

INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PASTEURIZACIÓN DE LECHE CON
ENERGÍA SOLAR TÉRMICA**

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

AUTORA: BEATRIZ MAROTO IZQUIERDO

DIRECTOR: D. ANTONIO SORIA VERDUGO

Agradezco:

A mi tutor Antonio Soria, su dedicación, orientación y apoyo sin los cuales no hubiera podido realizar este Proyecto; a mis compañeros de Ingeniería Sin Fronteras por compartir tantos sueños y experiencias que me han llevado a luchar por lo que creo, gracias por descubrirme que se puede hacer ingeniería al servicio del desarrollo humano; a Álvaro Pérez al que he apodado mi “Ado madrino”, por poner su experiencia al servicio de este Proyecto y ajustarlo a las problemáticas reales de puesta en marcha.

Dedico este logro, a mi familia y l@s amig@s cercan@s, ya sabéis quienes sois, l@s que me habéis allanado este largo y abrupto camino hasta coronar la cima, gracias, os quiero.

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1 Introducción	7
CAPÍTULO 2 Problemática del sector lácteo en Nicaragua	15
CAPÍTULO 3 Efectos del calor en la leche: tratamientos térmicos	45
CAPÍTULO 4 La Industria láctea: normativa española y nicaragüense	65
CAPÍTULO 5 Panorama energético de Nicaragua: análisis ambiental	93
CAPÍTULO 6 Ángulo de inclinación óptimo de los colectores solares	119
CAPÍTULO 7 Modelización y dimensionado de la instalación solar	141
CAPÍTULO 8 Evaluación económica	221
CAPÍTULO 9 Conclusiones	241
ANEXO	267
BIBLIOGRAFÍA	277

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

1. MOTIVACIÓN	11
2. OBJETIVOS	11
3. ESTRUCTURACIÓN	12
3.1 Problemática del sector lácteo en Nicaragua	12
3.2 Efectos del calor en la leche: tratamientos térmicos	12
3.3 La Industria láctea: normativa española y nicaragüense	12
3.4 Panorama energético de Nicaragua: análisis ambiental	13
3.5 Ángulo de inclinación óptimo de los colectores solares	13
3.6 Modelización y dimensionado de la instalación solar	13
3.7 Evaluación económica	14
3.8 Conclusiones	14

1. MOTIVACIÓN

Este Proyecto se ha elaborado dentro del Convenio de colaboración entre la Universidad Nacional Autónoma de Estelí, Nicaragua y la Universidad Carlos III de Madrid, España.

La principal motivación para la creación de este Proyecto son los problemas de salubridad que afectan a la población de Estelí, ocasionados por el consumo de productos lácteos sin tratar. Se quiere estudiar la posibilidad de crear una Mediana Industria Láctea que concentre a varios productores de leche en dicha localidad.

2. OBJETIVOS

Los requisitos u objetivos que se han planteado son los siguientes:

1. Examinar el tratamiento térmico que se adecúe mejor a las condiciones del país y al tamaño de la Industria que se quiere estudiar.
2. Diseñar la instalación para que cumpla las normas de higiene establecidas por el Gobierno de Nicaragua.
3. Seleccionar una tecnología respetuosa con el medio ambiente, que pueda emplearse en localizaciones remotas, cuyos principales componentes se compren o construyan en Nicaragua para garantizar la durabilidad y minimizar los costes de inversión inicial y mantenimiento.
4. Diseñar la instalación para maximizar la energía que se pueda conseguir con dicha tecnología.
5. Desarrollar una simulación de operación que permita detectar y solucionar problemas técnicos de antemano.
6. Minimizar los costes del precio del producto final.

3. ESTRUCTURACIÓN

El Proyecto se estructura del siguiente modo:

3.1 Problemática del sector lácteo en Nicaragua

En Nicaragua, el elevado precio de la leche pasteurizada comparado con el alto porcentaje de personas con recursos económicos limitados, hace que gran parte de la población, consuma leche cruda con el consecuente riesgo de contraer una enfermedad transmitida a través de dicho alimento, o café como sustituto de la leche, prescindiendo de las vitaminas y proteínas de vital importancia en la nutrición de los más jóvenes. El reducido número de pequeña y mediana Industria del sector, hace que las grandes Industrias fijen elevados precios en el mercado interno de la leche pasteurizada.

3.2 Efectos del calor en la leche: tratamientos térmicos

La leche se trata térmicamente con el fin primordial de destruir los microorganismos patógenos que pudieran estar contenidos en la misma; un fin secundario es la destrucción de tantos organismos como sea posible además de los sistemas enzimáticos, con objeto de salvaguardar la calidad del producto. Se ha estudiado el tratamiento térmico que se adecúa mejor a las condiciones del país y al tamaño de la Industria que se quiere estudiar.

3.3 La Industria láctea: normativa española y nicaragüense

En este capítulo, basándose en la Industria láctea española, se pretende explicar el proceso de transformación que sufre la leche desde su producción hasta su venta, y extrapolarlo, en la medida en que se dispone de datos, al caso concreto de Estelí.

Conjuntamente se expone la normativa española y nicaragüense, para conocer qué requisitos debe tener la planta industrial que se va a diseñar.

3.4 Panorama energético de Nicaragua: análisis ambiental

La finalidad de este capítulo es dar una visión global de la producción y del consumo energético de Nicaragua, mostrando las debilidades y fortalezas del sector. Como remedio a una parte de la problemática energética tanto a nivel nacional como internacional, se propone la energía solar térmica.

3.5 Ángulo óptimo de los colectores solares

La irradiación interceptada por un colector solar plano es proporcional a la energía calorífica absorbida por el fluido caloportador que circula en su interior. Con objeto de maximizar la ganancia térmica, se ha estudiado el ángulo de inclinación óptimo del captador.

3.6 Modelización y dimensionado de la instalación solar

En el presente capítulo se estudia en profundidad la instalación solar. Se ha diseñado la instalación para que cumpla las normas de higiene establecidas por el Gobierno de Nicaragua, y para maximizar la energía que se pueda conseguir con dicha tecnología. Simulando mediante un modelo matemático el funcionamiento de los principales componentes, se logra conocer la energía anual disponible, el aporte auxiliar necesario para lograr con éxito la pasteurización, y detectar y solucionar problemas técnicos de antemano. Finalmente se concluye con un análisis ambiental específico de la Planta pasteurizadora estudiada.

3.7 Evaluación económica

Se van a evaluar los costes de inversión inicial y de explotación de la instalación para las distintas tecnologías que se quieren comparar: solar térmica, caldera de diesel y resistencia eléctrica. Para poder compararlas, por no disponer de todos los precios del mercado nicaragüense, se han tenido que estimar los costes de inversión inicial con precios del mercado español.

Para garantizar la durabilidad de la instalación, se pretende que los principales componentes se compren o construyan en Nicaragua, consiguiendo así abaratar el coste de inversión inicial y el mantenimiento.

El colector solar plano es una tecnología fácil de fabricar con los medios que se tiene al alcance. Por ello se ha calculado el coste de un colector solar plano y el coste de inversión inicial de la planta piloto de pasteurización con energía solar térmica para fabricación de quesos, construidos con materiales locales en la Universidad Nacional Agraria, Managua.

3.8 Conclusiones

Se van a recopilar las conclusiones y los resultados obtenidos en cada capítulo, a fin de poder evaluar la consecución de los objetivos planteados.

CAPÍTULO 2

PROBLEMÁTICA DEL SECTOR LÁCTEO EN NICARAGUA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	21
2. NICARAGUA	21
2.1 Geografía	21
2.2 Población	22
2.3 Nivel de desarrollo	24
2.4 Situación alimentaria y nutricional	27
3. INDUSTRIA LÁCTEA EN NICARAGUA	33
3.1 Actividad ganadera de la leche	33
3.2 Producción láctea	34
3.2.1 Exportaciones e importaciones	36
3.3 Consumo nacional	36
3.4 Factores que inciden en la competitividad de los productos lácteos	37
3.4.1 Situación de los sistemas de acopio y comercialización de la leche	38
3.4.2 Condiciones sanitarias y de inocuidad de los alimentos	39
4. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR ALIMENTOS	40
4.1 Productos lácteos	40
4.2 Impacto socioeconómico	41
5. CONCLUSIÓN	42

ÍNDICE DE FIGURAS

1. **Figura 2.1** Mapa de Nicaragua
2. **Figura 2.2** Población por departamentos
3. **Figura 2.3** Pirámide de Población de 1995 y 2005
4. **Figura 2.4** Porcentaje de población en condiciones de pobreza en 2000 por departamento
5. **Figura 2.5** Seguridad alimentaria
6. **Figura 2.6** Disponibilidad promedio de alimentos
7. **Figura 2.7** Síndrome diarreico agudo, 2004-2005 por departamento

ÍNDICE DE TABLAS

1. **Tabla 2.1** Incidencia de la pobreza por regiones y área de residencia 1995-2005
2. **Tabla 2.2** Evolución de las necesidades básicas insatisfechas en Nicaragua 1995-2005
3. **Tabla 2.3** Encuesta de consumo de alimentos
4. **Tabla 2.4** Producto versus precio

1. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua, el elevado precio de la leche pasteurizada comparado con el alto porcentaje de personas con recursos económicos limitados, hace que gran parte de la población, consuma leche cruda con el consecuente riesgo de contraer una enfermedad transmitida a través de dicho alimento, o café como sustituto de la leche, prescindiendo de las vitaminas y proteínas de vital importancia en la nutrición de los más jóvenes.

