

3
20j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
" Z A R A G O Z A "

ESTUDIO DE VIABILIDAD TECNICO-ECONOMICO
PARA LA IMPLANTACION DE SISTEMAS DE
ENERGIA SOLAR EN LA INDUSTRIA TEXTIL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A N :
LUZ ELENA FLORES BUSTAMANTE
SERVANDO SANTOS PADILLA
JULISSA LEONOR SOLIS ROMERO

México, D. F.

Abril de 1988



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	PAGINA
RESUMEN	1
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	8
INTRODUCCION	10

CAPITULO I

LA INDUSTRIA TEXTIL EN MEXICO

1.1	Generalidades	13
1.2	Clasificación de fibras textiles	13
1.3	Manufactura de fibras textiles	15
1.3.1	Operaciones mecánicas	18
1.3.2	Operaciones Químicas	19
1.4	Situación de la industria textil nacional	26
1.4.1	Materias primas	27
1.4.2	Distribución geográfica de la industria textil en México	36
1.5	Consumo energético de la industria textil	36
1.6	Balance energético de la industria textil	42

CAPITULO II

ALTERNATIVAS PARA EL CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

2.1	Generalidades	52
2.2	Principios generales de operación de las tecnologías solares	57
2.2.1	Sistema de energía solar	60
2.3	Panorama actual de la industria solar	68
2.3.1	Características de la industria solar mexicana	71
2.4	Sistema de energía solar para temperaturas inferiores a los 100°C	74

CAPITULO III

DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA PARA CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA EN UNA INDUSTRIA TEXTIL TIPICA

3.1	Generalidades	79
3.2	Energía térmica requerida en una planta típica de acabados textiles	79
3.3	Descripción de los sistemas convencionales	97
3.4	Delimitación del problema	97
5	Conceptualización del sistema	102

3.5.1	Descripción del sistema solar denominado A	103
3.5.2	Descripción del sistema solar denominado B	107
3.6	Dimensionamiento preliminar	111
3.6.1	Dimensionamiento preliminar del sistema A	115
3.6.2	Dimensionamiento preliminar del sistema B	117
3.7	Dimensionamiento optimizado	121
3.7.1	Metodología de análisis	121
3.7.2	Simulación del sistema A	121
3.7.3	Simulación del sistema B	133
3.8	Resumen de características de los sistemas A y B	139
3.9	Cálculo del equipo auxiliar de los sistemas A y B	140
3.10	La industria textil como mercado potencial de captadores solares	141

CAPITULO IV

EVALUACION DE ALTERNATIVAS

4.1	Generalidades	145
4.2	Precios de equipo y combustibles	145
4.2.1	Precios históricos y proyectados de los combustibles	145
4.2.2	Precios del equipo	150
4.3	Metodología de evaluación	156
4.4	Resultados de la evaluación	159

CONCLUSIONES	166
APENDICE A	169
PRODUCCION BRUTA ANUAL PROMEDIO DE UNA EMPRESA TIPO DE ACABADOS TEXTILES DE ALGODON, POR ENTIDAD FEDERATIVA	
APENDICE B	173
PRINCIPIOS BASICOS PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON COLECTORES SOLARES DE PLACA PLANA	
APENDICE C	190
ESTRUCTURA BASICA DEL PAQUETE DE SIMULACION	
APENDICE D	201
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFIA	207

RESUMEN

El presente trabajo es el resultado del estudio teórico de las posibilidades de implantar un sistema de calentamiento de agua mediante energía solar en la industria textil nacional, desde el punto de vista técnico-económico.

Este trabajo, de alguna manera pretende dar una alternativa para disminuir el consumo de combustibles convencionales en una rama de la industria, como lo es la textil. El estudio se enfoca en ésta industria, pues investigaciones previas indican que hay posibilidades de aplicar la energía solar, ya que las operaciones textiles utilizan cargas térmicas bajas.

En la parte introductoria se indican los objetivos que se persiguen en este trabajo, el cual se desarrolló de la siguiente forma:

En el primer capítulo se dá un panorama general de la industria textil. Se mencionan las operaciones por las que pasa una fibra textil hasta ser convertida en tela. Se reportan estadísticas básicas de las fibras textiles, en cuanto a producción y consumo, así como la distribución geográfica de esta industria.

El capítulo también se dedica a revisar la demanda energética

y la fuente de esta en dicha industria, encontrándose que el consumo de energía de la industria textil es eléctrica y calorífica. También se realiza un balance energético.

Es en este capítulo donde se visualiza que es posible utilizar la energía solar para satisfacer los requerimientos de energía en la rama de acabados textiles, básicamente energía calorífica (agua caliente).

Debido a que los sistemas de calentamiento de agua a base de energía solar tienen características que los hacen diferentes de los sistemas convencionales, y a que la tecnología asociada a los sistemas solares es en general poco conocida en comparación con otras tecnologías, el segundo capítulo se dedica a describir un sistema de energía solar enfocado a aplicaciones de baja temperatura, describiéndose la tecnología adecuada para dichos sistemas, que son básicamente colectores de placa plana. Además se presenta un panorama de la industria solar del País. Para ello se realizó una encuesta a los principales fabricantes de colectores de placa plana, que son los dispositivos solares más comercializados en la actualidad.

En el tercer capítulo se delimita el problema de este estudio, el cual consiste básicamente en proporcionar la energía térmica que requiere una planta tipo de acabados textiles, mediante energía solar.

Se describe el sistema que actualmente se utiliza en la

industria textil para proporcionar dicha energía (convencionales). También se proponen dos sistemas solares; uno híbrido (solar-convencional) y otro totalmente solar.

Se hace un dimensionamiento preliminar de ambos sistemas, de la parte solar. Para ello se utilizó un programa de cómputo sobre calentadores solares. Posteriormente, al variar ciertos parámetros que se involucran en el sistema se llegó a un dimensionamiento óptimo.

Por último se reportan las características del equipo auxiliar de los sistemas solares.

Finalmente en el capítulo cuatro se hace una evaluación económica de las alternativas solares y convencionales (diesel y gas L.P) para comparar dichos sistemas entre si. Para tal fin se investigaron costos de todos los equipos involucrados en los cuatro sistemas. Dicha comparación se basa en el costo por kilowatt-hora generado por cada uno de los sistemas.

Por último se selecciona el sistema solar óptimo desde el punto de vista económico para las necesidades de la planta tipo.

Dentro de las conclusiones se tiene que los sistemas de calentamiento de agua a base de energía solar, son técnicamente factibles, pero que sus costos iniciales son elevados comparados con sistemas convencionales de la misma capacidad. Esto no quiere

decir que su potencial para sustituir a los equipos convencionales sea nulo.

Los sistemas solares operando con colectores de placa plana parecen ser los mas viables para lograr competitividad económica con los sistemas convencionales a mas corto plazo.

Los resultados indican que a partir de 1991 los sistemas solares de precalentamiento de agua pueden desplazar a los sistemas convencionales, siempre y cuando los precios de los combustibles tradicionales sigan el comportamiento histórico.

LISTA DE FIGURAS

PAGINA

1.1	Diagrama general de la industria textil.	16
1.2	Diagrama de bloques del proceso de algodón.	20
1.3	Diagrama de bloques del proceso de lana.	21
1.4	Diagrama de bloques del proceso de acabado de fibras químicas.	22
1.5	Producción nacional de fibras.	28
1.6	Producción nacional de fibras blandas.	31
1.7	Consumo nacional aparente de fibras blandas.	32
1.8	Consumo y producción de fibras químicas.	33
1.9	Consumo y producción de algodón.	34
1.10	Consumo y producción de lana.	35
1.11	Concentración de la industria textil en México.	37
1.12	Fuentes de energía utilizadas en la industria textil.	40
1.13a	Esquema energético actual de la industria textil.	44
1.13b	Balace energético actual de la industria textil.	45
1.14a	Esquema energético propuesto para la industria textil.	50
1.14b	Balace energético de la industria textil con el esquema propuesto	51
2.1	Tecnologías para el aprovechamiento directo de la energía solar.	55
2.2	Sistemas para almacenamiento de energía.	56
2.3	Subsistemas que integran el sistema solar de aprovechamiento de energía.	61

2.4	Sistemas de conversión termodinámica.	65
2.5	Diagrama del sistema solar para temperaturas menores a 100°C.	75
2.6	Partes básicas de un colector de placa plana.	76
3.1	Proceso general de acabado textil.	82
3.2a	Proceso de acabado para tela cruda afelpada.	83
3.2b	Proceso de acabado para tela cruda de bramante.	84
3.2c	Proceso de acabado para tela cruda de estampe.	85
3.2d	Proceso de acabado para gabardina cruda.	86
3.2e	Proceso de acabado para tela cruda de popelina.	87
3.3	Distribución de temperaturas para el agua utilizada en el proceso de acabado de la industria textil.	90
3.4	Consumo de agua a 65°C por kg. de producto en una planta típica de acabados.	93
3.5	Consumo de agua a 80°C por kg. de producto en una planta típica de acabados.	94
3.6	Consumo de agua a 93°C por kg. de producto en una planta típica de acabados.	95
3.7	Consumo energético por kg. de producto en un día de trabajo para una planta típica de acabados.	96
3.8	Períodos en que se utiliza el agua a distintas temperaturas en un día de trabajo.	101
3.9a	Sistema de energía solar para precalentamiento de agua (sistema A).	104
3.10a	Sistema de energía solar para calentamiento de agua (sistema B).	107
3.11	Temperaturas finales del sistema, con distintas áreas de captación en todos los meses del año.	116
3.12	Temperaturas finales del sistema para el segundo banco de captadores.	119

3.13	Temperaturas finales del sistema para el tercer banco de captadores.	120
3.14	Temperaturas finales del sistema en función del ángulo de inclinación de los colectores.	126
3.15	Temperaturas finales del sistema con variables optimizadas.	131
3.16	Reajuste del área de captación del sistema A.	132
3.17	Temperaturas finales en los bancos de captación del sistema solar B.	135
4.1	Datos histórico y proyectados de los precios de gas licuado.	148
4.2	Datos históricos y proyectados de diesel.	149
4.3	Proyección de los costos por kwatt-h generado por los distintos sistemas.	162
4.4	Precio por kwatt-h generado por el sistema "A", a diferentes áreas de captación.	165

LISTA DE TABLAS

PAGINA

1.1	Producción por entidad federativa de acabados textiles de algodón.	38
1.2	Consumo de energía en la industria textil en 1982.	41
2.1	Clasificación de los colectores solares.	64
2.2	Fábricas de colectores solares planos.	70
2.3	Características generales de la industria solar mexicana.	73
3.1	Variables en las operaciones de acabado textil.	86
3.2	Turnos y operaciones en una planta típica de acabados textiles.	92
3.3	Radiación y temperaturas promedio para la ciudad de Puebla.	114
3.4	Diferencia de temperaturas en el tanque en función del coeficiente global de pérdidas térmicas.	123
3.5	Temperatura final del agua en el tanque de recirculación en función del flujo de agua a través de los captadores.	127
3.6	Temperatura final del sistema con captadores de diseño distinto.	128
3.7	Diferencia de temperaturas en el tanque en función del coeficiente global de pérdidas térmicas (2do. banco de captadores).	136
3.8	Diferencia de temperaturas en el tanque en función del coeficiente global de pérdidas térmicas (3er. banco de captadores).	138
3.9	Resultados del dimensionamiento del equipo auxiliar de los sistemas A y B.	142
4.1	Precios históricos y proyectados de combustibles.	147

4.2	Costos desglosados del sistema "A".	151
4.3	Costos desglosados del sistema "B".	152
4.4	Costos desglosados del sistema convencional "C".	154
4.5	Costos desglosados del sistema convencional "D".	155
4.6	Datos utilizados para la evaluación de los sistemas.	160
4.7	Costo por Kwatt-Hora de energía util proporcionada por los sistemas	161

INTRODUCCION

Actualmente el desarrollo tecnológico ha alcanzado progresos notables a la par con el consumo de energéticos convencionales. El gas natural y el petróleo se encarecen progresivamente, por lo que surgen y se agudizan problemas económicos a nivel mundial.

Es necesario entonces implantar posibles fuentes de energía que hasta hace poco se habían olvidado, tales como la energía solar, eólica y biomasa entre otras.

La fuente de energía en la que se vislumbran grandes posibilidades y que representa una alternativa potencial para el país dada su situación geográfica, es la energía solar.

Desde aproximadamente 1975 se han estado impulsando las investigaciones y comercialización de los sistemas solares enfocados principalmente al sector doméstico y recreación. Los trabajos dirigidos al sector industrial se han limitado a la investigación y aplicación a nivel de planta piloto. Estos trabajos son de suma importancia, no solo porque se analizan las posibilidades técnicas de la aplicación de la energía solar a este sector, sino que promueve la apertura de nuevos e importantes mercados para la industria solar.

El presente trabajo enfoca su estudio a la posibilidad de implantar un sistema de energía solar en la industria textil, dado

que sus requerimientos de energía son: agua a temperaturas menores a 100°C y vapor de media.

La tecnología en la que se posee amplia experiencia nacional en el diseño, construcción y normalización es en la de colectores de placa plana, que podría satisfacer esta demanda de energía calorífica de la industria textil.

Los objetivos que se persiguen en este trabajo son:

- Conocer las fuentes de energía que satisfacen la demanda energética actual de la industria textil.

- Determinar las operaciones de la industria textil donde se puedan satisfacer los requerimientos de energía con un sistema de energía solar.

- Proponer un sistema de energía solar que satisfaga los requerimientos de energía de una planta textil.

- Determinar el impacto económico de sistemas solares en la industria textil.

Para lograr estos objetivos se ha conformado el trabajo de la siguiente forma:

En el primer capítulo se analiza la situación a nivel nacional de la industria textil, así como la distribución del consumo de energía en dicha industria de acuerdo a las ramas que la conforman. En el segundo capítulo se mencionan los subsistemas que integran un sistema de aprovechamiento térmico de energía solar. También se hace un análisis de la situación actual de la industria solar nacional. En el capítulo tres se delimita el problema a estudiar, proponiéndose dos sistemas de calentamiento de agua que utilizan energía solar y se analiza el comportamiento de dichos sistemas, seleccionándose los valores de los parámetros que cumplen con los requerimientos del problema. Finalmente se hace una evaluación económica de los sistemas solares comparándose con la evaluación de dos sistemas convencionales.

CAPITULO I

LA INDUSTRIA TEXTIL EN MEXICO

1.1 Generalidades.

Por industria textil se entiende al conjunto de empresas y actividades que se dedican a la producción de hilos y telas, principalmente, a partir de fibras naturales y químicas.

La importancia de esta industria estriba en su gran capacidad para generar empleos y el carácter básico y prioritario de sus productos. En 1984 ocupó al 12% de la población económicamente activa de la industria manufacturera y su participación en el Producto Interno Bruto manufacturero fue de 9.31 para el mismo año (1).

1.2 Clasificación de Fibras Textiles.

Las fibras son polímeros que se caracterizan por una gran resistencia tensil a lo largo de la fibra. Una fibra debe tener una forma molecular lineal que permita un alineamiento paralelo, y presencia de atracciones

moleculares que mantengan esa alineación. Estas fuerzas pueden ser de puentes de hidrógeno, dipolo-dipolo o de Van Der Waals dependiendo del polímero de que se trate.

Las fibras se clasifican en fibras naturales, artificiales y sintéticas.

Las fibras naturales pueden ser de origen animal (lana, pelo, seda) o de origen vegetal (algodón, lino, yute). Estas fibras se dan en la naturaleza como tal.

Las fibras artificiales incluyen el rayón de viscosa, diversas fibras de proteína como aralac (obtenida de la caseína), el ardil (obtenida del cacahuate) y la vícara (obtenida de la zeína). En estas fibras se mezcla un polímero natural como la celulosa o una proteína en estado disuelto y luego se hila en hilos delgados.

Las fibras sintéticas incluyen el poliéster, la poliamida, el acrílico, y otras. En estas fibras se hace primero un polímero sintético por un procedimiento de polimerización o policondensación; este polímero desde el estado fundido o en solución se transforma en fibra.

Las fibras también pueden clasificarse en fibras duras (henequén, ixtle de lechuguilla) y fibras blandas (algodón, lana, fibras químicas).

Manufactura de Fibras Textiles.

El proceso de manufactura en la industria textil comprende tres grandes actividades, como se muestra en la fig. 1.1:

- Obtención y preparación de las fibras.
- Procesamiento mecánico de las mismas para convertirlas en hilados y tejidos.
- Transformación de los productos en otros de color, brillo, aspecto o tacto distintos.

La obtención y preparación de fibras solo atañe condicionalmente y en extensión limitada a la industria textil propiamente dicha, pues en gran parte corresponde a la agricultura, a la ganadería y a la industria química. Las operaciones de esta actividad que pueden ubicarse dentro de la industria textil son el cardado y peinado, y el lavado para el caso de la lana.

Por lo general el procesamiento mecánico de las fibras constituye el fundamento de la industria textil; las operaciones que se ubican dentro de esta rama son el hilado y el tejido.

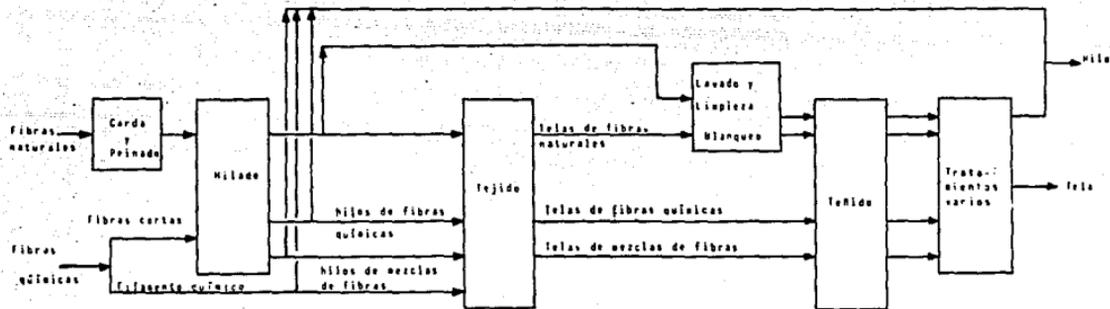


Fig. 1.1 Diagrama General de la Industria Textil

La transformación de los productos se realiza en la empresa de acabados de telas. Ahí se producen una gran variedad de artículos mediante procesos físicos y químicos especificados. Así los materiales elaborados en las salas de tejidos en forma de crudos, son transformados en calidades y cualidades especiales de acabados. Los acabados se diferencian unos de otros por los tonos, los colores, los matices y por el tipo de ligamento y tejido, que en sí determinan los usos a que serán destinados.

Las operaciones que caen en esta rama son el descruce y otras operaciones de limpieza, el mercerizado, el blanqueado, tratamientos varios como la carbonización y el batanado de la lana, el desengomado de la seda, etc., el teñido y estampado, y los acabados, incluyendo el calandrado, el perchado, la sanforización, el secado y otras.

Estas operaciones se clasifican en mecánicas y químicas, dependiendo del tipo de operación que predomine. Dentro de las mecánicas se pueden ubicar a la carda, el peinado, el hilado y el tejido; las químicas abarcan el lavado, las operaciones de limpieza y blanqueado, los tratamientos varios, y el teñido y estampado.

1.3.1 Operaciones mecánicas.

Las operaciones mecánicas se realizan en máquinas especiales y no necesitan, por lo general, de la adición de alguna sustancia.

a) Cardado y Peinado.

El cardado se efectúa en máquinas llamadas cardas y tiene por objetivo separar las fibras individuales para formarlas en posición casi paralela, eliminar motas e impurezas y producir una capa fina uniforme de fibras. En la operación de peinado se produce la hilaza compacta fina y suave, por eliminación de fibras cortas. Las operaciones antes mencionadas son siempre previas al teñido en mecha y para fibras naturales.

b) Hilado.

El hilado, otra operación mecánica previa al tinte, tiene como objetivo estirar y torcer las fibras procedentes del peinado, juntándolas para producir hilo o hilaza. El torcido de la hilaza se hace para preparar el filamento crudo continuo para su uso en la manufactura de los tejidos.

c) Tejido.

Aquí se convierten los hilados en tejidos. En esta operación se inician los tratamientos químicos, empleados en operaciones aun consideradas como mecánicas. Las sustancias que se aplican en el engomado son lubricantes, apresto y otros tratamientos para facilitar el tejido.

1.3.2 Operaciones químicas.

A las operaciones químicas les corresponde la tarea de uniformizar toda clase de materias o productos textiles en forma definitiva y propia para el mercado, en lo que se refiere a color, brillo, tacto, carga, etc. Dichas operaciones se inician al eliminar la materia extraña del tejido o de las telas crudas con el fin de obtener un teñido uniforme y de gran brillantez. Esto se consigue en operaciones previas al tinte que incluyen el descruce, otras operaciones de limpieza (desengrasado, desaprestado, carbonización, mercerización) y el blanqueado. El número y orden de estas operaciones depende de la clase de fibra, las características deseadas del producto terminado y otros factores, como se muestra en las figs. 1.2 a 1.4.

a) Descruce.

El descruce de algodón se realiza generalmente después

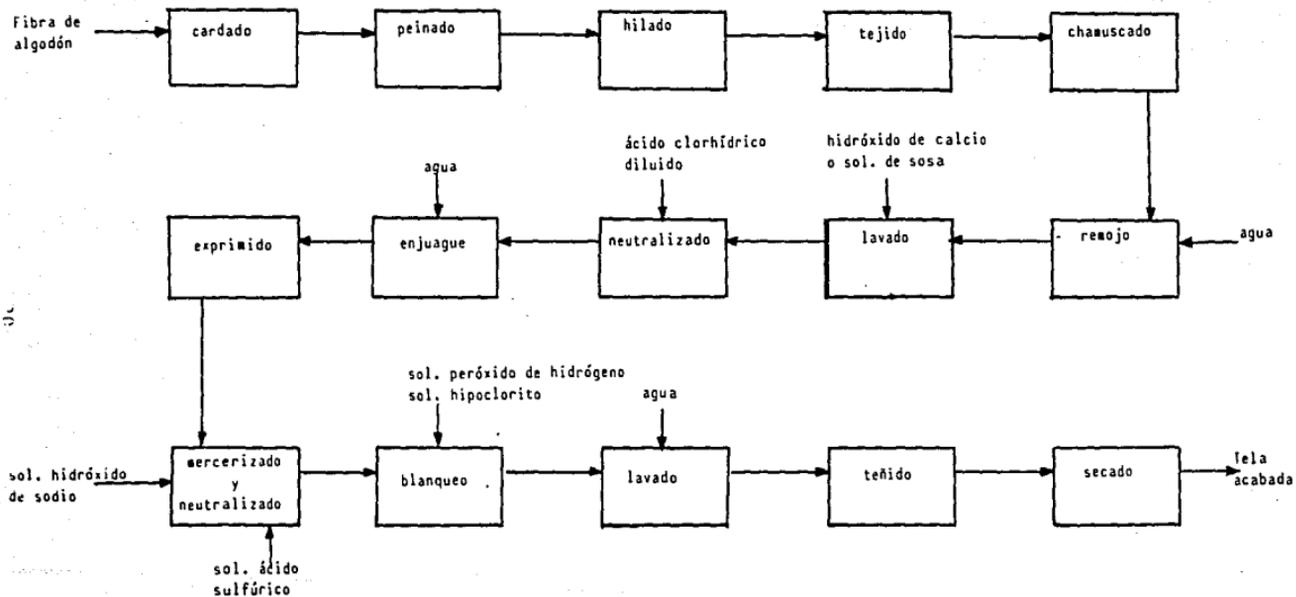


Fig. 1.2 Diagrama de Bloques del Proceso de Algodón 3

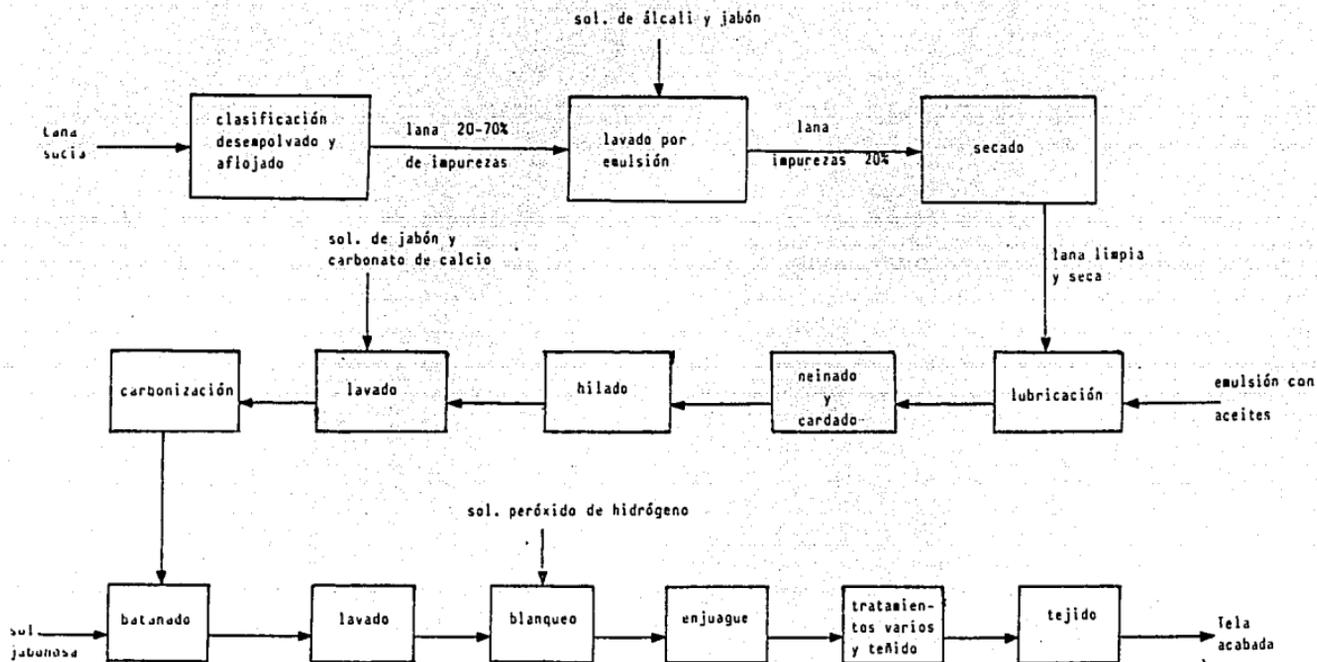


Fig. 1.3 Diagrama de Bloques del Proceso de la Lana 3

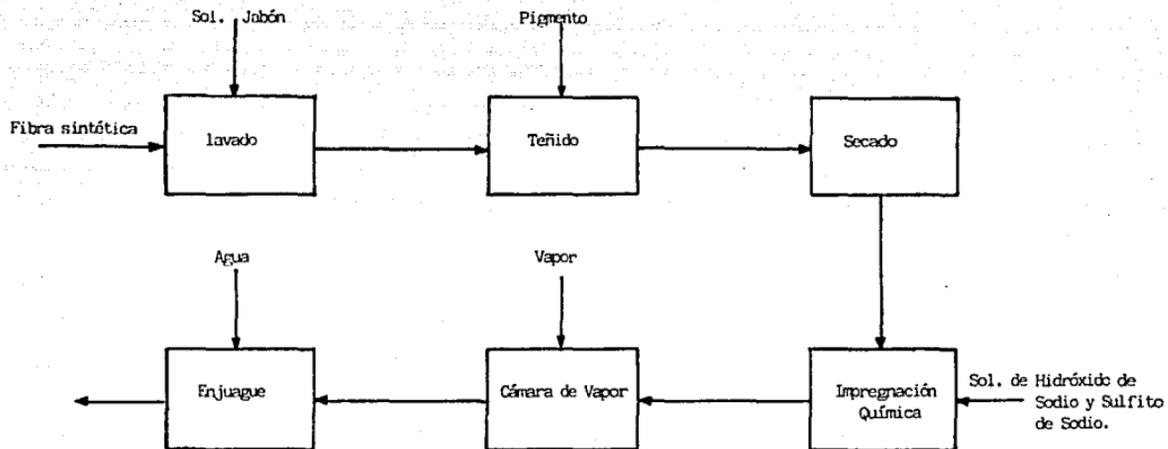


Fig. 1.4 Diagrama de Bloques del Proceso de Acabado de Fibras Químicas 3

del tejido y antes del blanqueado, con una solución de sosa caústica a temperaturas de 60 a 100°C. La lana se lava antes de cardarla y en estado suelto, debido a la gran cantidad de impurezas que tiene. Esto se realiza con soluciones jabonosas y NaOH a 55°C o menos; en tanto que las fibras químicas se lavan inmediatamente después de su preparación con solución jabonosa neutra a bajas temperaturas.

b) Mercerizado.

La mercerización tiene por objeto dar a las fibras de algodón el brillo primitivo, resistencia y cierta sedosidad mediante un proceso químico. Para esto se aplica en estado de tensión una solución de hidróxido de sodio y agua al 20%, a temperatura ambiente, seguido de un enjuague y neutralización.

c) Blanqueo.

Para librar a las fibras hiladas y tejidas del color natural y de los materiales colorantes y aditivos que se les han incorporado en el curso de la fabricación, así como para obtener un blanco puro y para facilitar el teñido uniforme, los productos de fibras naturales se blanquean con diversas soluciones. Para el algodón se utiliza hipoclorito de sodio a temperaturas ordinarias, o peróxido

de hidrógeno a temperaturas de 80 a 85°C. Para la lana se utiliza dióxido de azufre y peróxido de hidrógeno a 50°C. Las fibras químicas raramente se blanquean.

d) Teñido y estampado.

El teñido y estampado son operaciones complementarias por las que se perfecciona el tejido para su uso final. El teñido del algodón y el rayón se hace de varias formas, que son la directa, por indantrenos (compuesto orgánico, colorante de alta fijación), por naftoles y reactivos. Para teñir directamente se mezcla agua neutra a 60°C con un colorante. En esta mezcla se introduce el hilo o tejido hasta alcanzar el tono deseado. Posteriormente el hilo o tejido se enjuaga con agua a 80°C, se exprime y se seca. El teñido por medio de indantrenos se hace disolviendo la pasta de éste en una tina de agua donde se introduce la tela, posteriormente la tela teñida se pasa a un medio alcalino para reducir el colorante. Para teñir con naftoles se procede primero a fijar el componente naftol sobre la fibra en medio alcalino, en una segunda operación se une el naftol con colorantes diazotados, resultando el colorante azoico. El teñido por reactivos es un método relativamente moderno. En este método los colorantes reaccionan con las fibras, logrando uniones del tipo covalente entre el colorante y la fibra.

