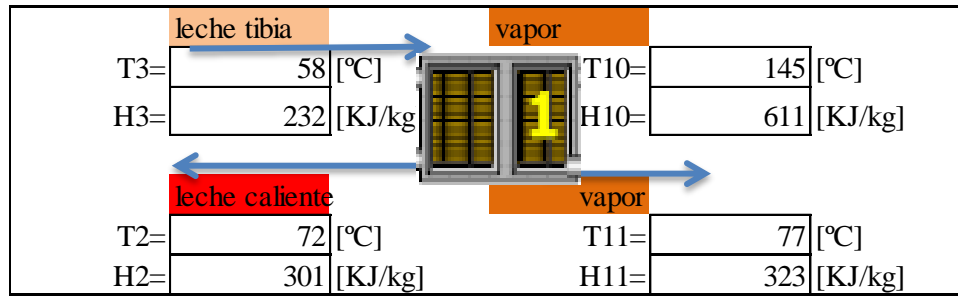


Figura 3.4 Balance de energía en la etapa de pasteurización

Alcanzada la temperatura de precalentamiento la leche pasa a la sección de retención de temperatura; esta sección puede estar constituida por un tubo externo o bien un retardador incluido en el propio intercambiador; el más común es el tubo de retención, en donde el tiempo que la leche es retenida es de 15 a 20 segundos.

### 3.2.2 Etapa de enfriamiento 1

A la salida de esta zona de retención, la leche pasa por una válvula de desviación; en esta válvula, si la leche no alcanza la temperatura de 72 - 73°C, automáticamente la hace regresar al tanque regulador o de alimentación para ser luego reprocesada; pero si la leche alcanza la temperatura de 72 - 73°C, pasa entonces a la zona de regeneración o precalentamiento, donde es enfriada por la leche cruda hasta los 18-25°C.

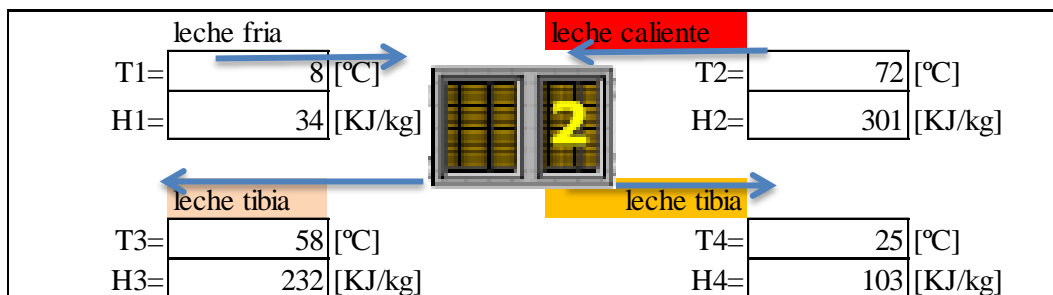


Figura 3.5 Balance de energía en la etapa 1 de enfriamiento

### 3.2.3 Etapa de enfriamiento 2

De aquí la leche pasa a la sección de enfriamiento (intercambiador No3.) en donde se distinguen dos zonas: una por donde se hace circular agua fría y la otra en donde circula agua helada, para terminar de esta manera el recorrido de la leche, saliendo del intercambiador a la temperatura de 4°C generalmente.

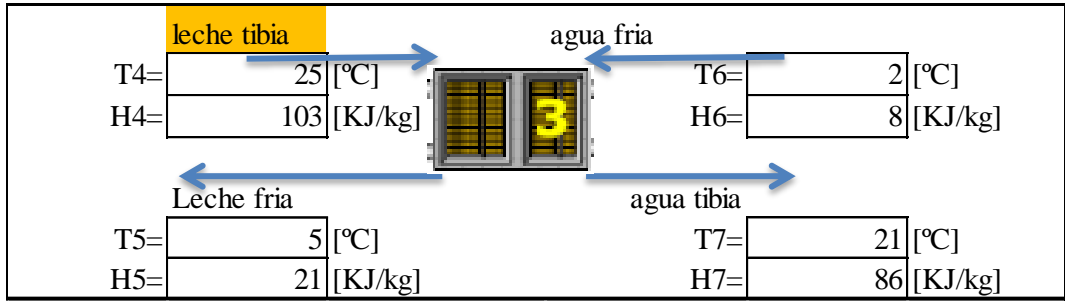


Figura 3.6 Balance de energía en la etapa 2 de enfriamiento

### 3.3 Evaporación

Luego que la leche ya ha sido higienizada, estandarizada, pasteurizada y enfriada, se procede a realizar su concentración en un equipo que se denomina evaporador. Este equipo trabaja bajo condiciones de vacío, es decir a presiones menores a la atmosférica logrando evaporar o extraer alrededor del 50 - 85% del agua de la leche, a temperaturas más bajas que las de ebullición en condiciones normales. Así se evita alterar sus propiedades nutritivas y características organolépticas originales.

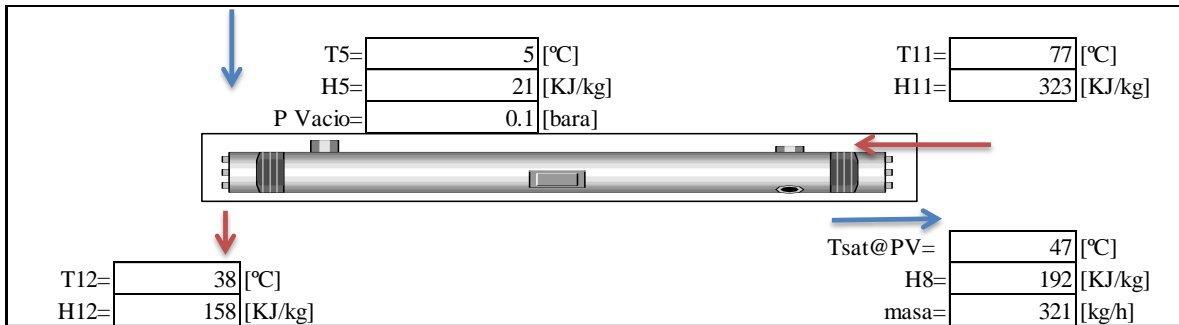


Figura 3.7 Balance de energía en la etapa de evaporación

### 3.4 Homogenización

Después de que la leche pasó por el evaporador y a perdido alrededor del 50% del agua que tenía pasa a un homogeneizador para ser sometidas a altas presiones esto para tener una mezcla más homogénea de la leche.

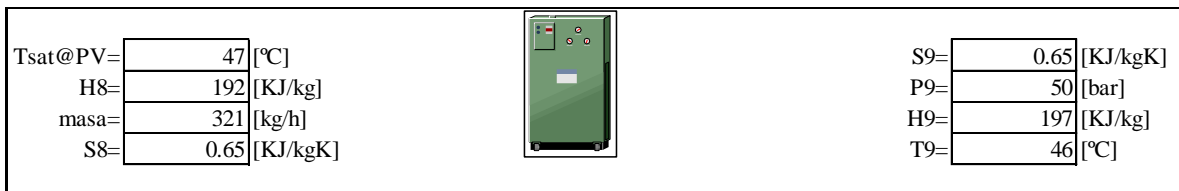


Figura 3.8 Balance de energía en la etapa de homogenización

### 3.5 Secado spray

El secado spray es la última etapa en el proceso de la fabricación de leche en polvo y una vez que la leche ha sido homogenizada pasa por la torre de secado espray donde es atomizado por la parte de arriba y secado por aire caliente conforme va cayendo para que finalmente caiga el polvo por la parte de abajo.