2. NICARAGUA

2.1 Geografía

Nicaragua está ubicada en el centro del istmo centroamericano entre los 11º y 15º latitud norte, cerca del círculo Ecuatorial. Limita al norte con Honduras, al sur con Costa Rica, al oeste con el océano Pacífico y al este con el Mar Caribe.



Figura 2.1 Mapa de Nicaragua (Fuente: GoogleEarth)

Por razones administrativas se divide en 15 departamentos y dos regiones autónomas totalizando 153 municipios.

Tiene una extensión superficial de 120.339,5 kilómetros cuadrados sin tener en cuenta la superficie de los lagos de 9154,5km².

Su clima es tropical con variaciones locales inferiores a los 10°C. Cuenta con dos estaciones, una seca y otra lluviosa la cual tiene una duración de 6 a 7 meses.

Existen tres macro regiones naturales: la del Pacífico (300 km de largo) en la que predominan suelos planos de amplio uso agropecuario, la región Central de relieve accidentado, formado por altas mesetas, serranías y llanuras fluviales; y la región del Atlántico o Caribe (500 km de largo) cubierta por un bosque tropical extenso y surcada por los ríos más largos y caudalosos del país que junto con numerosas lagunas de la región del Pacífico y los lagos constituyen las mayores fuentes de agua para Nicaragua

2.2 Población

De 1950 al 2000 Nicaragua quintuplicó su población totalizando más de 5 millones de personas, donde el 62% es urbana y el 38% rural.

En consecuencia la densidad poblacional ha aumentado, para el año 2005 es de 42,7 habitantes por km² con variaciones de 171 hab/km² en la región del Pacífico, 39,5 hab/km² en la región Central y 10,3 hab/km² en la región del Atlántico.



	Total	Distribución Porcentual	Superficie Km ²	Densidad de Población
LA REPÚBLICA	5 142 098	100.0	120339.5	42.7
R.A.A.N.	314 130	27.5	33106.0	9.5
R.A.A.S.	306 510	22.7	27280.0	11.2
Río San Juan	95 596	6.3	7540.9	12.7
Chontales	153 932	5.4	6481.3	23.6
Jinotega	331 335	7.7	8222.4	35.9
Boaco	150 636	3.5	4176.7	36.1
Nueva Segovia	208 523	2.9	3491.3	59.7
Matagalpa	469 172	5.7	6903.9	69.0
León	355 779	4.3	5138.0	69.2
Rivas	156 283	1.8	2181.8	72.3
Madriz	132 459	1.4	1708.2	77.5
Chinandega	378 970	4.0	4822.4	78.6
Estelí	201 548	1.9	2229.7	80.4
Carazo	166 073	0.9	1081.4	153.6
Granada	166 186	0.9	1039.7	161.8
Managua	1 262 978	2.9	3485.1	364.5
Masaya	289 988	0.5	810.8	474.8

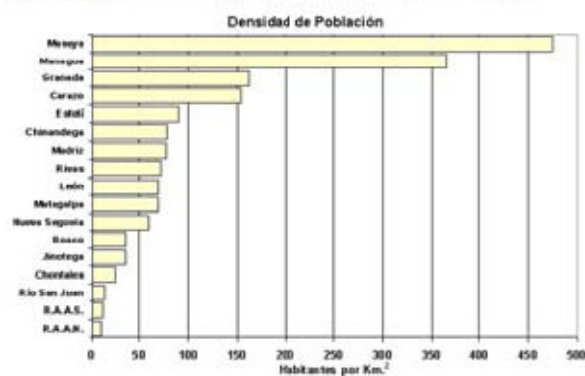


Figura 2.2 Población por departamentos (Fuente: INEC)

La tasa promedio anual de crecimiento demográfico era del 3,5% para el periodo 1971-1995, descendió a 1,7% para el período del 1995-2005, siendo

la tasa de crecimiento del 4,8% para el área urbana (por inmigración) y de 1,3% para la rural. No obstante, en términos absolutos la población sigue aumentando a un ritmo promedio anual de 80 mil personas.

La tasa de fertilidad disminuyó de 6,8 en 1970 a 4,4 hijos por mujer para 1998 y a 2,9 en 2005.

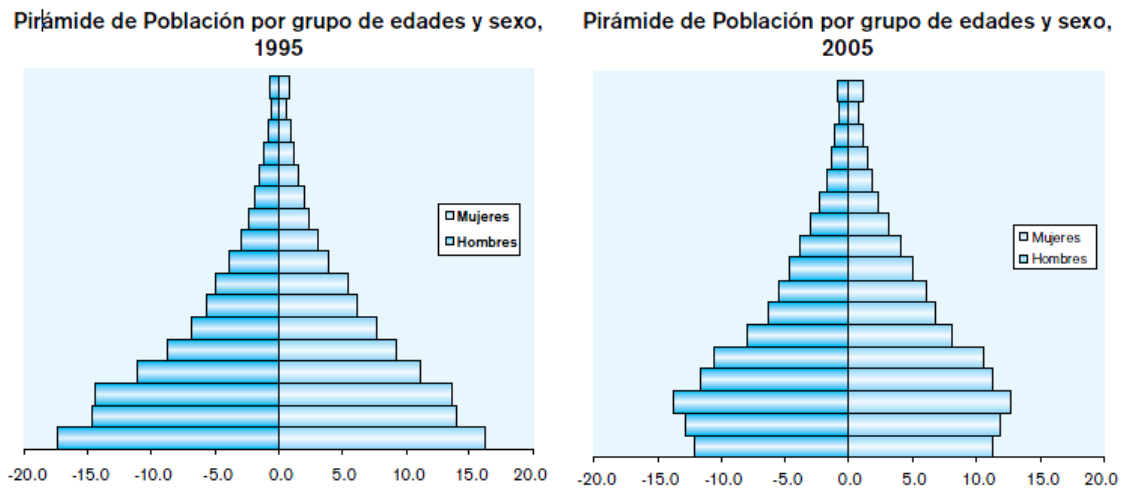


Figura 2.3 Pirámide de Población de 1995 y 2005 (Fuente: INEC)

Cada escalón de la pirámide de población abarca 5 años, así pues, el primer escalón corresponde a la población de 0-4 años, el segundo 5-9 años y así sucesivamente.

La reducción de la tasa de crecimiento demográfico, la tasa de fertilidad, sumado a la reducción de la mortalidad ha provocado que actualmente, el 65% de la población sea menor de 30 años, se trata de la cohorte de población en edad productiva más grande de la historia del país. Se estima que habrá 8,7 millones de personas para el 2025 y que los menores de 25 años serán para entonces el 30% de la población.

2.3 Nivel de desarrollo

Nicaragua es considerado por el Índice de Desarrollo Humano (IDH) 2005, como país de desarrollo humano medio, ocupando el puesto 110.

Según el indicador de consumo el 46,2% de la población es pobre y el 14,9% extremadamente pobre. La incidencia e intensidad de la pobreza son mayores en el área rural: 67,9% y 26,9% para la pobreza y pobreza extrema respectivamente. La menor incidencia de pobreza está en el Pacífico, los grupos más afectados son los niños menores de 14 años que en el área rural representan el 80%. La pobreza general tuvo un crecimiento más acentuado en la región Central y Costa Caribeña; la pobreza extrema tuvo un crecimiento notorio en la región Atlántica con 3,1 más en 2005 con relación al 2001. (Ver tabla 2.1)

Tabla 2.1 Incidencia de la pobreza por regiones y área de residencia 1995-2005

	Pobreza extrema					Pobreza general				
	1993	1998	2001	2005	Cambio 2001-2005	1993	1998	2001	2005	Cambio 2001-2005
Nacional	19.4	17.3	15.1	14.9	-0.2	50.3	47.9	45.8	46.2	+ 0.4
Urbana	7.3	7.6	6.2	5.4	-0.8	31.9	30.5	30.1	29.0	- 1.1
Rural	36.3	28.9	27.4	26.9	-0.5	76.1	68.5	67.8	67.9	+ 0.1
Managua	5.1	3.1	2.5	3.4	+ 0.9	29.9	18.5	20.2	19.2	- 1.0
Pacífico	16.9	16.8	10.6	9.9	- 0.7	45.8	52.9	46.1	45.4	- 0.7
Central	35.6	25.9	27.4	24.4	- 3.0	71.5	62.4	59.9	60.5	+ 0.6
Atlántico	19.6	29.4	20.6	23.7	+ 3.1	60.6	62.2	61.3	62.3	+ 1.0

Fuente: EMNV 1993,1998, 2001 y 2005; INEC.

Las inequidades son evidentes con un 20% de la población más pobre, capturando el 6.2% del consumo, mientras que el 20% más rico el 47.3%. Pero la distribución del ingreso es más desigual que la del consumo. El 10% de la población más pobre recibió apenas el 1% del ingreso, mientras que el 10% más rico absorbió el 45% del mismo, es decir, el ingreso del más rico es 45 veces mayor que el del más pobre.