El teñido de las fibras sintéticas es mas problemático que el de las fibras naturales. Ya que la mayoría de las fibras sintéticas son hidrófobas, es necesario utilizar soluciones a temperaturas arriba del punto de ebullición del agua. Por ejemplo, para el acetato de celulosa y nylon son necesarias temperaturas de 80 a 88°C y se utilizan técnicas convencionales de teñido en tina; sin embargo, para el orlón, el acrilán y el dacrón, se necesitan temperaturas de 90 a 97°C.

El estampado de tejidos se puede considerar como una variedad de teñido localizada, que produce sobre la superficie de una tela un patrón o diseño. Esto se logra por medio de varias técnicas que incluyen:

- Una solución o dispersión acuosa colorante.
- Disolventes, hidromiscibles higroscópicos para aumentar la solubilidad del colorante y absorber la humedad durante el tratamiento con vapor.
- Una goma de impresión o espesador que de un contorno nítido y cubrimiento uniforme del diseño estampa.
- Sustancias químicas auxiliares.

e) Acabados.

El acabado se aplica solo a los procesos químicos ideados para quitar arrugas e irregularidades a las telas, y para imprimir dibujos y efectos especiales. También se utilizan en el caso de operaciones en que productos químicos distintos de los colorantes se aplican a los tejidos. Casi todos los textiles están sujetos a alguna operación de acabado, ya sea de orden mecánico, químico, o de ambas clases.

Por ejemplo, el apresto consiste en una serie de procesos diversos que comunican al tejido su aspecto externo definitivo. Generalmente se aplican a las telas o hilos, gomas y otros materiales que les dan cuerpo

1.4 Situación de la Industria Textil Nacional.

Las estadísticas básicas de la industria textil (1), indican que su participación dentro del Producto Interno Bruto (PIB) total nacional ha disminuido de 2.6 a 2.3 en el periodo de 1975 a 1985, mientras que su contribución al PIB manufacturero fue de 11.1 para 1975 y de 9.2 para 1985. La participación de la industria textil dentro del valor bruto de la producción manufacturera fue del 10% para 1975 y del 8.6% para 1984. La tasa de crecimiento media anual para

este mismo periodo es de 4.65%. Su participación dentro del sector manufacturero con respecto al personal ocupado fue de 13.5 y 12% para los años 1975 y 1985, respectivamente.

De aquí se deduce que esta industria tiende a disminuir su participación en la economía nacional. Sin embargo su participación dentro de la industria manufacturera sigue siendo de suma importancia (4), puesto que ocupa el cuarto lugar dentro de este sector.

1.4.1 Materias primas.

En la fig. 1.5, se muestra que la producción de fibras duras en los últimos años ha tenido un comportamiento irregular, con periodos de alta producción como en 1979 de baja producción como en 1982. A pesar de este comportamiento irregular el crecimiento de la producción para el periodo de 1976 a 1985 fue de 4.91%. La producción de fibras blandas está muy por encima de la correspondiente a las fibras duras. Por ejemplo, en el año de 1985, la producción de fibras blandas representó el 92.61% de la producción nacional total de fibras, siendo este tipo de fibras la principal materia prima de la industria textil.

Respecto a las fibras blandas, las estadísticas indican lo siguiente:

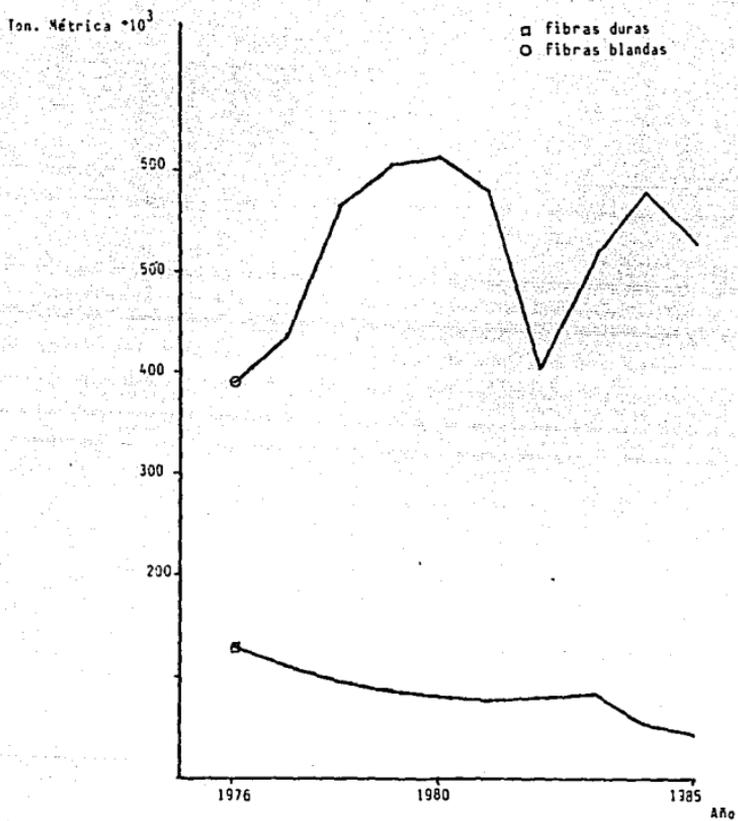


Fig. 1.5 Producción Nacional de Fibras 1

El país ha producido en los últimos años un alto porcentaje de fibras químicas y algodón superando notablemente la producción de lana como se muestra en la fig. 1.6. El porcentaje de participación en la producción de fibras blandas para el año de 1976 fue de 53.11% para el algodón, 34.76% para fibras químicas y 1.27% para la lana; sin embargo esta participación ha ido cambiando de tal forma que en el año de 1981 la producción de fibras químicas fue mayor que la del algodón debido a que en ese año la producción del algodón decayó considerablemente mientras que la producción de fibras químicas ha conservado su comportamiento, de tal forma, que para el año de 1985 la participación de las fibras fue de 50.12% para fibras químicas, 40.97% para el algodón y 7.42% para la lana. En la fig. 1.7 se observa que en los últimos años el país ha consumido gran cantidad de fibras químicas y algodón, respectivamente, teniendo un consumo muy bajo la lana.

En las figs. 1.8-1.10 de consumo y producción de fibras blandas, se observa en las fibras químicas que en los años de 1976 a 1980 el país producía lo que consumía, a partir de 1981 la producción de fibras químicas excedió el consumo nacional. En los últimos años la producción de algodón ha estado por encima del consumo, sin embargo según la ref. (40) se importa algodón de fibra larga para satisfacer la demanda. Caso contrario es el de la lana, que en los últimos años su consumo ha excedido a la producción, por lo

que el país se ha visto en la necesidad de importarla.

Ton. Métrica *10³

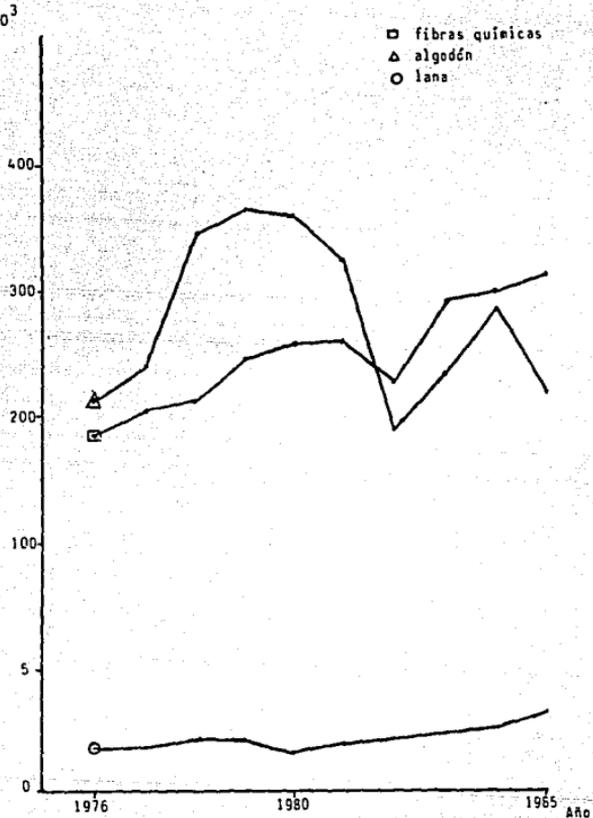


Fig. 1.6 Producción Nacional de Fibras Blandas 1

Ton. Métrica *10³

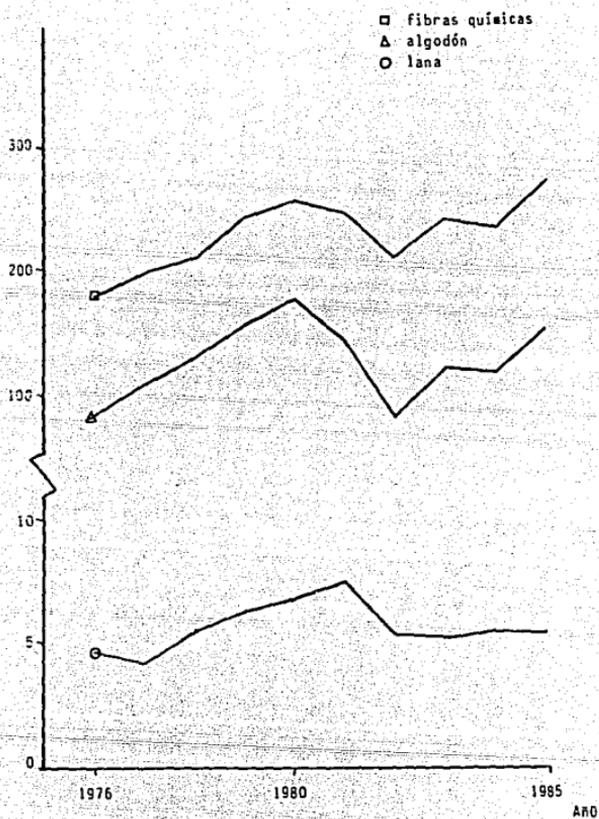


Fig. 1.7 Consumo Nacional Aparente de Fibras Blandas 1

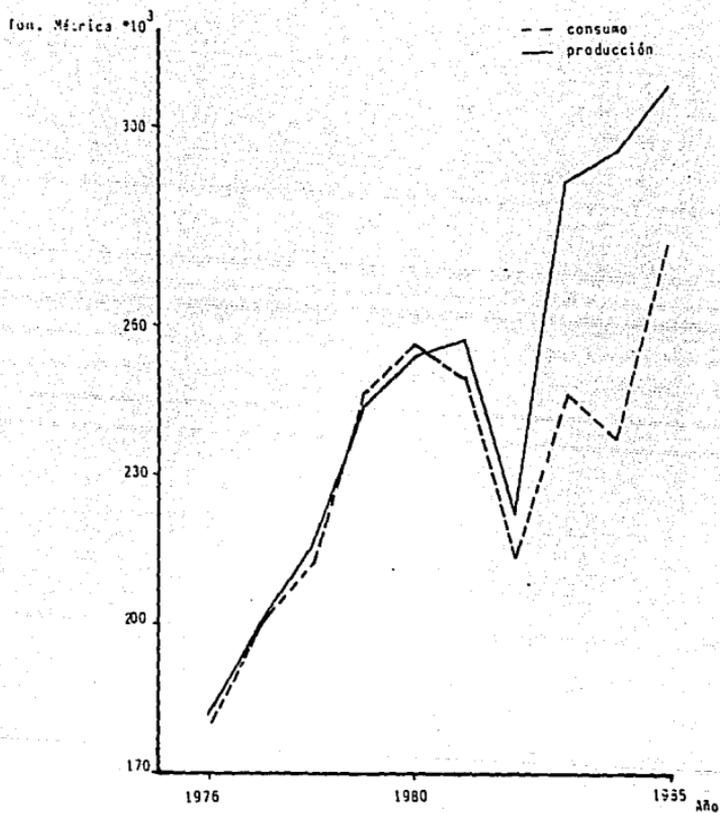


Fig. 1.8 Consumo y Producción de Fibras Químicas 1

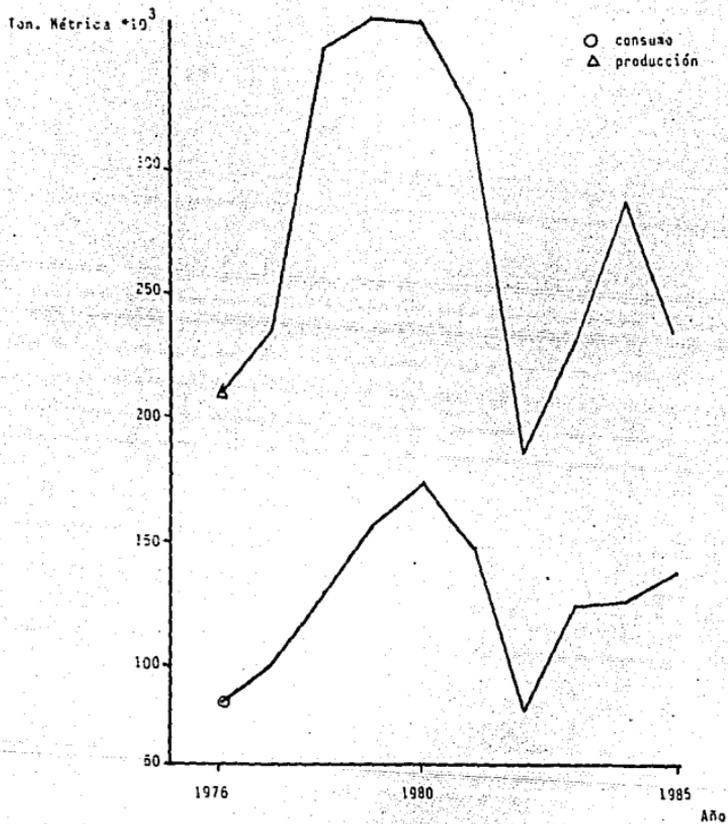


Fig. 1.9 Consumo y Producción de Algodón 1

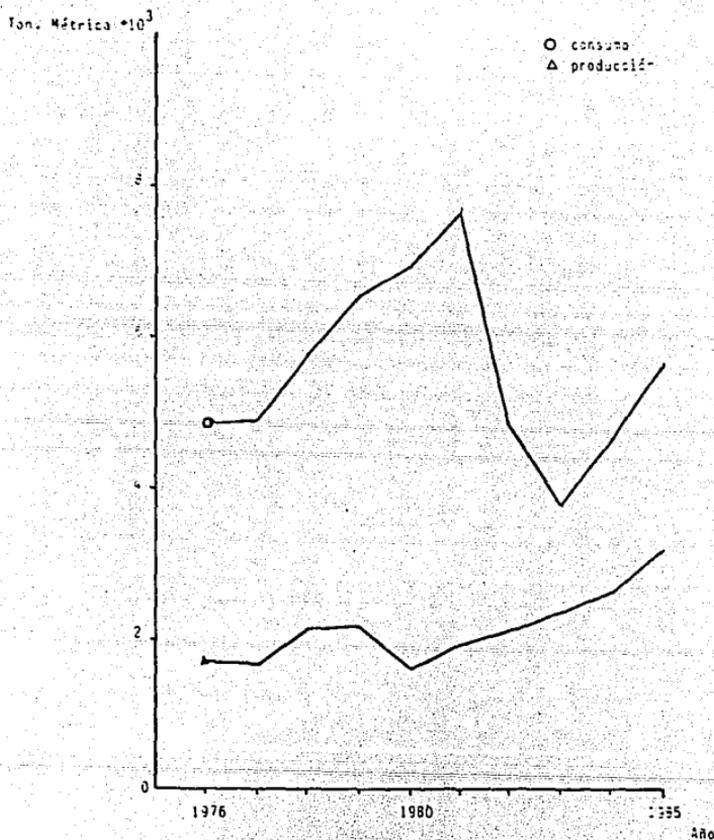


Fig. 1.10 Consumo y Producción de Lana 1

1.4.2 Distribución geográfica de la industria textil en México.

La industria textil está ubicada principalmente, como se observa en la fig. 1.11, en el valle de México. Del total, el Distrito Federal y el Estado de México cuentan con el 57%; Puebla con 17%; Jalisco y Guanajuato con 7%; Tlaxcala con 4% y los estados restantes con porcentajes muy bajos.

La rama de acabados textiles sigue el mismo patrón. Del total de la industria, por ejemplo para las telas de algodón se tiene, como se muestra en la tabla 1.1, que el valle de México participa con el 88.5% y la zona de Puebla y Tlaxcala con el 10%. La participación de los estados restantes es mínima.

1.5 Consumo Energético de la Industria Textil.

Durante el siglo XIX, en la industria textil predominaban los telares manuales (90% sobre los telares mecánicos), y es a finales de este siglo, con la utilización de la energía eléctrica, que se dan los primeros pasos en la mecanización y tecnificación de esta rama.

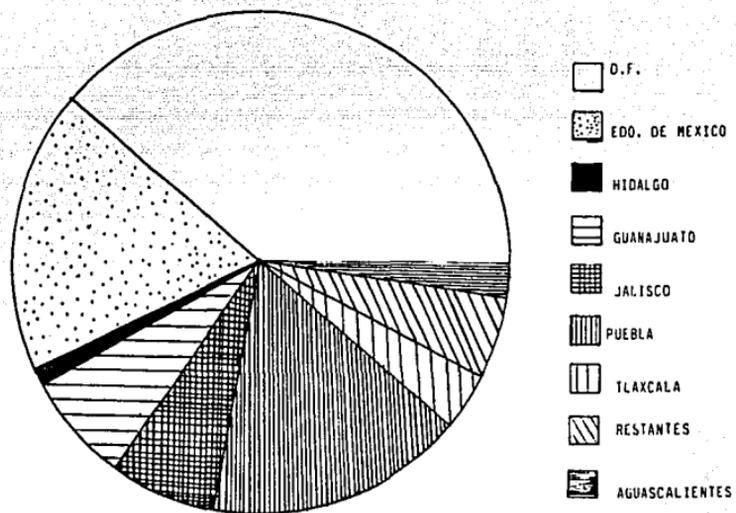


Fig. 1.11 Concentración de la industria textil en México (6)

Tabla 1.1 Producción por entidad federativa de acabados textiles de algodón. (apéndice A).

Entidad Federativa	Producción (ton./año)	Participación (%)
D. F.	14,741.60	39.5
México	18,058.50	49.0
Puebla	3,316.86	9.0
Tlaxcala	368.54	1.0
Chih., Gto. y N. L.	368.54	1.0
Jal., Mich. y Mor.	169.53	0.5

El consumo energético de la industria textil tiene relativa importancia en la demanda del sector industrial, superada por la siderúrgica, química, azúcar, cemento, minerometalúrgica y vidrio.

La energía utilizada en la industria textil es en forma eléctrica y calorífica principalmente. Como se observa en la fig. 1.12 las operaciones mecánicas usan la energía eléctrica que transforman en mecánica por medio de motores, para ser utilizada en las máquinas de carda, hilado y tejido, principalmente. Las fuentes principales de esta energía son los combustibles fósiles y la hidráulica.

Por otro lado en las operaciones químicas o de transformación utilizan vapor y agua caliente. La energía calorífica requerida para satisfacer estas necesidades es producida en calderas que trabajan con combustibles derivados del petróleo.

La industria textil consume principalmente energía eléctrica de la red de distribución, combustóleo, gas natural, diesel y gas licuado. En la tabla 1.2, se muestran los porcentajes promedio con los que participan cada uno de ellos.

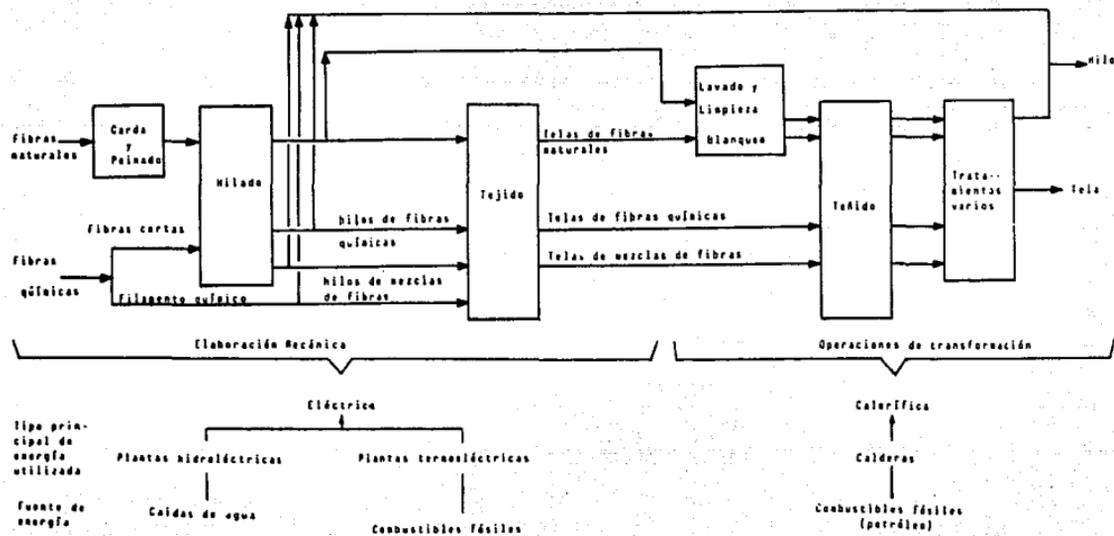


Fig. 1.12 Fuentes de Energía Utilizadas en la Industria Textil

Tabla 1.2 Consumo de energía de la industria textil en
1982 (7)

Combustible	Cantidad (kcal E9)	Contribución (%)
gas natural	176.39	16.24
gas licuado	24.48	2.25
combustóleo	195.91	18.04
diesel	84.17	7.75
energía eléctrica	605.26	55.72
total	1086.21	100.00

1.6 Balance Energético de la Industria Textil.

En la actualidad la industria textil presenta el esquema energético que se muestra en el diagrama de Sankev (fig. 1.13a). Este diagrama muestra en forma global la forma en que se distribuye la energía utilizada en la industria textil nacional.

El diagrama se elaboró a partir de datos proporcionados por el Instituto Mexicano del petróleo, de la encuesta que se realizó sobre el consumo de energía del sector industrial en 1982 (7). De aquí se obtuvieron las cantidades de energía eléctrica y de combustibles que se utilizan en la industria textil.

La información acerca de las condiciones de operación de los procesos fue proporcionada por comunicación personal mediante visitas realizadas a empresas textiles.

La eficiencia térmica total, o sea, la eficiencia combustible a vapor se calculó con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\text{calor aprovechado}}{\text{calor suministrado}} = \frac{W(H_v - H_1)}{(PC)(mc)}$$

Donde:

n = eficiencia del generador de vapor

W = peso del vapor producido por hora

H_2 = entalpia del vapor a la salida

H_1 = entalpia del agua a la entrada

PC = poder calorifico inferior

mc = masa del combustible

Se estima que los datos mostrados en los diagramas energéticos son correctos en el orden de magnitud mas no en el número.

Del total de la energía que entra a esta industria, el 56% corresponde a energía eléctrica, utilizada en máquinas y motores (no se hace énfasis en la distribución de esta energía ya que el trabajo está enfocado al análisis del consumo de energía calorífico).

La fig 1.13b, muestra el balance térmico actual de la industria textil. Para el suministro de energía calorífica se utiliza principalmente combustóleo y diesel, que se queman en calderas para generar vapor de baja y media. Parte de este vapor se utiliza directamente en el proceso y la otra para calentamiento de aire y agua. Algunas empresas aprovechan el calor del agua condensada que se obtiene después del uso de vapor y otras unicamente la enfrían para poder desecharla.

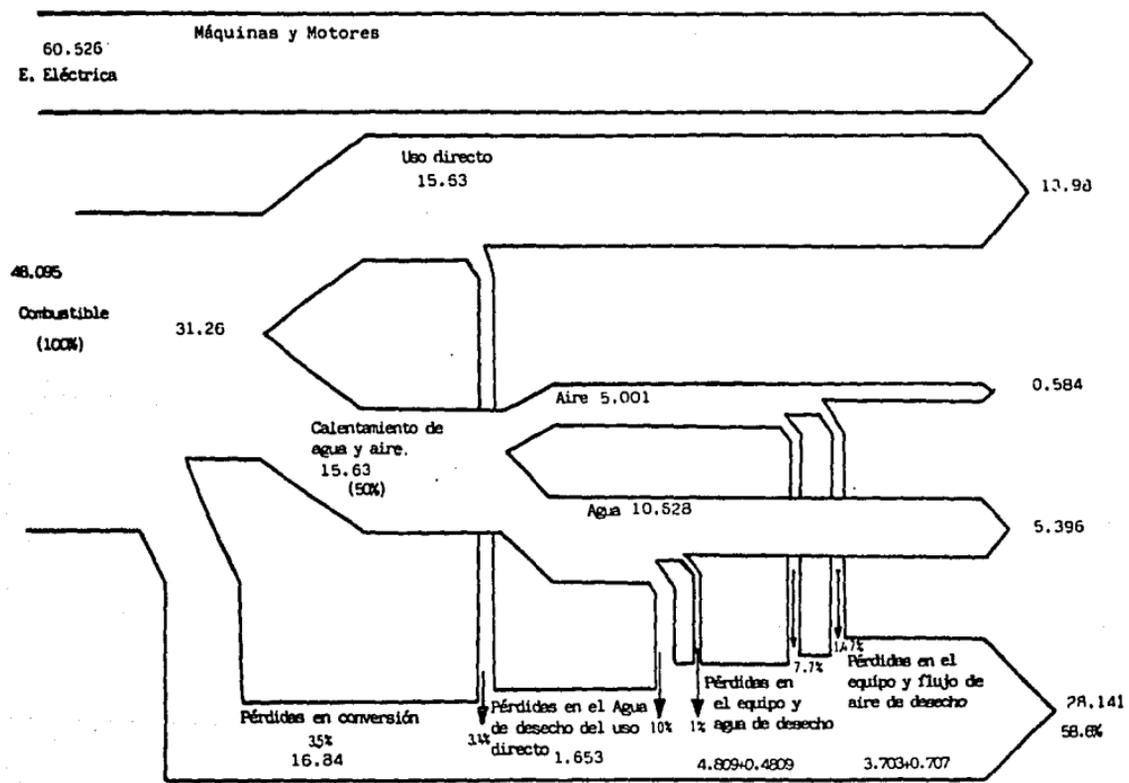


Fig. 1.13a Esquema Energético Actual de la Industria Textil (10¹⁰ Kcal)

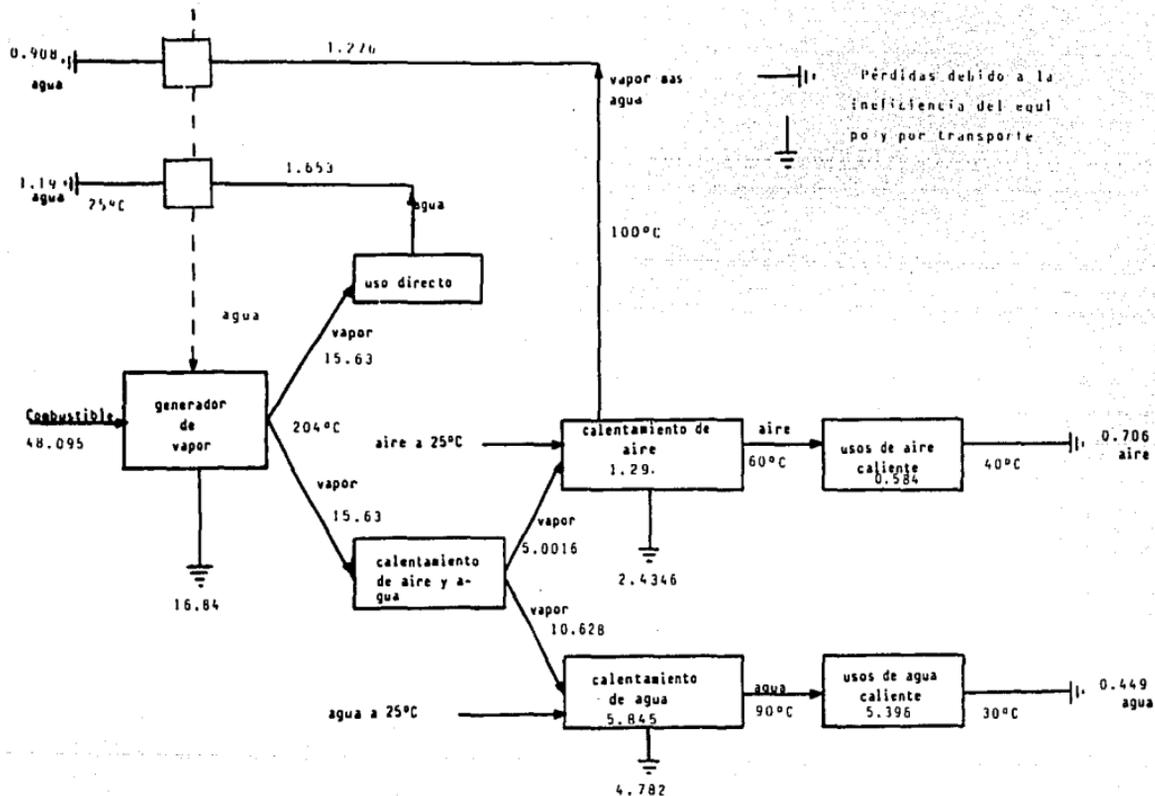


Fig. 1.13 b Balance Energético Actual de la Industria Textil (10^{10} kcal)

El calentamiento de aire se realiza por medio de ventiladores que hacen circular aire a través de tubos en los que fluye el vapor, el aire caliente se utiliza básicamente para operaciones de secado.

El calentamiento de agua se realiza en tinas de manera directa o indirecta. En caso del calentamiento directo el vapor se inyecta al agua por la parte inferior de la tina, hasta alcanzar la temperatura deseada; el calentamiento indirecto se hace mediante un serpentín o bayoneta que se encuentra en el fondo de la tina. El agua caliente se utiliza principalmente en operaciones de limpieza y acabado.

Las eficiencias de operación en las calderas oscilan entre el 60 y 70%, por lo que una cantidad apreciable de combustible es desaprovechado en esta primera etapa de conversión.

Las altas pérdidas de calor en la segunda etapa de conversión, donde se calientan agua y aire con vapor, ocurren dado que los equipos utilizados para este fin tienen bajas eficiencias de operación. A estas pérdidas se le suman las ocasionadas por fugas en el transporte del vapor.