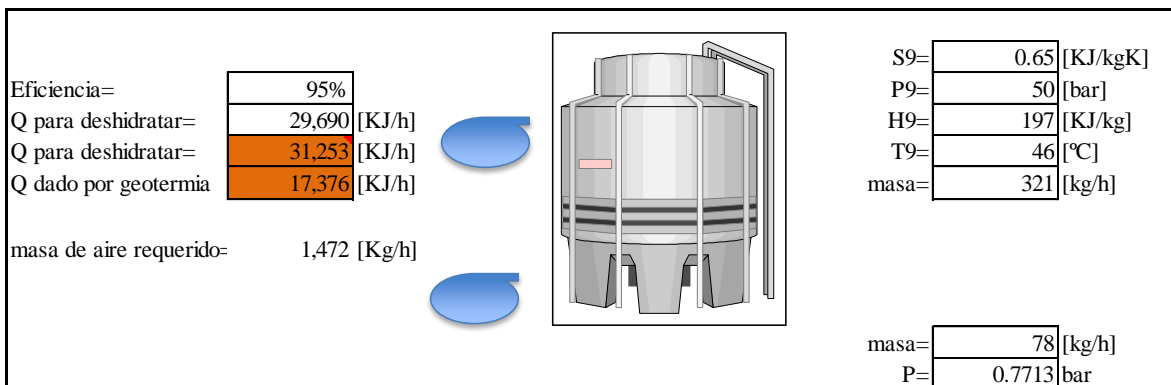


Figura 3.9 Balance de energía en la etapa de secado

### 3.6 Resultados

En la siguiente tabla se muestran los estados de temperatura y entalpia a lo largo del proceso del deshidratado de la leche, así como un resumen de la cantidad de calor que se requiere en cada etapa.

Tabla 3.1 Estados termodinámicos en el ciclo

Estados	Temperatura [°C]	Entalpia [KJ/Kg]
1	8	34
2	72	301
3	58	232
4	25	103
5	5	21
6	2	8
7	21	86
8	47	103
9	46	197
10	145	611
11	77	323
12	38	158

En resumen y una vez hechos los cálculos correspondientes se observa que la cantidad de energía térmica necesaria para todo el proceso es de 112,803[KJ/h] con una masa de vapor de 100[Kg/h] a una temperatura de 145 °C, para poder deshidratar sin problema alguno un gasto de leche de 400 [Kg/h]. Estos es considerando una eficiencia en los intercambiadores de calor de 95%.

**Tabla 3.2 Resultados de la cantidad de calor necesaria en cada etapa del proceso**

Leche a deshidratar		Vapor requerido	
Masa a deshidratar	518 [Kg/h]	entalpia del vapor	611 [kJ/Kg]
Presion de saturación @ T	4 [bar]	Temperatura	145 [°C]
Q para precalentar	97,471 [KJ/h]	Masa de vapor requerido	100 [kg vapor/h]
Q cedido en el enfriamiento	38,224 [KJ/h]		
Q para la pasteurizacion	27,292 [KJ/h]		
Q para evaporar	81,514 [KJ/h]		
Q para deshidratar=	29,690 [KJ/h]		
Eficiencia del cambiador de calor	95.00%		
Q para precalentar	102,601 [KJ/h]		
Q cedido en el enfriamiento	40,236 [KJ/h]		
Q para la pasteurizacion	28,728 [KJ/h]		
Q para evaporar	85,804 [KJ/h]		
Q para deshidratar	31,253 [KJ/h]		
Energia total requerida en el proceso	145,786 [KJ/h]		

### Conclusiones

Haciendo un análisis de los resultados termodinámicos obtenidos se puede decir que el proceso en el cual hay una mayor demanda de energía térmica es en la evaporación seguida de la pasteurización y por último el secado. Por lo que en el siguiente capítulo se analizara la propuesta de implementar este proceso con el recurso geotérmico y posteriormente se analizara la factibilidad técnica económica de la propuesta.

## CAPÍTULO IV.- PROPUESTA DE CAMBIO DEL PRINCIPAL RECURSO TÉRMICO EN EL PROCESO

### Introducción

Una vez que se tienen las necesidades energéticas de la producción de leche en polvo evaluaremos la propuesta de la implementación de la deshidratación de la leche con energía geotérmica. Para esto el capítulo se divide en dos partes la primera es considerando el gasto de leche que se ocupó en el capítulo pasado y en el otro es considerando el mismo gasto de vapor que se utilizó en el capítulo pasado, en los dos casos se considera una temperatura de 95°C.

En la imagen 4.1 se muestra un diagrama del ciclo propuesto.