A pesar de que se observan ciertos progresos al analizar los datos del Censo 2005 respecto a 1995, con el método de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI), es evidente que con el 64% de hogares con necesidades básicas insatisfechas y el 46,2 % de la población en pobreza general el país sigue siendo uno de los países más pobres de la región. Su economía está basada en la producción y exportación de bienes con poco valor agregado, lo que impide un crecimiento de la misma a un ritmo que permita incidir de forma sensible en la reducción del volumen de población en situación de

vulnerabilidad, también es preciso añadir la alta probabilidad de ocurrencia de fenómenos naturales a lo largo de todo el territorio.

Tabla 2.2 Evolución de las necesidades básicas insatisfechas en Nicaragua 1995-2005

NBI	1995 (%)	2005 (%)	Conceptos de necesidades básicas	1995 (%)	2005 (%)
Hogares con 0 NBI	17.7	35.9	Hacinamiento	41.1	31.0
Hogares con 1 NBI	27.6	29.6	Servicio de agua y saneamiento insuficiente	34.6	24.3
Hogares con 2 NBI	25.3	19.3	Baja educación	19.6	11.4
Hogares con 3 NBI	17.6	10.2	Dependencia económica	62.0	38.2
Hogares con 4 NBI	9.2	4.1	Vivienda inadecuada	23.6	16.7
Hogares con 5 NBI	2.6	0.9			

Fuente: Censo 1995 y 2005, INEC.

En 2001 el 42.6% de la población vivía con menos de 1 dólar diario y el 77.8% con menos de 2 dólares al día. La existencia de un número elevado de niñas/os trabajadores, la falta de empleo e ingresos justos, las severas brechas de la protección social para la mayor parte de la población, y en particular la desnutrición crónica para el tercio de la población son factores que impiden tener una vida digna y constituyen manifestaciones de inequidad y exclusión que limitan el desarrollo de capacidades para aprovechar y acceder a oportunidades que puede dar el crecimiento económico.

Los indicadores de educación señalan: una tasa de analfabetismo en la población de 15 años y más de 22% como promedio nacional y de 36,5% en la población rural; una escolaridad media nacional de 4,9 años y de 2,6 años en la población rural más pobre y una tasa de alfabetización de adultos de 70,6%. La tasa neta de escolaridad primaria y secundaria para 2005 es de 65%.

La mortalidad general pasó de 22,7 en el período de 1950-1955 a 6,4 por cada mil habitantes hasta el censo del 1995. La tasa de mortalidad infantil es de 38 y la mortalidad de niños menores de cinco años de 48 por cada mil nacidos, ambas tasas se redujeron con relación a las tasas de los últimos 20 años. La disminución de estos indicadores obedece a un incremento en el control de las enfermedades previsibles por vacunación con TB, DPT, Polio,

Sarampión y al suplemento con Vitamina “A”. La reducción de la mortalidad materna pasó de 160 a 133 por cada 100.000 nacidos registrados.

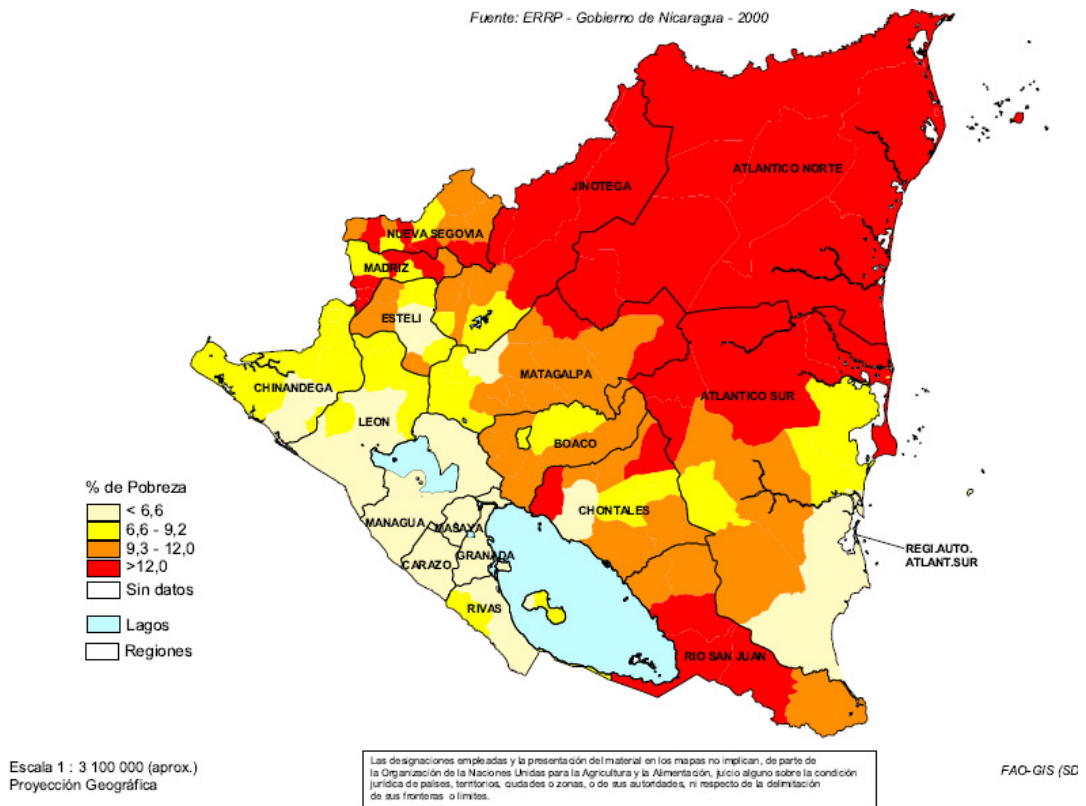
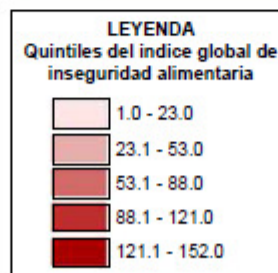
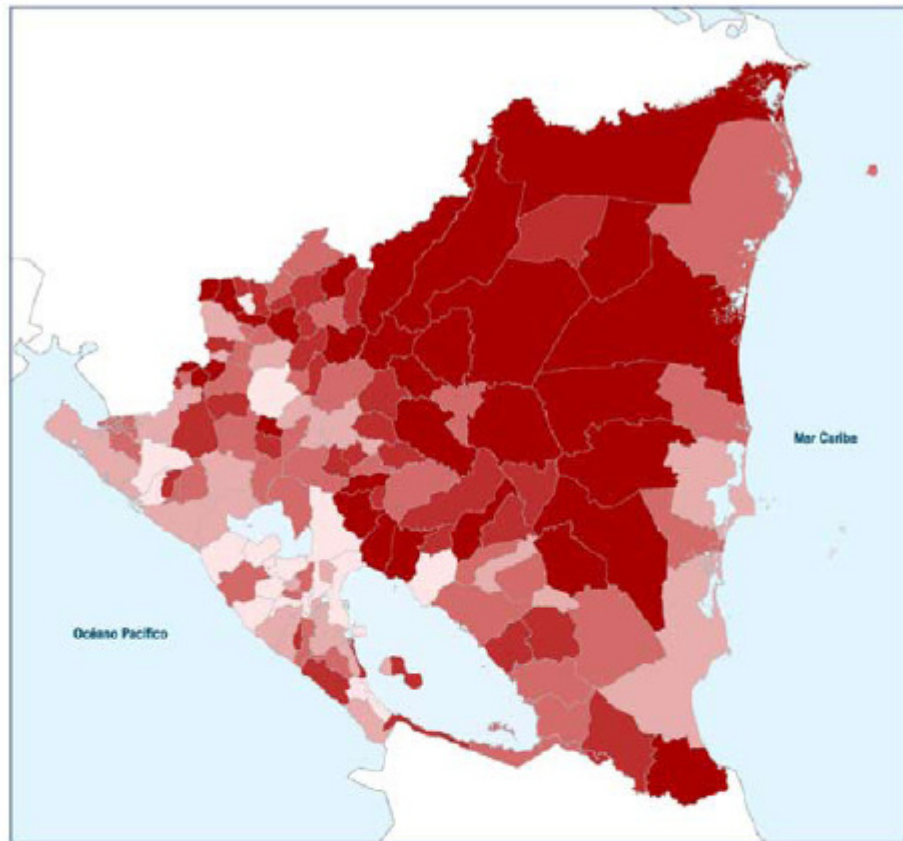


Figura 2.4 Porcentaje de población en condiciones de pobreza en 2000 por departamento

2.4 Situación alimentaria y nutricional

En 2005, con base en el “índice global de vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria” se identificaron 59 municipios en el Pacífico y Centro, además de todos los municipios de las regiones autónomas que se encuentran en situación de “extrema” y “muy alta” vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria.



Fuente: Unidad VAM / Programa Mundial de Alimentos (PMA)
 Managua Nicaragua
 Julio, 2005.

Figura 2.5 Seguridad alimentaria

La insuficiencia aguda y permanente de los alimentos para satisfacer las necesidades energéticas mínimas de toda la población (subnutrición) encuentra su manifestación más grave en la desnutrición infantil, particularmente en niños y niñas menores de cinco años, quienes sufren de desnutrición aguda (bajo peso con relación a la talla) o desnutrición crónica (insuficiencia ponderal con respecto a la edad, o retraso en el crecimiento).