De lo anterior se deriva que un 35% de la energía del combustible de entrada se desaprovecha únicamente por

pérdidas en la conversión.

Si a esto se añade que el aire y el agua de salida llevan una cantidad de energía apreciable, el resultado mostrado en el balance térmico es que del 100% de la energía que se suministra en la parte de acabados de la industria textil, el desperdicio total es del 58.50%; esto, traducido a barriles de petróleo crudo indica que de los 317,000 barriles de petróleo crudo equivalente que entran a la industria textil cada año se desperdician alrededor de 185,000 barriles.

Los diagramas anteriores pueden modificarse de dos maneras:

- a) Haciendo un mejor uso de la energía.
- b) Por sustitución de la fuente de energía.

Para mejorar el uso de la energía es necesario hacer una auditoría energética así como un balance termodinámico que permita detectar las operaciones mas ineficientes y aquellas en las que es posible mejorar la eficiencia, y llevar acabo las medidas necesarias para disminuir las ineficiencias del proceso.

Un mejor uso de la energía, independientemente del

proceso, se puede lograr al implementar las siguientes medidas:

- Disminuir fugas y pérdidas por transportes, aislando las tuberías y dando un mantenimiento periódico.
- Calibrar los sistemas de control del proceso.
- Calibrar las trampas de vapor.
- Dar mantenimiento periódico al equipo principal para evitar que las eficiencias disminuyan.
- Eliminar tecnología obsoleta de baja eficiencia.
- Haciendo una integración del uso de la energía.

Teniendo en cuenta algunas de las medidas anteriores el diagrama de Sankey se ve modificado como lo muestra la fig. 1.14a, en la que se ha sustituido el calentamiento de agua mediante vapor por un calentador de agua y se ha utilizado la energía de las corrientes de desecho para precalentar las corrientes de entrada a la caldera. Con este tipo de medidas el ahorro en combustibles sería de 210,000 barriles de petróleo crudo equivalente por año.

La sustitución de la fuente de energía no implica

necesariamente un mejor uso de ésta, sin embargo puede proponerse a fin de utilizar mejor los recursos de que se dispone. Para ésto es necesario analizar las fuentes aprovechables de energía disponibles, determinar las áreas del proceso donde se pueden utilizar y seleccionar la fuente y tecnología mas adecuada.

Retomando los diagramas energéticos, en las áreas de calentamiento de agua y aire se puede sustituir la fuente de energía convencional por energía solar dadas las condiciones de operación y la disponibilidad de esta fuente de energía que posee el País.

Es importante conocer cómo se modificaría el balance térmico al implementar este tipo de energía.

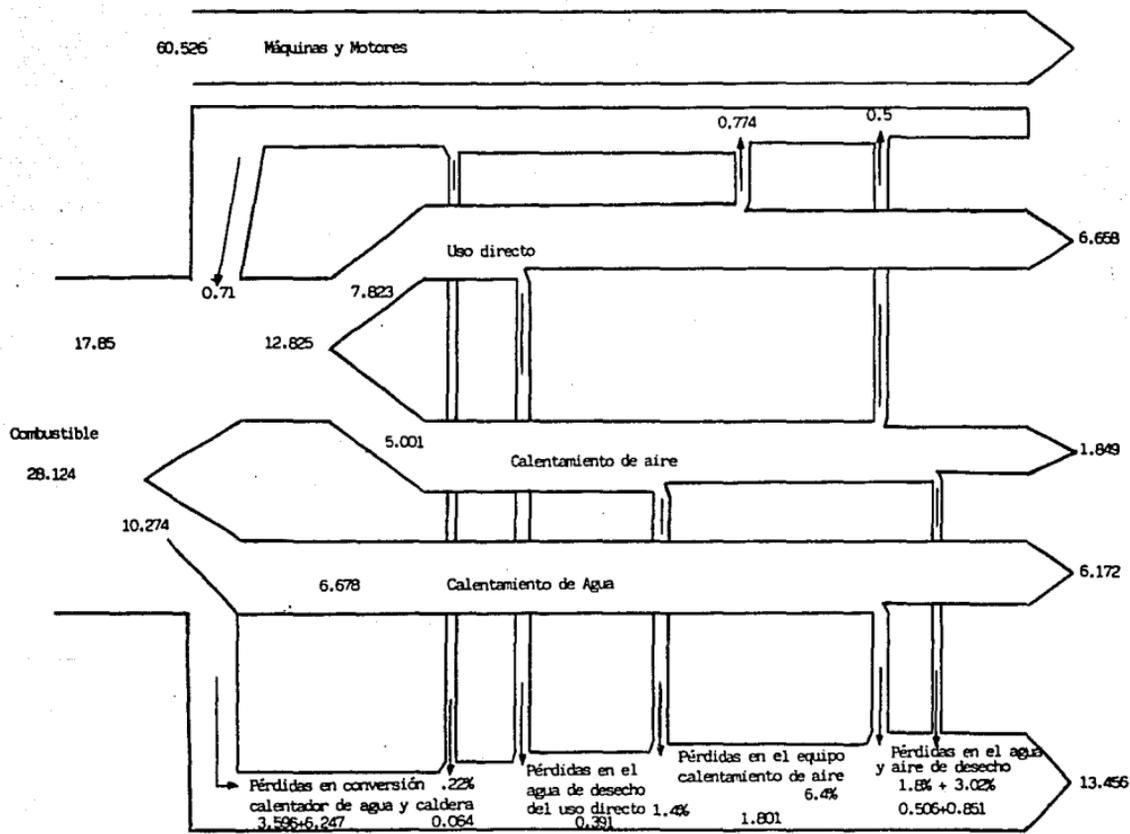


Fig. 1.14a Esquema Energético Propuesto para la Industria Textil. (10^6 Kcal)

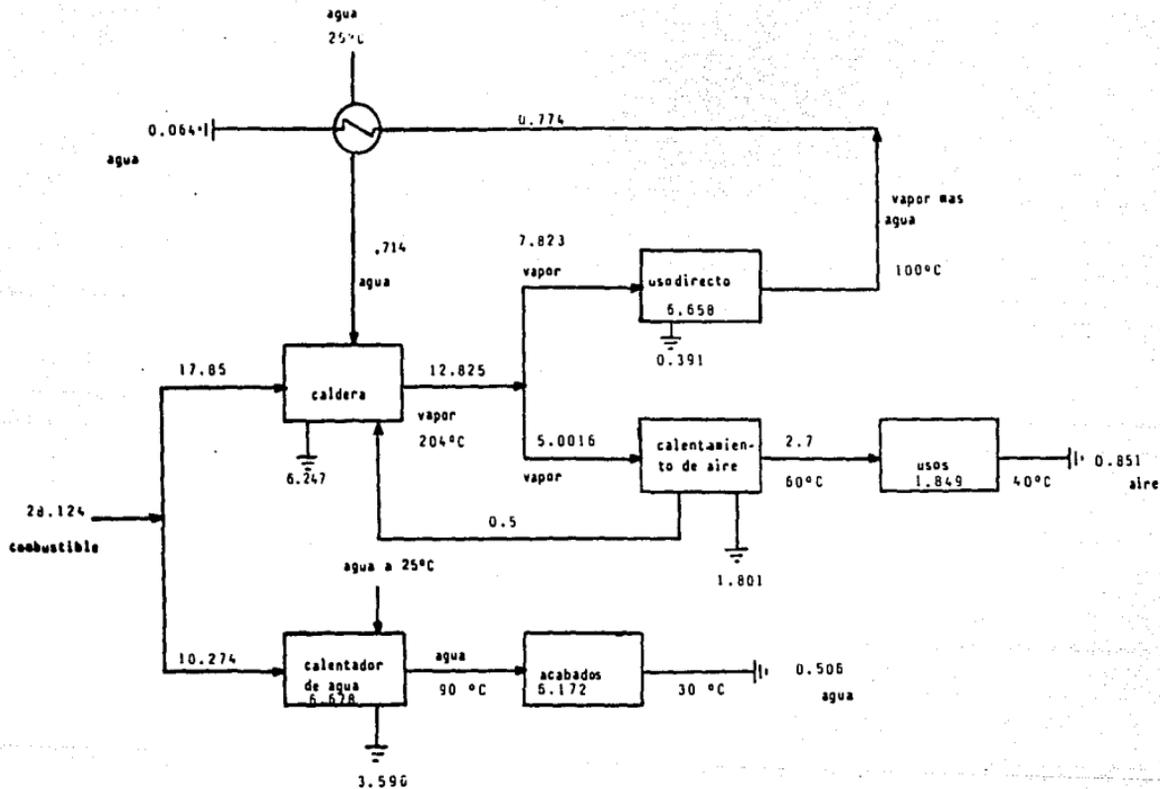


Fig. 1.14-b Balance Energético de la Industria Textil, con el esquema propuesto (10^{10} Kcal)

CAPITULO II

ALTERNATIVAS PARA EL CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA EN LA INDUSTRIA TEXTIL

2.1 Generalidades.

La energía solar que se recibe sobre la superficie terrestre puede convertirse en energía útil, calorífica, mecánica o eléctrica. El aprovechamiento de este tipo de energía requiere de sistemas de captación, transformación y almacenamiento especiales dadas las características particulares que presenta, como son su distribución geográfica, su baja densidad energética (energía recibida por unidad de área), su carácter intermitente con variaciones diarias y estacionales, y las debidas a las condiciones ambientales prevalientes.

Las tecnologías que existen para el aprovechamiento de la energía solar se clasifican, según el proceso de conversión de energía solar a energía útil, en cuatro tipos:

- Sistemas térmicos

- **Sistemas fotovoltaicos**

- **Procesos fotoquímicos**

- **Procesos termoiónicos**

Cada una de ellas esta asociada a una o mas formas de almacén de la energía captada, los sistemas de almacenamiento de energía que suelen utilizarse para este fin se clasifican, dependiendo de la energía que se extrae de ellos en:

- **Térmicos**

- **Mecánicos**

- **Eléctricos**

- **Combustibles (Químicos)**

En las figuras 2.1 y 2.2 se muestra el desglose de cada una de las tecnologías y sistemas de almacenamiento antes mencionados.

Para seleccionar la tecnología solar adecuada se deben tomar en cuenta, al igual que para cualquier opción energética, los tres puntos siguientes:

Fuente-Uso final-Tecnología

Pues la selección se debe analizar en forma integral al analizar el efecto que sobre estos tres puntos tienen diversos factores como el sector de uso, estado de la tecnología, requerimientos de infraestructura, nivel de inversión, escalas de producción y consideraciones sociales, económicas, ambientales y políticas.

En el capítulo anterior se ha expuesto la distribución y formas de la energía utilizadas en la industria textil, sector de uso seleccionado para este trabajo. Se puede ver claramente que las grandes ramas de esta industria utilizan básicamente la energía en forma eléctrica y calorífica y que sus fuentes principales son la hidráulica, generadora de energía eléctrica y los combustibles generadores tanto de energía calorífica como eléctrica.

Toca a este capítulo seleccionar la tecnología solar apropiada para su implantación en la industria textil, dependiendo del análisis que se haga sobre el estado actual de las tecnologías solares en México.

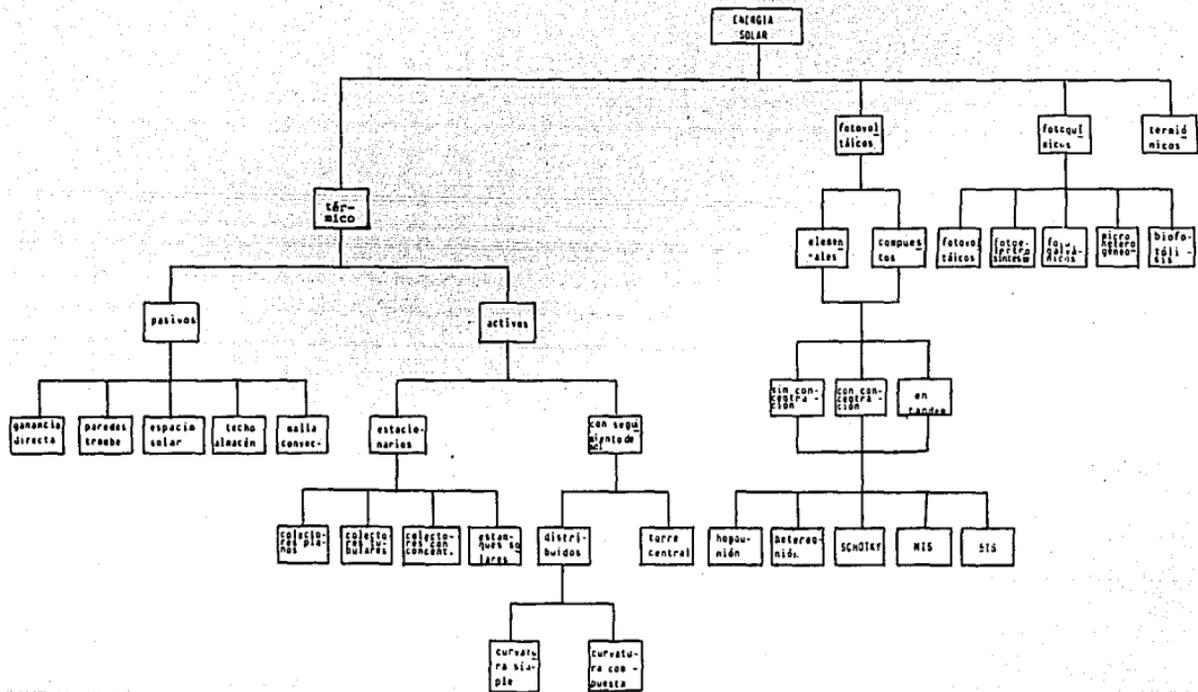


Fig. 2.1 Tecnologías para el Aprovechamiento Directo de la Energía Solar 10

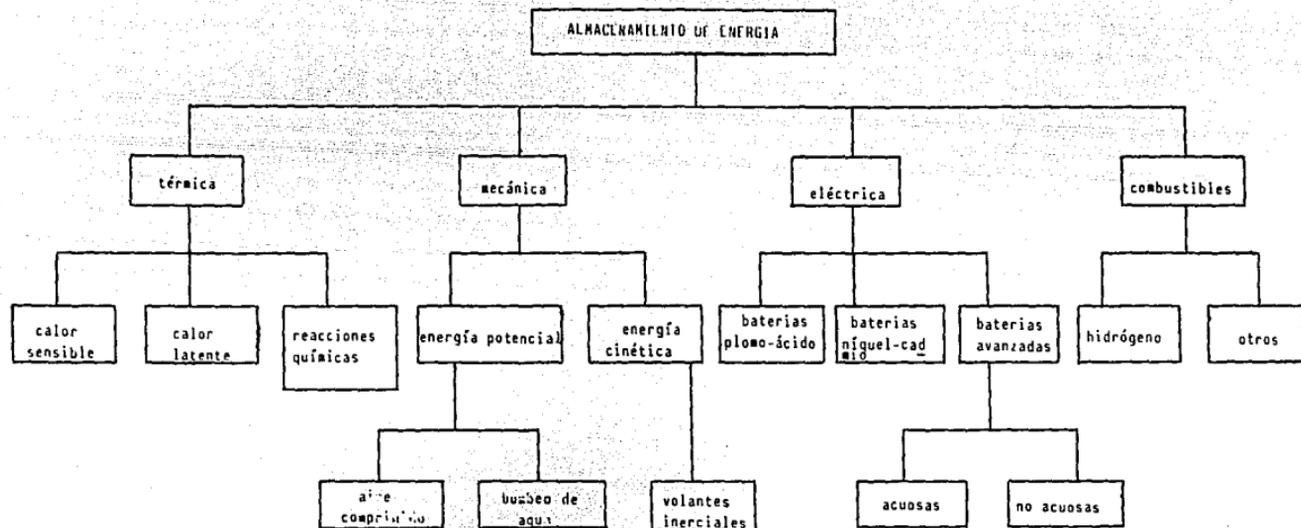


Fig. 2.2—Sistemas para Almacenamiento de Energía 10

2.2 Principios generales de operación de las Tecnologías Solares.

Tecnologías Solares.

Las tecnologías térmicas tienen como propósito captar la energía solar y convertirla en calor útil. Este tipo de tecnologías consiste en colocar una superficie que aumenta su temperatura por la acción de los rayos solares que inciden sobre ella. El calor así obtenido se transfiere a un fluido (aire, agua, aceites, etc) que se emplea para proporcionar calor útil. Este tipo de tecnologías operan en un amplio rango de temperaturas que van desde las menores a los 100°C hasta las mayores de 700°C.

Los sistemas fotovoltaicos convierten directamente la energía solar captada en energía eléctrica. La celda fotovoltaica consta básicamente de dos materiales semiconductores diferentes que están unidos. Cuando la luz incide sobre uno de los materiales, la energía liberada por la luz hace que los electrones libres crucen la unión hacia el otro material semiconductor. Así cuando la luz incide sobre la celda, un lado de esta queda con una carencia de electrones y otro con un exceso, produciéndose así la fuerza electromotriz (FEM), que induce a la corriente eléctrica. Estos tipos de celdas sólo generan una fracción

de volt, pero pueden sumarse muchas de ellas para aumentar la FEM.

La conversión fotoquímica se refiere a tecnologías que producen energía química libre a partir de radiación solar.

Los sistemas termoiónicos convierten, al igual que los fotovoltaicos, la energía solar captada en energía útil, pero en este caso el movimiento de los electrones se efectúa al aumentar la temperatura de uno de los dos materiales que se encuentran unidos, produciéndose así la FEM.

Sistemas de Almacenamiento.

Estos sistemas tienen como objeto almacenar una parte de la energía producida por el sistema solar durante su funcionamiento, pues debido a la naturaleza intermitente de la energía solar, la energía aprovechable de esta y su demanda pueden no coincidir en cada instante de tiempo.

La energía térmica puede almacenarse en forma de calor en diferentes medios: en forma de calor sensible y/o latente, ó en reacciones químicas reversibles que tienen la ventaja de su alta densidad de energía.

El almacenamiento mecánico consiste en almacenar la

energía como energía potencial en líquidos elevados o aire comprimido, o como energía cinética en volantes inerciales.

la energía eléctrica puede almacenarse electroquímicamente en baterías recargables (secundarias) que trabajan con corriente directa.

Otra forma para almacenar la energía es producir combustibles que puedan almacenarse y transportarse fácilmente.

El tipo de almacenamiento a ser utilizado y su capacidad dependen de factores como la insolación disponible y su distribución temporal, la carga térmica a suplir, la naturaleza del proceso, el tipo de equipo principal y auxiliar, las variables operacionales del sistema como presión, temperatura, flujo etc.

Las principales características que se deben buscar en un sistema de almacenamiento de energía son las siguientes:

- Alta capacidad de almacenamiento por unidad de volumen o peso.
- Rango de temperatura de operación eficiente.
- Fácil extracción y adición de calor.

-Costo bajo del material de transporte y de los elementos físicos asociados con la operación.

-Baja potencia requerida para la operación.

2.2.1 Sistema de energía solar.

Los elementos de los sistemas conversores de energía solar varían dependiendo del uso y forma final de la energía producida, sin embargo, de manera general los elementos que componen dicho sistema son los que se representan en la fig. 2.3.

La función de los subsistemas de captación y recepción es la de recoger la energía proveniente de los rayos solares. El subsistema de almacenamiento tiene como objeto el de almacenar parte de la energía producida por el sistema solar. El subsistema de control garantiza la buena operación del sistema. Para ello se debe mantener un control adecuado de las variables involucradas en el sistema tales como la temperatura, la presión y las cantidades de flujo.

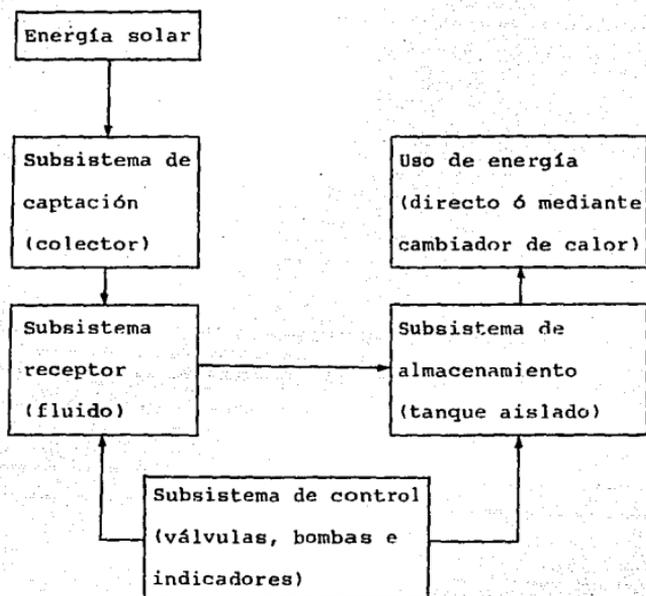


Fig. 2.3 Subsistemas que integran el sistema solar de aprovechamiento de energía (11).

Los subsistemas de captación y almacenamiento pueden ser cualquiera de los mencionados anteriormente, en tanto que los elementos que constituyen el subsistema de control son medidores de flujo, temperatura, presión y nivel, válvulas de control e instrumentos especiales como piranómetros, periheliómetros e indicadores de la velocidad del viento.

En el caso de un sistema de conversión térmica, fig. 2.3, el funcionamiento es el siguiente:

La energía solar incide sobre la superficie absorbadora (subsistema de captación, que por lo general es una superficie metálica cubierta por una sustancia opaca y negra), que aumenta su temperatura por la acción de los rayos solares. Este calor se transfiere a un fluido que entra en contacto directo con ella (subsistema receptor). El fluido caliente se envía a un tanque de almacenamiento (subsistema de almacenamiento), cubierto por lo general con un aislante. Del tanque se extrae el calor necesario para el uso final de este.

El subsistema de control constituido en este caso por registradores de temperatura a la entrada y salida de los subsistemas de captación y recepción, accionan la bomba que manda el fluido hacia los captadores, cuando la temperatura de salida del subsistema de captación es mayor a la de

entrada de los mismos.

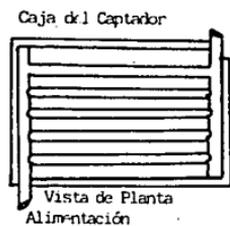
Los sistemas térmicos de aprovechamiento directo de la energía solar han sido los mas estudiados y explotados desde la antigüedad. En particular los sistema térmicos activos que han tenido en nuestros tiempos mayor demanda y comercialización.

Los captadores solares pueden clasificarse de acuerdo a su temperatura de operación, como se muestra en la tabla 2.1. En los de baja temperatura ($T < 100^{\circ}\text{C}$), temperatura media ($100^{\circ}\text{C} < T < 350^{\circ}\text{C}$) y temperatura alta ($T > 350^{\circ}\text{C}$).

El nivel de complejidad y costo de los colectores aumenta con la temperatura. En la tabla 2.1 se muestra la clasificación de los colectores solares y el rango de temperaturas en el que operan con eficiencias aceptables, ver figs. 2.4.

Tabla 2.1 Clasificación de los colectores solares (10).

Colectores	Temperatura (°C)
estacionarios	colectores planos 20-85 baja
	colectores tubulares 80-150 media
	con concentración 50-135 media
	estanques solares 40-100 baja
con seguimiento	distribuidos T > 350 alta
	centralizados T > 350 alta

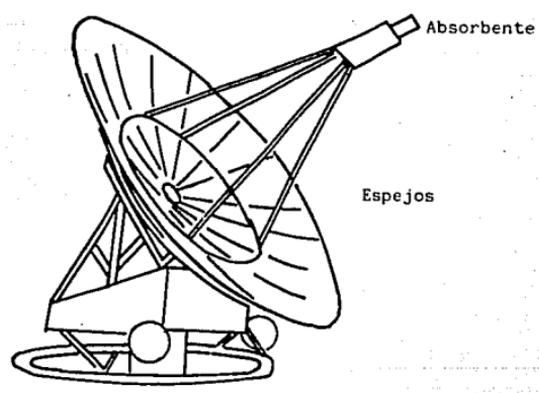


Z Norte

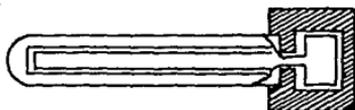


Z Norte

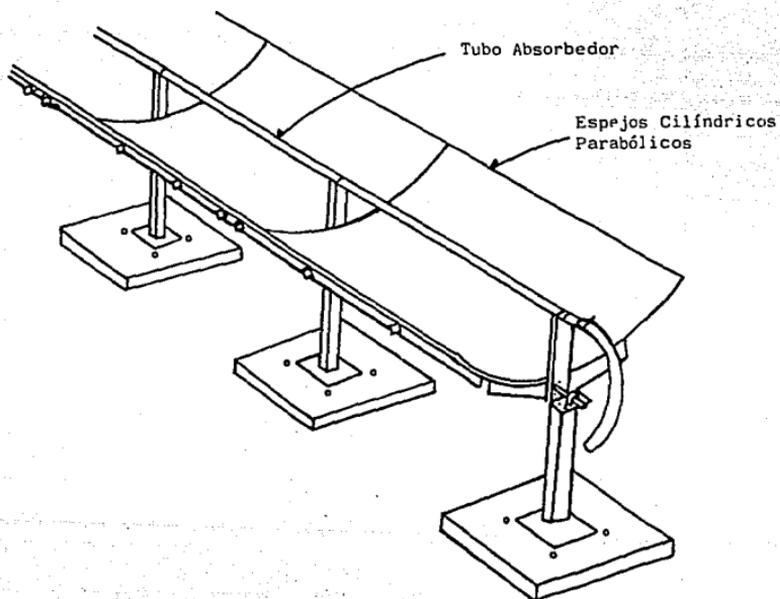
2.4a Placa Plana



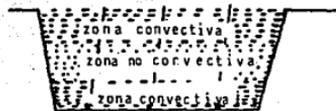
2.4b Concentrador Paraboloides de revolución



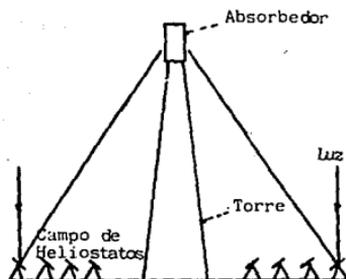
2.4c Colector Tubular



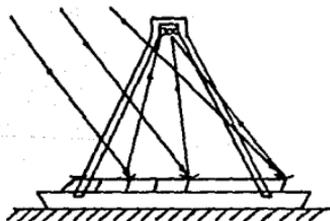
2.4d Captador Cilíndrico Parabólico



2.4e Corte Transversal de un Estanque Solar



2.4f Concentrador Torre Central



2.4g Espejos Tipo Fresnel

Fig. 2.4 Sistemas de Conversión Termodinámica

2.3 Panorama Actual de la Industria Solar.

En el plano internacional, los colectores solares planos han alcanzado un alto grado de madurez tecnológica y, en un buen número de casos, incluso competitividad económica. Actualmente son empleados en sistemas solares para calentamiento de agua, para acondicionamiento ambiental, para refrigeración y secado de material orgánico. Constituyen la tecnología de captación solar más difundida, pudiendo hablarse de una aplicación generalizada en algunos países como Israel y Japón. A nivel nacional la industria solar mexicana se ha dedicado a la fabricación de colectores solares de placa plana para calentamiento de agua y algunos equipos para calentamiento de aire. Los colectores planos se fabrican en el País desde hace más de treinta años, pero por el desarrollo de la industria petrolera, la industria solar decayó; la segunda época de reiniciación de esta industria no fue sino hasta alrededor de 1974 (10).

Los fabricantes se localizan en el D.F. así como en otras ciudades importantes de la república. En Jalisco es donde se encuentran las industrias pioneras. Existen además cerca de 50 distribuidores de este producto en diferentes estados del país. Algunos representantes de compañías extranjeras, fabricantes de colectores solares planos, intentan establecer también operaciones comerciales en el

país.

En la tabla 2.2 se listan los fabricantes de colectores solares planos.

Tabla 2.2 Fábricas de colectores solares planos 1987

Estado	Fabricante
D.F.	Enersol S.A.
	Calentadores Solaris S.A.
	Solarmex S.A.
	Sun Way de México S.A.
	Pamacon S.A. de C.V.
	Diez de Sollano.
Instalaciones Técnicas S.A.	
Cuernavaca	Módulo solar S. A.
Jalisco	Calentadores de Sol Azteca.
	Calentadores Solares de
	Occidente.
	Industria Orozco Carricarte
Michoacán	Calentadores Solares de Morelia

2.3.1 Características de la industria solar mexicana.

Las empresas de la industria solar son pequeñas (alrededor de 25 obreros y capacidad instalada menor a 15,000 m²/año), con ventas reducidas debido a la poca demanda que existe en nuestro país. Actualmente el mercado de esta industria se conforma de la siguiente manera 80-75% para calentamiento de albercas y 20-25% para uso doméstico, hotelero e industrial.

Actualmente los fabricantes utilizan un 60-70% de su capacidad instalada y esperan para 1990, utilizar el 100%; las limitaciones a las que se enfrenta la industria solar para crecer son: financiamiento, capacitación a distribuidores e instaladores (apoyos ingenieriles), ayuda fiscal, manejo de inventarios.

Para impulsar el uso de equipo solar los fabricantes recomiendan [13]:

- Difusión sobre la disponibilidad de la tecnología, con los equipos específicos para cada uso.

- Inclusión de estos equipos como norma en desarrollos de vivienda promovidos por entidades estatales y paraestatales.

- Implantar una política de eliminación de subsidios directos a los combustibles tradicionales (gas, diesel, gasolinas, combustóleo).

- Política fiscal que incentive la adquisición del equipo solar, y que permita la depreciación acelerada de los mismos.

- Financiamiento al productor de equipos, vía FOGAIN/FONEI, a tasas preferenciales.

Diversos centros de investigación y desarrollo como el CINVESTAV IPN, I. I. UNAM, I. I. E., han realizado diferentes estudios sobre los dispositivos solares, tanto a nivel experimental como teórico. La gran mayoría de estos centros con actividades en el área de energía solar han tenido algún proyecto en alguna aplicación específica de los colectores planos, celdas fotovoltaicas, y estanques solares principalmente

Tabla 2.3 Características generales de la industria solar mexicana (12).