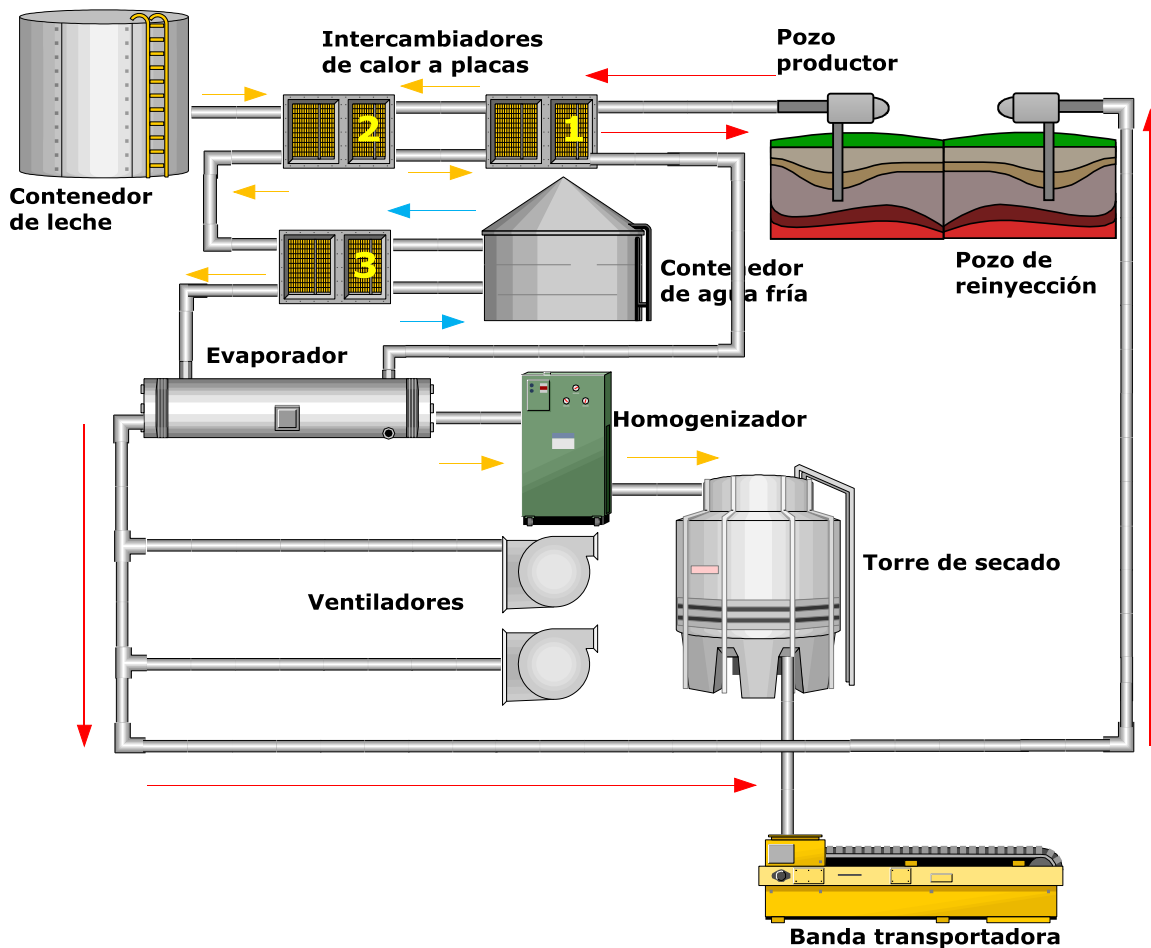


Figura 4.1 Diagrama del ciclo con geotermia

### 4.1 Propuesta del pozo requerido

Como ya se había dicho en el capítulo uno, los pozos geotérmicos de baja entalpía son aquellos en los cuales el fluido tiene temperatura menor a los 120[°C]. Por lo tanto la primera limitante es la temperatura, por lo que se propone una temperatura de 95[°C], después la presión se ve afectada con



la temperatura puesto que la presión debe de ser mayor a la presión de saturación del líquido a esta temperatura por tanto se propone una presión de 1.5[bar]

En la figura 4.2 se especifican los parámetros anteriores.

<b>Recurso geotermico requerido</b>	
Entalpia del recurso geotermico	398 [kJ/Kg]
Temperatura	95 [°C]
Masa de recurso geotermico	195 [kg vapor/h]
Presion del vapor	1.5 [bar]

Figura 4.2 Propiedades del agua geotérmica

#### 4.2 Propuesta uno considerando mismo gasto de leche que en el capítulo anterior

Los parámetros operacionales para esta propuesta se especifican en la siguiente imagen.

Se requiere deshidratar leche con un intercambiador de calor con eficiencia	95.00%
La leche se recibe con 88% de humedad y sale a 50% de humedad	
La leche se recibe con 50% de humedad y sale a 3% de humedad	
El gasto de leches es de	386 L/h

#### Datos del sitio

Precio del vapor geotermico	0.01208	\$/MJ (CFE, 2007)
ASNM	2240	m
PRESIÓN BAROMÉTRICA	0.7713	bara
TEM. AMBIENTE	25.00	°C
HORAS OPERACIÓN ANUALES	8,760	h

#### Datos operativos

#### Vapor

Presión manométrica	1.5	barm	<b>2.27</b>
temperatura	95	°C	
Costo del agua tratada			
Presión de descarga	atmosférica	0.7713	

#### Cps

Densidad	1035 Kg/m3	1.035	kg/l
Cp leche		3.767	kJ/kg °C
Cp aire		1.012	kJ/kg °C

Figura 4.3 Parámetros operacionales con el mismo gasto de leche

### 4.2.1 Gasto de recurso geotérmico requerido

Debido a que la temperatura bajó, el gasto recurso geotérmico debe subir para que se pueda seguir cumpliendo los balances de energía en los diferentes equipos, el recurso geotérmico requerido se encontró variando con diferentes gastos hasta que en la etapa final el calor necesario para deshidratar sea igual al calor que todavía trae el vapor, obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la figura 4.4.

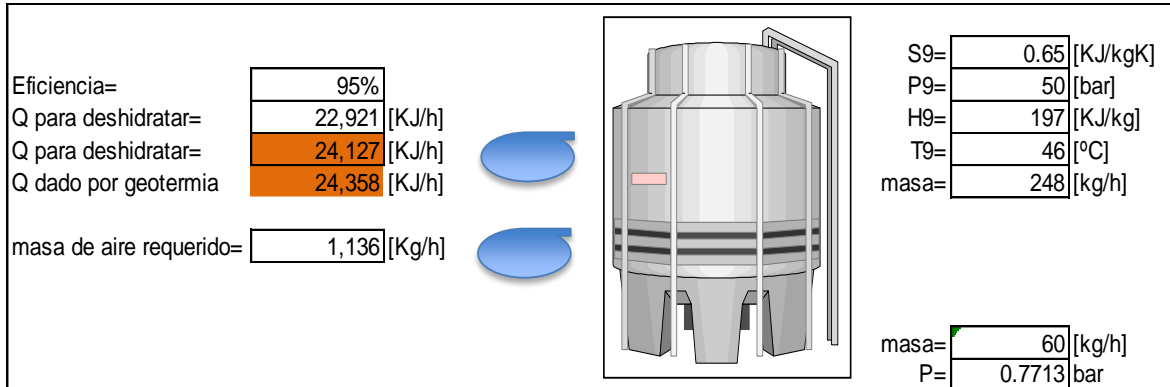


Figura 4.4 Balance de energía en la etapa de secado

### 4.3 Propuesta dos considerando mismo gasto de agua caliente que en el capítulo anterior

Los parámetros operacionales para esta propuesta son los que se muestran en la figura 4.5.

En este caso se conserva el mismo gasto de agua caliente que en el capítulo anterior pero esta vez nos limitamos a las capacidades térmicas de un pozo de baja entalpia las cuales se muestran en la tabla 4.1.

Recurso geotermico requerido	
Entalpia del recurso geotermico	398 [kJ/Kg]
Temperatura	95 [°C]
Masa de recurso geotermico	100 [kg vapor/h]

Tabla 4.1 propiedades del recurso geotérmico requerido

<b>Datos del sitio</b>	Precio del vapor geotermico		0.01208	\$/MJ (CFE,2007)
	ASNM		2240	m
	PRESIÓN BAROMÉTRICA		0.7713	bara
	TEM. AMBIENTE		25.00	°C
<b>Datos operativos</b>	HORAS OPERACIÓN ANUALES		8,760	h
<b>Vapor</b>			barm	<b>bara</b>
	Presión manométrica		1	
	temperatura		95	°C
	Costo del agua tratada		30	\$/m <sup>3</sup>
	Presión de descarga	<b>atmosférica</b>	0.7713	
<b>Cps</b>	Densidad	1035 Kg/m <sup>3</sup>	1.035	kg/l
	Cp leche		3.767	kJ/kg °C
	Cp aire		1.012	kJ/kg °C

Figura 4.5 Parámetros operacionales con el mismo gasto de vapor

#### 4.3.1 Gasto de leche que se puede deshidratar

Debido a que la temperatura bajo respecto a la tomada en el capítulo anterior debido a las capacidades del pozo la energía que nos da el vapor también bajo por lo tanto es necesario ajustar el gasto de leche que es posible deshidratar con la energía térmica que nos da el pozo geotérmico.

Para esto se varía el gasto de leche hasta que en la última etapa nos quede todavía el calor suficiente para que se pueda secar la leche, los resultados se observan en la tabla 4.2.