El bajo peso al nacer afecta al 10% de los niños nacidos vivos, estos niños nacen desnutridos a consecuencia de la desnutrición, condiciones de higiene deficiente, trabajo físicamente inapropiado, adicciones y otras condiciones que sufre la madre durante el embarazo.

Según el segundo Censo Nacional de Talla en Escolares 2004, 27,2 % presentan retardo en talla moderado o severo. Pero 8 de los 17 departamentos presentan prevalencias mayores que el promedio nacional, algunas tan altas como Jinotega con 39,8% y Madriz con 47%. Cuando se desagregan los datos a nivel municipal, la situación se plantea aún mucho más crítica, con prevalencias en el rango de 51% - 58%, en municipios de Madriz y la RAAS. La desnutrición crónica afecta al 33,7% de los niños/as miskitos y 100% de ramas. La desnutrición global afecta a 12,8% de miskitos. Según sexo, los datos del censo muestran que los niños presentan mayores prevalencias de retardo en talla, en comparación con las niñas.

En la Encuesta Nacional de Micronutrientes 2000, las prevalencias para todas las deficiencias por micronutrientes se encontraron más altas en la Costa Caribe, con prevalencia de anemia en mujeres y en niños hasta un 36% y un 50%, respectivamente.

Mientras en general el país presentaba una tendencia a la disminución de la anemia en mujeres no embarazadas y otras deficiencias de micronutrientes bajo control. Por otro lado, las condiciones de pobreza y la vulnerabilidad del país ante situaciones de emergencias, han contribuido al incremento de la desnutrición aguda de forma localizada, reapareciendo formas clínicas de Kwashiorkor (cuadro grave de malnutrición proteico, consecuencia de dietas exclusivas de maíz, arroz u otras harina) en zonas del país que han sido afectadas por la crisis de la zona cafetalera y plagas de ratas que destruyeron de forma recurrente los cultivos.

Entre las múltiples causas de la inseguridad alimentaria y el hambre está la falta de acceso a los alimentos, principalmente entre la población que vive en extrema pobreza.

Las personas tienen una disponibilidad insuficiente e irregular de alimentos. Según la IV Encuesta de Consumo 2004, alrededor del 75% de los hogares

encuestados no alcanzaron el nivel suficiente de disponibilidad energética y, un 50% se encontraban en los niveles considerados como deficiente y crítico. A nivel nacional existe, un déficit de ingesta energética de 200 kcal/persona/día, el cual se incrementa hasta 300 kcal/persona/día en los hogares de más de cinco personas y en las áreas rurales. Esto afecta tanto a la población infantil, como a las mujeres en edad fértil y a sus hijos(as), pero también a los adultos, limitando su estado físico y mental.

A nivel nacional existe una producción suficiente de granos básicos (excepto arroz), pero con una alta vulnerabilidad ante desastres naturales y económicos. El país produce suficiente maíz y frijoles. La importación de alimentos gira en torno al complemento de la oferta de la canasta alimentaria y, básicamente, se concentra en tres productos: arroz, harina de trigo y aceite comestible. Los alimentos pueden estar disponibles en los mercados locales (excepto en situaciones de emergencia o desastre), pero debido a que su comercialización interna es insuficiente e inadecuada su precio a veces es más alto que los importados; no obstante, aún en condiciones normales la población más pobre no tiene capacidad de compra y por tanto no tiene acceso a alimentos en cantidad y calidad necesarias.

Lo que más afecta a las personas es el limitado acceso de los alimentos en los hogares por el desempleo, el subempleo y los bajos niveles de ingreso. La falta de acceso a los alimentos se ve reflejada al relacionar el costo de la canasta básica.

No obstante, existe evidencia que el porcentaje de obesidad y la incidencia de trastornos crónicos vinculados a una nutrición inadecuada es cada vez mayor. El 50% de los hogares consume el 70% o menos de la energía requerida y su dieta es pobre en proteínas, vegetales y frutas. Adicionalmente un alto porcentaje de personas padecen enfermedades que afectan la asimilación de alimentos o tienen estilos de vida que causan obesidad y sus consecuencias.

El patrón de consumo alimentario (número y frecuencia de alimentos consumidos) consta de 20 ó 21 alimentos (nivel nacional y área urbana). La mayoría son alimentos fuentes de energía (azúcar, arroz, aceite, tortilla de

maíz, frijol, pan, musáceas) y café. En el área rural sólo tres productos de origen animal (huevos, carne de aves y quesos) forman parte del patrón de consumo alimentario. El consumo de carne, tanto de aves como de res, tiene una baja frecuencia de uso (menos de tres veces a la semana) en el nivel nacional y en las dos áreas de residencia (urbana y rural).

Tabla 2.3 Encuesta de consumo de alimentos (Fuente: FAOSTAT)

(Referencia) Año encuesta	Lugar	Muestra			Ingesta promedio									
		Tamaño	Sexo	Edad (años)	Principales grupos de alimentos (kg/persona/año)									
					Cereales	Tubérculos	Leguminosas	Frutas/Hortalizas	Aceites/Grasas	Carne	Pescado	Productos lácteos	Edulcorantes	Otros
(MAG-PAN, 1993)	Managua													
1993	Área Urbana	920	MF	Todas	471,0	340,3	102,9	97,0	61,0	*108	ND	142,2	112,0	ND
	Ext.pobreza	236	*	*	50,5	30,5	16,0	8,4	7,6	11,3	ND	8,9	14,9	ND
	Pobreza	207	*	*	68,2	47,6	20,0	10,0	9,4	25,8	ND	19,6	18,0	ND
	Ingreso bajo	180	*	*	83,9	49,3	22,1	10,9	12,1	35,0	ND	23,7	20,0	ND
	Ingreso med.	161	*	*	138,8	57,9	21,3	28,3	12,8	46,5	ND	43,0	27,0	ND
	Ingreso alto	135	*	*	103,2	155,1	22,6	39,1	19,0	81,4	ND	47,0	32,0	ND
	Área Rural	450	MF	Todas	384,6	303,7	133,0	77,4	47,5	95,0	ND	102,0	117,3	ND
	Ext.pobreza	116	*	*	70,3	15,9	17,3	4,6	5,1	5,1	ND	2,9	11,9	ND
	Pobreza	108	*	*	56,6	41,1	25,2	7,9	8,1	13,2	ND	7,8	19,4	ND
	Ingreso med.	80	*	*	81,2	111,7	26,4	18,6	11,5	25,3	ND	21,2	27,1	ND
	Ingreso alto	63	*	*	109,1	82,9	36,1	30,9	13,1	44,0	ND	54,9	35,8	ND
					Ingesta nutricionales (por persona por día)									
					Energía (kcal)	% Proteínas	% Grasas	Proteínas (g)	% Proteínas animales	Grasas (g)	% Grasas animales			
(MAG-PAN, 1993)	Pobreza	207	MF	Todas	1571	10,9	ND	42,9	31,5	ND	ND			
1993	Ingreso bajo	180	*	*	1908	11,1	ND	53,1	33,9	ND	ND			
	Ingreso med.	161	*	*	2182	11,9	ND	65,1	43,8	ND	ND			
	Ingreso Alto	135	*	*	2869	12,9	ND	90,6	49,7	ND	ND			
	Área Rural	450	*	*	1664	10,6	ND	44,0	26,4	ND	ND			
	Ext.pobreza	116	*	*	836	10,0	ND	21,0	10,0	ND	ND			
	Pobreza	108	*	*	1391	10,0	ND	34,8	16,4	ND	ND			
	Ingreso Bajo	83	*	*	1722	10,0	ND	43,2	19,7	ND	ND			
	Ingreso Med.	80	*	*	2094	10,4	ND	54,2	30,6	ND	ND			
	Ingreso Alto	63	*	*	2830	12,1	ND	85,3	40,8	ND	ND			
					Porcentaje de la energía proveniente de:									
					Cereales	Tubérculos, raíces	Leguminosas	Frutas/Hortalizas	Aceites/Grasas	Carne	Pescado	Productos lácteos	Edulcorantes	Otros
(MAG-PAN, 1993)	Área Urbana	920	MF	Todas	38,3	6,4*	10,2	ND	17,1	14,7	ND	ND	12,4	0,9
	Área Rural	450	*	*	38,7	5,9*	14,3	ND	17,5	9,1	ND	ND	14,0	0,5

Nota: ND datos no disponibles.

De modo que la dieta de los nicaragüenses está mayoritariamente basada en el consumo de cereales y otros alimentos ricos en carbohidratos, poca cantidad de proteínas de buena calidad y pocos micronutrientes, especialmente aquellos provenientes de alimentos de origen animal. La

dieta también es escasa en frutas y verduras frescas, los que se usan sobre todo en refrescos y como condimentos.