No. de Fabricantes	12
No. de distribuidores	30
Turnos al día trabajados	1
No. de días al año trabajados	260
No. prom. de empleados-obreros por empresa	20
Capacidad instalada prom. por empresa	8000 m ² /año
% de capacidad instalada utilizada prom.	60
Nivel de tecnología	semiautomática
Crecimiento de la industria 1986-1987	36% ventas 20% obreros
Origen de las materias primas	Nacional
Costo de materias primas (% del costo de prod.)	50
Principales materias primas:	
Cubiertas	acrílico, vidrio, poliéster
Sup. absorbedora	negra mate, negro al carbón
Absorbedor	cobre y aluminio
Aislante	uretano rígido, fibra de vidrio y poliestireno

2.4 Sistema de Energía Solar para Temperatura Inferiores a los 100°C.

Para el caso especial de sistemas a baja temperatura, específicamente los que usan colectores planos, el diagrama general del sistema podría ser el que se representa en la fig. 2.5. El arreglo y los elementos que lo constituyen podrían variar dependiendo de la demanda de energía.

En la fig. 2.5 se observa el subsistema de captación que consiste en una serie de captadores planos que se colocan en arreglos en serie y/o en paralelo, un tanque de almacenamiento de calor, un intercambiador de calor y una bomba centrífuga.

El colector de placa plana, ver fig 2.6, consta de una lámina o absorbedor hecha de metal, usualmente cobre, cuya superficie expuesta al sol es oscurecida para aumentar su absorción de calor unida a una red de tubos, soldados al absorbedor. Este conjunto se coloca en una caja con aislante por detrás del absorbedor y una o varias capas de vidrio plano por delante del mismo. Generalmente se instala inclinado, el ángulo de inclinación depende de la latitud del lugar.

El colector opera en una posición fija, pues no requiere seguimiento continuo del movimiento del sol, capta

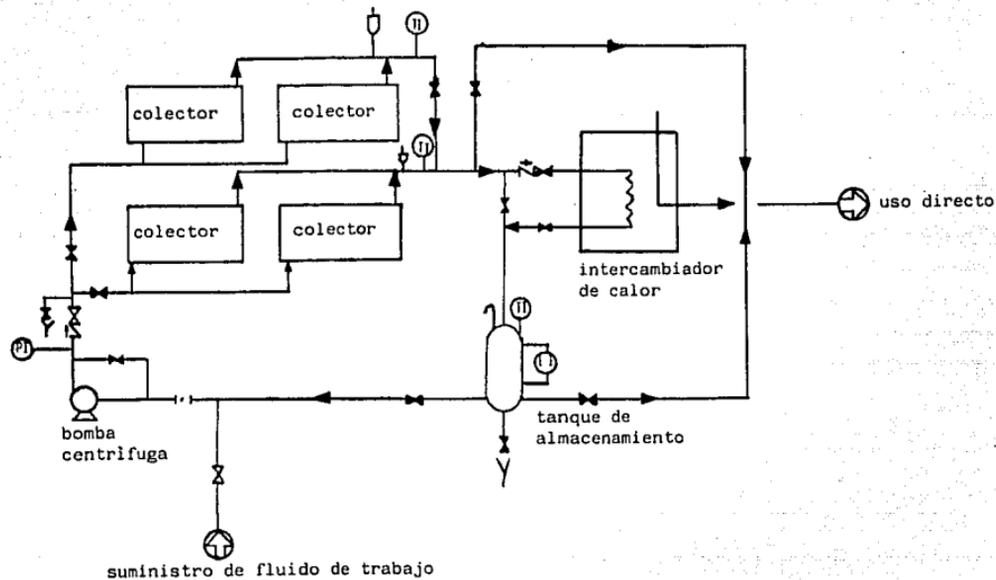


Fig. 2.5 Diagrama del sistema solar para temperaturas inferiores a 100 °C

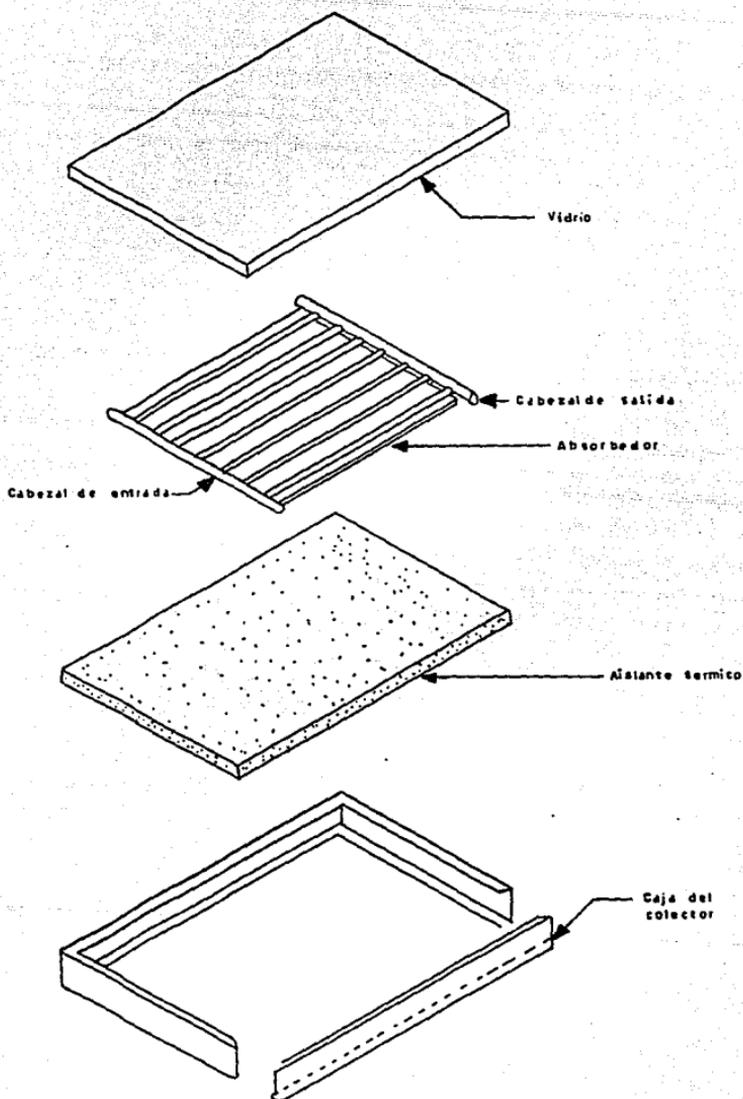


Fig. 2.6 Elementos básicos de un colector de placa plana 11

eficientemente las componentes directa y difusa de la radiación solar. El funcionamiento de estos colectores es razonablemente eficiente (40-60%) hasta una temperatura máxima de 80°C, a partir de esta temperatura su eficiencia decae drásticamente debido principalmente a las pérdidas de calor por convección y radiación. Es posible alcanzar temperaturas de trabajo superiores, conservando una buena eficiencia, si se le hacen modificaciones. Aún así el límite superior práctico es de 90 a 100°C.

El tanque de almacenamiento, generalmente es de acero al carbón, protegido contra la corrosión del medio ambiente que la rodea y cubierto de un aislante para evitar que el calor sensible acumulado en él se disipe rápidamente. También tiene boquillas para el dren, desfogue, entrada y salidas del fluido.

El intercambiador de calor puede ser de bayoneta o convencional de tubos y coraza.

El funcionamiento de este sistema es el siguiente:

La energía solar atraviesa las cubiertas de vidrio para luego quedar en la placa de absorción, que se calienta y transmite el calor por conducción térmica a los tubos soldados a la misma. Por el interior de los tubos se circula un fluido que puede ser agua, que incrementa su temperatura al entrar en contacto con ellas.

El agua caliente sale del subsistema de captación por un tubo que lo conduce ya sea a: un tanque de almacenamiento directamente o hacia el uso final donde se requiera. Puede utilizarse ya sea directamente o dirigirlo al intercambiador de calor del cual se extrae el calor necesario mediante un fluido. El agua del intercambiador se recircula al tanque de almacenamiento. Del tanque de almacenamiento se dirige el agua caliente hacia el uso directo o hacia el colector por medio de una bomba, y así completar el ciclo.

Entre el tanque de almacenamiento y la bomba se encuentra el suministro de agua para reponer pérdidas y la cantidad de agua que fue utilizado directamente.

Las bombas, los intercambiadores, los captadores y el tanque de almacenamiento llevan una instrumentación básica. Sin embargo para cada arreglo en conjunto puede ser necesario modificarla o agregar otros instrumentos especiales.

CAPITULO III

DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA PARA CALENTAMIENTO SOLAR DE AGUA EN UNA INDUSTRIA TEXTIL TÍPICA

3.1 Generalidades.

En esta sección se determinan los requerimientos de energía a cubrir para una planta típica de acabados textiles, y en base a éstos se analizan dos sistemas de calentamiento de agua que aprovechan la energía solar y reúnen las condiciones necesarias para poder ser implantados en la industria textil.

3.2 Energía Térmica Requerida en una Planta Típica de Acabados Textiles.

Las operaciones de acabado de cualquier tipo de tela pueden ser: desengomado y descruce, mercerizado (algodón), blanqueo, teñido, estampado, calandrado y sanforizado. Estas se caracterizan por ser operaciones húmedas, es decir, utilizan agua a distintas temperaturas y en cantidades diferentes dependiendo del tipo de operación.

En la fig. 3.1 se muestra la secuencia general del proceso de acabado. La materia prima que se encuentra en el almacén pasa a desengomado y descruce que son operaciones de limpieza para eliminar impurezas como grasas, resinas y gomas; puesto que estas impiden obtener un buen blanqueo, teñido y estampado. Una parte de este lote se manda a mercerizar con el fin de dar a las fibras un brillo y aspecto similar al de la seda, posteriormente todo el lote pasa a blanqueo para eliminar residuos provenientes de las primeras operaciones de limpieza y destruir materias que colorean las fibras. Después del blanqueo una parte del lote pasa a teñido y otra a estampado. Finalmente a todo el tejido se le dá un acabado (calandrado, perchado, sanforizado).

Sin embargo, no todas las telas pasan por las operaciones mostradas ya que para determinado tipo de tela y características del producto deseado existe un proceso de acabado especial. Por ejemplo, en las figs. 3.2 pueden observarse algunos procesos de acabado para telas de algodón. En la fig. 3.2a se muestra el proceso de acabado para la tela cruda afelpada en el cual se omite la operación de mercerizado. Las telas mostradas en las figs. 3.2b-e, tienen el mismo proceso de acabado. Este tipo de telas no pasan a estampado debido al uso final que se le dá. La fig. 3.2c muestra el proceso de acabado textil para

tela cruda de estampe. La característica de este proceso es que del blanqueo pasa directamente a estampado sin pasar por el teñido. Finalmente la fig. 3.2d muestra el proceso de acabado textil para gabardina, en el cual se omite la mercerización y el estampado, y además el desgrude y blanqueo se realiza en forma simultánea.

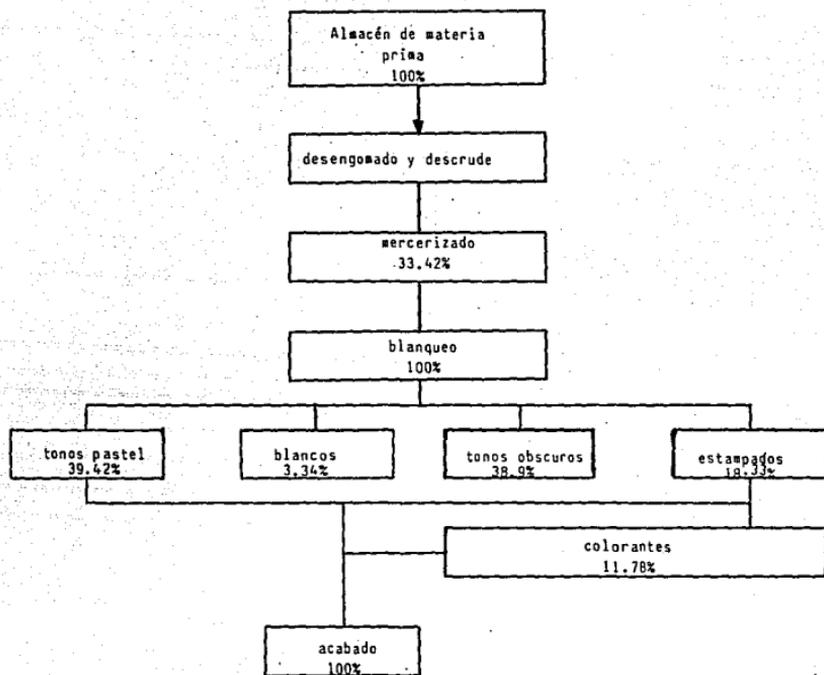


Fig. 3.1 Proceso General de Acabado Textil

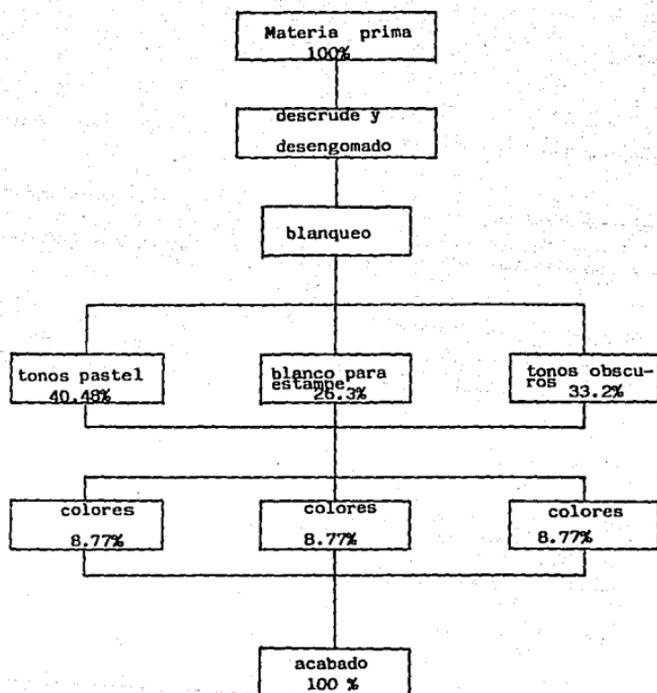


Fig. 3.2a Proceso de acabado para tela cruda afelpada

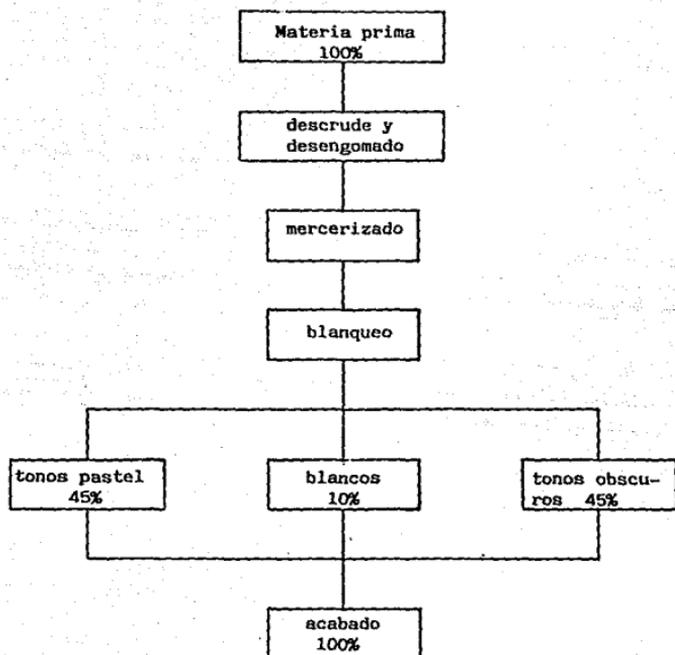


Fig. 3.2b Proceso de acabado para tela cruda de bramante

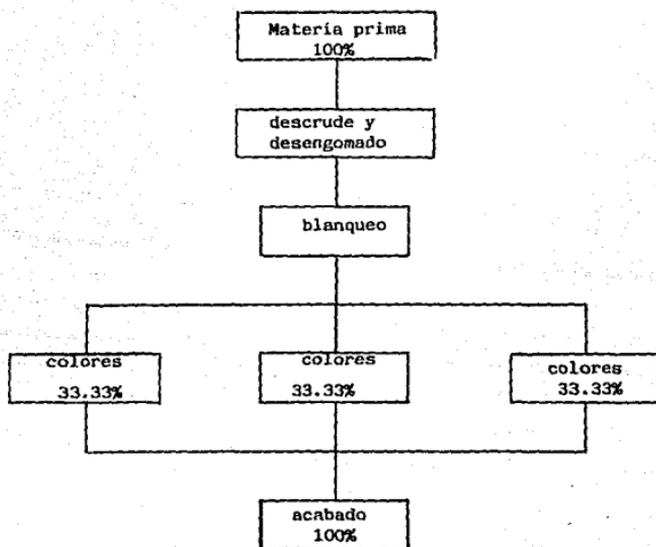


Fig. 3.2c Proceso de acabado para tela cruda de estampe

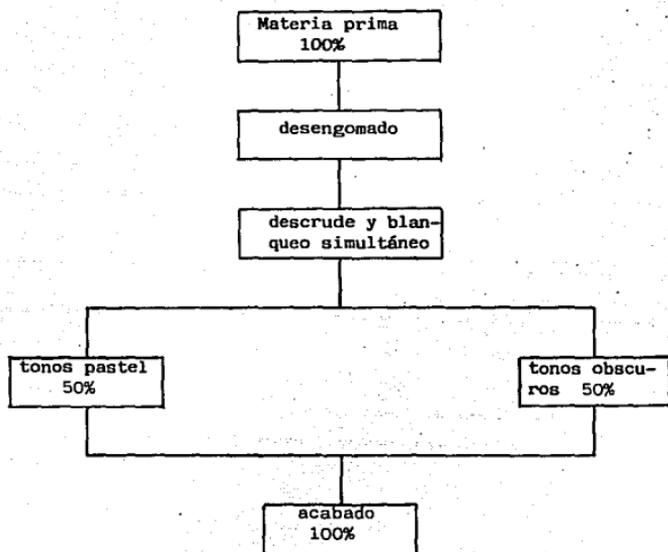


Fig. 3.2d Proceso de acabado para gabardina cruda

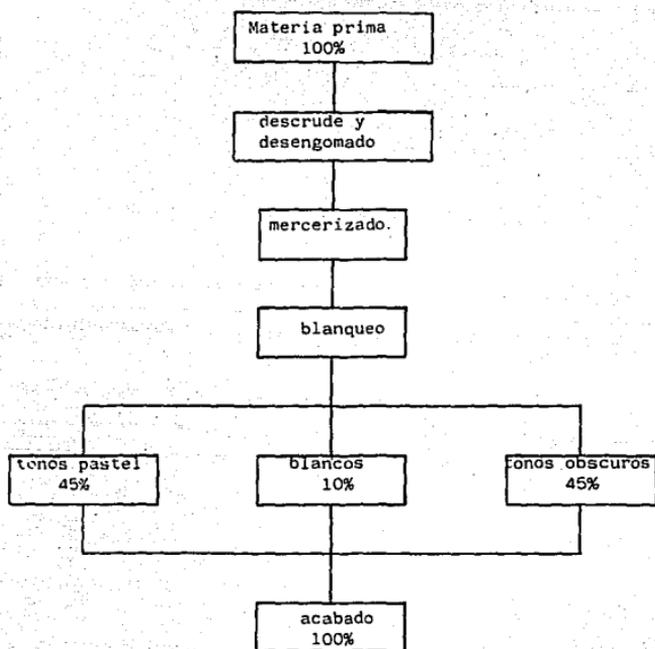


Fig. 3.2e Proceso de acabado para tela cruda de popelina

En los procesos de acabados se utilizan cantidades específicas de agua por unidad de producto tratado. Esta relación se conoce con el nombre de "Relación de Baño" (Rb=Kg. de agua/Kg. de producto). En la tabla 3.1 se muestran las relaciones de baño y temperaturas más usuales, en las operaciones de acabado de las telas. Estas relaciones varían dependiendo de las formulaciones y modificaciones de cada fabricante. Las relaciones de baño se obtuvieron de las refs. (3 y 14).

Para conocer la cantidad de energía requerida por día de trabajo se debe saber, además de las relaciones de baño, el tiempo que tarda la operación en realizarse. Los tiempos comunmente usados se muestran en la tabla 3.1.

En una fábrica de acabados textiles en la que se realizan todas las operaciones de acabado antes mencionadas, la distribución de temperaturas por Kg de producto se puede observar en la fig. 3.3, en la cual se ve que la temperatura del agua utilizada en mayor cantidad es de 65°C.

Tabla 3.1 Variables en las operaciones de acabado textil

Operación	Temperatura (°C)	Rb	Tiempo (hr)
desengomado y			
desgrude	90-Teb	7.5	1.5
mercerizado	25	3.0	0.5
	80	10.0	
blanqueo	25	5.0	
	80	2.0	2.0
teñido	65	5.0	
	65	15.0	2.5
	25	5.0	

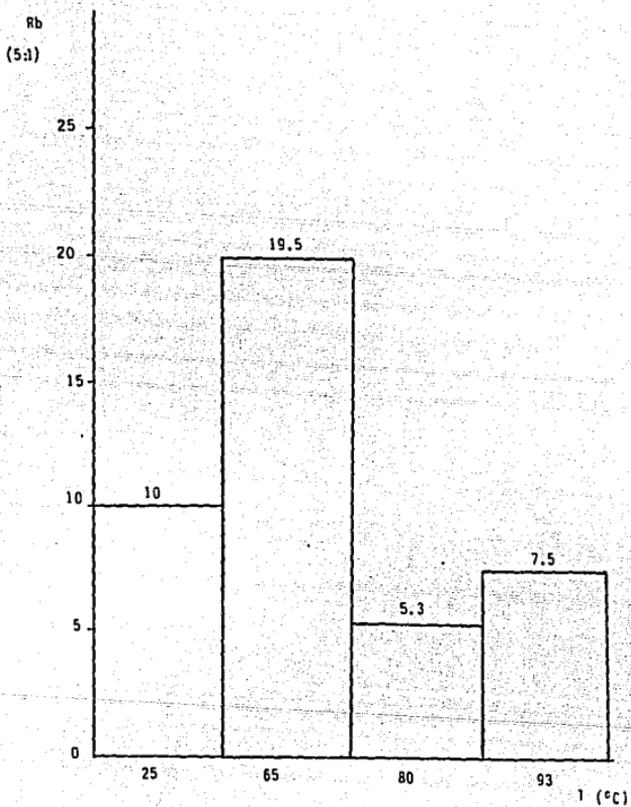


Fig. 3.3 Distribución de temperaturas para el agua utilizada en el proceso de acabado de la industria textil.

La tabla 3.2 muestra los turnos y las operaciones que se trabajan en un día. En base a esta distribución de las operaciones en los diferentes turnos, se obtuvieron las figs. 3.4 a 3.6. La fig. 3.4 muestra la distribución al día del consumo de agua caliente a 65°C, así como el consumo energético por kg. de producto; dicha distribución está en función de la duración de las operaciones que requieren agua a esta temperatura. Lo mismo se muestra en las figs. 3.5 y 3.6 para temperaturas de 80 y 93°C respectivamente. Para obtener el consumo energético por kilogramo de producto (kcal) se consideró una temperatura inicial del agua de 25°C. Es necesario aclarar que las figuras 3.4-3.6 están en forma de histograma indicando el tiempo de residencia, pero no indican que la temperatura se mantiene constante con respecto al tiempo en cada una de las barras, es decir que el contenido energético se proporciona al inicio de cada operación.

Finalmente la fig. 3.7 muestra el consumo energético total por kg. de producto al día y da una visión clara del intervalo de tiempo en el cual se necesita mayor cantidad de energía.

Tabla 3.2 Turnos y operaciones en una planta típica de acabados textiles (14)

1er turno de 8 horas	2o turno de 7 horas	3er turno de 7 horas
1 Fundido	1 Mercerizado	1 Mercerizado
2 Chamuscado	2 Secado	
3 Lavado a lo ancho	3 Teñido en jigger	
4 Mercerizado		
5 Secado		
6 Teñido pad-steam		
7 Teñido en jigger		

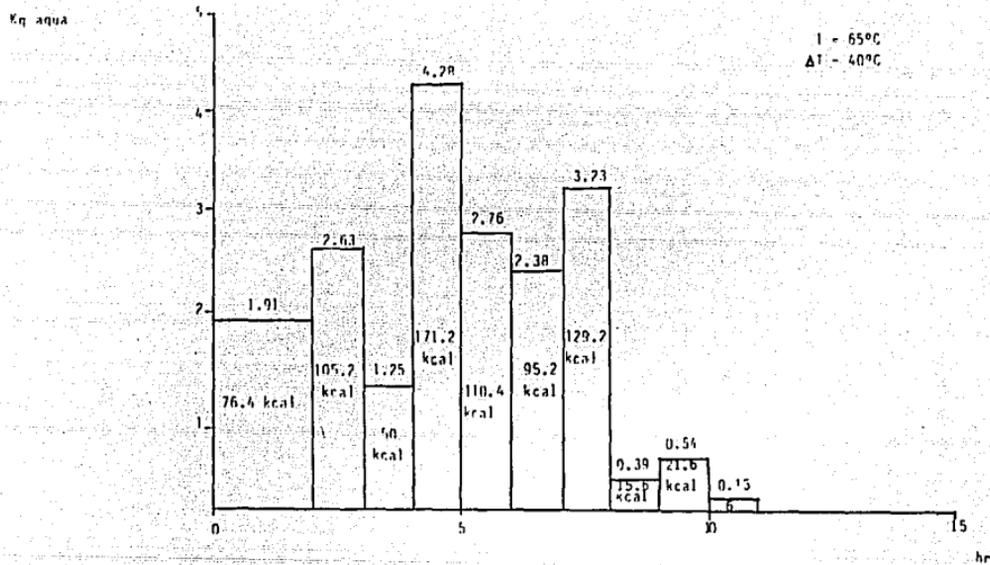


Fig. 3.4 Consumo de agua a 65°C por kg de producto en una planta típica de acabados.

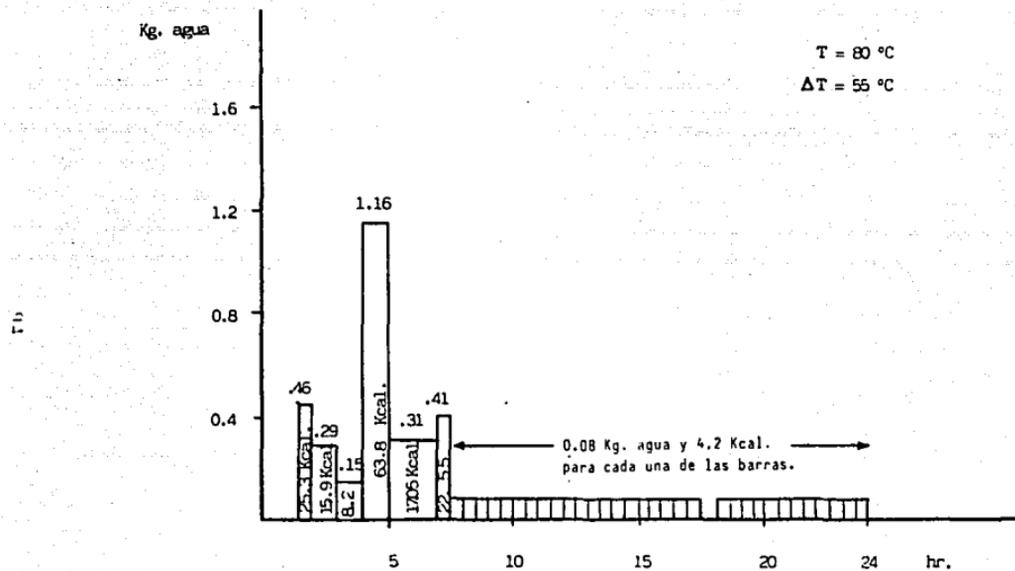


Fig. 3.5 Consumo de agua a 80°C por kg. de producto en una planta típica de acabados.

Fig. 3.6

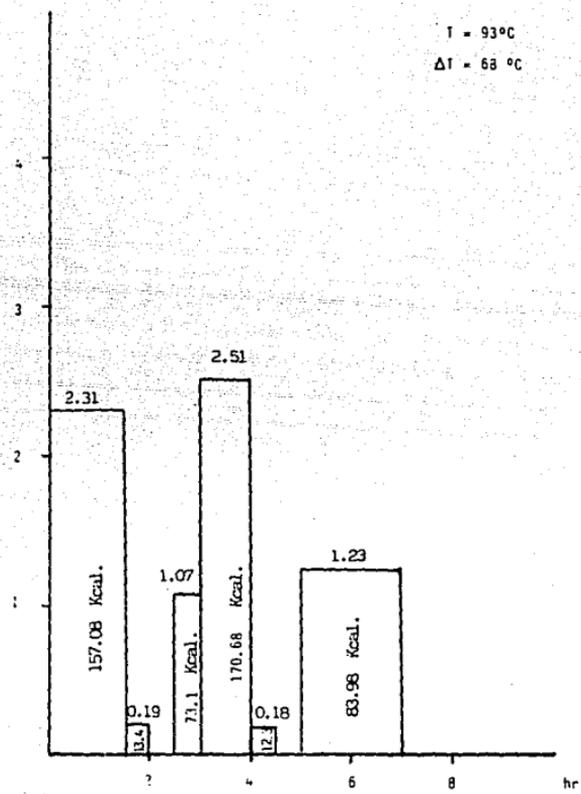


Fig.3.6 Consumo de agua caliente a 93 °C por kg. de producto en una planta típica de acabados.

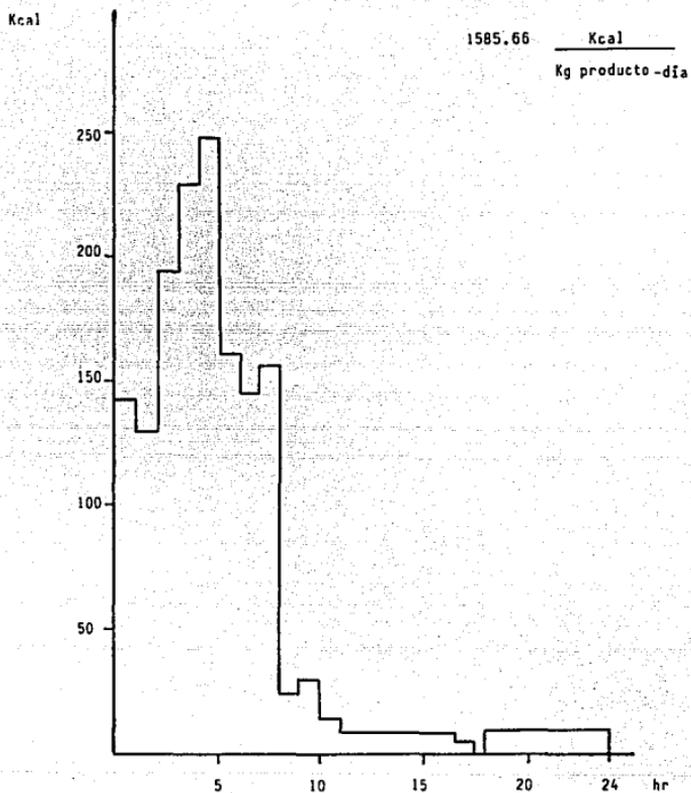


Fig. 3.7 Consumo energético por kg. de producto en un día de trabajo para una planta típica de acabados.