Leche a deshidratar		
Masa a deshidratar	202	[Kg/h]
Temperatura saturación @ P bar	1	[bar]
Q para precalentar	38,014	[KJ/h]
Q cedido en el enfriamiento	14,907	[KJ/h]
Q para la pasteurización	10,644	[KJ/h]
Q para evaporar	31,790	[KJ/h]
Q para deshidratar=	11,579	[KJ/h]
Eficiencia del cambiador de calor	95.00%	
Q para precalentar	40,014	[KJ/h]
Q cedido en el enfriamiento	15,692	[KJ/h]
Q para la pasteurización	11,204	[KJ/h]
Q para evaporar	33,464	[KJ/h]
Q para deshidratar	12,189	[KJ/h]

Tabla 4.2 leche a deshidratar

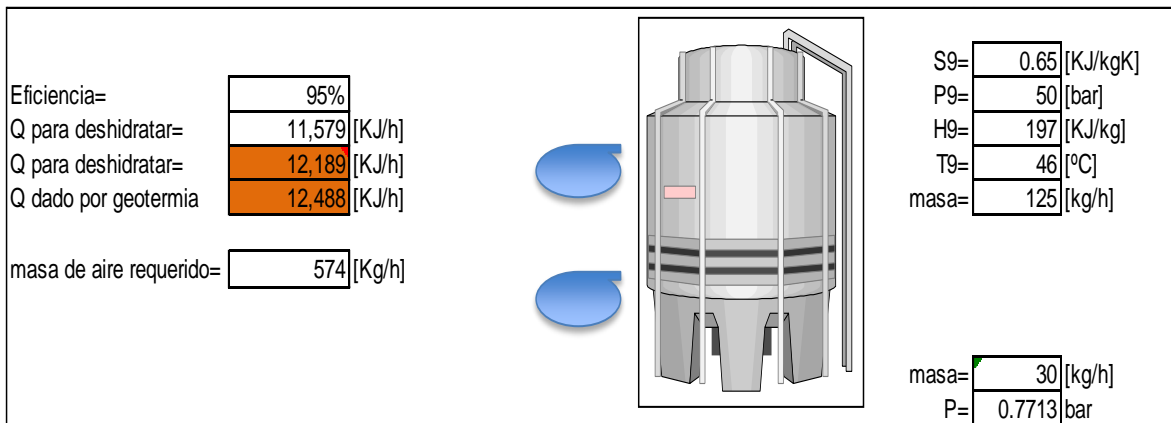


Figura 4.6 Balance de energía en la etapa de secado

### Conclusiones

Después de haber analizado las dos propuestas de cambio es más factible aplicar la propuesta dos debido a que es mucho más fácil variar el gasto de leche que entra al proceso a diferencia del gasto de agua geotérmica que nos da un pozo, en el siguiente capítulo se analizara la factibilidad económica de este proyecto (propuesta 2).

## CAPÍTULO V.- EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA PROPUESTA

### Introducción

El análisis económico determina la factibilidad económica de una inversión incluyendo los costos financieros durante la operación e instalación, sin incluir los cargos financieros durante la operación.

El análisis financiero determina la factibilidad económica del capital de una inversión incluyendo los cargos financieros durante la operación. Es el análisis de la rentabilidad del capital de riesgo. (Noriega, 2011)

### 5.1 Ahorro en la producción de leche en polvo con geotermia

Para poder calcular el ahorro en la producción se calcula cuanto combustible se requiere para que el proceso se pueda llevar a cabo.

El costo del vapor geotérmico considera un cargo inicial que comprende las instalaciones superficiales en el campo, la exploración y perforación de pozos productores e inyectores necesarios para iniciar la operación comercial. Además, durante la vida de la central, son originados costos debido a los reemplazos de pozos e instalaciones superficiales, reparación y limpieza de pozos, así como a la operación y mantenimiento del campo geotérmico (CFE, 2007).

El costo inicial, el de reemplazo de pozos, y reparación y limpieza de los mismos, en su caso, habrá que convertirlos en un costo nivelado, el cual sumado al unitario de operación y mantenimiento del campo, da lugar al costo total por MWh del vapor geotérmico, el cual es utilizado como precio de referencia.

Para el gas natural, el precio de referencia es obtenido a partir del precio promedio entregado en plantas de CFE (CFE, 2007).

En las gráficas 5.1 y 5.2 se muestran los costos de la producción de leche en polvo, y en las tablas 5.1 y 5.2 se muestran los resultados de las gráficas correspondientes.

Gasto leche [L/h]	Costo [\$/año]
200	39,564
230	45,499
260	51,433
290	57,368
320	63,302
350	69,237
380	75,172
410	81,106
440	87,041
470	92,975
500	98,910