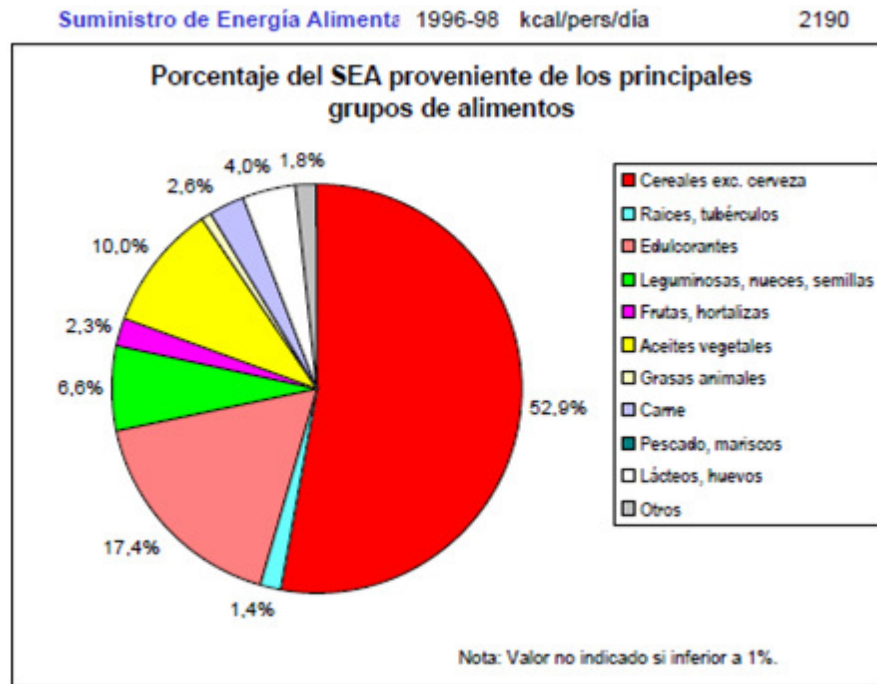


Figura 2.6 Disponibilidad promedio de alimentos (Fuente: FAOSTAT)

Un factor determinante en el acceso social a los alimentos es el conocimiento y el nivel educativo de los padres y responsable de los hogares. Lo anterior es una limitante para que la población seleccione, prepare, preserve y consuma alimentos sanos y nutritivos que le permitan una dieta equilibrada; a la vez que los alimentos sean distribuidos equitativamente en el hogar, por ejemplo entre las niñas y las mujeres.

Por otro lado, existen condiciones subyacentes en el individuo determinadas por su entorno que pueden ocasionar baja utilización biológica de los alimentos y nutrientes, tales como: inadecuado manejo higiénico sanitario de los alimentos, insuficiente acceso a servicios preventivos de salud e higiene ambiental inadecuada. Se establece un círculo vicioso entre desnutrición, infecciones, pobreza y mala utilización de los alimentos.

3. INDUSTRIA LÁCTEA EN NICARAGUA

En el país existen trece plantas industriales con capacidad de pasteurización. De ellas, tres pueden calificarse de industrias grandes y modernas que producen para el mercado local y mercado exterior, cinco acopian para las plantas grandes, y otras cinco venden productos al mercado local y exportan, principalmente, quesos a Centroamérica y E.E.U.U.

Estas trece plantas tienen capacidad para acopiar alrededor del 63 % de la producción anual del país. La leche procesada en la mayoría de estas plantas cumple, hasta ahora, con todas las exigencias sanitarias de los países importadores y con los requisitos de inocuidad de alimentos.

Existen en todo el país, pero principalmente concentradas en Boaco, Chontales, Matagalpa y RAAS, veintinueve plantas artesanales con una capacidad de acopio de alrededor del 26 % de la producción del país. Algunas de ellas tienen facilidades de frío y acopian para las plantas grandes, pero en su mayoría operan bajo condiciones sanitarias deficientes para el procesamiento, almacenamiento y comercialización del producto lácteo. La mayor parte produce queso para exportarlo a Honduras y El Salvador.

3.1 Actividad ganadera de la leche

La ganadería vacuna ha sido y es, una de las actividades de mayor importancia para la seguridad alimentaria y la economía del país. Durante las décadas de los años 60 y 70 experimentó un acelerado crecimiento estimulado por los precios favorables del mercado internacional de la leche, el crecimiento de la demanda interna de los productos pecuarios, la disponibilidad de asistencia técnica y la disponibilidad de financiación con plazos y tasas de interés adecuados al ritmo biológico del crecimiento de la actividad y de cada una de las unidades productivas financiadas. En los años 80, la actividad sufrió las consecuencias de la guerra. Las fincas fueron

abandonadas por los propietarios y descapitalizadas; algunas de ellas fueron confiscadas por el Estado. Las prácticas tecnológicas de manejo de ganado y manejo de pasturas aprendidas en los 60 y 70 fueron abandonadas. Mucho ganado salió de contrabando por las fronteras Sur y Norte, incrementando los hatos ganaderos de los países vecinos y disminuyendo el hato de Nicaragua. En esos años el país pasó a ser importador neto de leche.

A pesar de las dificultades actuales la ganadería, especialmente la producción de leche se vislumbra como uno de los pocos ingresos generadores de bienestar para el sector rural Nicaragüense. Aún con los bajos niveles actuales de productividad y la falta de apoyo financiero los ganaderos han posicionado a la leche como uno de los principales ingresos generadores de divisas y al país como exportador neto de productos lácteos.

La mayor parte de los ganaderos existentes que manejan más de la mitad de la población ganadera bovina, son pequeños y medianos. Esta amplia distribución del ganado en manos de pequeños productores, ha condicionado que aproximadamente, entre el 95 % y el 98% de la producción de ganado existente, sea explotado con un doble propósito (obtención de carne y leche), lo cual limita la adopción de tecnología que permita la especialización de la producción.

3.2 Producción láctea

Un serio problema para la producción de leche es la estacionalidad de la misma, coincidiendo con la estacionalidad de producción de los pastos, que se concentra en los meses de la estación lluviosa, correspondiendo al 65 % de la producción anual. Esta estacionalidad afecta al productor en los precios, ya que aunque las plantas procesadoras industriales están pagando el mismo precio todo el año, no pueden absorber mas leche de la que pueden vender. Los ganaderos bajan los precios sustancialmente, pueden

variar desde 0,75 a 0,40 dólares por galón (3,78 litros), en el pico máximo de la producción.

La producción total de Leche anual en Nicaragua en el período 1994 al 2002 aumentó de 48 millones de galones a 66,2 millones de galones para un crecimiento promedio anual del 4,7 por ciento. Para el periodo de 1997 al 2002, Nicaragua fue uno de los países del área que más aumentó su producción de leche con un incremento promedio anual del 4,36 %, después de Costa Rica que creció en un 6,11 %.

La producción nacional de lácteos ha venido creciendo sostenidamente durante los últimos cinco años pasando de 53,5 millones de galones de leche cruda en 1997 a producir 66,2 millones de galones en el 2002. De la misma manera ha aumentado la producción de queso de crema y de mantequilla. Paradójicamente el consumo aparente per cápita ha descendido de 38,6 litros al año en 1997 a 32,61 litros al año en el 2001.

El valor total estimado de las ventas en el año 2002 fue de aproximadamente 56 millones de dólares; desglosados de la siguiente manera: 40 millones de dólares de las exportaciones de todos los derivados lácteos, 16 millones de dólares producto de las ventas locales entregadas a todas las plantas procesadoras industriales (16,5 millones de galones de leche).

Los ganaderos individuales, cooperativas y gremios y plantas procesadoras de leche han mostrado interés por modernizar sus sistemas de producción y están realizando propuestas concretas de organización, coordinación y alianzas estratégicas. En Febrero del año 2001 se formó la Cámara Nicaragüense de la Industria Láctea (CANISLAC) que aglutina a productores de leche y a las plantas procesadoras en un reconocimiento de que ambas partes se necesitan entre sí para poder desarrollarse.

La reconversión de la cadena agroindustrial de la leche se fundamenta en la reducción de los costos de producción a nivel de finca, de transporte y

acopio y de proceso industrial; esto se ha llegado a determinar que debe ser basado en economía de escala. Se requiere de la alianza de la industria con los productores e instituciones gremiales y privadas para que con el concurso de ellos se puedan minimizar estos costos y en los casos en que las condiciones lo permitan, agrupar esfuerzos para constituir plantas de procesamiento que logren la deseada economía de escala.

3.2.1 Exportaciones e importaciones

La oportunidad de mercado de los productos lácteos es promisoría para Nicaragua por una serie de factores y ventajas comparativas existentes que, aunque explotadas parcialmente, están permitiendo a Nicaragua posicionarse en los mercados del área Centroamericana e incursionar en el mercado de Estados Unidos.

Las importaciones de productos lácteos en el período 1996 al 2001 pasaron de 22,8 a 46,3 miles de toneladas, mientras que las exportaciones, en el mismo período de 29,3 a 51,0 miles de toneladas.

En términos económicos, Nicaragua se está convirtiendo en un exportador neto de productos lácteos, al pasar estas exportaciones, en el período (1996-2002) de 8 a 39,7 millones de dólares. Así pues, las exportaciones superaron a las importaciones en los años 2000 y 2002 por aproximadamente 2 millones y 26,8 millones de dólares respectivamente. La tendencia de los excedentes de las exportaciones versus las importaciones es ascendente.

3.3 Consumo nacional

Nicaragua es uno de los países de Centroamérica con menor consumo de leche por habitante por lo que el mercado local se perfila como un mercado

potencial amplio para la producción nacional. En el año 2001 se consumía por persona: 32,61 litros al año.

3.4 Factores que inciden en la competitividad de los productos lácteos

La característica principal que se observa en toda la cadena pecuaria bovina del país, se refiere a un modelo de explotación basado en la simple utilización de las ventajas comparativas, con escaso proceso inversionista que eleven la calidad y la rentabilidad.