3.3 Descripción de los Sistemas Convencionales.

Actualmente la industria textil ha cubierto sus necesidades de energía térmica mediante el uso de sistemas convencionales. La función principal de estos sistemas es la de generar vapor de baja y media, que se utiliza en forma directa o bien para calentamiento de agua y aire. El sistema convencional consiste en una caldera, un quemador, controles de flama, presión y nivel, tanque de condensados, bomba alimentadora de agua y un suavizador de agua. Dependiendo del tipo de combustible que se alimente en la caldera hay variantes en el equipo del sistema convencional. Por ejemplo, en el caso del quemador, cuando se utiliza gas se requiere un control de presión lo que no se utiliza en el caso de un combustible líquido. Otra variante es que un combustible líquido necesita de una bomba para ser alimentado al quemador.

Los combustibles mas utilizados en la industria textil son diesel, combustóleo, y algunos usan gas licuado.

3.4 Delimitación del Problema.

El valle de México y el estado de Puebla son zonas potenciales para implantar el sistema de calentamiento de agua mediante energía solar ya que son los principales

productores de telas acabadas.

Las posibilidades de implantar este sistema en el valle de México se ven limitadas por las nuevas políticas del gobierno que no permiten la creación y ampliación de industrias; otra restricción es que las condiciones atmosféricas que prevalecen en el valle de México no son tan favorables como en el estado de Puebla. Por lo anterior el estudio se enfoca al estado de Puebla.

La producción total de textiles en el estado de Puebla es de 3,316.86 ton. por año, lo que da un promedio por empresa de 70.5 ton. por año (capítulo I sección 1.3.2, tabla 1.1). Tomando como base la producción promedio por empresa y los datos de Relaciones de Baño (Kg de agua/Kg de producto) para las distintas operaciones, una planta típica de acabados textiles tomada como referencia requerirá las siguientes cantidades de agua caliente a las temperaturas indicadas.

Agua caliente (°C)	Gasto (Kg/día)
65	4 778
80	1 309
95	1 840
total	
	7 927

Si se supone que el agua entra a los captadores a una temperatura de $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, la energía que el sistema de calentamiento solar debe suministrar será:

Agua caliente (°C)	Energía (Kcal/día)
65	201 528
80	78 509
95	138 024
total	
	418 061

El horario en que el agua deberá estar disponible, según las características de la planta típica tomada como base se encuentran en la fig. 3.8 (la hora cero se refiere a la hora en que empieza el primer turno de trabajo, que

puede ser las 7.00 A.M.).

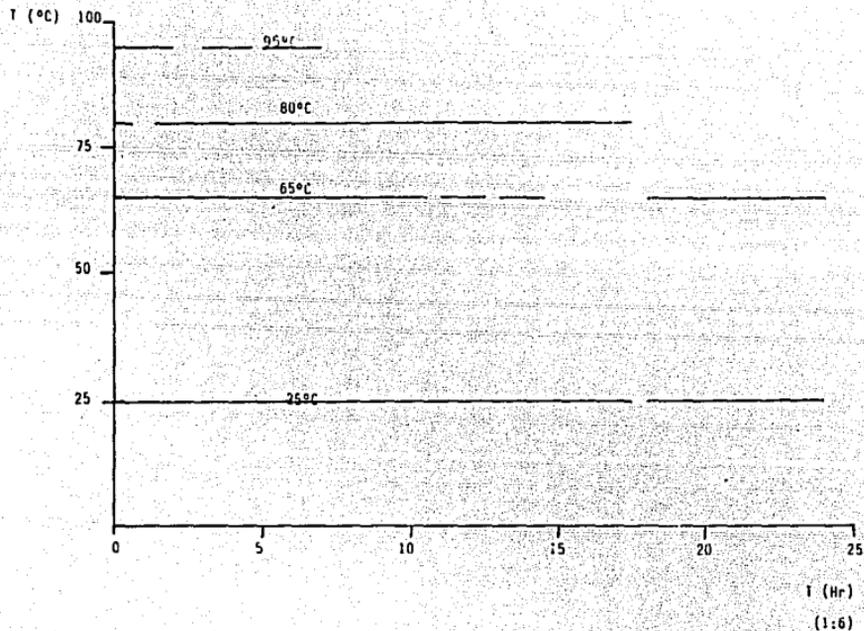


Fig. 3.8 Período en que se utiliza el agua a distintas temperaturas en un día de trabajo.

3.5 Conceptualización del Sistema.

Las alternativas de suministro de energía solar puede ser mediante dos sistemas; uno híbrido y otro solar. Para entender este concepto es necesario definir el término de Fracción Solar (F_s), que indica la relación de la energía solar suministrada a la carga dividida entre la carga total. Esto es, para un sistema híbrido la fracción solar es menor a uno ($F_s < 1$), debido a que la energía que suministra dicho sistema no proviene totalmente del sol, ya que cierta cantidad de energía proviene de una fuente convencional.

Se analizan los dos sistemas antes mencionados, uno con $F_s < 1$ y otro con $F_s = 1$.

Resulta interesante analizar este último desde el punto de vista técnico para ver si es posible que con la tecnología solar desarrollada en el país, se puede satisfacer las necesidades de energía de una planta típica de acabados textiles; el gran inconveniente de este sistema es que no opera en días nublados y lluviosos, esto no sucede en el sistema híbrido porque opera en cualquier época del año asegurando así el suministro de energía requerida.

3.5.1 Descripción del sistema solar denominado A.

En las figs. 3.9 se muestra el diagrama del sistema denominado A. La función principal de éste sistema es la de precalentar agua a 65°C, mediante un subsistema de energía solar, e incrementar posteriormente la temperatura a 80 y 95°C, con un subsistema de energía convencional. El subsistema de energía solar consta de un banco de captadores solares de placa plana (CP-1), un tanque de recirculación (FA-1), un tanque de almacenamiento (FA-2) y una bomba de recirculación (GA-1/R). El subsistema de energía convencional consiste en un calentador de paso que quema gas (GB-1), de dos tanques de almacenamiento (FA-3 y FA-4).

En este sistema el agua de suministro se precalienta hasta 65°C. La característica principal de éste sistema es que en los días nublados y lluviosos, cuando la fracción solar tiende ó es igual a cero, sigue funcionando con energía convencional.

La operación normal del sistema se inicia alimentando agua a temperatura ambiente al tanque de recirculación (FA-1) hasta alcanzar el nivel deseado. Cuando los captadores alcanzan una cierta temperatura, la bomba (GA-1) se enciende para recircular el agua a través del banco de captadores. Esta recirculación continúa hasta que la

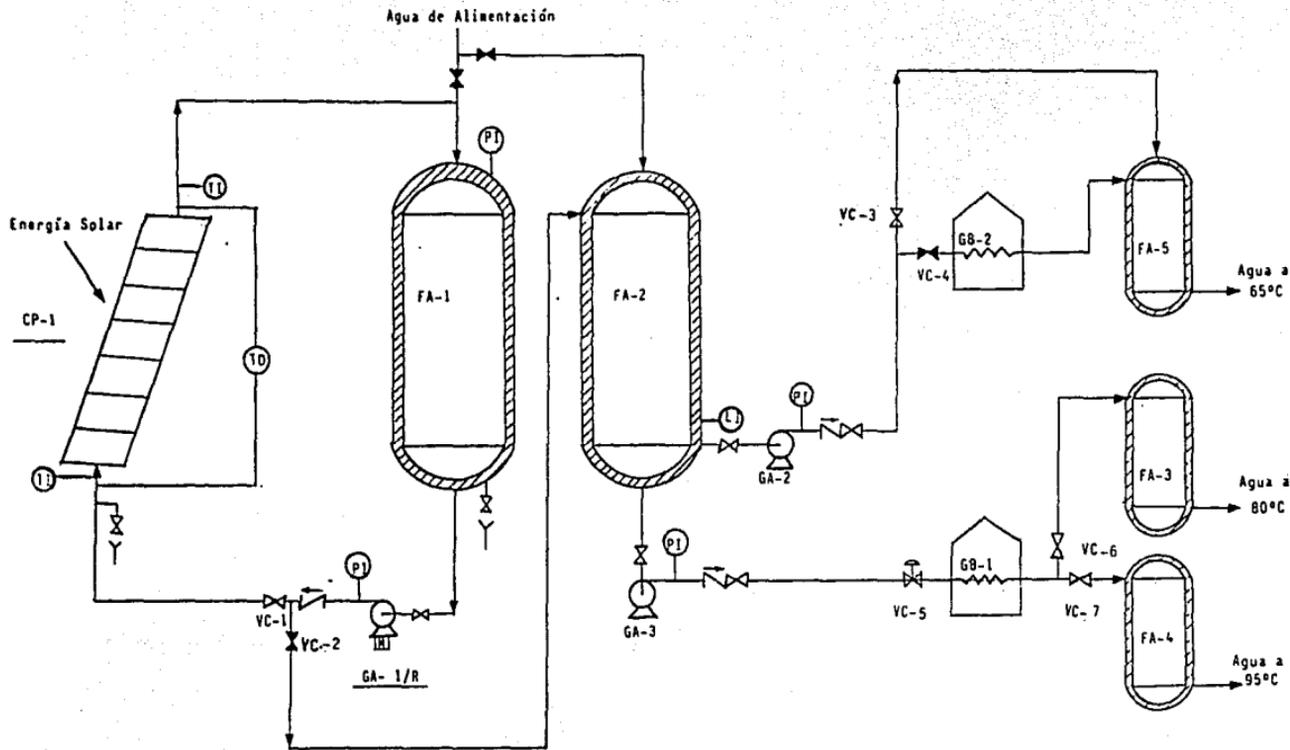


Fig. 3.9a Sistema de energía solar para precalentamiento de agua (sistema A)

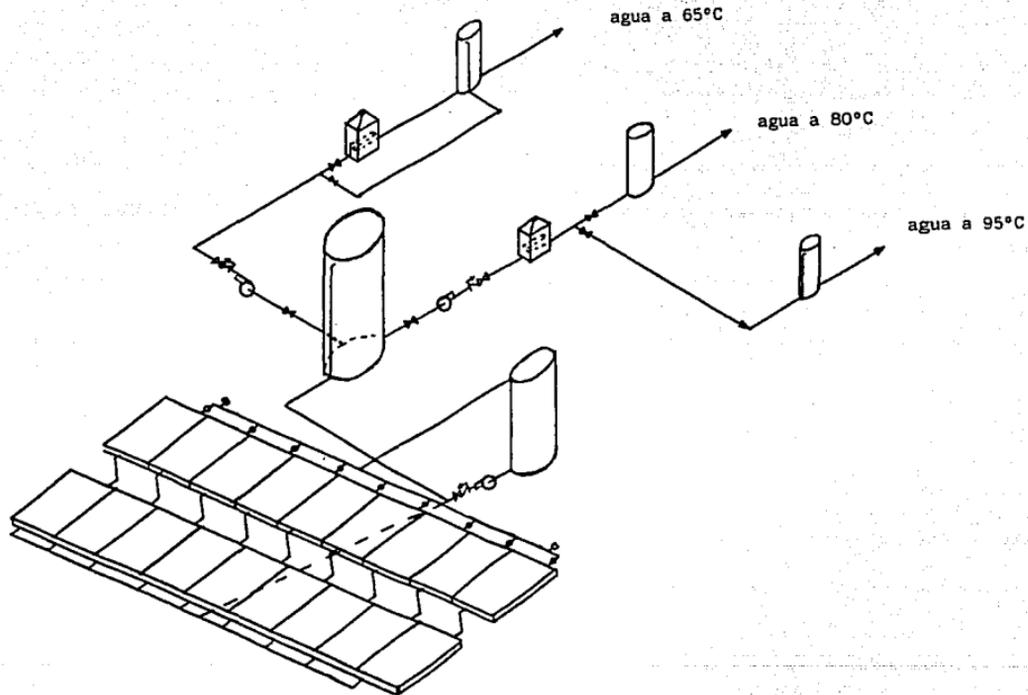


Fig. 3.9b Sistema de energía solar para precalentamiento de agua (sistema A)

temperatura de salida de los captadores es igual a la temperatura de entrada a éstos. Dependiendo de esta temperatura se tienen dos casos: Si la temperatura es menor a 65°C, el agua permanece en el FA-1 hasta que el nivel de agua del tanque de almacenamiento (FA-2) llegue a bajo nivel. Ocurriendo esto, se cierra la válvula (VC-1) y se abre la válvula (VC-2) para transferir el agua del FA-1 al FA-2, mediante la bomba GA-1. Una parte de agua caliente almacenada en el FA-2 se utiliza directamente en el proceso a 65°C, almacenándose previamente en el tanque FA-5 y otra parte se pasa al calentador de paso (GB-1) mediante la bomba (GA-3); que maneja dos gastos diferentes (bomba con motor de dos velocidades): El gasto menor es para los días de operación crítica y el gasto mayor es para los días de operación normal. Para alcanzar la temperatura de 80°C y 95°C se regula el flujo de agua que pasa a través del GB-1 por medio de la válvula (VC-5). Esto se hace tanto para operación normal como para la operación crítica, mientras la VC-5 esta regulada para obtener agua caliente a 80°C, la válvula (VC-6) se abre y la válvula (VC-7) se cierra. Ocurre lo contrario cuando la VC-5 esta regulada para obtener agua caliente a 95°C. El agua a 80 y 95°C se almacena en los tanques (FA-3) y (FA-4) respectivamente. Cabe señalar que las operaciones donde se utiliza agua caliente a 80 y 95°C tienen tiempos de residencia de aproximadamente 40 min. Por lo tanto, mientras se calienta el agua a 80°C, el agua a 95°C se utiliza en la operación

correspondiente.

La operación en los días críticos, cuando ya no existe agua almacenada en FA-2 a 65°C, se alimenta el agua a temperatura ambiente al FA-2. De aquí (cerrando la VC-3 y cerrando la VC-4) el agua se pasa al calentador (GB-2) mediante la bomba (GA-2) para incrementar su temperatura a 65°C, y se almacena en FA-5. Mediante GA-3 se envía el agua a temperatura ambiente desde FA-2 hasta GB-1, en donde se incrementa su temperatura a 80 y 95°C, dependiendo del flujo. El agua a estas temperaturas se almacena en FA-3 y FA-4 respectivamente. De los tres últimos tanques de almacenamiento, el agua caliente se utiliza directamente en la operación textil correspondiente.

3.5.2 Descripción del sistema solar denominado B.

En las figs. 3.10 se muestra el diagrama del sistema denominado B. la función del sistema es la de proporcionar energía calorífica al agua para aumentar su temperatura a 65, 80 y 95°C respectivamente. El sistema consiste en tres bancos de captadores solares, los cuales están integrados por colectores de placa plana, tanques de recirculación, tanques de almacenamiento, bombas y distintos accesorios (válvulas, aparatos de medición etc) para el buen funcionamiento del sistema.

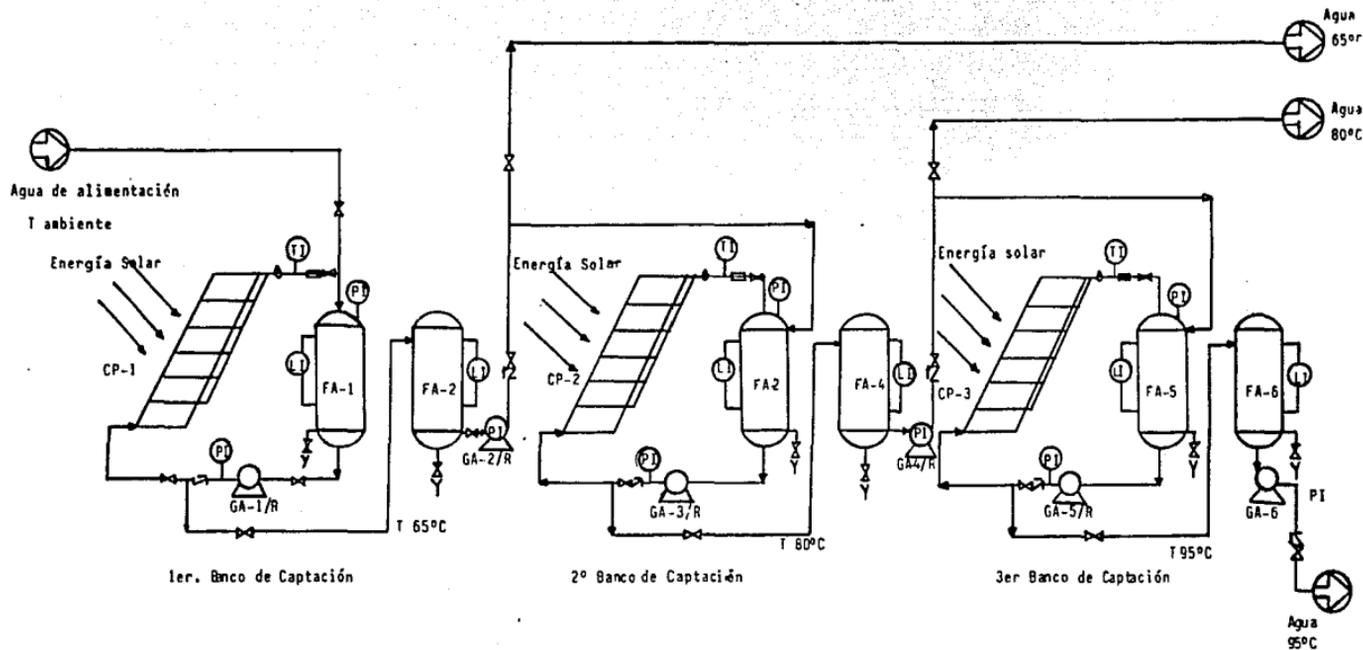


Fig. 3.10a Sistema de energía solar para calentamiento de agua (sistema B)

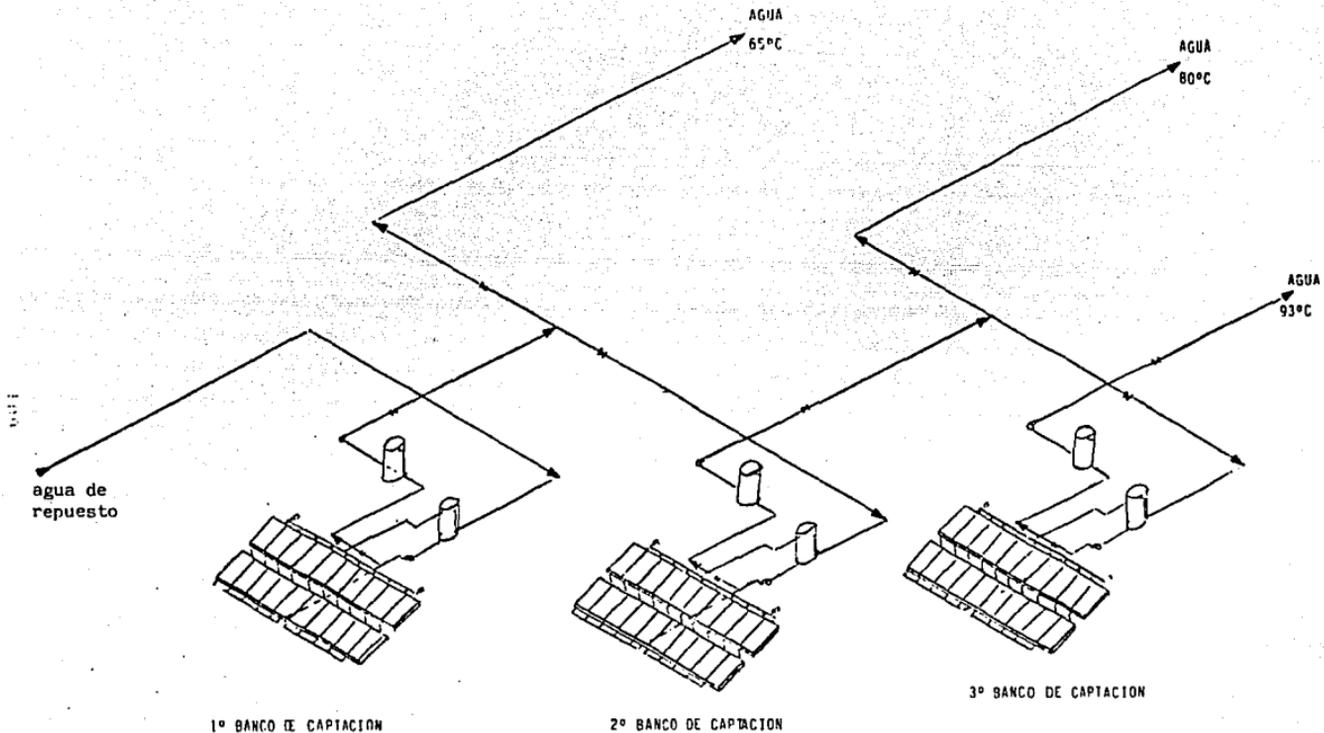


Fig. 3.10b Sistema de energía solar para calentamiento de agua (sistema B)

La característica de este sistema es que toda la energía calorífica es proporcionada por el sol (fracción solar igual a uno), por lo que el sistema tiene la gran desventaja de que en días nublados o lluviosos el sistema no proporciona la energía requerida.

La operación normal del sistema se inicia alimentando el agua a temperatura ambiente en el tanque (FA-1), para luego ser bombeada por (GA-1) al primer banco de captadores solares. El agua circula a través del banco para pasar nuevamente a FA-1, completándose así el ciclo. Esta recirculación se repite hasta que la temperatura del agua a la salida de los captadores se iguala a la de entrada de los mismos ($65 + 5^{\circ}\text{C}$). Del tanque (FA-1) el agua pasa al tanque de almacenamiento (FA-2) mediante la misma GA-1. De aquí una cantidad de agua se utiliza directamente en el proceso de acabados textiles y otra cantidad es bombeada al tanque

(FA-3), de donde el agua se bombea por GA-3 hacia el segundo banco de captadores solares y retorna al tanque (FA-3). El ciclo se repite hasta que la temperatura alcanza $80 + 5^{\circ}\text{C}$.

Del tanque (FA-3) el agua pasa al tanque de almacenamiento (FA-4), de éste una cantidad de agua se ocupa directamente en el proceso y otra cantidad es bombeada al tanque (FA-5), de ahí el agua se bombea por GA-

5 al tercer banco de captadores solares, repitiéndose la misma operación que en los bancos anteriores hasta alcanzar una temperatura de $90 + 5^{\circ}\text{C}$ en el tanque (FA-5). El agua a esa temperatura es bombeada por GA-5 al tanque de almacenamiento (FA-6) para ser utilizada directamente en el proceso de acabados textiles.

3.6 Dimensionamiento Preliminar.

Para efectuar el dimensionamiento de la parte solar de los sistemas propuestos se utilizó el paquete de análisis en computadora de calentadores solares CSAD-I [16], que facilita el cálculo y análisis de dichas secciones.

Este paquete simula un sistema formado por un conjunto de captadores planos orientados en una sola dirección y construidos bajo cierta especificación. Dentro de los captadores circula un fluido, normalmente agua, con calor específico y flujo por unidad de área conocidos. El fluido se hace circular entre los captadores y el tanque de almacenamiento térmico no estratificado por medio de una bomba; las propiedades aislantes, el calor específico, la masa total y el área total expuesta al ambiente del tanque de almacén térmico son conocidos.

En este problema las 25 o 30 variables (apéndice C) que

como mínimo intervienen, pueden reducirse a unas 20 sin que el proceso de solución se vea apreciablemente afectado en cuanto a precisión [16]. El balance térmico del sistema está presentado en la ref. [17]. Este proceso requiere una expresión explícita de la radiación solar en sus fracciones directa y difusa, como función del tiempo [18] y de las pérdidas térmicas del captador en función explícita de las temperaturas del sistema y del ambiente [19]. Las variables de cada sistema, clima y condiciones operativas se alimentan al paquete para iniciar el proceso de solución. La estructura básica del paquete se muestra en el apéndice C.

Para realizar el dimensionamiento preliminar los datos iniciales de entrada (apéndice C) corresponden a un colector de placa plana con una cubierta de vidrio, cuyo espesor es de 4 mm con una reflectancia difusa de 0.16 [11]. El absorbedor es de cobre cubierto con pintura negra cuyo coeficiente de extinción es de 0.32 [11] y la absortancia es de 0.90.

Los datos geográficos corresponden a los de la ciudad de Puebla. Los datos de radiación global máxima, horizontal directa máxima, temperatura ambiente mínima y media máxima se muestran en la tabla 3.3. En la tabla se observa que hay temperaturas ambiente cercanas a 0°C. Estas temperaturas crean problemas de congelación en el agua. Sin embargo esto

puede resolverse agregando de 10 a 20% (en volumen) de etilén-glicol al agua de alimentación al sistema; el agregar este anticongelante no crea gastos considerables en la inversión del equipo. inversión del equipo. La temperatura inicial del sistema, esto es, la temperatura que tiene el sistema cuando se inicia la operación de la bomba (una vez extraída toda el agua caliente), se supone (pesimistamente) de 4°C más que la del agua de repuesto (a temperatura mínima ambiente) o bien se supone una temperatura media ambiente. En este caso se consideró igual a la temperatura media ambiente.

Tabla 3.3 Radiación y Temperaturas Promedio para la
Ciudad de Puebla. (16,18,19).

Mes	Rad.Horiz. Directa. (KW/m ²)	Rad.Horiz. Global. (KW/m ²)	Tem.Min. (°C)	Tem.Max. (°C)	Tem.Med. (°C)
Ene	0.713	0.558	-3.9	23.9	14.8
Feb	0.804	0.643	0.8	27.0	17.1
Mar	0.865	0.690	2.7	28.4	15.9
Abr	0.858	0.664	2.0	31.0	21.0
May	0.794	0.587	17.2	30.5	22.6
Jun	0.714	0.498	8.4	26.0	20.1
Jul	0.746	0.535	8.0	24.8	20.0
Ago	0.752	0.538	5.6	26.6	20.2
Sep	0.701	0.487	5.6	25.7	19.6
Oct	0.706	0.514	5.0	25.0	19.6
Nov	0.711	0.549	-2.0	25.9	17.0
Dic	0.678	0.524	0.0	24.3	16.7

3.6.1 Dimensionamiento preliminar del sistema A.

Se determina el área que cumpla con la condición del subsistema de captación de energía solar, dicha condición es que el agua deberá alcanzar una temperatura final mínima de 70°C en el tanque de almacenamiento durante todos los meses del año.

Los datos del subsistema son:

El fluido a calentar es agua con la siguientes características:

masa total	7,927.0 Kg/día
Cp	4.18 Kj/Kg°C
flujo a través del captador	0.10 Kg/m ² °C
área de pérdidas de calor.	23.10 m ²
volumen del tanque	8.0 m ³
coeficiente global de pérdidas térm.	0.00031 Kw/m ² °C

El procedimiento seguido fue variar el área de captación, hasta que se encontró la que cumple con la condición antes mencionada.

Los resultados de la parte solar del sistema A se muestran en la figura 3.11.

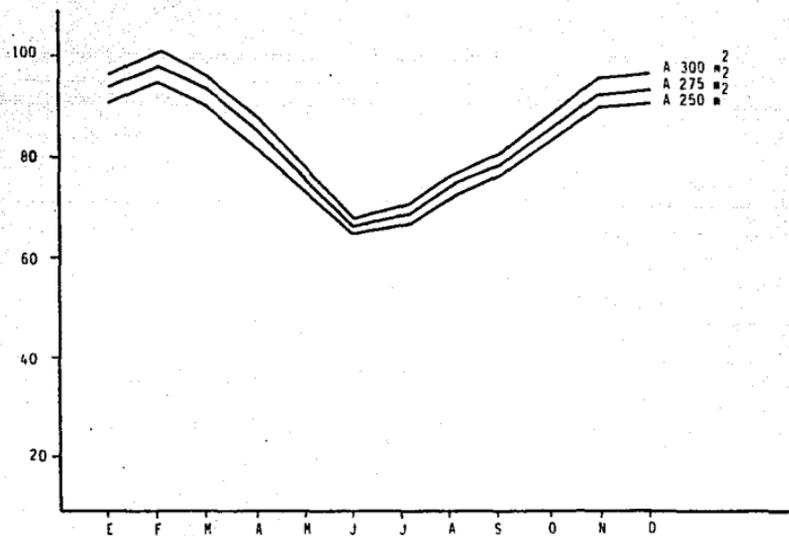


Fig. 3.11 Temperaturas Finales del Sistema, con distintas Areas de Captación en todos los meses del Año

El área de captación que se ajusta a las necesidades del sistema es aproximadamente de 300 m². Si bien dicha área no cumple en mantener la temperatura de 70°C en todo el año, se observa que el comportamiento del sistema es similar, conforme aumenta el área de captación se alcanzan temperaturas mas altas a lo largo del año. Los cálculos indican que solo en los meses cercanos al verano no se satisface la temperatura de 70°C. Si se optara por un área de captación mayor a 300 m², se encontraría el área que satisficiera dicha temperatura en todos los meses de año, pero en los meses diferentes al verano se alcanzarían temperaturas muy superiores a los 70°C, por lo que se caería en un sobrediseño del área de captación.

3.6.2 Dimensionamiento preliminar del sistema B.

Para este sistema que consta de tres bancos de captación la condición es que el agua debe de alcanzar una temperatura final en el tanque de almacenamiento del primer banco de captadores de 70°C, de 85°C en el segundo y de 95°C en el tercero, durante todos los meses del año. Las masas de agua a calentar son de 7,927., 3,149. y 1,840 Kg. al día respectivamente para cada banco de captadores. Es decir, en el primer banco de captadores la masa de agua que se va a estar recirculando es de 7,927 kg. Una vez que se alcanza la temperatura de 70°C, una

cantidad de agua se ocupa directamente en el proceso de acabados textiles y 3,149 kg.; de agua pasan al segundo banco de captadores. De manera similar, una vez que dicha agua alcanza una temperatura de 85°C, una cantidad de agua se lleva al proceso para uso final y 1,840 kg.; pasan al tercer banco de captadores para proporcionales energía calorífica para aumentar su temperatura a 95°C. Debido a que operan con distintas cantidades de agua y los requerimientos de energía son distintos en cada banco, las áreas de captación son distintas.