Tabla 5.1 Tabla de resultados de deshidratación con gas

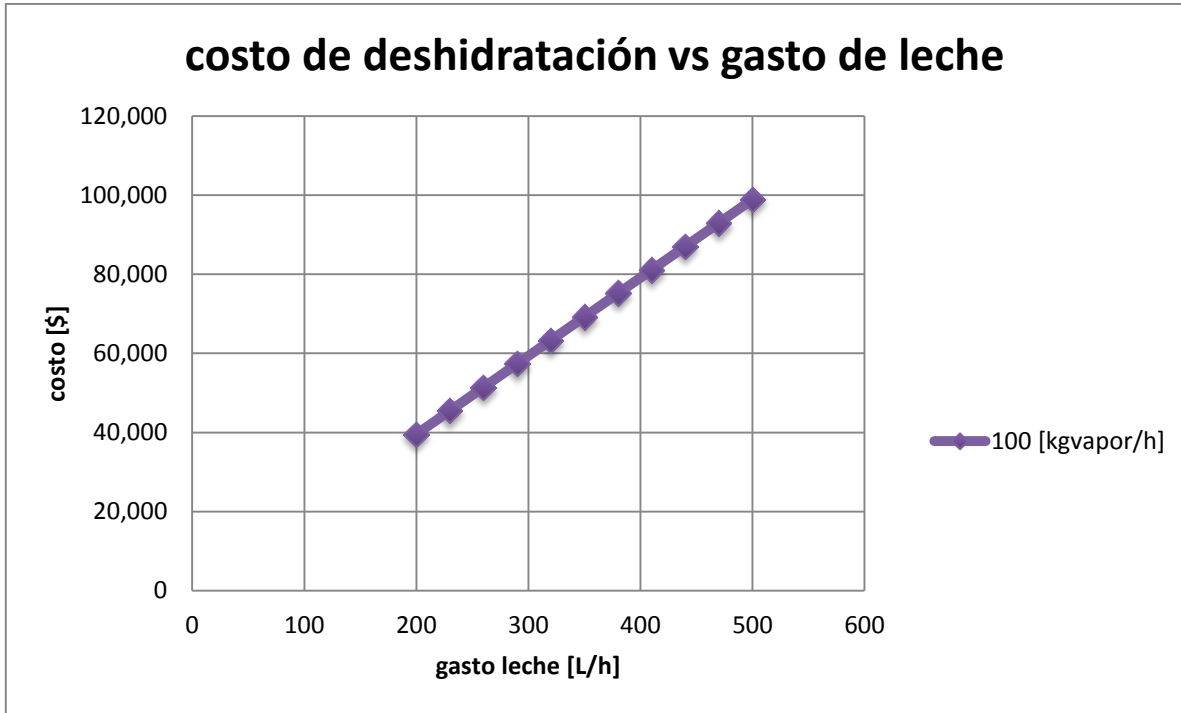


Figura 5.1 Gráfica de costo de deshidratación con gas natural

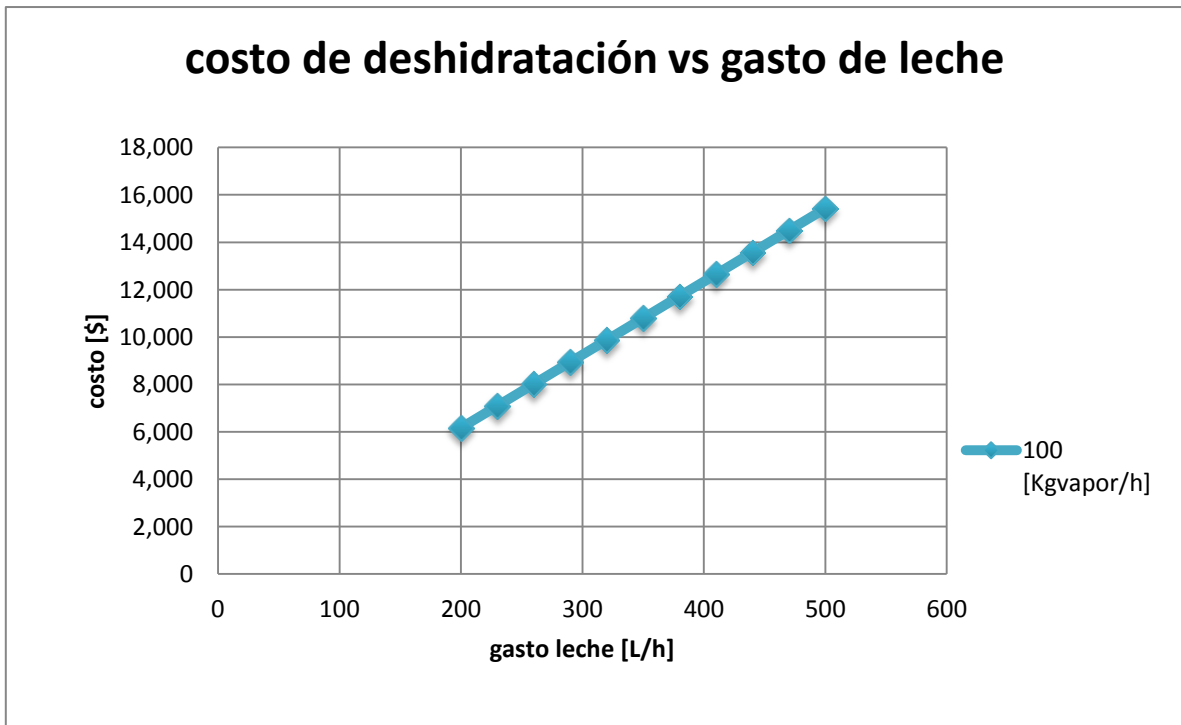


Figura 5.2 Gráfica de costo de deshidratación con geotermia

Gasto leche [L/h]	Costo [\$/año]
200	6,017
230	7,096
260	8,022
290	8,948
320	9,873
350	10,799
380	11,725
410	12,650
440	13,576
470	14,502
500	15,427

**Tabla 5.2 Tabla de resultados deshidratación con geotermia**

Tomando de referencia el gasto de leche de 200 L/h se tiene un ahorro económico anual de:

$$\text{costo con gas natural} - \text{costo con geotermia} = 39,564 - 6,017 = 33,547 \frac{\$}{\text{año}}$$

## 5.2 Análisis económico

Debido a que el análisis preliminar de rentabilidad determina si el proyecto puede ser rentable, se requiere hacer un buen estimado de la inversión, para esto se solicitaron cotizaciones con diversos proveedores del equipo que se requiere para la planta.

También se requiere analizar el tiempo simple de recuperación conocido como pay-back simple que es la relación de la inversión contra el ahorro anual

### 5.2.1 Análisis económico de primer nivel

Este tipo de análisis es comúnmente empleado en los estudios preliminares, comúnmente llamados de pre factibilidad. El método consiste en medir el tiempo que tarda un inversionista en recuperar, mediante los ingresos que produce el proyecto, la cantidad invertida inicialmente sin considerar el costo de oportunidad del dinero en el tiempo, lo que nos permite saber si una inversión puede ser recuperada en un tiempo razonable comparado con la vida útil.

$$\text{Tiempo (simple) de recuperación de inversión (PAYBACK)} = \frac{\text{Valor neto de inversión}}{\text{Beneficio anual neto}}$$

Como los flujos se realizan en puntos diferentes del tiempo se requiere manejar los montos de dinero en moneda constante es decir deflactados por la tasa de descuento que simplemente es la tasa real de oportunidad del dinero, la tasa de descuento es una medida financiera que se utiliza para determinar el valor actual de un pago futuro y generalmente esta entre un 6% y 14% dependiendo del riesgo del proyecto mientras más riesgoso el proyecto más alta debe ser la tasa de descuento.

En este análisis se necesita hacer el cálculo de la depreciación de nuestra planta ya que esto se deriva del desgaste, paso del tiempo y la obsolescencia.

$$\text{depreciación} = \frac{\text{inversión inicial}}{\text{vida útil}}$$

### 5.2.2 Método del valor presente neto

Este método consiste en transformar a valor presente, con el factor de valor presente (FVP), todos los componentes del flujo de efectivo de un proyecto. (Noriega, 2011)

El método del valor presente neto es el más empleado y adecuado como base del rendimiento en valor del dinero de una inversión.

$$FVP = \frac{(1 + \text{tasa de descuento})^{\text{vida útil}-1}}{\text{tasa de descuento} * (1 + \text{tasa de descuento})^{\text{vida útil}}}$$

La tasa de retorno de inversión (ROI) es la relación entre utilidad y activos, permite obtener la tasa contable de ganancias.

$$ROI = \frac{\text{Beneficio anual neto} - \text{depreciación}}{\text{valor neto de la inversión}}$$

Resultado neto de operación (RNO) es la diferencia entre los beneficios menos los costos operativos, a valor presente en la vida útil del proyecto. (Noriega, 2011)

$$RNO = \text{suma beneficios}[VP] - \text{Suma de costos operativos} [VP]$$

La relación beneficio costo permite equilibrar los ingresos y egresos y se obtiene de la siguiente forma:

$$R B/C = \frac{RNO}{\text{inversión física del proyecto}}$$

Si la RB/C es la unidad el proyecto no gana ni pierde dinero y si el resultado es mayor que uno significa que los ingresos son superiores a los egresos y en consecuencia el proyecto generara riqueza a la comunidad.

En el anexo 2 se muestra a detalle el cálculo realizado en el análisis económico.

En el anexo 3 se muestran las fichas técnicas del equipo así como su costo de inversión.

En la siguiente tabla se muestran los datos considerados inicialmente para poder iniciar el análisis económico.