Asociado al conjunto de debilidades que impactan en el nivel competitivo del ganado y de los productos lácteos, se encuentran:

- a) Baja calidad de leche en la producción en las fincas
- b) Insuficiente calidad de productos lácteos, así como limitaciones de diversidad, empaquetado, certificado y marcas de los productos.
- c) Limitados y débiles apoyos institucionales, públicos y privados en aspectos de asistencia técnica y transferencia de tecnología. Bajos niveles y calidad de la educación pecuaria en general.
- d) Baja calidad en la mayor parte de los productos lácteos, sobre todo en la mayoría de centros de procesamiento artesanales.
- e) Ausencia de sistemas de incentivos a las industrias lácteas.
- f) Pobre infraestructura de apoyo, tales como caminos (por deterioro y/o inexistencia), electrificación y servicios de apoyo a la ganadería en general.
- g) Falta de información y/o acceso a la información de precios y mercados al productor.
- h) Limitación de conocimientos técnicos, administrativos y escasa asistencia técnica a pequeños y medianos productores.
- i) Deficiente material genético y falta de políticas de sistemas de cruzamiento.

3.4.1 Situación de los sistemas de acopio y de comercialización la leche

El acopio tiene dos modalidades, uno ligado a rutas manejadas directamente por los procesadores de lácteos y otras dominadas por intermediarios. Existen casos en que una planta recibe leche de varios intermediarios, sobre todo en el verano, cuando cubrir los requerimientos de leche para sus procesos se hace más difícil.

El transporte de la puerta de las fincas a los centros de acopio, se realiza de forma deficiente, en su mayor parte, los recipientes esperan a la intemperie en la orilla de los caminos para que los recojan vehículos de transporte público, los cuales transitan por malos caminos, llevando las pichingas muchas veces soleándose, hasta llevarlos a los centros de recibo donde la leche es calificada de baja calidad o rechazada con el consiguiente perjuicio económico para los productores. Los automotores son el medio de transporte más utilizado para transportar la leche hacia los centros de acopio, pero éstos no son exclusivos y expresos hasta los centros de recibo, otras veces el transporte se realiza a lomo de mula o de caballos. Los intermediarios que colectan leche para los queseros artesanales no rechazan la leche pero la pagan a precios muy bajos.

Una restricción importante para la ampliación de la red de acopio es la pobre red de tendido eléctrico existente, esto influye en la ubicación de los centro de acopio, localizados en los centros de las zonas lecheras. Por otra parte la pérdida de muchos caminos de penetración que ya existían en las zonas productoras de leche, y la falta de apertura de nuevos caminos, cierra el círculo problemático de los centros de acopio y de la falta de energía.

3.4.2 Condiciones sanitarias y de inocuidad de los alimentos

El proceso del ordeño en las fincas, en su mayoría, se realiza en condiciones de muy poca higiene. Se carece de la infraestructura mínima para realizar un “ordeño limpio”, son raras las fincas en que se hace ordeño mecánico, el ordeño es manual. Muchas veces los ordeñadores no cuentan con las facilidades mínimas ni los elementos necesarios para lavarse las manos antes de ordeñar, ya que en una gran proporción de fincas, no se cuenta con agua corriente y en consecuencia, el lavado de las ubres de las vacas, no se hace o se hace deficientemente.

La ausencia de salas de ordeño, hace que el proceso se realice en corrales, muchas veces sin techo ni piso, ordeñándose a la intemperie y por tanto, contaminándose la leche con polvo o tierra en el verano y lodo en el invierno, casi siempre con excretas.

Los recipientes que se utilizan para el proceso de ordeño y de transporte de la leche, a veces, no son del material adecuado, además la mayoría no se higienizan adecuadamente, pues hay muy poca utilización de antisépticos para el lavado de los mismos. Tampoco existen facilidades de frío en las fincas.

El resultado de todo lo anterior es una leche de mala calidad, contaminada, propensa a descomponerse en un corto tiempo, con la cual, indiscutiblemente, no pueden fabricarse productos lácteos de buena calidad.

Las plantas artesanales, en su mayoría operan bajo condiciones sanitarias deficientes para el procesamiento, almacenamiento y comercialización del producto lácteo.

4. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR LOS ALIMENTOS

Las Enfermedades Transmitidas por los Alimentos constituyen un problema de salud pública y se reconoce cada vez más la importancia de sus repercusiones sobre la salud de la población, ya sea por la frecuencia con la que ocurren como por el impacto que pueden causar, afectando a una persona o a grupos de ellas y variando desde una indisposición hasta la muerte

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha estimado que, dependiendo del país, entre el 15 y el 70 por ciento de los casos de diarrea en menores de cinco años de edad se debe a alimentos contaminados.

Según la OMS, en América Latina y el Caribe se producen 1500 millones de casos de diarrea por año y cada año, por esa causa, mueren tres millones de niños menores de cinco años.

En el período 1995-1999 en América Latina y el Caribe se produjeron 4234 brotes infecciosos y los principales alimentos identificados como causantes de intoxicaciones fueron: pescados, agua, carnes rojas y productos lácteos.

4.1 Productos lácteos

Son productos elaborados a partir de leche fluida sin pasteurización, sometidos a un proceso de fermentación láctica y después preparados según el producto deseado. El cuajado de la leche por lo general es hecho sin equipos apropiados y a la intemperie. Estos productos generalmente se elaboran y comercializan a temperatura ambiente y casi la totalidad de los quesos que se elaboran en Nicaragua son quesos frescos y sin proceso de maduración. Los tipos principales son queso fresco prensado, cuajada fresca sin prensar, queso seco, queso de freír, queso ahumado y quesillos.

Los quesos nicaragüenses son un importante ingreso agropecuario de exportación del país. Las exportaciones mensuales alcanzan a cerca de 40000 kg y en el año 2004 generaron más de 31 millones de dólares estadounidenses de divisas, con un aumento del 15 por ciento respecto al

año 2003. Sin embargo, en el año 2006 la FDA de los Estados Unidos de América rechazó 63 cargamentos por manufactura insalubre, presencia de bacterias (*Salmonella sp.* y *Escherichia coli*) y en algunos casos por falta de etiquetado. El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Forestales (MAGFOR) informó que «...en el país existen muchas plantas procesadoras y es imposible tener el control de todas por falta de recursos...».

4.2 Impacto socioeconómico

Nicaragua cuenta con algo más de cinco millones de habitantes. Según datos del MINSA (Ministerio de Salud) en el año 2005 el grupo poblacional de niños menores de cinco años continúa siendo el más afectado por las enfermedades transmitidas por los alimentos, con 92.209 atenciones en 129.763 casos (71 por ciento del total); los más afectados son los menores de un año con 2.104 casos cada 10.000 habitantes, seguido por el grupo de uno a cuatro años con 856 casos por cada 10.000 habitantes. No hay diferencias significativas en relación al sexo.

La Organización Mundial de la Salud estima que, dependiendo del país, entre el 15 y el 70 por ciento de los casos de diarrea en menores de cinco años de edad se deben a alimentos contaminados. En el caso de la hipótesis del 15 por ciento habría 13.831 casos. El MINSA estima que cada niño atendido en el sistema de salud cuesta al presupuesto nacional aproximadamente cinco dólares estadounidenses lo que daría un total de 69.155 dólares. A ello es necesario agregar la pérdida de un día de trabajo de un adulto para su atención, que al costo de un salario mínimo significa 41.494 dólares, que totalizarían en 110.649 dólares. El resto de los niños son atendidos en sus hogares o no recibe atención.

5. CONCLUSIÓN

Nicaragua es un país donde el 46,2% de la población es pobre y el 14,9% extremadamente pobre, los limitados recursos económicos provocan que el 50% de los hogares consuma el 70% o menos de la energía requerida y su dieta sea pobre en proteínas, vegetales y frutas. Esta situación afecta más acentuadamente a los niños menores de 5 años, en cuyo desarrollo se hace vital el consumo de productos lácteos.

La producción nacional de lácteos ha venido creciendo constantemente durante los últimos cinco años pasando de 53,5 millones de galones (1 galón equivale a 3,78 litros) de leche cruda en 1997 a producir 66,2 millones de galones en el 2002. De la misma manera ha aumentado la producción de queso de crema y de mantequilla. Paradójicamente el consumo aparente per cápita ha descendido de 38,6 litros al año en 1997 a 32,61 litros al año en el 2001.

Para encontrar las causas que han motivado este descenso, se debe tener en cuenta cómo se estructura la industria láctea en Nicaragua.

En el país existen trece plantas industriales con capacidad de pasteurización, que acopian alrededor del 63% de la producción anual del país. La leche procesada en la mayoría de estas plantas cumple con todas las exigencias sanitarias de los países importadores y con los requisitos de inocuidad de alimentos. Cinco acopian para grandes plantas, otras cinco vende productos al mercado local y exterior, principalmente quesos.

Tres son las industrias grandes y modernas que producen para el mercado local y externo: Parmalat, Centrolat y Eskimo. La leche de Parmalat y de Eskimo es pasteurizada, mientras que la de Centrolat es uperizada (la única de todo el país). Los precios de la leche de estas marcas son similares, se va a comparar su precio con el que se paga al pequeño productor cuando se le compra directamente y con el del café, producto que la población más pobre

utiliza como sustituto de la leche. Se ha supuesto que un dólar americano (\$) equivale a veinte córdobas (C\$) nicaragüenses.