Los volúmenes de los tanques de almacenamiento son de 8 m³, 3 m³ y 2 m³ respectivamente. Todos ellos recubiertos de poliuretano rígido con un coeficiente global de pérdidas de 0.00031 KW/m²°C.

Los resultados se muestran en las figuras (3.11,3.12,3.13). En la fig. 3.11 los resultados son iguales tanto para el sistema A y B (en el primer banco de captación) porque operan con la misma cantidad de agua y la misma temperatura. Las figs. 3.12 y 3.13 muestran los resultados para el segundo y tercer banco de captadores respectivamente. Estas figuras muestran el comportamiento del sistema a lo largo del año con distintas áreas de captación. Las curvas dan una visión del área adecuada para satisfacer los requerimientos de agua a 80 y 95°C.

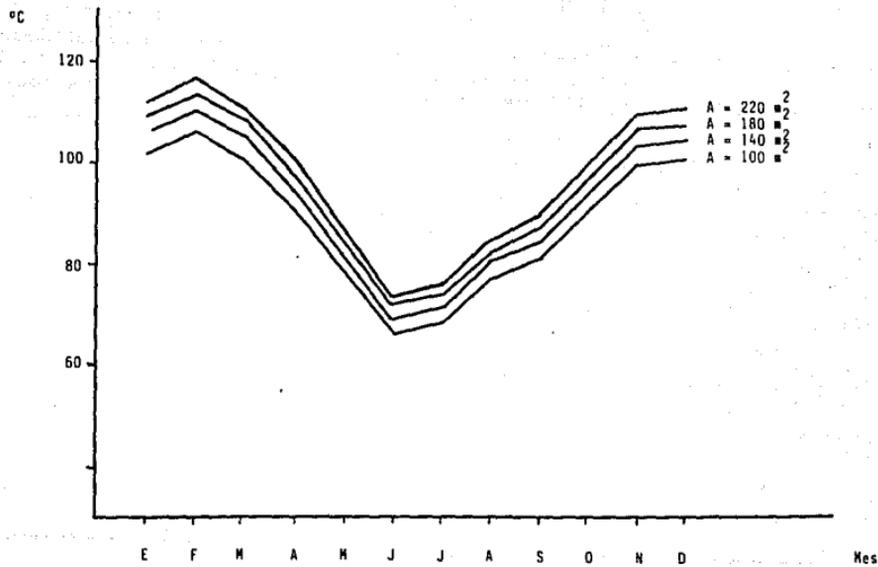


Fig. 3.12 Temperaturas Finales del Sistema para el Segundo Banco de Captadores

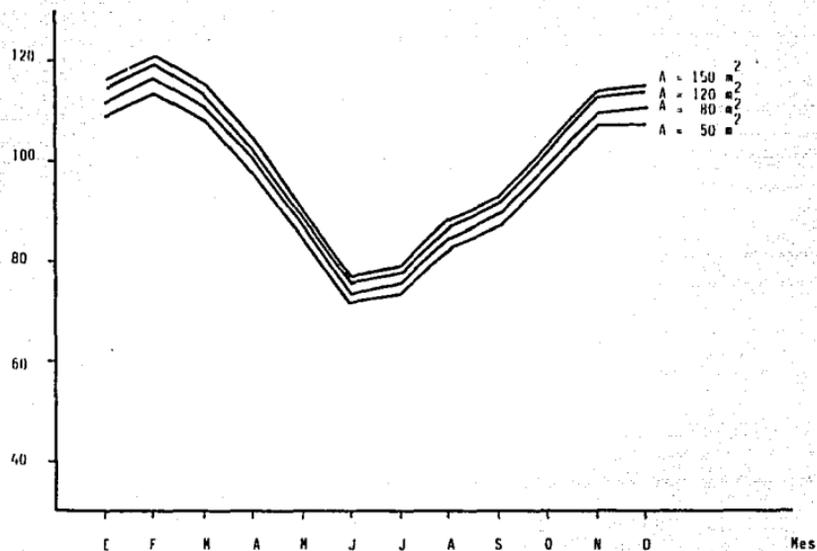


Fig. 3.13 Temperaturas Finales del Sistema para el Tercer Banco de Captadores

3.7 Dimensionamiento Optimizado.

Una vez encontrada el área de los sistemas establecidos, se realizó un análisis de sensibilidad, variando distintos parámetros para ver en que forma afectan el área de captación. Para dicho fin se utilizó el programa de simulación CSAD-I.

3.7.1 Metodología de análisis.

Para realizar este análisis se procedió a mejorar el aislamiento térmico con el fin de reducir las pérdidas de calor al mínimo. Otro parámetro que se analizó fue la variación en la orientación del plano de captación así como el flujo de líquido en los captadores; también se analizó el sistema variando ciertas características en los propios captadores.

3.7.2 Simulación del sistema A.

Para hacer el análisis en este sistema, se partió con el área de captación obtenida previamente de 300m² (fig. 3.11). Como ya se discutió anteriormente, los meses en que no se alcanza la temperatura final de 70°C son Mayo, Junio, Julio y Agosto; esto se debe a que, la radiación que cae sobre la superficie terrestre es función de la localización del lugar (latitud) y del ángulo de la superficie. Un

colector horizontal recibe la máxima radiación en los meses de verano; a medida que el ángulo del colector se incrementa respecto a un plano horizontal, la radiación total recibida durante los meses del verano decrece y en los meses de invierno la radiación se incrementa.

Para mejorar el aislamiento térmico, la condición es que: Dados los datos climatológicos ya establecidos, el abatimiento de temperaturas del tanque desde que la bomba para hasta que ha transcurrido la noche no sea mayor de $1.5-2.0^{\circ}\text{C}$. Para este análisis se partió de un aislamiento de espuma de poliuretano rígido, con una conductividad térmica K de $0.0154 \text{ Kw/m}^{\circ}\text{C}$.

El problema se prestó a solución por iteraciones, colocando un valor cualquiera para el coeficiente global de pérdidas térmicas del tanque. Los resultados se muestran en la tabla 3.4. Estos resultados indican que si se tiene un espesor de aislante considerable, las pérdidas de calor son pequeñas. Por el contrario, si se tiene poco espesor de aislante las pérdidas de calor aumentan. Para este caso el aislamiento buscado corresponde a un valor de coeficiente de pérdidas térmicas de $0.00066 \text{ Kw/m}^{\circ}\text{C}$ con un espesor de aislante de 19 mm. El espesor de aislante se elige en función de costos y de las pérdidas térmicas que se permitan tener en el sistema.

Tabla 3.4 Diferencia de temperaturas en el tanque de recirculación en función del coeficiente global de pérdidas térmicas

U (Kw/m ² *°C)	ΔT en el tanque (°C)	Espesor del aislante. (mm)
0.00025	0.26	50
0.00031	0.53	40
0.00041	0.84	30
0.00062	1.27	20
0.00066	1.30	19

Para analizar el comportamiento del sistema en función de la orientación del plano de captación, se realizaron varias corridas variando en los datos iniciales de entrada el ángulo de inclinación de los captadores a 40, 30 y 25 grados. Se recuerda que el conjunto inicial de datos incluye una inclinación de 50 grados hacia el Sur cuyos resultados indican que dicha inclinación es adecuada para los meses distintos al verano. En la fig. 3.14 se muestra el comportamiento del sistema al variar este parámetro; en dicha figura se observa que en la medida que se disminuye el ángulo de inclinación en los captadores el sistema proporciona agua a 70°C a lo largo del año, siendo esta situación favorable para los meses cercanos al solsticio de verano; por lo tanto es adecuado tener una inclinación en los captadores de 30-25 grados.

Se analizó también el comportamiento del sistema variando el flujo de agua a través de los captadores. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.5. Esta tabla indica que al aumentar la velocidad de circulación bajan las pérdidas térmicas del captador. Sin embargo al disminuir el gasto de 0.1 a 0.05 Kg/sm² baja la temperatura del agua 0.4°C y si se aumenta el gasto de 0.1 a 1.0 aumenta la temperatura en 0.1°C. Estas cifras que indican ganancia o pérdida de temperatura, no son realmente cifras significativas que varíen en gran medida el comportamiento del sistema. Por lo tanto es conveniente seguir conservando

el flujo de $0.1 \text{ Kg/m}^2\text{°C}$ (recomendado por fabricantes de colectores de placa plana). Por otra parte, un aumento en el flujo trae como consecuencia un aumento en las caídas de presión. Finalmente se analizó el sistema variando las características de diseño en los captadores, ya que para que un captador solar sea eficiente desde el punto de vista térmico se requiere que absorba la máxima cantidad posible de radiación solar y emita la mínima. Los cálculos preliminares corresponden a un captador sencillo, con la superficie del absorbedor pintada de negro y una cubierta de vidrio. Se corrió el programa con las variantes siguientes en los captadores.

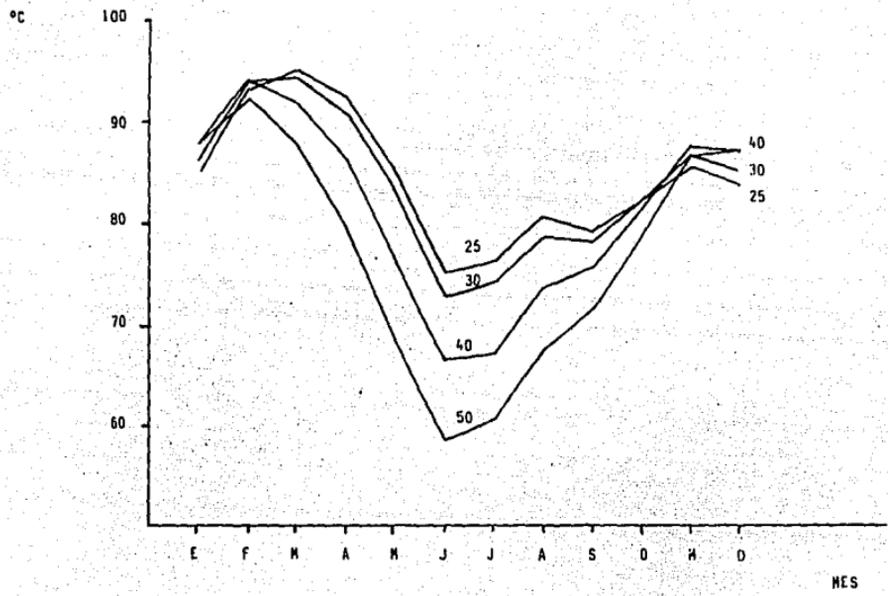


Fig. 3.14 Temperaturas finales del sistema en función del ángulo de inclinación.

Tabla 3.5 Temperatura final del agua en el tanque de recirculación en función del flujo de agua a través de los captadores.

Flujo de agua en captadores. (Kg/s m ²)	Temperatura final en el tanque. (°C)
0.05	72.55
0.08	72.91
0.10	72.96
0.20	73.04
0.40	73.07
1.00	73.10

- a) Un captador con la superficie del absorbedor pintada de negro con doble cubierta de vidrio.
- b) Un captador con superficie selectiva y una cubierta de vidrio.
- c) Un captador con superficie selectiva y doble cubierta de vidrio.

En la tabla 3.6 se dan los resultados, los cuales incluyen al captador sencillo, denominado con d).

Los resultados indican que el uso de doble vidrio es inadecuado, pues la pérdida de radiación transmitida debido a la segunda cubierta es mas significativa que el aumento en calor retenido. Por otra parte la sustitución de la pintura negra por superficie selectiva si es beneficiosa. Esto es lógico ya que una superficie selectiva tiene la característica de tener una alta absortancia de radiación solar y una emitancia baja.

**Tahla 3.6 Temperatura final del sistema con
captadores de diseño distinto.**

Tipo	α	T. final (°C)	E (Kw/m ² ·°C)	j
a	0.95	69.41	1.988E-3	1.08
b	0.95	83.16	2.005E-3	1.18
c	0.95	72.46	1.673E-3	1.18
d	0.90	72.96	4.100E-3	1.15

α es el coeficiente de absorción.

E coeficiente de pérdidas térmicas del captador.

j exponente de las pérdidas térmicas del captador.

Una vez que se analizó el efecto que produce en el sistema la variación de los parámetros ya citados, se procedió a correr el programa con el área de captación de 300 m² y los parámetros mejorados, un valor de coeficiente de pérdidas térmicas de 0.00066 Kw/m²*C, un ángulo de inclinación en los captadores de 25 grados y con las especificaciones que corresponden a un colector con superficie selectiva y una cubierta de vidrio. Los resultados de esta corrida se muestran en la fig. 3.15. En dicha figura puede apreciarse que el sistema es capaz de proporcionar agua por arriba de 70°C en todo el año. Esto significa que el cambio de valores en los parámetros es positivo, ya que el área de captación obtenida en los cálculos preliminares (300 m²) resultó sobrada. Por tal motivo se hizo necesario ajustar el área de captación. En la fig. 3.16 se dan los resultados. Dicha figura muestra el comportamiento del sistema con dos áreas distintas. Los resultados indican que el sistema que tiene un área de captación de 195 m² satisface la temperatura de 70°C a lo largo de año y el sistema que presenta un área de captación de 170 m² satisface dicha temperatura excepto en los meses de junio y julio.

Se sabe que el sistema en cuestión cuenta con calentadores para ser utilizados cuando se requiera, por tal motivo no representa un problema el que no se satisfaga la temperatura del agua en todo el año; también se debe

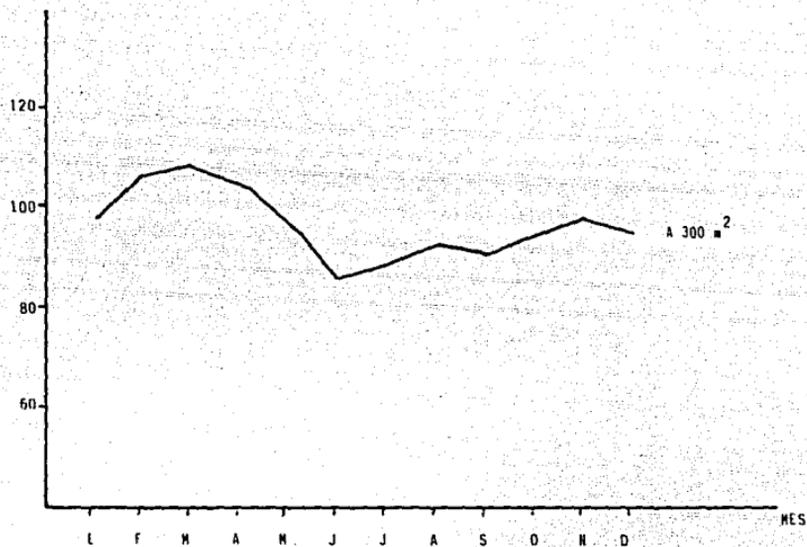


Fig. 3.15 Temperaturas finales del Sistema, con Variables Optimizadas

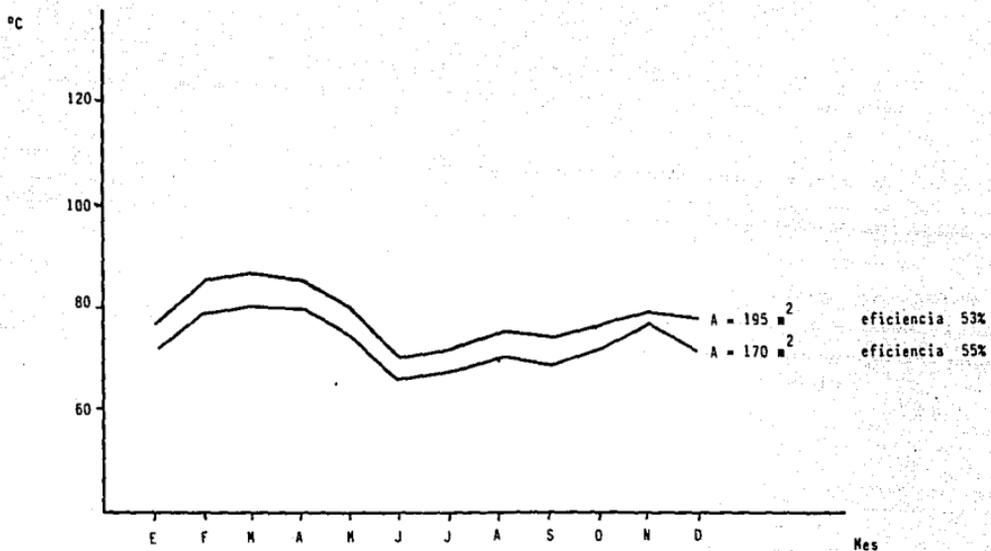


Fig. 3.16 Reajuste del Area de Captación

considerar que un incremento en el área trae como consecuencia un aumento en el costo del subsistema de captación. Por tales razones se optó por el sistema que posee 170 m² de área de captación.

3.7.3 Simulación del sistema B.

Para hacer el análisis en este sistema, se tomó como base los resultados obtenidos en los cálculos preliminares; para el primer banco de captadores se partió con 300 m² de área de captación, para el segundo banco con 220 m² y para el tercer banco con 150 m².

Para realizar el análisis se siguió la misma metodología que se aplicó en el sistema A.

En este sistema los tres bancos de captación deben proporcionar el agua a las temperaturas que se requiere en todos los meses de año sin excepción ya que este sistema no cuenta con calentadores complementarios.

Respecto al primer banco de captación, las condiciones son las mismas que se dieron en el banco de captación del sistema A (cantidad de agua, temperatura), por lo cual el análisis de los parámetros que se realizó para el sistema A, aplican de igual forma para este banco de captación en cuanto a tendencias y números. Debido a esto se procedió a

encontrar el área óptima con los siguientes parámetros mejorados; un valor de coeficiente de pérdidas térmicas de $0.00066 \text{ Kw/m}^2\text{°C}$, un ángulo de inclinación de los captadores de 25 grados y con las especificaciones de un captador con superficie selectiva y una cubierta de vidrio. El resultado final se muestra en la fig. 3.17, la cual indica el comportamiento del sistema con un área de captación de 180 m^2 .

Para el segundo y tercer banco de captación, el análisis que se realizó anteriormente en los parámetros de la orientación en el plano de captación, flujo de líquido a través de los captadores y diseño de los captadores tienen el mismo efecto en el comportamiento de este sistema; así que solo se analizó en el segundo y tercer banco de captación el aislamiento térmico, para ello se llevó a cabo la misma mecánica descrita anteriormente.

Los resultados para el segundo banco de captación se muestran en la tabla 3.7. Siguiendo el mismo razonamiento de que se desea que el abatimiento de temperaturas en el tanque desde que la bomba para hasta que ha transcurrido la noche no sea mayor de $1.5\text{-}2.0\text{°C}$, se eligió un aislamiento de 50 mm de espesor al que corresponde un coeficiente global de $0.00025 \text{ Kw/m}^2\text{°C}$.

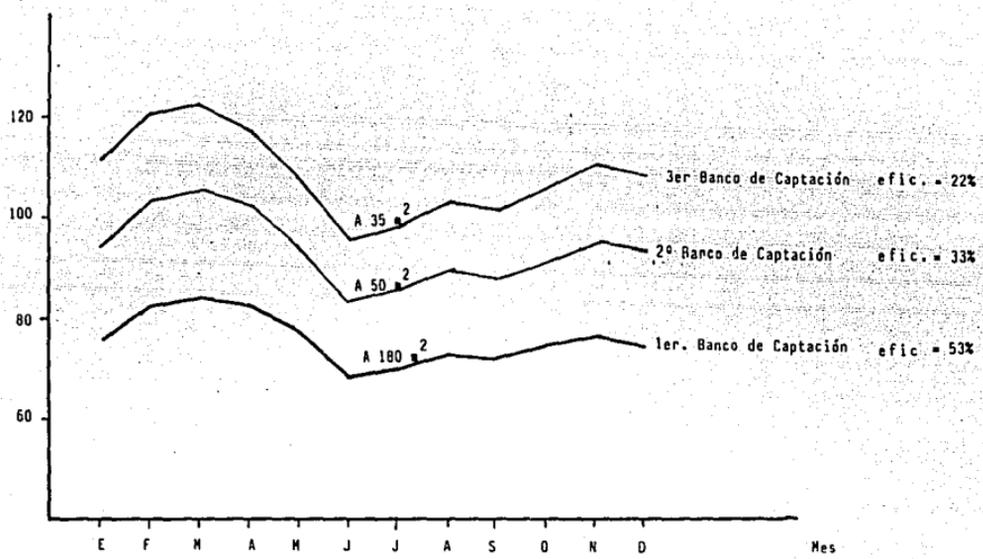


Fig. 3.17 Temperaturas finales en los bancos de captación del sistema solar B.

Tabla 3.7 Diferencia de temperaturas en el tanque en función del coeficiente global de pérdidas térmicas (2do. banco de captadores)

U	ΔT en el tanque	Espesor del aislante.
(Kw/m ² °C)	(°C)	(mm)
0.00062	3.51	20
0.00041	3.21	30
0.00031	2.51	40
0.00025	2.05	50
0.00021	1.74	60

Para el tercer banco de captadores los resultados se muestran en la tabla 3.8. En este caso el aislamiento buscado corresponde a un valor de coeficiente de pérdidas térmicas de $0.00031 \text{ Kw/m}^2\cdot\text{C}$, con un espesor de aislante de 40 mm. La experiencia anterior de correr el programa tomando en cuenta el área de captación obtenida preliminarmente y los parámetros mejorados, indicó que dicha área está sobrada para los requerimientos de energía considerados. Es por ello que se realizó directamente la corrida de los programas con los parámetros mejorados para encontrar el área adecuada; los resultados finales se muestran en la fig. 3.17.

Nótese que a medida que se alcanzan temperaturas mas altas, la eficiencia del sistema de energía solar disminuye. Esto se debe al incremento en las pérdidas de energía por convección, radiación y conducción.

Tabla 3.8 Diferencia de temperaturas en el tanque en función del coeficiente global de pérdidas térmicas (3er. banco de captadores)

U (Kw/m ² °C)	ΔT en el tanque (°C)	Espesor del aislante (mm)
0.00018	1.40	60
0.00025	1.64	50
0.00031	2.07	40
0.0006	4.23	20

3.8 Resumen de Características de los Sistemas A y B.

El sistema A, cuya función es precalentar el agua, tendrá un banco de captadores con un área de captación de 170 m². La característica de los captadores es que tienen superficie selectiva y una cubierta de vidrio. El sistema proporcionará agua (7,927 lts/día) a temperatura de 70°C. Se estableció esta temperatura porque va a haber pérdidas de calor en la distribución del agua. Recuérdese que la temperatura final que interesa en el proceso de acabados es de 65°C. El sistema tiene como equipo complementario una serie de calentadores, los cuales se utilizan para calentar el agua a 80 y 95°C. El arreglo de los captadores depende del área total de éstos y del terreno disponible. Para fines de análisis se consideró un arreglo serie/paralelo. El ángulo de inclinación de los captadores es de 25 grados hacia el sur.

El sistema B, tiene un área de captación total de 265 m² que están distribuidos de la siguiente forma: 180 m² en el primer banco de captadores, 50 m² en el segundo banco de captadores y 35 m² en el tercer banco. La característica de los captadores son las mismas que se mencionaron en el sistema A. Este sistema no opera en días nublados o lluviosos.

3.9 Cálculo del Equipo Auxiliar de los Sistemas A y B.

El equipo auxiliar consiste básicamente en bombas, tanques (recirculación y almacenamiento) y calentadores convencionales.

Para determinar la potencia de las bombas se calculó la diferencia de presiones en éstas (presión diferencial). Para ello se calculó la energía disipada por fricción (Hfs) mediante la ecuación de Darcy que involucra variables del sistema como diámetro y longitud de tramo recto de la tubería, número y tipo de válvulas, y accesorios; propiedades del fluido (densidad y viscosidad) y gasto volumétrico.

El cálculo de los tanques se hizo en base al código ASME, sección VII. Para los tanques de recirculación se tomó en cuenta el volumen de agua que se utiliza en un día y para los tanques de almacenamiento se consideró un tiempo de residencia de dos días. También se utilizaron las propiedades del fluido, la presión de operación (atmosférica) y de diseño, la temperatura de operación de diseño, la relación longitud-diámetro recomendadas (L/D) y el material de los tanques.

Para calcular la carga térmica de los calentadores se hizo un balance de energía en el equipo tomándose en cuenta, la cantidad y temperatura del agua a calentar,

propiedades del combustible (composición y poder calorífico inferior) y la eficiencia del calentador.

Los resultados del dimensionamiento de los equipos, se muestran en la tabla 3.9.

3.10 La Industria Textil como Mercado Potencial de Captadores solares.

La producción nacional de acabados textiles es actualmente de 37 023.3 ton/año. Si se implementaran sistemas solares como el propuesto para cubrir las necesidades de agua caliente que se requiere, serían necesarios 99 333 m² de área de colección, lo que implica que con la capacidad instalada actual de la industria solar (57 000 m² / año aprox), es suficiente para fabricar al término de cuatro años la cantidad en m² requeridos. Por lo antes citado, la rama de acabados textiles representa un mercado potencial para la industria solar. Si estos sistemas se implementaran, el costo de los captadores (\$/m²) tendería a disminuir ya que la industria solar se vería en la necesidad de automatizarse y su producción sería constante.

Tabla 3.9 Resultados del dimensionamiento del equipo auxiliar de los sistemas A y B.

Sistema A		Sistema B	
equipo	dimensión	equipo	dimensión
AC-1	170 m ²	AC-1	180 m ²
		AC-2	50 m ²
		AC-3	35 m ²
GA-1		GA-1	
Q	19.0 lts/s	Q	19.0 lts/s
H	7.6 m	H	7.6 m
Hp	3.0	Hp	3.0
GA-2		GA-2	
Q	0.13 lts/s	Q	0.4 lts/s
H	4 m	H	4 m
Hp	1/4	Hp	1/4
GA-3		GA-3	
Q	0.19 lts/s	Q	5.0 lts/s
H	3.66 m	H	4 m
Hp	1/4	Hp	1/2

continuación de tabla

GA-4	
Q	0.1 lts/s
H	3.5 m
Hp	1/4
GA-5	
Q	4 lts/s
H	4.5 m
Hp	1/2
GA-6	
Q	0.1 lts/s
H	3.5 m
Hp	1/4

FA-1		FA-1	
d	2 m	d	2 m
h	3.5 m	h	3.5
FA-2		FA-2	
d	2 m	d	2 m
h	4.5 m	h	4.5 m
FA-3		FA-3	
d	1 m	d	1.25 m
h	2 m	h	2.75 m
FA-4		FA-4	
d	0.5 m	d	1.5 m
h	1.5 m	h	3.25 m

continuación de tabla

FA-5		FA-5	
d	1 m	d	1 m
h	2 m	h	2 m
		FA-6	
		d	1.5 m
		h	3.0 m
GB-1			
Qt	18 000 kcal/h		
GB-2			
Qt	10 000 kcal/h		

CAPITULO IV

EVALUACION DE ALTERNATIVAS

4.1 Generalidades.

En este capítulo se evaluaron las alternativas solares "A" y "B", comparándolas con los sistemas convencionales descritos en la sección 3.3.

En lo sucesivo el sistema convencional que utiliza gas licuado como combustible se denominará "C" y el que utiliza diesel se denominará "D".

Para hacer la evaluación se utilizó el método de costos anualizados.

4.2 Precios de Equipo y Combustibles

4.2.1 Precios Históricos y Proyectados de los combustibles.

Los precios históricos proporcionados por PEMEX [22], para los combustibles de referencia, se muestran en la tabla 4.1. Estos datos se correlacionaron para extrapolar a

cinco años. Se hizo una correlación simple, la cual involucra precios de combustibles y tiempo, probándose diferentes curvas de ajuste como la exponencial, potencial y polinomial. La curva que se ajustó mejor a los datos fue de tipo exponencial. Los resultados se muestran en la misma tabla. Como puede observarse en las figuras 4.1 y 4.2 el precio había tenido incrementos casi constantes hasta el año de 1984. Sin embargo, a partir de 1985, el aumento en los precios ha sido más acelerado.

Los datos no se proyectaron más allá de cinco (23) años por la incertidumbre en la política de precios del petróleo y el incremento constante de la tasa de inflación. Cabe mencionar que PEMEX no se aventura a pronosticar precios sino que maneja índices de precios que supone constante, en la realización de sus predicciones de consumo de combustibles.

Tabla 4.1 Precios históricos y proyectados de combustibles [22].

Año	Diesel (\$/lt)		Gas licuado (/Kg)	
	hist.	proy.	hist.	proy.
1982	3.60	5.18	4.40	3.92
1983	13.85	10.19	8.70	7.79
1984	24.63	20.04	11.90	15.46
1985	37.28	39.41	28.90	30.70
1986	83.53	77.50	58.72	60.95
1987	241.00	152.41	206.00	121.03
1988		299.71		240.27
1989		589.39		477.00
1990		1159.04		947.11
1991		2279.29		1880.62
1992		4482.29		3733.36

Diesel $m = 0.2937$ $b = 0.4207$ $y = b \cdot 10^{mx}$

$r = 0.999$

Gas l.P $m = 0.2979$ $b = 0.2958$ $y = b \cdot 10^{mx}$

$r = 0.998$

donde $m =$ pendiente; $b =$ ordenada al origen

$r =$ factor de correlación

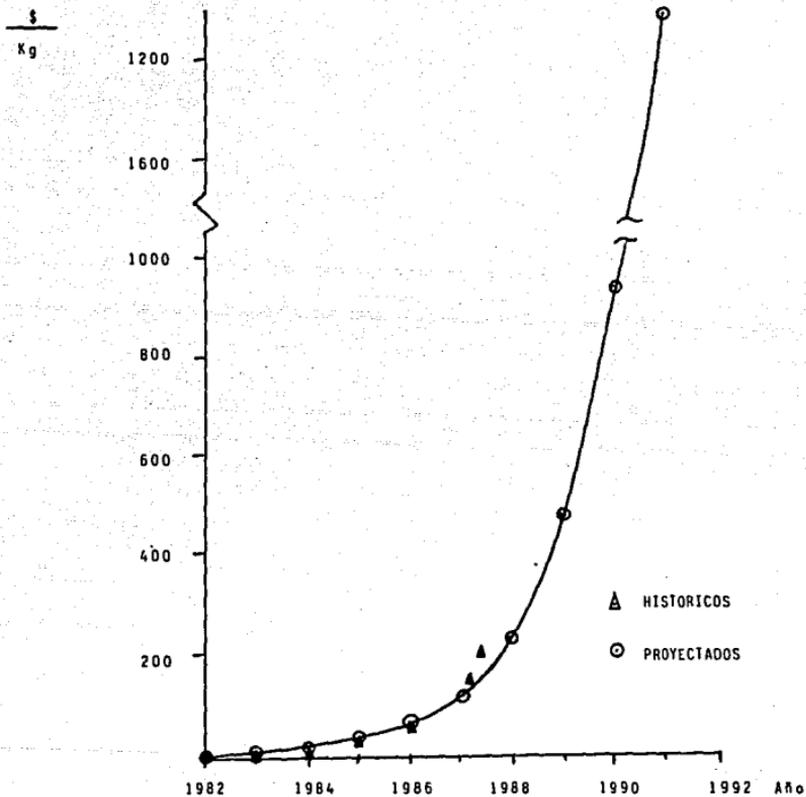


Fig. 4.1 Datos históricos y proyección de los precios de gas licuado.