CÁLCULO DE ANÁLISIS DE PRIMER NIVEL			
	Si la inversión de los intercambiadores de equipo es:		201,500 \$
TASA DE DESCUENTO	td	0.12	TD 12.00%
VIDA ÚTIL			VU 30 años

Tabla 5.3 Datos para el análisis económico

En la siguiente tabla se muestra los resultados del análisis económico:



**RESULTADOS DE ANALISIS DE PRIMER NIVEL**

Inversion de los intercambiadores	201,500	pesos
Tasa de descuento	12%	
Vida util	30	años

<b>BENEFICIO ANUAL NETO</b>	33,547	pesos anuales
VALOR NETO de INVERSION	201,500	pesos
<b>FACTOR DE VALOR PRESENTE</b>	8.1	
<b>TIEMPO DE RETORNO SIMPLE (PAY BACK)</b>	70	meses
VALOR ACTUALIZADO DE LOS BENEFICIOS	278,384	Pesos
BENEFICIO NETO VPN	76,884	Pesos
<b>RELACION BENEFICIO/COSTO</b>	1.38	

**Tabla 5.4 Resultados del análisis económico**

### 5.3 Bonos de carbono

Los bonos de carbono, representan el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono, por lo que, con su transacción se benefician la empresas que disminuyen su emisión, o directamente no los emiten, haciendo pagar, a las que sí emiten más de lo permitido.

Los bonos de carbono son un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente; es uno de los tres mecanismos propuestos en el protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones causantes del calentamiento global o efecto invernadero (GEI o gases de efecto invernadero) (Julio, 2010).

El sistema ofrece incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a la mejora de la calidad ambiental y se consiga regular la contaminación generada por sus procesos productivos, considerando el derecho a contaminar como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado.

No hay un valor “oficial” sobre el precio de una tonelada de CO<sub>2</sub> reducida o no emitida. Aunque algunas agencias multilaterales han establecido ciertos precios para los proyectos de reducción de emisiones financiados por ellas mismas (por ejemplo, hasta 2005, el Banco Mundial emplea un precio de \$5 dólares por tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente no emitida), el precio de la tonelada está sujeto a oferta y demanda de bonos de carbono en el mercado (INE , 2010).

Considerando el posible ingreso por emisiones evitadas a 5 dólares por tCO<sub>2</sub> equivalente se obtienen los siguientes resultados.

**CÁLCULO DEL GASTO DE COMBUSTIBLE**

EFICIENCIA CALDERA	80.00%	
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	57	MJ/h
PCS gas natural	38	MJ/m <sup>3</sup>
CONSUMO DE COMBUSTIBLE ANUAL	498,062	[MJ]
	13,264	[m <sup>3</sup> ]
		0.49806164 [TJ]
Contenido de carbón en el gas natural	15.3	[tC/TJ]
Factor de C a CO <sub>2</sub>	3666.67	[CO <sub>2</sub> /tC]
Total de CO <sub>2</sub> por año	28	[tCO <sub>2</sub> /año]

**Tabla 5.5 Toneladas de CO<sub>2</sub> producidas por la quema de gas natural en la fabricación de leche en polvo**

INGRESOS			
AÑO	EMISIONES EVITADAS [tCO2/año]	VALOR [US\$/tCO2]	INGRESO [USD\$/AÑO]
1	28	5	140
2	28	5	140
3	28	5	140
4	28	5	140
5	28	5	140
6	28	5	140
7	28	5	140
8	28	5	140
9	28	5	140
10	28	5	140
11	28	5	140
12	28	5	140
13	28	5	140
14	28	5	140
15	28	5	140
16	28	5	140
17	28	5	140
18	28	5	140
19	28	5	140
20	28	5	140
21	28	5	140
22	28	5	140
23	28	5	140
24	28	5	140
25	28	5	140
26	28	5	140
27	28	5	140
28	28	5	140
29	28	5	140
30	28	5	140
		<b>TOTAL</b>	<b>4191</b>
			<b>54,486</b> [\$]

1816.18341

Tabla 5.6 Ingresos económicos por bonos de carbono

Los posibles ingresos generados por bonos de carbono no resultan ser tan atractivos pero no dejan de ser una buena posibilidad para que el proyecto sea rentable por lo que ahora se hará un análisis económico considerando estos ingresos y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

**RESULTADOS DE ANALISIS DE PRIMER NIVEL**

Inversion de los intercambiadores	201,500	pesos
Tasa de descuento	12%	
Vida util	30	años

<b>BENEFICIO ANUAL NETO</b>	33,547	pesos anuales
VALOR NETO de INVERSION	201,500	pesos
<b>FACTOR DE VALOR PRESENTE</b>	8.1	
<b>TIEMPO DE RETORNO SIMPLE (PAY BACK)</b>	66	meses
VALOR ACTUALIZADO DE LOS BENEFICIOS	293,014	Pesos
BENEFICIO NETO VPN	91,514	Pesos
<b>RELACION BENEFICIO/COSTO</b>	1.45	

**Tabla 5.7 Resultados del análisis de primer nivel considerando bonos de carbono**

Una vez hecho el análisis económico se observa que la relación beneficio costo no aumenta mucho con respecto al análisis anterior.

**Conclusiones**

De acuerdo a los resultados obtenidos la propuesta del proyecto resulta rentable con un periodo de recuperación de 70 meses, esto es gracias a que el VPN es mayor a cero a pesar de esto la relación beneficio costo esta apenas por arriba del valor aceptable para que el proyecto sea rentable. Por lo que se optó por hacer un análisis con ingresos de bonos de carbono con el proyecto resulto ser más atractivo pero no por mucho el tiempo de retorno simple se reduce a 66 meses y la relación beneficio costo sube a 1.45.

También cabe mencionar que el costo del vapor geotérmico esta sobre estimado debido a que el considerado es de una planta geotermoeléctrica en donde se consideran costos de perforación, inversión, costos de operación, costos de mantenimiento, y debido a que los conductos del recurso sería una mezcla de agua y vapor lo único que aumentaría sería una bomba para extraer el recurso o de otro modo está la posibilidad de extraer el recurso de algún remanente de una planta geotermoeléctrica.

## CAPÍTULO VI.- CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El buen aprovechamiento de los recursos naturales es algo que debemos aprender como seres humanos para poder así mitigar a lo máximo posible la contaminación al medio ambiente resultante de los procesos que la humanidad ocupa para sus procesos energéticos.

La energía geotérmica ha sido aprovechada a lo largo de la historia como una fuente renovable pero es hasta nuestros días cuando está teniendo auge en México para aprovecharla en usos directos a pesar de que México se encuentra en una zona geográfica abundante de esta energía del planeta y puede ser aprovechada con relativa facilidad.

Este estudio resulta ser una nueva posibilidad de incorporar como uso directo a la geotermia de baja entalpia, para la producción de leche en polvo, cabe mencionar que el dato del costo del vapor geotérmico utilizado para el cálculo del análisis económico simple esta sobreestimado ya que este costo se tomó del COPAR el cual es para una planta geotermoeléctrica en el cual se incluyen costos de operación, costos de producción, costos de exploración y perforación de pozos productores.