Tabla 2.4 Producto versus precio

Producto	Precio (\$)
1 litro de leche pasteurizada (4 tazas)	0,725 (14,5C\$)
½ litro de leche pasteurizada (2 tazas)	0,36 (7,15C\$)
1 litro de leche cruda (4 tazas)	0,2-0,3 (4-6 C\$)
2 gramos de café (1 taza)	0,075 (1,5C\$)

Los bajos ingresos económicos y el desconocimiento de buenas prácticas alimenticias de la mayoría de la población, explica el alto porcentaje consumido de leche y sus derivados, en pulperías o puestos de la calle. Éstos se proveen de plantas artesanales o de pequeños productores que no pasteurizan la leche y que en su mayoría operan bajo condiciones sanitarias deficientes.

Los productos elaborados a partir de leche fluida sin pasteurización son una fuente de posibles enfermedades, la más común es la enfermedad diarreica, siendo de nuevo el grupo poblacional de niños menores de cinco años el más afectado.

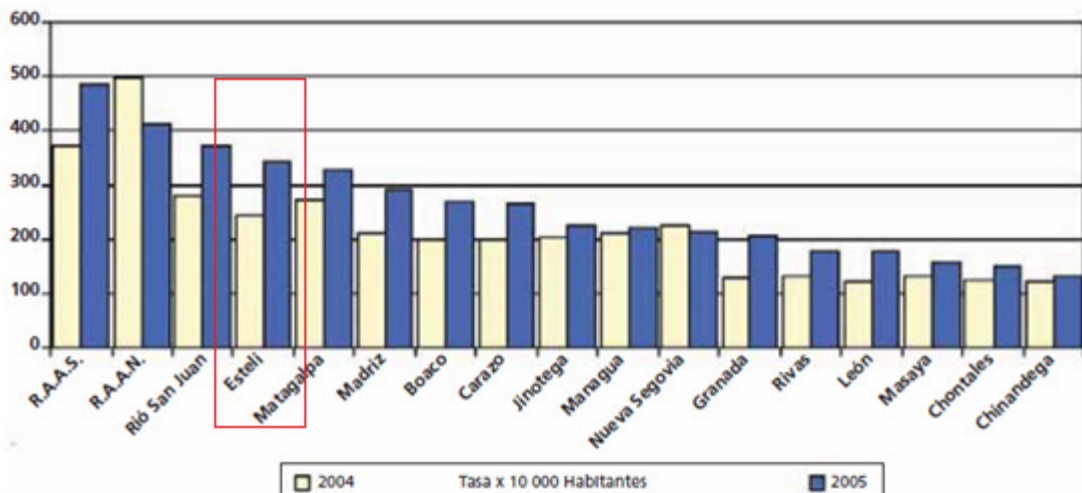


Figura 2.7 Síndrome diarreico agudo, 2004-2005 por departamento (Fuente: MINSA)

Como solución a este problema se propone crear una mediana industria con sistemas de producción modernos, que cumpla los requisitos de inocuidad de los alimentos, basada en la economía de escala para poder reducir los costos de transporte, acopio y el proceso industrial. Se ha pensado en una cooperativa de productores.

Uno de los objetivos, es el de producir una leche pasteurizada a un precio de venta menor que el actual.

CAPÍTULO 3

EFFECTOS DEL CALOR EN LA LECHE: TRATAMIENTOS TÉRMICOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	51
2. EFECTO DEL CALOR EN LOS MICROORGANISMOS Y ENZIMAS	51
2.1 Cinética de la destrucción de microorganismos por calor	51
2.2 Tiempo de reducción decimal y parámetros de importancia práctica	52
2.3 Efecto de la temperatura sobre la constante de destrucción térmica	56
2.4 Combinación tiempo/temperatura	57
3. TRATAMIENTOS TÉRMICOS	58
3.1 Termización	58
3.2 Pasteurización LTLT	59
3.3 Pasteurización HTST	59
3.4 Ultra pasteurización	60
3.5 Tratamiento UHT	60
3.6 Esterilización	61
4. SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO ADECUADO	61
4.1 Ventajas e inconvenientes de cada tratamiento	62
4.2 Conclusión	63

ÍNDICE DE FIGURAS

1. **Figura 3.1** Gráfico semilogarítmico de la ecuación cinética de destrucción de microorganismos.
2. **Figura 3.2** Gráfico semilogarítmico de la ecuación que relaciona el valor D con k.
3. **Figura 3.3** Gráfico semilogarítmico de la cinética de Arrhenius.
4. **Figura 3.4** Curvas de tratamientos térmicos con efectos letales sobre las bacterias.
5. **Figura 3.5** Curvas de efecto letal y curvas tiempo/temperatura de algunas enzimas y microorganismos

ÍNDICE DE TABLAS

1. **Tabla 3.1** Valores de la constante de k y D a una temperatura de 121°C y para unos microorganismos determinados.
2. **Tabla 3.2** Principales categorías de tratamientos térmicos en la industria láctea
3. **Tabla 3.3** Ventajas e inconvenientes de cada tratamiento

1. INTRODUCCIÓN

La leche se trata térmicamente con el fin primordial de destruir los microorganismos patógenos que pudieran estar contenidos en la misma; un fin secundario es la destrucción de tantos organismos como sea posible además de los sistemas enzimáticos, con objeto de salvaguardar la calidad del producto.

2. EFECTO DEL CALOR EN LOS MICROORGANISMOS Y ENZIMAS

Es necesario conocer los factores implicados en la termodestrucción de las enzimas y microorganismos, para mejorar el entendimiento sobre los problemas relacionados con la conservación de los alimentos.

Un concepto importante es el de *muerte microbiana*, puede ser considerada como la incapacidad para que las células se reproduzcan aún cuando se encuentren bajo condiciones ambientales óptimas. Todas las formas vegetativas de bacterias, levaduras y hongos se suelen destruir cuando la temperatura alcanza 100°C, pero las esporas de algunas especies pueden exhibir una fuerte termorresistencia y para su destrucción hace falta aplicar tratamientos térmicos intensos: temperaturas elevadas y tiempos prolongados.

2.1 Cinética de la destrucción de microorganismos por calor

Las bacterias mueren por la acción del calor a una velocidad que suele ser proporcional a la cantidad presente en el alimento, siguiendo la ecuación cinética de primer orden:

$$\frac{\delta N}{\delta \theta} = -kN$$

Dónde “ θ ” es el tiempo (minutos), “ k ” la constante de destrucción térmica, y “ N ” es el número de microorganismos vivos en el instante θ de exposición del medio a la temperatura que ocurre la destrucción.

Integrando y tomando logaritmos en la ecuación anterior:

$$\ln \frac{N_2}{N_1} = -k \cdot (\theta_2 - \theta_1)$$

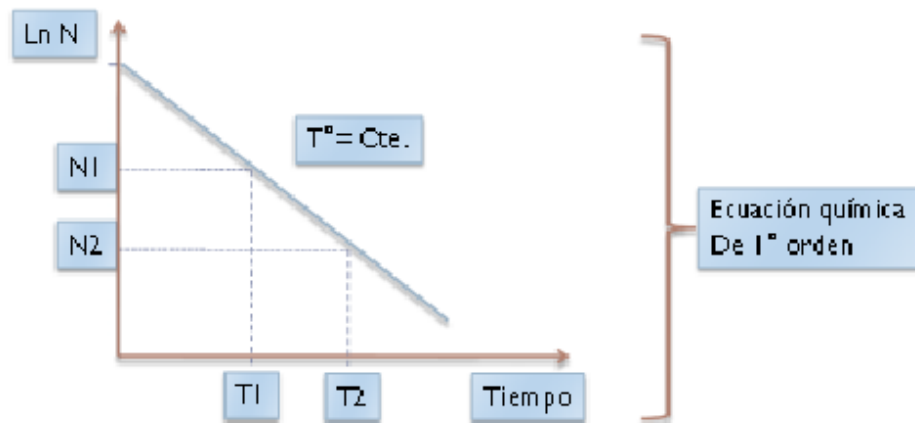


Figura 3.1 Gráfico semilogarítmico de la ecuación cinética de destrucción de microorganismos.

El valor de “ k ” es posible obtenerlo gráficamente ya que corresponde a la pendiente de la recta.

2.2 Tiempo de reducción decimal y parámetros de importancia práctica

Esta destrucción térmica es exponencial y bajo las mismas condiciones experimentales se destruyen el mismo porcentaje de población por cada intervalo igual de tiempo, con independencia del número de microorganismos supervivientes.

Es decir, que si con un tratamiento térmico determinado se consigue en el primer minuto destruir el 90% de la población microbiana, en el siguiente minuto será destruido el 90% de la población existente para entonces. Esto

ha llevado a determinar el denominado *valor D*: tiempo en el que se destruyen el 90% de los microorganismos presentes.

$$\theta = D. (\log N_1 - \log N_2)$$

También se conoce como tiempo de reducción decimal, porque equivale a la reducción de la población microbiana en un ciclo logarítmico.

Para las referencias tabuladas de este dato se suele escribir como subíndice la temperatura a la que ha sido obtenido (D_T).