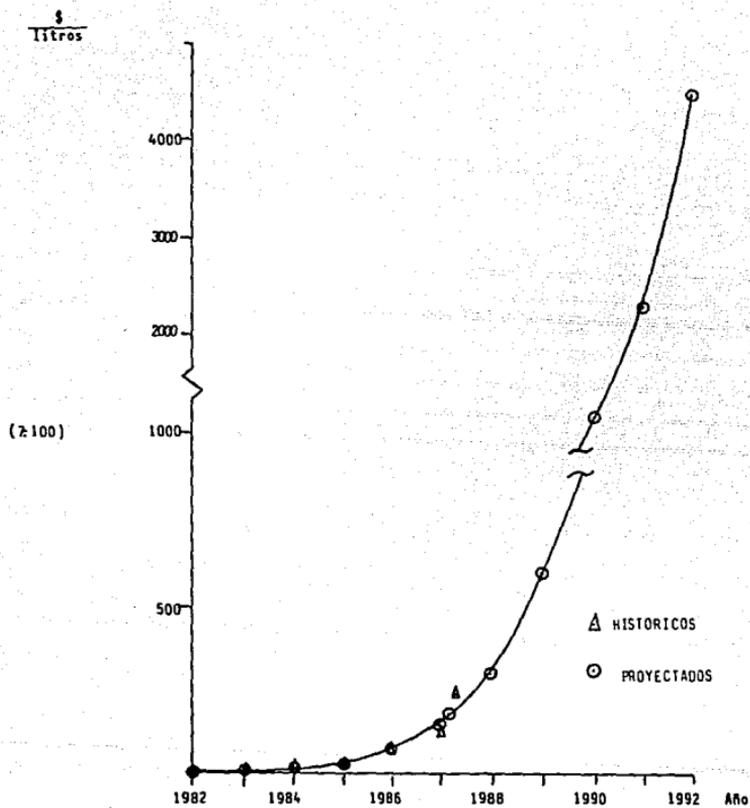


Fig. 4.2. Datos históricos y proyección de los precios de diesel.

4.2.2 Precios del equipo.

Los precios a pesos de septiembre de 1987 de los equipos que conforman los diferentes sistemas se muestran en las tablas 4.2-4.5. Dichos precios se obtuvieron directamente de fabricantes. Para ello se les proporcionó información de las características principales de los equipos.

Para el caso de las bombas los datos proporcionados fueron: fluido, densidad, viscosidad, temperatura de operación, presión de succión, presión de descarga, columna diferencial, potencia hidráulica y gastos máximo, mínimo y normal. En el caso de los recipientes se proporcionaron datos como: fluido, densidad, temperatura de diseño y máxima, presión normal, máxima y de diseño, volumen, diámetro y longitud. Para los captadores de placa plana se dio la información siguiente: número de cubiertas, materiales de la caja de sostén, material del absorbedor y de la superficie de absorción. Por último, los datos que se proporcionaron a los fabricantes de calentadores y calderas fueron: fluido, temperatura de entrada del agua, gasto, carga térmica, tipo de combustible, presión del vapor a la salida (en caso de calderas).

Tabla 4.2 Costos Desglosados del Sistema "A"
(pesos de 1987)

equipo	\$/unidad	\$ total
Colectores de placa		
plana (170 m ²)	258 300/1.9 m ²	23 233 333
Bombas		
GA-1/R	1 243 037	2 486 074
GA-2	257 570	257 570
GA-3	257 570	57 570
Tanques		
FA-1	1 194 663	1 194 663
FA-2	1 621 083	1 621 083
FA-3	731 348	731 348
FA-4	365 671	365 671
FA-5	731 343	731 343
Calentadores de paso		
GB-1	168 000	168 000
GB-2	168 000	168 000
	total	30 970 022

Tabla 4.3 Costos Desglosados del Sistema "B"
(pesos de 1987)

Equipo	\$/unidad	\$ total
1er. Banco de captadores		
Colectores de placa		
plana (180 m ²)	258 300/1.9 m ²	24 538 500
Bombas		
GA-1/R	1 243 037	2 486 074
GA-2	257 570	257 570
Tanques		
FA-1	1 194 663	1 194 663
FA-2	1 502 009	1 502 009
2do. Banco de captadores		
Colectores de placa		
plana (50 m ²)		6 974 100
Bombas		
GA-3/R	851 644	1 700 000
GA-4	257 570	257 570
Tanques		
FA-3	748 750	748 750
FA-4	468 550	468 550

continuación de tabla

3er. Banco de captadores		
Colectores de placa		
plana (35 m ²)		4 907 700
Bombas		
GA-5	851 644	851 644
GA-6	257 570	257 570
Tanques		
FA-5	599 000	599 000
FA-6	778 700	778 700
Aislante	1 381 958	1 381 958
	total	48 904 358

Tabla 4.4 Costos Desglosados del Sistema Convencional
 "C" (combustible gas L.P)

Equipo	\$/unidad	\$ total
Caldera	16 000 000	16 000 000
Bomba de alimen- tación de agua	526 000	526 000
Suavizador de agua	1 800 000	1 800 000
Quemador	6 000 000	6 000 000
	total	24 326 000

Tabla 4.5 Costos Desglosados del Sistema Convencional
 "D" (combustible diesel)

Equipo	\$/unidad	\$ total
Caldera	16 000 000	16 000 000
Bomba de alimen- tación de combus- tible	445 000	445 000
Bomba de alimen- tación de agua	526 000	526 000
Suavizador de agua	1 800 000	1 800 000
	total	18 771 000

4.3 Metodología de Evaluación.

Para efectuar la evaluación de las alternativas se consideraron los siguientes factores:

- Costo inicial (este rubro se refiere al costo de equipo que conforma el sistema y al costo de instalación).
- Costo de operación (en este rubro se están considerando los costos de agua, electricidad y combustible).
- Costo de mantenimiento (se refiere a gastos que se tienen por concepto de limpieza, ajustes en accesorios y equipos, reposición de partes, etc.)
- Costo de financiamiento (se refiere al costo que se debe pagar cuando la inversión está financiada por una institución y se refleja en una tasa de interés bancario).
- Valor de rescate (es el valor que tiene el equipo al término de su vida útil).
- Vida útil (es el tiempo en el cual se considera que

el equipo producirá bienes y servicios en una forma adecuada).

- Estímulo fiscal (se refiere a las políticas que el estado realiza para promover la producción o venta de un artículo de consumo).

Los fabricantes de equipo proporcionaron los porcentajes que sobre la inversión fija se aplican para obtener los costos de mantenimiento, instalación, así como el valor de salvamento y el tiempo de vida útil de los equipos.

Respecto a los rubros anteriores cabe mencionar que los costos de instalación incluyen la mano de obra y materiales.

Con respecto a la depreciación acelerada de los sistemas solares se tiene que, desde el punto de vista empresarial conviene utilizar métodos de depreciación acelerada para la recuperación de su inversión. Por otro lado en épocas de inflación sería beneficioso para las empresas, que los bienes estuviesen afectados bajo éste régimen de depreciación.

En los costos de operación no se consideró el costo por mano de obra, ya que se necesita el mismo número de

operarios, entonces este parámetro influye de igual manera en el costo de operación de los sistemas en estudio.

El método utilizado para la evaluación fue el de costos anualizados, que consiste en transformar los ingresos y gastos, durante la vida útil del proyecto, en una serie equivalente de gastos anuales. La ecuación que relaciona el valor presente de los gastos e ingresos (P), con su valor anualizado correspondiente (R), es:

$$R = P(1 + i)^n \cdot i / (1 + i)^n - 1$$

Las alternativas se compararon en base al costo del kilowatt-hora (\$/KW-hr) de energía entregada. La ecuación que relaciona los costos anualizados con la cantidad de energía útil proporcionada por el sistema, y que fue utilizada para este análisis, es la siguiente:

$$\frac{\$}{\text{KW-h}} = \frac{(\text{IF} + \text{M} + \text{COIA} + (\text{IF}/j) - S \cdot i / (1 + i)^n - 1)}{\text{EUTIL} \cdot F \cdot 8760} + \frac{\$C_i}{\text{KW-h}}$$

donde:

IF = Inversión fija.

$$A = (1 + i)^n \cdot i / (1 + i)^n - 1$$

M = Costos de mantenimiento.

CO = Costos de operación

j = No. de años a depreciar.

S = Valor de salvamento.

i = Tasa de interés.

SCi = Precio del combustible para el año iésimo.

F = Factor de planta.

EUTIL = Energía útil entregada por el sistema.

Los datos que se utilizaron para evaluar los sistemas se encuentran en la tabla 4.6. Cabe hacer notar que los sistemas solares fueron depreciados aceleradamente a cinco años por cuestión de incentivos fiscales.

4.4 Resultados de la Evaluación

Los resultados obtenidos para cada sistema se resumen en la tabla 4.7 y se grafican en la fig. 4.3. En la figura se observa que a partir de 1990 el costo por Kw-hora generado por el sistema "B" ($F_s = 1$) puede ser menor que el de los sistemas restantes. A partir de 1990 los sistemas solares "A" y "B" desplazarían los sistemas convencionales. Esto puede resultar cierto siempre y cuando los precios de los combustibles sigan la tendencia proyectada, o al menos alcancen el valor correspondiente a 1991.

Tabla 4.6 Datos Utilizados para la Evaluación de los Sistemas

Sistema	A	B	C	D
Concepto				
Costo de instalación (\$)	6194000	9780872	2000000	2000000
(% costo de equipo)	20	20		
Inversión fija. (\$)	37164000	58685230	26326000	20771000
Costo de mantenimiento (\$)	309700	489044	1216300	1600000
(% costo de equipo)	1	1		
Deprec. (\$)	7433000	11737046	2632600	2077100
Inversión fija/No. años a depreciar	5	5	10	10
Valor de salvamento (\$)	5574600	8802784	3948900	3115650
(% de I. f.)	15	15	15	15
Costo de op.	2023748	2755630	580132	870200
EUTIL (Kw)	21.10	26.92	22.44	22.44

Tabla 4.7 Costo por Kwatt-hora de energía útil
proporcionada por los sistemas.

Año	Sistemas			
	A	B	C	D
1987	96.80	115.00	63.70	64.50
1988	99.90	115.00	72.30	78.40
1989	106.20	115.00	89.30	105.80
1990	118.80	115.00	123.20	159.60
1991	146.60	115.00	186.0	265.50
1992	192.90	115.00	323.80	473.70

Las líneas punteadas correspondientes a los sistemas "C" y "D" indican el costo por KW-hr sin considerar el costo por combustible. Las líneas punteadas para los sistemas "A" y "B" no consideran el costo del combustible ni el costo por depreciación.

Lo anterior puede servir como base para comparar en un futuro las alternativas, ya que los precios de los combustibles pueden ser diferentes a los proyectados. En este caso se necesitaría únicamente evaluar el precio por Kw-hora por combustible para cada uno de los sistemas.

Se realizó un análisis adicional del sistema solar "A" para obtener el área de captación óptima desde el punto de vista económico. Para ello se procedió a obtener el precio por Kw-hora del sistema para distintas áreas de captación que cumplen con los requerimientos planteados en el capítulo III.

Los resultados de las evaluaciones se muestran en la fig. 4.4. En dicha figura se observa un precio por Kw-hora mínimo que corresponde a un área de 155 m².

Para áreas menores de 155 m² se observa que dicho precio se eleva conforme disminuye el área, esto es debido a que la energía entregada por el sistema es baja y el consumo de combustible se hace cada vez mayor, aunque la

inversión del equipo (los costos fijos) son menores.

En el caso de áreas mayores a 155 m² el incremento se debe a que a pesar de que el consumo de combustibles es menor, la inversión en equipo solar se hace cada vez mayor.

De lo anterior se deduce que debe haber un punto en el cual la inversión fija del sistema justifique la energía entregada por él, de acuerdo a las necesidades del problema.

$\frac{\$}{\text{Kw-Hr}}$

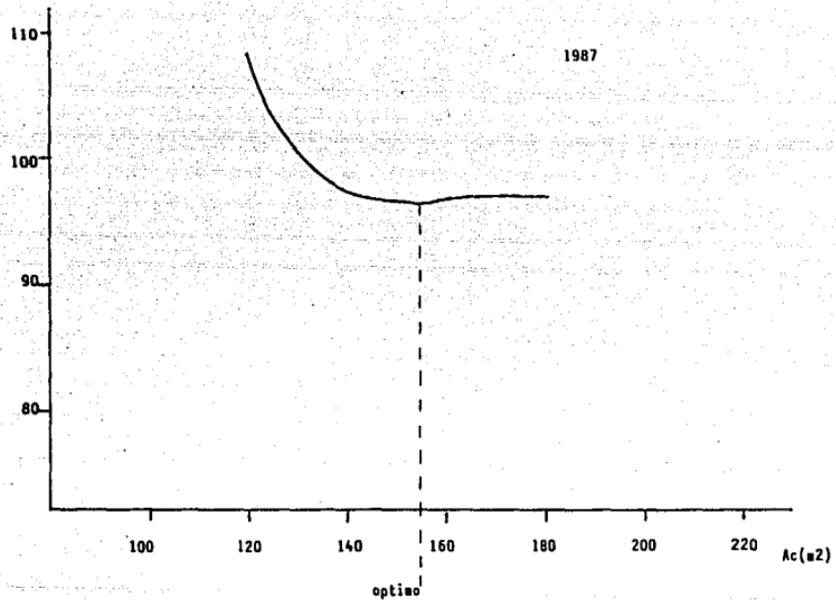


Fig. 4.4 Area de captación óptima del sistema solar A

CONCLUSIONES

La industria textil se concentra en el valle de México, Puebla y Tlaxcala. La tecnología que esta industria utiliza en sus procesos es atrasada. La industria textil muestra un balance energético ineficiente puesto que existen pérdidas de energía considerables, principalmente en la rama de acabados, por el calentamiento de agua con vapor y por no poseer un sistema de recuperación de energía.

Los sistemas solares mas adecuados para proporcionar agua caliente a temperaturas menores a la de ebullición son los que utilizan colectores de placa plana. La industria solar mexicana se ha desarrollado en este tipo de colectores. Aunque la tecnología de fabricación es semiautomática y la industria solar pequeña, se prevén posibilidades de ampliación, mecanización, y comercialización de la industria solar mexicana, puesto que no se tienen restricciones por materia prima y porque los principios de operación y fabricación son relativamente sencillos. Se daría gran auge a este tipo de sistemas si se siguen las políticas que propone la industria solar nacional (cap. II)

Los sistemas de precalentamiento de agua con energía solar pueden considerarse como una alternativa viable para disminuir el consumo de combustibles en los sistemas convencionales de calentamiento de agua en la industria textil.

El sistema "A" propuesto para calentamiento de agua es el adecuado para su implantación en la rama de acabados de la industria textil. Los sistemas híbridos, aquellos que utilizan fuentes de energía convencionales y no convencionales, son los apropiados para la generación de agua caliente en la industria, ya que los procesos no pueden parar a falta de varios días de insolación normal.

Los sistemas solares de precalentamiento de agua operando con colectores de placa plana parecen ser los mas viables para lograr competitividad económica con los sistemas convencionales a mas corto plazo.

Los costos de los sistemas de precalentamiento de agua mediante energía solar indican que el factor determinante de su economía es el costo de los colectores solares. Es posible que un incremento significativo en el tamaño del mercado nacional de colectores, y una mejora en la tecnología de fabricación de estos equipos tengan un impacto positivo sobre la economía de estos sistemas.

Si se implantase un sistema de calentamiento de agua usando energía solar, como el sistema "A" propuesto, el balance energético actual de la industria textil, se modificaría de la siguiente forma: en lugar de utilizarse 83,221 barriles de petróleo crudo para el calentamiento de agua se usarían unicamente 13,418 barriles.

En un futuro los sistemas de generación de agua caliente con energía solar serán competitivos con los sistemas tradicionales si sigue la tendencia en el incremento del precio de los combustibles comúnmente utilizados para este fin. Otras ventajas del uso de este tipo de sistemas sobre los convencionales son que no dañan la ecología y se diversifican las fuentes de energía.

APENDICE A

PRODUCCION BRUTA ANUAL PROMEDIO DE UNA EMPRESA TIPO DE ACABADOS TEXTILES DE ALGODON, POR ENTIDAD FEDERATIVA

Para determinar la producción bruta total, por entidad federativa, el análisis se basó en la siguiente información:

La producción total de telas acabadas de algodón en el año de 1975 y 1985 se obtuvo de las refs. {8,9} respectivamente; la tabla A.1 muestra la información.

Tabla A.1 Producción de telas acabadas de algodón

Actividad	Prod. Bruta Tot.		Prod. Bruta Tot.	
Telas Acabadas	1975	(ton.)	1985	(ton.)
drill, mezclilla				
caqui	17 515		15 906	
gabardina	8 509		5 302	
manta, bramante	4 059		6 299	
popelina	9 075		9 347	

La participación de las entidades federativas en la producción de telas de algodón acabadas, en el año de 1975, se muestra en la tabla A.2.

Tabla A.2 Participación por entidad federativa, en la rama de acabados, de telas de algodón (8).

Entidad Federativa	Participación %
D. F.	39.5
Edo. México	49.0
Puebla	9.0
Tlaxcala	1.0
Chih, Gto y N. L.	1.0
Jal, Mich y Mor	0.5

Aunque recientemente no se han reportado datos exactos de la participación de las entidades federativas en la rama de acabados de algodón, las investigaciones indican que la

participación de los estados en la rama de interés no ha sufrido variaciones considerables en los últimos años, por lo que los cálculos se basaron en datos de las tablas A.1 A.2. Los resultados se indican en la tabla A.3.

Tabla A.3 Producción bruta por entidad federativa

Entidad Federativa	Prod. Bruta Tot.	
	1975 (ton)	1985 (ton)
D.F	15 663.2	14 741.6
Edo. México	19 187.4	18 058.4
Puebla	3 524.2	3 316.8
Tlaxcala	391.5	368.5
Chih, Gto y N. L.	391.5	368.5
Jal, Mich y Mor	108.1	169 5

Para determinar la producción bruta anual promedio por empresa, se dividió la producción bruta total (información de la tabla A.3) entre el número de establecimientos (6). Los resultados finales se muestran en la tabla A.4.

Tabla A.4 Producción promedio anual por empresa en las distintas entidades federativas.

Entidad federativa	No. establecimientos	Prod. bruta promedio.
	1985	por empresa (ton)
D. F.	64	230.34
Edo. México	56	322.46
Puebla	47	70.57
Tlaxcala	9	40.95
Chih, Gto y N. L.	2	184.27
Jal, Mich y Mor.	8	21.19

APENDICE B

PRINCIPIOS BASICOS PARA EL ESTUDIO DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA CON COLECTORES SOLARES DE PLACA PLANA

Radiación Solar y su Evaluación

Para poder diseñar cualquier dispositivo solar es necesario conocer la cantidad de radiación solar aprovechable en cada localidad, en cada época del año y en cualquier instante del día.

Las variaciones de esta cantidad de energía están dadas principalmente por los factores citados en la tabla B.1.

Como se observa son muchos los factores que intervienen en esta determinación, por lo que no puede predecirse exactamente la radiación solar debido a los cambios impredecibles de los factores físicos y climáticos, así como por la imprecisión de los aparatos de medición de la misma.

Sin embargo se ha comprobado por experiencia que los niveles de radiación medios mensuales en muchas localidades siguen ciclos anuales y ha sido necesario estimarla aproximadamente en base a información climatológica y registros históricos meteorológicos por medio de modelos matemáticos.

TABLA B.1 Factores que Afectan la Intensidad de la Radiación Solar

Astronómicos	Físicos
Espectro Solar	Humedad de la atmósfera
Magnitud de la Constante Solar	Turbidez de la atmósfera
Variación de la distancia entre la tierra y el sol	Contenido de gases permanentes
Declinación Solar	Efectos de la nubosidad
Variación del ángulo horario	Efectos del albedo del cielo
Geométricos	Geográficos
Altura Solar	Latitud
Azimut del sol	Longitud
Inclinación del plano receptor	Alt.sobre el nivel del mar
Rumbo del plano receptor	Geografía de la localidad (montaña, desierto, ciudad, etc.)

En el mundo se han desarrollado varios modelos para su cálculo [18]. En México son reconocidos los estudios que sobre este campo han desarrollado varios investigadores como Rafael Almanza, Alejandro Rodríguez, Arturo Palacios, Vicente Estrada y José Luis Fernández; los dos últimos han propuesto un modelo matemático simplificado, partiendo de la relación entre la radiación global (G), la radiación directa (G_{Dir}) y la radiación difusa (G_{Dif}) en función del tiempo:

$$G(T) = G_{Dir}(T) + G_{Dif}(T)$$

Encontraron que la forma de estas funciones se semeja a una curva de Gauss por lo que el valor de la radiación directa, difusa y global se pueden aproximar con las siguientes ecuaciones:

$$G(T) = G_M \cos^{1.2} (180 \theta / N)$$

$$G_{Dir}(T) = G_{DirM}(T) \cos^{1.2} (180 \theta / N)$$

$$G_{Dif}(T) = G(T) - G_{Dir}(T)$$

donde:

θ = tiempo (hr), a partir del medio día solar

N = longitud (hr), del día solar en cuestión

El subíndice M se refiere al valor máximo de la radiación

solar global y directa, es el valor de dicha radiación al medio día.

En las figuras de la referencia [16], se muestran los mapas de los valores para las constantes G_M y G_{DIRM} , con los que se pueden evaluar $G(T)$, $G_{DIR}(T)$ y $G_{DIR}(T)$ para cualquier instante del día y en cualquier punto del país. En la tabla B.2 se encuentran los valores correspondientes de la duración del día solar (N) para el día promedio de cada mes y para distintas latitudes (ϕ) [16]

La longitud del día solar se expresa como:

$$N = (1/15) \cos^{-1} (-\tan \delta \tan \phi) \quad (\text{hrs.})$$

En la que δ indica la declinación solar ($-23.27 \leq \delta \leq 23.27$) y ϕ es la latitud del lugar (positiva al norte, negativa al sur), δ puede calcularse como:

$$\delta = 23.45 \sin (360 \cdot (284 + n)/365) \text{ r}$$

donde n = No. del día del año

Radiación Solar sobre Planos no Horizontales

Presentando someramente el método de Duffie y Beckman se define un plano no horizontal como el que se inclina un ángulo β y se orienta un ángulo γ que es positivo del sur al oriente y negativo del sur al poniente y nulo si la orientación es al sur (fig. R.1). Un captador solar plano fijo tiene unos cuantos grados arriba de la latitud en su inclinación ($\theta \leq \beta \leq \theta + 10^\circ$) y suele orientarse al sur ($\gamma = 0^\circ$). Definiendo el ángulo horario como $w = 15t$, o sea positivo en la mañana y negativo en la tarde, se calcula θ , el ángulo que forman en el instante t la dirección de la radiación total directa y la normal al plano de interés, como:

$$\theta = \cos^{-1} (\sin \delta \sin \theta \cos \beta - \sin \delta \cos \theta \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \theta \cos \beta \cos w + \cos \delta \sin \theta \sin \beta \cos \gamma * \cos w + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin w)$$

Un caso particular es θ_z , el ángulo que forman la dirección de la radiación directa y la vertical del lugar.

$$\theta_z = \cos^{-1} (\sin \theta \sin \delta + \cos \delta \cos \theta \cos w)$$

donde $\gamma = 0$, y $\beta = 0$

Puede definirse así un factor de proyección, R_p , tal que permita conocer la radiación sobre un plano cualquiera, conocida

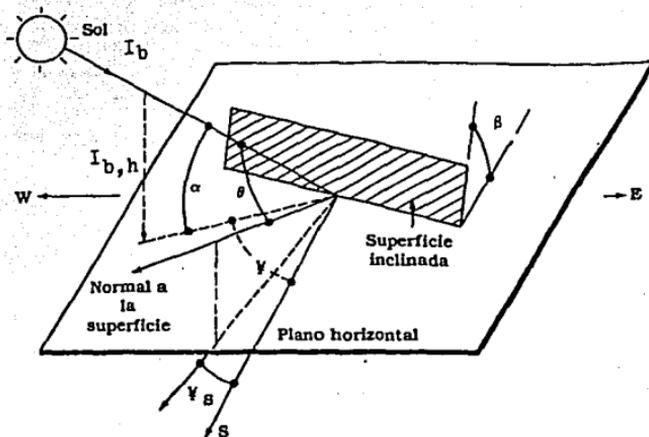


Fig. B.1 Radiación solar sobre un plano no horizontal

la radiación sobre un plano horizontal.

$$R_D = \cos \theta / \cos \theta_1$$

De modo que la radiación sobre el plano de interés, con la suposición de que G_d es isotrópica, se reduce a:

$$G_T(t) = G_D(t) R_D + G_d(t)$$

donde $G_T(t)$ es la radiación total instantánea que recibe el plano no horizontal.

Transmisión de Radiación Solar.

Las cubiertas semitransparentes se caracterizan por un índice de refracción (n_2), referido al índice de refracción del aire ($n_1 = 1$); si se desea conocer cuanta radiación solar pasa a través de uno o más vidrios de espesor d , el ángulo de refracción se calcula con la ley de Snell.

$$\theta_2 = \text{sen}^{-1} ((n_1/n_2) \text{sen} \theta_1).$$

Donde para este caso $\theta_1 = \theta$, o sea el ángulo que forman en el instante t la dirección de la radiación solar directa y la normal al plano de interés; $n_1/n_2 = 1/1.5$ cuando se trata de vidrio.

El valor de θ_2 permite calcular la reflectancia instantánea ϕ mediante la relación de Fresnel.

$$\phi = \frac{1}{2} \left[\frac{\text{sen}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{sen}^2(\theta_2 + \theta_1)} + \frac{\text{tan}^2(\theta_2 - \theta_1)}{\text{tan}^2(\theta_2 + \theta_1)} \right]$$

La capacidad de transmitir la radiación se limita cuando la reflectancia crece. Así, la transmitancia limitada por la reflexión τ_r , para un número n de cubiertas iguales, se expresa como:

$$\tau_{r,n} = (1 - \phi) / (1 + (2n - 1)\phi)$$

La fracción de la radiación que se absorbe en la cubierta transparente se reduce por la radiación transmitida por un factor τ_a definido por:

$$\tau_a = \exp(-Kd/\cos\theta_2)$$

Donde d es el espesor de la cubierta, de modo que $d/\cos\theta_2$ es la longitud recorrida por el haz de radiación y K es el coeficiente de extinción del material semitransparente. Las unidades de K deben de ser las mismas que de d , elevada a la potencia -1 ; para el vidrio nacional de canto gris es común utilizar $K = 0.32 \text{ cm}^{-1}$

La transmitancia total, por tanto, será el producto de las transmitancias parciales τ_r y τ_a .

$$\tau = \tau_r \tau_a$$

De este modo. La radiación transmitida por el sistema de cubiertas queda definida por el producto de la ecuación anterior y la ecuación de la radiación total instantánea que recibe el plano no horizontal ($G_T(t)$). Si la superficie absorbente detrás de las cubiertas transparentes tiene una absorptancia media hemisférica α , la energía absorbida se calcula tomando en cuenta las reflexiones múltiples que ocurren entre la superficie absorbidora y la última cubierta transparente como la reflectancia a la radiación difusa, ϕ_a , en la relación $(\tau\alpha)$ dada por:

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha / (1 - (1 - \alpha) \phi_a)$$

La reflectancia ϕ_a suele tomarse como constante en tiempo, y es muy similar al resultado de sustituir θ_1 en la ecuación del ángulo de refracción y en la ecuación de la reflectancia instantánea para obtener finalmente la transmitancia total.

De ahí que la ecuación del calor absorbido por una superficie expuesta al sol es la siguiente:

$$q_a(t) = (\tau\alpha)(G_b(t)R_b + G_d(t))$$

Modelo matemático de parámetros concentrados para el estudio de sistemas de calefacción".

Existen en la actualidad modelos para diseñar sistemas solares y analizar su comportamiento en condiciones climáticas diferentes; estos modelos van desde los más elaborados y complejos hasta los más simples. El modelo que se describe aquí de manera general, es básicamente el que se utilizó en este trabajo para la simulación y optimización de los sistemas de calentamiento solares propuestos y el que propone el Ingeniero J. I. Fernández Zayas en su artículo "Introducción al Estudio de los Sistemas Solares Activos" [16].

Este modelo fue mejorado y los resultados se presentaron en la X reunión de Energía Solar realizada en Guanajuato en octubre de 1986.