Una de las principales ventajas que muestra este proyecto es casi cero emisión de CO<sub>2</sub>, a la atmosfera y que se impulsa el aprovechamiento de energías alternas, además de que la leche en polvo presenta varias ventajas ya que se conserva en perfecto estado durante más tiempo, es más práctico su almacenamiento y su transporte. Puede ser preparada en cualquier momento y lugar, siendo además muy rentadora, entre otras.

Se hizo un balance de energía y masa en cada uno de los equipos para conocer las necesidades de energía térmica para el proceso, al mismo tiempo que se evaluaron las propuestas de cambio para poder elegir la mejor.

Una vez que se eligió la mejor opción en el carácter técnico se procedió a evaluar esta misma propuesta económicamente, arrojando un resultado positivo con un VPN mayor a cero y una relación beneficio costo mayor a la unidad con lo que el proyecto resulta rentable, cabe mencionar que la relación beneficio costo esta apenas un poco arriba de la unidad por lo que se realizó también un análisis con posibles ingresos económicos por bonos de carbono, los cuales no impactaron demasiado en la relación beneficio costo pero no dejan de ser una buena oportunidad de ingresos extras en el proyecto.

Esta propuesta además también resulta ser innovadora ya que se podría pensar en alguna planta geotermoeléctrica del país para utilizar el recurso geotérmico que ya ha sido utilizado para la generación de energía eléctrica, donde los únicos usos directos que tienen son pocos y no solo la planta geotermoeléctrica se vería beneficiada si no también los productores de leche de los alrededores se verían beneficiados, ya que tendrían un cliente que estaría comprando constantemente su producto.

Este trabajo también sirve como base energética para un estudio posterior para incorporar energía solar para suministrar la energía térmica en su totalidad o parcialmente, pensando en sistemas híbridos geotérmico solares.

# ANEXOS

## ANEXO 1

Para fines de cálculos de los estados termodinámicos se utilizaron las tablas de vapor del agua debido a que no se cuenta con tablas termodinámicas de la leche.

El calor que se requiere para precalentar la leche hasta la temperatura de 58°C, para calentarla hasta la temperatura de pasteurización y finalmente para calcular el calor cedido en el enfriamiento se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = mCp\Delta T$$

- Cálculo para el precalentamiento

$$Q = mCp\Delta T = 400 \frac{kg}{h} * 3.767 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} * (58 - 8 \text{ } ^\circ C) = 75248 \frac{KJ}{h}$$

Considerando la eficiencia del intercambiador la energía térmica necesaria será de:

$$\frac{75248 \frac{KJ}{h}}{0.95} = 79208 \frac{KJ}{h}$$

- Cálculo para el calentamiento desde la temperatura de precalentamiento hasta la temperatura de pasteurización:

$$Q = mCp\Delta T = 400 \frac{kg}{h} * 3.767 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} * (72 - 58 \text{ } ^\circ C) = 21069 \frac{KJ}{h}$$

Considerando la eficiencia del intercambiador la energía térmica necesaria será de:

$$\frac{21069 \frac{KJ}{h}}{0.95} = 22178 \frac{KJ}{h}$$

- Cálculo para el calor cedido en el enfriamiento de la leche

$$Q = mCp\Delta T = 400 \frac{kg}{h} * 3.767 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} * (5 - 25 \text{ } ^\circ C) = -29509 \frac{KJ}{h}$$

Considerando la eficiencia del intercambiador la energía térmica necesaria será de:

$$Q = \frac{-29509 \frac{KJ}{h}}{0.95} = -31062 \frac{KJ}{h}$$

El signo negativo se debe a que es calor que la leche está perdiendo a diferencia en los ejemplos anteriores que es calor que la leche está ganando.

- Cálculo para la evaporación

$$Q = mCp\Delta T = 400 \frac{kg}{h} * 3.767 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ C} * (47 - 5 \text{ } ^\circ C) = 62929 \frac{KJ}{h}$$

Considerando una eficiencia del evaporador de 95%

$$Q = \frac{62929 \frac{KJ}{h}}{0.95} = 66241 \frac{KJ}{h}$$

En este equipo se considera una presión de vacío de 0.1[bar] con lo que la temperatura de ebullición baja hasta los 47°C

Finalmente se calcula la masa de leche que se obtiene a la salida del evaporador:

$$m_{final} = m_{inicial} - m_{inicial} * (\%_{agua \text{ entrada}} - \%_{agua \text{ salida}})$$

$$m_{final} = 400 \frac{Kg}{h} - \left(400 \frac{Kg}{h}\right) * (.88 - .5) = 248 \frac{Kg}{h}$$

Considerando también que en el evaporador el vapor flashea se hace el cálculo de la ganancia de masa de vapor que hay en este equipo.

$$Vapor \text{ flasheado} = \frac{h_f \text{ entrada} - h_f \text{ salida}}{h_f \text{ descarga}}$$

Dónde:

$h_f \text{ entrada}$  =Entalpía de líquido a la entrada a P de vapor absoluta

$h_f \text{ salida}$  =Entalpía de líquido a la salida a la presión del evaporador

$h_g \text{ descarga}$  = Entalpía de vapor a la descarga a presión del evaporador

Cálculo para la homogenización

Los homogeneizadores son equipos isotrópicos y entonces para este caso se conoce los estados a la entrada y a la salida se considera una presión de 50 bar ya con esto obtengo la entalpia y la temperatura de salida.



- Cálculo para el secado Spray

En esta etapa se calcula el calor necesario para obtener leche en polvo con una humedad aproximada del 3 %

$$Q = \dot{m}h(\%humedad) = 248 \frac{kg}{h} * 197 \frac{KJ}{Kg} * (.5 - .03) = 23165 \frac{KJ}{h}$$

Considerando la eficiencia de 95%

$$Q = \frac{23165 \frac{KJ}{h}}{0.95} = 24384 \frac{KJ}{h}$$

## ANEXO 2

Cálculos del análisis económico.

$$PAYBACK = \frac{\textit{inversion}}{\textit{beneficio anual neto}} = \frac{201500}{34560 \cdot 12} = 70 \textit{ meses}$$

Donde el beneficio anual neto es la suma de ahorro combustible y del ahorro de agua tratada.

$$\textit{depreciación} = \frac{\textit{inversión inicial}}{\textit{vida util}} = \frac{201500}{30} = \$ 6717$$

$$FVP = \frac{(1 + \textit{tasa de descuento})^{\textit{vida util} - 1}}{\textit{tasa de descuento} * (1 + \textit{tasa de descuento})^{\textit{vida util}}} = \frac{(1 + 0.12)^{30 - 1}}{0.12 * (1 + 0.12)^{30}} = 8.055$$