"En la fig. B.2 se muestra el modelo matemático propuesto. En dicha figura se aprecia como por el captador circula un fluido de calor específico "C", impulsado por una bomba cuyo gasto dependiendo de la hora del día, es 0 o M. La temperatura de entrada al captador es T_1 y a la salida es T_2 . La temperatura representativa del captador, para fines de cómputo de sus pérdidas de calor " Q_{pe} ", es:

$$T_e = (T_1 + T_2) / 2$$

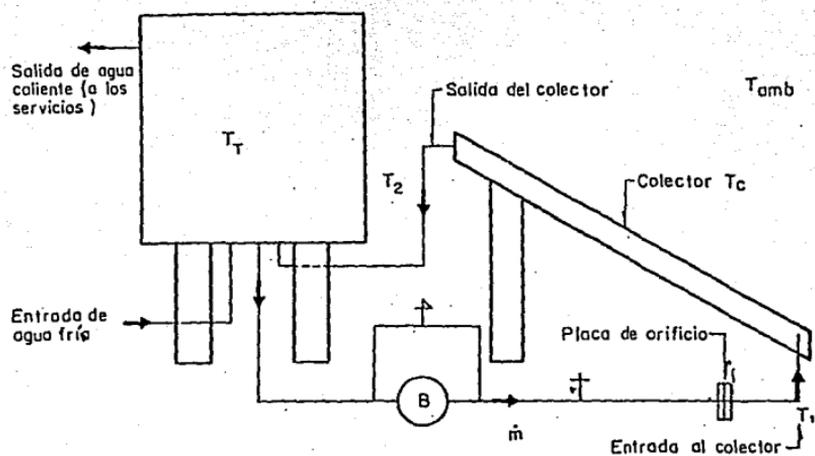


Fig. B.2 Representación esquemática del sistema

Se considera que este sistema de calefacción opera únicamente cuando $T_2 > T_1$; esto es, que el calor que suministra el sol es mayor que $Q_{p\alpha}$. El calor alimenta al tanque de almacenamiento de calor, y T_t , temperatura media del tanque aumenta con el tiempo. Las pérdidas del tanque " $Q_{p\alpha}$ ", abaten el valor de T_t salvo en horas de calentamiento solar significativo.

El balance térmico se resuelve con mayor facilidad si se divide el sistema en dos partes: el captador solar y el conjunto tuberías-tanque térmico.

El captador solar obtiene calor de la radiación del sol, de ella una parte se va al ambiente y otra se transmite al agua que circula con un gasto " m ". Si se llama Q_u al calor recibido por el sol, Q_a al útil arrastrado por el agua y $Q_{p\alpha}$ al perdido al ambiente por radiación, convección y conducción, la primera ley de la termodinámica permite escribir, para un instante " t " cualquiera.

$$Q_u(t) = Q_a(t) - Q_{p\alpha}(t)$$

Donde los flujos térmicos se expresan como:

$$Q_a(t) = m C_p (T_2(t) - T_1(t))$$

$$Q_{p\alpha}(t) = A_c (\alpha_a) (G_{bT}(t) R_b + G_a(t))$$

Donde:

C_p = calor específico

T_1 = temperatura de entrada del agua

T_2 = temperatura de salida del agua

A_e = área efectiva de captación

τ = transmitancia total del vidrio

α = absorptancia del vidrio

G_d = radiación difusa

G_{DT} = radiación directa

$$Q_{pe}(t) = m C_p (T_2(t) - T_1(t)) < 0$$

En general la evaluación de Q_{pe} es un problema complejo de transferencia térmica ya que el fenómeno se compone de flujo combinado de radiación, convección natural y de convección forzada; el cálculo de los coeficientes de película requiere de conocer las temperaturas por lo que la solución se hace iterativa, e imprecisa pues integra ecuaciones para la convección natural y forzada, derivadas de trabajo de laboratorio en los que se estudian uno a uno los flujos de calor y los demás flujos han sido cuidadosamente eliminados; por lo cual, la industria y las normas de calidad se basan en modelos empíricos, que suelen obtenerse mediante regresión sobre cierto grupo de resultados experimentales.

Una forma sencilla de considerar el problema es evaluar las pérdidas térmicas experimentalmente, bajo condiciones similares a

las reales. Una vez perfeccionada esta técnica pueden construirse modelos de simulación más precisos, más confiables y más económicos que los puramente teóricos.

Existen diversos procesos para calcular las pérdidas térmicas del captador solar; se suele adoptar el cálculo del captador en un estado permanente, ignorando los efectos dinámicos, para resolver la red de resistencias térmicas que son una combinación de resistencias de conducción, radiación y de convección. Este conjunto de resistencias depende del diseño y de los materiales, de las distancias del absorbedor y la cubierta, de la geometría, del ángulo de inclinación, de la presión y humedad atmosféricas y de otros factores climáticos. El tema es muy complejo, pero para el efecto que se persigue en el modelado matemático de sistemas es suficiente una representación aproximada. Con base en diversos cálculos y con apoyo en muchos resultados experimentales puede hacerse una simplificación considerable y reducirse la expresión de la pérdidas del captador a un par de parámetros.

Una manera sencilla para medir experimentalmente las pérdidas del captador es sombreadarlo a fin de impedir la insolación, cuidando de no inhibir la circulación libre del aire sobre la cubierta, y medir las pérdidas térmicas con un balance del lado del fluido circulante. Como no hay sol se deduce que el cambio de energía interna del agua obedece a las pérdidas de calor, o sea $Q_u(t) = 0$ por lo que la ecuación resultante de las

pérdidas de calor resulta ser:

$$Q_{pco}(t) = m C_p (T_2(t) - T_1(t)) < 0$$

Se puede hacer fácilmente una serie de experimentos manteniendo artificialmente constantes las temperaturas ($DT/dt = 0$), y registrando simultáneamente T_1 , T_2 , m y la temperatura ambiente T_a . La temperatura media del captador, T_o , se define como:

$$T_o = (T_1 + T_2)/2$$

Dada la estructura física de Q_{pco} , el mejor ajuste de los puntos experimentales se logra con un polinomio de cuarto orden con términos en $(T_o - T_a)$ a las potencias 1, 2, 3 y 4. El ajuste del polinomio es laborioso y sucede que al ajustar una relación simple exponencial la precisión se modifica menos del 8% , por lo que se escoge una correlación del tipo:

$$Q_{pco} = Q_{pco}(t)$$

$$Q_{pco} = E A_o (T_o - T_a)^2$$

Donde se establece la variación temporal de las pérdidas de calor a través de la variación temporal de las temperaturas de manera indirecta.

El ajuste de la ecuación anterior a los datos experimentales puede hacerse por cualquier método por ejemplo, el de los mínimos cuadrados, para obtener las constantes del captador E y j. Dichas constantes variarán con la velocidad del viento, y con otros cambios en las condiciones de operación, como con m. Aquí se parte de la base de que la condiciones del experimento son muy parecidas a las normales de operación (la ecuación anterior se resuelve algebraicamente con dos puntos experimentales solamente, los más representativos: sustituyendo cada par de valores de Q_{pa} ($T_a - T_m$), tomando logaritmos y resolviendo las dos ecuaciones resultantes en forma simultánea).

Almacén de Calor

El captador solar calienta el agua que circula por las tuberías y la almacena en un tanque térmico. Un buen calentador solar tiene el tanque y las tuberías totalmente aisladas por eso las pérdidas de calor son esencialmente lineales con las diferencia de temperaturas entre el agua y el ambiente. En una primera aproximación se puede asignar una capacitancia térmica única al sistema formado por el tanque y las tuberías; en la práctica dicha capacitancia se controla por la inercia térmica del agua en el sistema, de masa total M y calor específico C el balance térmico aplicado a esta parte del calentador solar (donde la aportación del captador se involucra) Q_u es:

$$M C (dt_T/t) = Q_u(t) - Q_{pT}(t)$$

Donde T_e es la temperatura del agua en el tanque térmico, variable en el tiempo, con el calor que resulta del captador, $Q_u(t)$, y con las pérdidas térmicas del tanque y las tuberías aproximadas por el valor único $Q_{PT}(t)$. Estas pérdidas de calor, dado el escaso efecto de la radiación pueden hacerse lineales en $(T_e - T_a)$ mediante el coeficiente global de pérdidas térmicas definido por la relación clásica:

$$Q_{PT}(t) = (UA_p)(T_x - T_a)$$

La constante (UA_p) se conoce como el coeficiente global U (en $KW/m^2 \cdot C$) y del área de pérdidas del tanque y tuberías, A_p . Nuevamente su determinación teórica es difícil de modo que se puede determinar en forma experimental. En ausencia de la radiación solar tenemos entonces:

$$M C_p (dT_x/dt) = (UA_p)(T_a - T_x)$$

y con mediciones de T_e y T_a en intervalos de tiempo t , conocidos M y C del agua del sistema el valor de la constante de (UA_p) se obtiene de:

$$(UA_p) = M C_p ((T_x / t) / (T_a - T_x))$$

no siendo necesario desagregar este producto en sus componentes".

APENDICE C

ESTRUCTURA BASICA DEL PAQUETE DE SIMULACION

El paquete consta de los programas siguientes:

- Hello

- Revisar

- Reviser

- Gráfica

- Plotter 1

- Plotter 2

- Plotter 3

- Explicación

El programa Hello es el programa de arranque y ofrece 4 opciones: cargar el programa que admite la asignación de las

variables del sistema (asignador), revisar los resultados almacenados en disco para el mas reciente estudio del ciclo de 24 hrs. (revisar), revisar los resultados de la mas reciente corrida en el ciclo de un año (revisar), y leer una explicación del paquete en pantalla (explicación).

El programa central CSAD-I procesa la información, despliega algunos resultados y almacena para su despliegue posterior y no admite modificación en los valores de las variables. La única interacción con el usuario es la de permitir el paro o avance del programa.

El programa gráfica hace la gráfica de temperatura contra tiempo para ciclo diario. Los programas plotter 1, 2 y 3 hacen las gráficas para ciclo anual de energía, eficiencias y temperaturas contra tiempo respectivamente.

El diagrama de bloques del paquete se muestra en la fig.C.1 en donde las opciones a seleccionar para cada programa son las siguientes:

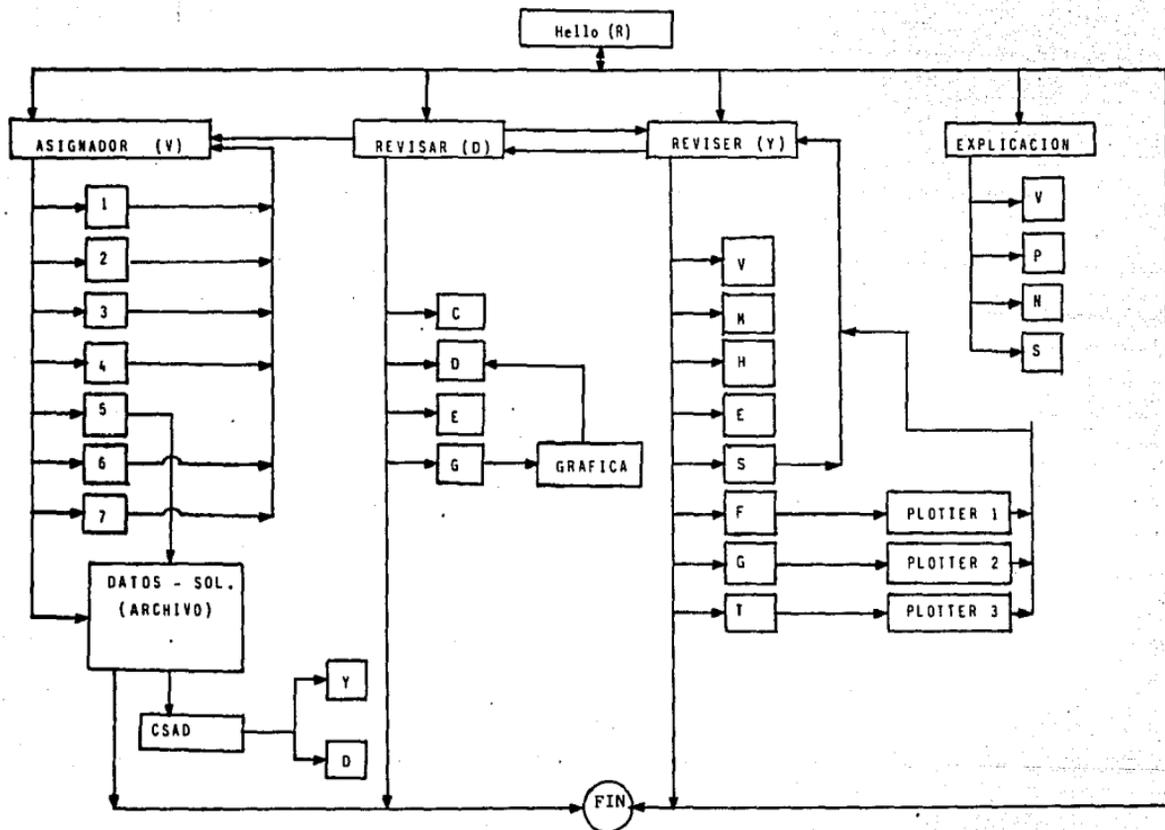


Fig. C.1 Diagrama de bloques del programa CSAD-I

DATOS SOLARES Y HORAS/MODO DE BOMBEO

<1>	NUMERO DEL DIA (1-365)	135
<2>	LATITUD (NORTE +)	19
<3>	INCLINACION (0->90)	50
<4>	AZIMUT (ESTE +)	0
<5>	RAD HORIZ GLOBAL MAXIMA	.865
<6>	RAD HORIZ DIRECTA MAX	.69
<7>	HORA DE ARRANQUE (AM +)	7
<8>	HORA DE PARO (PM +)	7
<9>	BOMBEO AUTO/MAN? (0/1)	0

QUE< >CAMBIAR? < C > PARA CONTINUAR

ESPECIFICACIONES DEL COLECTOR

<1>	NUMERO DE CUBIERTAS	1
<2>	GRUESO DE C/CUBIERTA	.4
<3>	COEF DE EXTINCION	.32
<4>	ABSORTANCIA DEL COLECT	.90
<5>	REFLECTANCIA DIFUSA	.16
<6>	AREA TOTAL DE CAPTACION	200
<7>	COEF DE PERDIDA TERMICA	.0041
<8>	EXPONENTE DE PERD TERM	1.087

QUE< >CAMBIAR? < C > PARA CONTINUAR

DATOS TERMICOS Y AMBIENTALES

<1>	TEMPERATURA AMBIENTE MAX	30.5
<2>	TEMPERATURA AMBIENTE MIN	17.2
<3>	TEMP TANQUE AL INICIO	22.6
<4>	MASA TOTAL SISTEMA	7927
<5>	CALOR ESPECIFICO	4.18
<6>	FLUJO UNITARIO	.1
<7>	AREA TOTAL PERDIDAS	23.1
<8>	COEF GLOBAL PERDIDAS	.00031

QUE < >CAMBIAR? < C > PARA CONTINUAR

DATOS NUMERICOS Y TIPO DE CORRIDA

<1>	INTERVALO INTEGRACION	900
<2>	PRECISION CONVERGENCIA	.01
<3>	CICLO DIARIO-0, ANUAL-1	1

QUE < >CAMBIAR? < C > PARA CONTINUAR

Los valores que se muestran en los cuadros anteriores son los datos iniciales de entrada que se asignan en el programa. Los datos que se refieren a las especificaciones del colector fueron proporcionados por los fabricantes y otros son recomendados en la bibliografía. Los datos solares, térmicos y ambientales son característicos del lugar donde se efectúa el estudio, para este caso Puebla.

Los resultados finales de los sistemas solares A y B se muestran en los siguientes cuadros:

Sistema A

Area de captación de 170 m²

Temperaturas Extremas del Sistema

Mes	T inic. °C	T max. °C	T fin °C
Ene	14.80	74.59	72.75
Feb	17.13	82.21	80.30
Mar	15.90	83.21	81.42
Abr	21.00	82.36	80.59
May	22.60	76.57	75.05
Jun	20.10	67.58	66.27
Jul	20.00	69.30	67.90
Ago	20.20	72.32	70.84
Sep	19.60	70.94	69.48
Oct	19.60	73.78	72.15
Nov	17.00	75.45	73.66
Dic	16.70	73.80	72.04

Sistema B

Primer banco de captadores

Area de captación de 180 m²

Temperaturas Extremas del Sistema

Mes	T inic °C	T max. °C	T fin °C
Ene	14.80	77.00	75.24
Feb	17.13	84.78	82.75
Mar	15.90	85.87	83.95
Abr	21.00	84.80	82.92
May	22.60	78.73	77.12
Jun	20.10	69.50	68.10
Jul	20.00	71.27	69.79
Ago	20.20	74.41	72.83
Sep	19.60	73.00	71.45
Oct	19.60	75.94	74.21
Nov	17.00	77.79	75.89
Dic	16.70	76.13	74.44

Segundo banco de captadores

Area de captación de 50 m²

Temperaturas Extremas del Sistema

Mes	T inic.	T max.	T fin.
	°C	°C	°C
Ene	71.24	96.07	94.75
Feb	78.75	105.23	103.85
Mar	79.95	106.92	105.45
Abr	78.92	103.85	102.46
May	73.12	95.41	94.20
Jun	64.10	84.05	83.01
Jul	65.79	86.37	85.27
Ago	68.83	90.45	89.28
Sep	67.45	88.84	87.69
Oct	70.21	92.75	91.49
Nov	71.89	96.23	94.96
Dic	70.44	94.34	93.07

Tercer banco de captadores

Area de captación de 35 m²

Temperaturas Extremas del Sistema

Mes	T inic. °C	T max. °C	T fin. °C
Ene	90.75	112.98	110.49
Feb	99.85	123.20	120.56
Mar	101.45	125.01	122.40
Abr	98.46	120.46	117.86
May	90.20	110.11	107.87
Jun	79.01	97.06	95.13
Jul	81.27	99.82	97.78
Ago	85.28	104.67	102.50
Sep	83.69	102.95	100.80
Oct	87.49	107.76	105.58
Nov	90.96	112.77	110.35
Dic	89.07	110.59	108.20

Sistema A

Area de captación de 155 m²

Temperaturas Extremas del Sistema

Mes	T inic. °C	T max. °C	T fin. °C
Ene	14.80	70.79	69.14
Feb	17.13	78.11	76.40
Mar	15.90	78.97	77.19
Abr	21.00	78.49	76.73
May	22.60	73.15	71.64
Jun	20.10	64.56	63.26
Jul	20.00	66.16	64.91
Ago	20.20	69.01	67.54
Sep	19.60	67.67	66.36
Oct	19.60	70.35	68.88
Nov	17.00	71.73	70.12
Dic	16.70	70.18	68.58

Sistema A

Area de captación de 155 m²

Temperaturas Extremas del Sistema

Mes	T inic. °C	T max. °C	T fin. °C
Ene	14.80	70.79	69.14
Feb	17.13	78.11	76.40
Mar	15.90	78.97	77.19
Abr	21.00	78.49	76.73
May	22.60	73.15	71.64
Jun	20.10	64.56	63.26
Jul	20.00	66.16	64.91
Ago	20.20	69.01	67.54
Sep	19.60	67.67	66.36
Oct	19.60	70.35	68.88
Nov	17.00	71.73	70.12
Dic	16.70	70.18	68.58

APENDICE D

GLOSARIO

Absorbedor.- Componente de un dispositivo solar que tiene como función captar y retener la mayor cantidad de radiación solar.

Absortancia.- Razón de la radiación solar absorbida a la radiación incidente.

Absortividad.- Propiedad del material que se utiliza para retener la radiación solar.

Albedo.- Radiación que es reflejada por la tierra, cambia y modifica los valores de radiación global y masas de aire.

Altura Solar.- Altura angular del horizonte celeste del observador al centro del sol.

Calandrado.- Tratamiento preliminar al almidonado ó aprestado en ciertos tejidos de algodón o acabados. Confiere al tejido brillo, y buen tacto, alisado y planchado.

Calor.- Es la energía que se trasmite por sí misma de un material que está a mayor temperatura a otro que está a menor temperatura.

Colector Solar.- Dispositivo que absorbe la radiación solar y transfiere su energía a un fluido.

Concentrador.- Dispositivo que absorbe la radiación solar y transfiere su energía a un fluido.

Conducción.- Es el proceso en el que el calor se propaga dentro de un material por vibración o movimiento molecular a lo largo del mismo, o por propagación debido a la interacción molecular directa de dos superficies.

Constante Solar.- Cantidad de energía por unidad de tiempo que recibe del sol una superficie de área unitaria perpendicular a la radiación en el espacio y la distancia media del sol y la tierra (Kw/m^2) = $1.392 Kw/m^2$.

Convección.- Es la transferencia de calor entre partes relativamente calientes frías de un fluido por medio de mezcla.

Declinación del Sol.- Es el ángulo que forman los rayos del sol con respecto al plano ecuatorial de la tierra, o bien, el ángulo entre el plano eclíptico y el plano ecuatorial. La máxima declinación es de 23.45° en el solsticio de verano y la mínima de

-23.45° hacia el sur en el solsticio de invierno, en los equinoccios es cero.

Ecuación del Tiempo.- Relaciona al tiempo solar con el tiempo medio local, latitud y longitud locales.

Efecto fotoeléctrico.- Es un proceso por el cual los electrones de conducción de los metales y otras sustancias absorben energía del campo electromagnético y escapan de la sustancia. La energía necesaria para liberar los electrones de cierta sustancia es función de la frecuencia de la luz, así algunos materiales reaccionan con luz visible mientras que otros necesitan luz ultravioleta para poder activarse.

Eficiencia de un Colector.- Razón de la energía captada por el colector solar a la energía solar incidente sobre el colector.

Emitancia.- Razón de radiación emitida por la superficie de un cuerpo a la radiación emitida por un radiador perfecto a la misma temperatura.

Hidrófobas .- Sustancia que no absorbe agua fácilmente.

Indantreno.- Compuesto aromático polinuclear antraquinoides; éste compuesto debe ser reducido con zinc o álcali para producir un colorante de más firmeza, que es el antraceno.

Insolación.- Es la cantidad de energía recibida en una localidad por unidad de área en un periodo de tiempo.

Latitud.- Es el ángulo que determina el lugar de interés sobre la tierra, con respecto al plano del ecuador. Este ángulo es positivo cuando se mide hacia el norte del ecuador y negativo cuando lo es hacia el sur de éste.

Naftoles.- Compuestos hidroxilados de la naftalina; cristales incoloros que se encuentran en pequeña cantidad en el alquitrán de hulla; son importantes como productos intermedios para obtener colorantes de alquitrán y sustancias aromáticas.

Plano Eclíptico.- Está formado por la línea que une al centro de la tierra con el centro del sol al moverse la tierra alrededor de este.

Policondensación.- Condensación de gran cantidad de moléculas de compuestos sencillos, con formación de agua.

Polimerización.- Unión de muchas moléculas pequeñas para generar otras muy grandes.

Producto Interno Bruto (PIB).- Valor total del conjunto de bienes y servicios finales producidos en la economía a precios corrientes, durante un cierto periodo de tiempo.

Radiación.- La transferencia por radiación se debe, a procesos de carácter ondulatorio e implica la absorción o emisión de paquetes de energía, sólo es considerable cuando se trabaja a altas temperaturas.

Radiación Solar.- Energía radiante del sol en su forma directa y difusa. La componente directa es la que se recibe directamente del sol sin haber sufrido ninguna desviación en su trayectoria; la difusa se debe a su dispersión al atravesar la atmósfera y reflexión sobre la tierra.

Reactivos.- En la terminología de la industria textil se refiere a un tipo de colorantes que reaccionan con las fibras, logrando uniones de tipo covalente entre el colorante y la fibra.

Reflejancia.- Razón de radiación reflejada de un material a la radiación incidente sobre el mismo.

Superficie Selectiva.- Superficie metálica que absorbe una mayor cantidad de radiación solar en el intervalo visible y emite poca radiación en el infrarojo.

Temperatura.- De acuerdo con la teoría cinética, la temperatura es una medida de la energía cinética media de traslación de la molécula (en virtud de la transferencia de energía de la sustancia al termómetro). Desde el punto de vista macroscópico, es que la temperatura de un cuerpo es su estado

térmico considerado como referencia a su poder de comunicar calor a otros cuerpos.

Tiempo Medio Local.- Es el que marcan los relojes y está fijado por los países dependiendo de los meridianos que corresponden a su zona territorial.

Tiempo Medio de Greenwich.- Tiempo sujeto a las longitudes de referencia o meridianos (cada hora avanza 15').

Tiempo Solar.- Es el tiempo del sistema astronómico en el cual el sol siempre cruza el verdadero meridiano norte-sur a las 12 del día tiempo solar.

Trasmitancia.- Razón de la energía radiante transmitida por un material dado a la energía solar incidente.

BIBLIOGRAFIA

- {1} La Industria Textil y del Vestido en México
1976-1985.
Secretaría de Programación y Presupuesto.
México 1986.

- {2} Herzog R. O.
Enciclopedia de la Industria Textil.
vol. 1
Edit. Gustavo GILI. S.A.
Barcelona España 1935.

- {3} Kirk Raymond. - Othmer Donald.
Enciclopedia de Tecnología Química.
vol. 5,8,15
Edit. Hispanoamericana
México 1961.

- {4} Memoria Estadística 1986.
Cámara Nacional de la Industria Textil y del Vestido
México 1986.

- 15) Escenarios Económicos de México 1981-1985.
Confección de Prendas de Vestir en la Industria
Textil.
Secretaría de Programación y Presupuesto.
México 1981.
- 16) Directorio de la Industria Textil.
Cámara Nacional de la Industria Textil y del Vestido
México 1986.
- 17) Resultados de la Encuesta al Sector Industrial sobre
Consumo de Energía en 1982.
Instituto Mexicano del Petróleo, SEEPI
México 1986.
- 18) Censo Industrial.
Secretaría de Programación y Presupuesto
México 1975.
- 19) Examen de la Situación Económica de México.
Secretaría de Programación y Presupuesto
México 1985.

- {10} Alonso Antonio-Rodríguez Luis.
Diagnóstico y Pronóstico de la Energía Solar, Eólica y Biomasa.
Instituto de Ingeniería de la UNAM.
México 1982.
- {11} Huacúz Villamar Jorge M.
Introducción a la Ingeniería Solar, Sistemas de Baja Temperatura.
Curso Organizado por IMETA.
México 1983.
- {12} Encuesta sobre la Situación de la Industria Solar en México.
División Fuentes de Energía, I.I.E.
Palmira, Morelos 1987.
- {13} Boletín Informativo
Industrias Módulo Solar S. A. de C. V.
Cuernavaca, Mor. 1987.
- {14} Echegoyén Bravo Víctor M.
Proyecto de una Fábrica de Acabados Textiles.
Tesis Licenciatura; ESIT, IPN. (1977)
- {15} Acabados Textiles San Francisco, MerMex S.A.,
Industrial Lanera S.A. Comunicación personal (1987)

(16) Fernández Zayas José L.

Introducción al Estudio de los Sistemas Solares
Activos.

Series del I.I., UNAM.

México 1987.

(17) Fernández Zayas José L.

Paquete de Simulación de Sistemas de Calentamiento
Solar para Uso Doméstico-I; Manual de Usuario.

Instituto de Ingeniería, UNAM.

México 1986.

(18) Fernández J.- Estrada V.

Cálculo de la Radiación Solar Instantánea en la
República Mexicana.

Series del I.I., UNAM.

México 1983.

(19) Fernández Zayas José L.

Modelo Simplificado para Calcular Pérdidas Térmicas
de Captadores Solares Planos.

Series del I.I., UNAM.

México 1986

- [20] Atlas del Agua.
Secretaría de Recursos Hidráulicos
México 1975.
- [21] Fichas de Datos Climatológicos Mensuales (1985-1987).
Observatorio de la Ciudad de México.
- [22] Subdirección de Planeación Estratégica, PEMEX
Comunicación personal (septiembre 1987).
- [23] Renán Báez. Economista. Comunicación personal (1987).
- [24] Programa Nacional de Energéticos 1984-1988.
Poder Ejecutivo Federal
México, abril 1985.
- [25] Evolución de la Oferta y Demanda de Energía en 1984.
Subdirección de Planeación y Coordinación, PEMEX
México, marzo 1985.
- [26] Martínez M-Flores N.
El Sol Fuente de Energía Nueva y Renovable.
El Sol I-III; Información Científica y Tecnológica.
vol. 6, No. 92-94, pp. 17-31, (1984).

- (27) Carrillo Pérez Gabriel.
Fuentes Energéticas en México y sus Posibilidades
Futuras.
Tesis Licenciatura; Facultad de Química, UNAM. (1973).
- (28) Flores Gómez Alfredo.
Sistemas de Generación de Potencia a partir de la
Energía Solar por Medios Termodinámicos.
Tesis Licenciatura; Facultad de Química, UNAM. (1983).
- (29) Machado Soberanes José
Análisis Teórico Experimental de un Prototipo de
Colector Solar Tubular Evacuado.
Tesis Licenciatura; Facultad de Química, UNAM. (1979).
- (30) Manrique A. José.
Energía Solar. Fundamento y Aplicaciones Fototérmicas.
Edit. Harla.
México 1984.
- (31) Martínez S. Rodolfo.
Análisis del Funcionamiento de un Calentador de Agua
con Circulación Natural.
Tesis Licenciatura; Facultad de Química, UNAM. (1977).

- {32} Buen Rodríguez Odón D.
Una Fábrica de Colectores Solares Planos como Proyecto
de Inversión.
Tesis Licenciatura; Facultad de Ingeniería, UNAM (1981)
- {33} Martínez de la Rosa José.
Una aplicación de la Energía Solar en Estudios del
I.M.P.
Boletín informativo (1985).
- {34} Almanza-Valdez-López.
Concentradores Solares.
Informe de la serie de Docencia del I.I., UNAM (1981)
- {35} Duffie J.-Beckman.
Solar Energy Thermal Process.
Edit. John Wiley & Sons.
New York, 1974.
- {36} Qué es la Energía Solar?.
Cartillas de Energía Solar, Cartilla No. 1.
Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas
y Energía Solar.

- (37) Huacúz J-Villaseñor F.
Diseño, Construcción e Instalación de un Sistema de Aire Acondicionado Solar instalado en Mexicali, B.C.
División de Fuentes de Energía, I.I.E.
Cuernavaca, Mor. 1981.
- (38) Soler Arechalde José R.
Determinación de la Eficiencia en Captadores Solares Series del I.I. UNAM.
México 1981.
- (39) Información Técnica de los Platos Absorbedores.
Boletín Informativo, SolarMex.
México 1987.
- (40) Martínez Tristán Rodolfo.
Panorama Algodonero.
Algodón Mexicano. No. 106 (1986).
- (41) Francis Wilfrid.
Los Combustibles y su Tecnología.
Edit. URMO.
España 1969.
- (42) Guerra J.-López C.
Economía y Finanzas.
Revista del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos.
vol. 5, pp. 41-59, Sep-Oct., (1987).

[43] Zambrano Lorenzo.

Análisis de Modelos Matemáticos de Predicción de
Radiación Solar.

Tesis Licenciatura; UNAM (1982).

[44] Cajigal - Estrada V.

Análisis Crítico de Procedimientos para Estimar la
Radiación Solar.

Instituto de Ingeniería, UNAM.

México 1985.