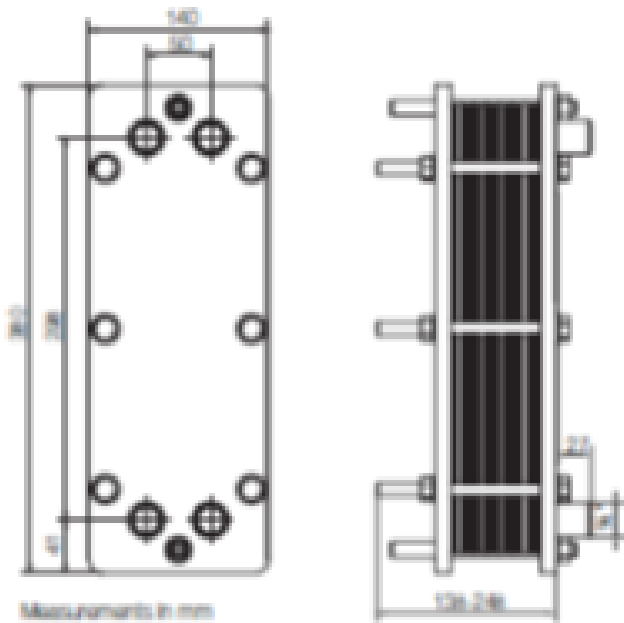
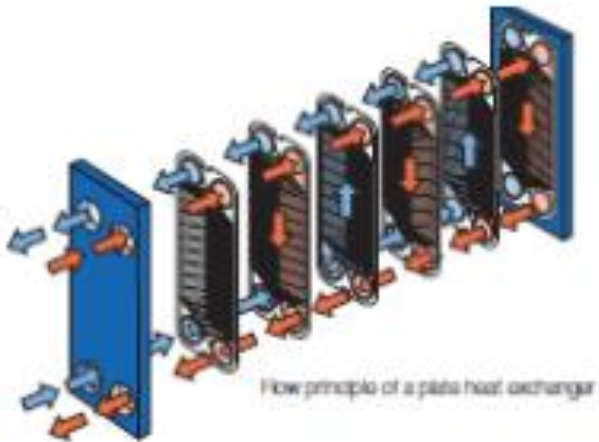
$$ROI = \frac{\textit{Beneficio anual neto} - \textit{depreciación}}{\textit{valor neto de la inversion}} = \frac{34560 - 6717}{201500} = 13.82\%$$

$$RNO = \textit{suma beneficios} - \textit{Suma de costos operativos} = 278384 - 201500 = \$ 76884$$

$$RB/C = \frac{RNO}{\textit{inversión física del proyecto}} = \frac{278384}{201500} = 1.38$$

### ANEXO 3

	costo unitario		cantidad	Total	
Secador Spray	9,500 [US]		1	9500 [US]	
Intercambiador de calor	1,000 [US]		3	3000 [US]	
Evaporador	1,000 [US]		1	1000 [US]	
Homogenizador	2,000 [US]		1	2000 [US]	
			Total	15500 [US]	



## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- ACNielsen. (24 de agosto de 2004). *Ediciones especiales*. Recuperado el agosto de 2012, de <http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=0124082004021X0040039&idcuerpo=278>
- Aviña, J. H. (2012). Energía geotérmica "Generación eléctrica y usos directos". *Apuntes de clase*. México: Facultad de Ingeniería.
- Aviña, J. H. (2012). Historia de la geotermia. *Apuntes de clase*. México: Facultad de Ingeniería.
- Aviña, J. H. (2012). Tipos de centrales geotermoeléctricas convencionales. *Apuntes de clase*. México: Facultad de Ingeniería.
- Casimiro, E. E. (1997). Uso de la energía geotérmica para la deshidratación de frutas y legumbres, experiencia en Los Azufres Mich., México. *Geotermia, revista de geenergía*, 57-59.
- CFE. (2007). *Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector eléctrico*.
- Dickson, M. H., & Fanelli, M. (1995). *Geothermal energy*. London: UNESCO .
- Egg, J., & Brian, C. H. (2011). *Geothermal HVAC green heating and cooling*. United States: Mc Graw Hill.
- GEA. (2011). *geo-energy*. Recuperado el junio de 2012, de <http://geo-energy.org/Basics.aspx#reservoir>
- gimolimpó. (2009). *Leche en polvo*. Recuperado el julio de 2012, de <http://www.gimolimpó.com/paginas/LECHE%20EN%20POLVO.htm>
- IDAE. (2008). *Manual de geotermia*. Madrid.
- INE . (8 de junio de 2010). *Cambio climático en México* . Recuperado el octubre de 2012, de [http://cambio\\_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/mercadoBonosCarbono.html](http://cambio_climatico.ine.gob.mx/sectprivcc/mercadoBonosCarbono.html)
- Julio. (agosto de 2010). *Conciencia Eco* . Recuperado el febrero de 2012, de ¿Que es el calentamiento global?: <http://www.concienciaeco.com/2010/08/21/que-es-el-calentamiento-global/>
- Liconsá. (21 de JUNIO de 2012). *SEDESOL*. Recuperado el AGOSTO de 2012, de <http://www.liconsá.gob.mx>
- Lund, J. W., Freeston, D. H., & Boyd, T. L. (2010). *Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review*. Indonesia.

- MIFIC. (2007). *Leche en Polvo*. Nicaragua.
- MURO, E. L. (2007). *Cooperativa de Producción y Responsabilidad Social Empresarial LALA*.
- Nestle. (8 de agosto de 2009). *Articulos*. Recuperado el junio de 2012, de Historia de la leche: <http://www.nestle.com.ec/lalechera/articulosShow02.aspx>
- Noriega, G. L. (2011). *Matematicas financieras para análisis económicos de proyectos de inversión . Apuntes de clase* (pág. 29). Mexico: UNAM Facultad de ingeniería.
- Pastrana, M. E. (1997). Aprovechamiento del calor geotérmico para el secado de madera, experinecia en Los Azufres Aichoacan Mex. *Geotermia, revista mexican de geoenergìa*, 53-53.
- Peña, M. I. (8 de agosto de 2009). *Apuntes de cocina y algo mas* . Recuperado el junio de 2012, de Historia de la leche : <http://apuntesdecocina.com/2009/08/08/historia-de-la-leche/>
- Probito. (2012). *PROBITO SL ecoarquitectura y bio construcción* . Recuperado el 21 de junio de 2012, de [http://www.probitosl.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=199&Itemid=134](http://www.probitosl.com/index.php?option=com_content&task=view&id=199&Itemid=134)
- Quijano, L. J. (2007). *Manual de geotermia*.
- Rodrigo, L. (mayo de 2011). *Leche en polvo*. Rafaela, Santa Fe, Argentina.
- Roma, B. L. (1996). *Diseño de una torre de secado por aspersion* . Guatemala: Universidad de San Carlos Guatemala.
- Ruggero, B. (2010). *Geothermal Power Generation in the World*. Indonesia .
- Sanchez, V. R. (2009). *BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICO: CONDICIONES DE CONFORT A PARTIR DEL INTERCAMBIO TÉRMICO CON EL SUBSUELO*.
- Santoyo, G. E., & Torres, A. I. (1 de octubre de 2010). *Escenario futuro de explotación de la energía geotérmica: hacia un desarrollo sustentable*. Recuperado el junio de 2012, de revista unam: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num10/art95/art95.pdf>
- Soliclíma.es. (2011). *Climatización geotérmica*. Recuperado el 20 de junio de 2012, de <http://www.climatizaciongeotermica.com/geotermia/historia.html>
- T. WATSON, R. (2001). *Cambio climático* . México: PNUMA.
- USDA. (2006). Consumo mundial de leche en polvo. *Perspectivas de Producción de granos en el mundo*.

Zirahuén, O. V. (1997). Uso de la energía geotérmica para el desarrollo de invernaderos, experiencia en Los Azufres, Mich., México. *Geotermia, revista mexicana de geoenergía* , 61-64.