La constante de destrucción térmica (k) se puede relacionar con el *valor D*, de la siguiente manera:

Siendo $N_1 = 100$ l/ min y $N_2 = 10$ l/ min , entonces

$$\ln \frac{N_1}{N_2} = -k. D = 2,303$$

$$D = -\frac{2,303}{k}$$

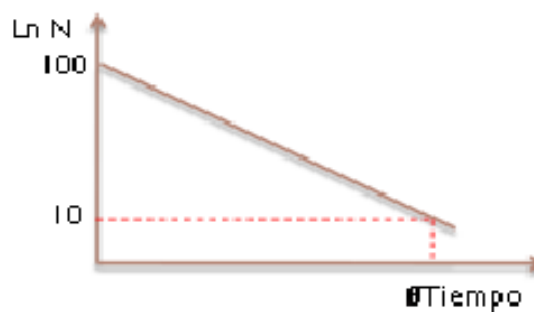


Figura 3.2 Gráfico semilogarítmico de la ecuación que relaciona el valor D con k .

Tabla 3.1 Valores de la constante de k y D a una temperatura de 121°C y para unos microorganismos determinados. (Fuente: Manual Industrias Lácteas)

Especie	$K_{121}(\text{l/min})$	$D(\text{min})$
<i>Bacillus subtilis</i>	3,8-2,6	0,6-0,9
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	0,77	3
<i>Bacillus stearothermophilus</i>	2,9	0,8
<i>Clostridium sporangem</i>	1,8	1,3

Cuando se representan las temperaturas de tratamientos térmicos frente a los valores D correspondientes, en una escala logarítmica para un cultivo microbiano determinado, se suele obtener una recta que permite establecer dos parámetros de importancia práctica:

- El *valor z*: dado por la pendiente de la recta, representa el número de grados requerido para recorrer un ciclo logarítmico en una curva específica de destrucción térmica, o dicho de otra manera, para que el *valor D* varíe 10 veces. Cambia en función de dos factores: la especie de microorganismos y la naturaleza del medio donde son calentados.

Siendo $D_{102} = 20 \text{ min}$ y $D_{110} = 2 \text{ min}$,

$$\frac{D_{102}}{D_{110}} = \frac{20}{2} = 10$$

$$\log \frac{D_{102}}{D_{110}} = \frac{(110 - 102)}{z}$$

$$z = 8^{\circ}\text{C}$$

- El *valor F*: es el número de minutos requeridos para que a una temperatura específica se consiga destruir un número determinado de microorganismos, que tienen un *valor z* concreto, y así conseguir el grado de esterilidad deseado. Debido a su dependencia de la

temperatura de trabajo, resulta conveniente establecer un valor F_0 que sirva de referencia. El valor F_0 se define como la cantidad de minutos que se requieren a la temperatura de 121°C para conseguir la destrucción un número concreto de microorganismos con *valor z* de 10.

Para las curvas de tiempos de destrucción térmica de microorganismos patógenos y alterantes de relevancia, se tiene en cuenta un margen de seguridad. Este es, que para un tratamiento térmico a una temperatura dada se aplique el tiempo necesario para que en todas las partículas del alimento se alcance el valor 12D, que presupone que siempre existe una espora por envase y trata de pasar a una espora por cada 10^{12} envases. Este valor puede variar según la esterilidad comercial que se desee para cada microorganismo, siendo también válido 4D o 5D.

Por ejemplo, para un producto cualquiera, en el que se encuentra:

- El Cl Botulinum, cuyo *valor D*, es decir el tiempo en que se destruye el 90% del microorganismo, es $D_{121} = 0,21\text{min}$, entonces, $F_0 = 0,21 \cdot (\log 1 - \log \frac{1}{10^{12}}) = 2,52$ minutos.
- Una especie por envase de B stearothermophilus con $D_{121} = 4\text{min}$ y se quiere una esterilidad comercial de 10^4 , dónde el valor ahora de $F_0 = 4 \cdot (\log 1 - \log \frac{1}{10^4}) = 16$ minutos.
- Cien especies por envase de C sporogenes cuya $D_{121} = 1,5\text{min}$ y con la misma esterilidad comercial de 10^4 , se obtiene una $F_0 = 1,5 \cdot (\log 100 - \log \frac{1}{10^4}) = 9,5$ minutos.

Se establece que el valor F_0 del producto es de 16 minutos, reduciendo el nivel del resto de los microorganismos por debajo de lo requerido. El B stearothermophilus será el que nos limite el tiempo. Entonces, como el *valor z* es 10 para el valor de referencia F_0 a 121°C , se puede decir:

$$F_0^{10} = 16\text{min}, F_{111}^{10} = 160\text{min} \text{ y } F_{131}^{10} = 1,6 \text{ min.}$$

2.3 Efecto de la temperatura sobre la constante de destrucción térmica

La constante de destrucción térmica (k) varía con la temperatura según la cinética química de Arrhenius:

$$k = A \cdot e^{-E_a/R.T}$$

Siendo “A” el factor de frecuencia, constante, “ E_a ” la energía de activación de destrucción térmica, “R” la constante de los gases ideales y “T” la temperatura absoluta en Kelvin.

Si se linealiza la ecuación aplicando logaritmos neperianos:

$$\ln k = \ln A + \left(\frac{-E_a}{R}\right) \cdot \left(\frac{1}{T}\right)$$

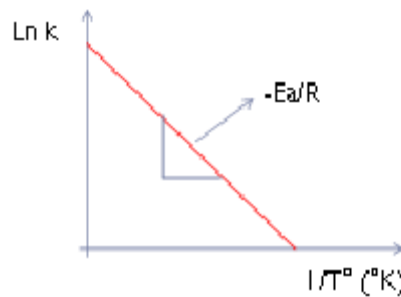


Figura 3.3 Gráfico semilogarítmico de la cinética de Arrhenius.

Podemos calcular el valor de la pendiente de la recta, y por tanto obtener la energía de activación correspondiente a cada microorganismo.

2.4 Combinación tiempo/temperatura

La combinación de temperatura y tiempo de mantenimiento es muy importante puesto que determina la intensidad del tratamiento térmico.

Un tratamiento térmico fuerte es deseable desde el punto de vista microbiológico. Pero esto puede conllevar a alteraciones en el sabor, valor nutritivo y apariencia de la leche.

Las bacterias más comunes que se encuentran en la leche son: bacterias Coliformes, bacterias del Tifus y los bacilos de la Tuberculosis. Los bacilos de la Tuberculosis son los más resistentes al tratamiento térmico, se pueden destruir mediante calentamiento de la leche a 63°C durante 10 minutos, pero la completa seguridad se da a esta misma temperatura durante 30 minutos. Puede ocurrir que también sean resistentes al calor los micrococcos de la leche. Sin embargo, normalmente son completamente inocuos.

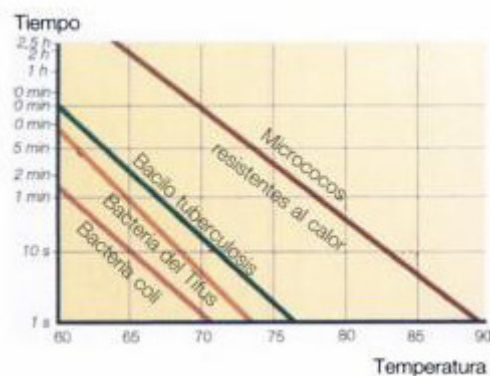


Figura 3.4 Curvas de tratamientos térmicos con efectos letales sobre las bacterias (Fuente: *Manual de Industrias Lácteas*)

La elección de la combinación tiempo/temperatura debe ser optimizada para conseguir un efecto adecuado tanto desde el punto de vista microbiológico como desde el punto de vista de la calidad.

Afortunadamente, todos los organismos patógenos comunes en la leche son destruidos mediante un tratamiento térmico no muy intenso que tendrá un efecto muy bajo sobre las propiedades físicas y químicas de la leche. Es una

suerte que ninguno de los patógenos más importantes formen esporas en la leche.

3. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

Sin duda, la parte más importante del procesado de la leche es el tratamiento térmico, cada vez es más conocida su influencia sobre la calidad del producto.

Es interesante analizar las diferentes categorías establecidas de tratamiento térmico:

Tabla 3.2 Principales categorías de tratamientos térmicos en la industria láctea (Fuente: *Manual de Industrias Lácteas*)

Proceso	Temperatura	Tiempo
Termización	63 - 65°C	15 s
Pasteurización LTLT	63°C	30 min
Pasteurización HTST de la leche	72 - 75 °C	15 - 20 s
Pasteurización HTST de la nata, etc.	<80°C	1 - 5 s
Ultra pasteurización	125 - 138°C	2 - 4 s
Esterilización UHT	135 - 140°C	unos pocos segundos
Esterilización en el envase	115 - 120°C	20 -30 min

3.1 Termización

Cuando no es posible procesar toda la leche inmediatamente después de la recepción, se aplica este tratamiento. La leche puede estar en los silos durante horas y días, con un enfriamiento intenso no es suficiente para prevenir serios deterioros de la calidad.

Consiste en precalentar la leche hasta una temperatura inferior a la de pasteurización para inhibir eventualmente el crecimiento bacteriano. La leche se calienta a 63-65°C durante 15 segundos, una combinación tiempo/temperatura que no inactiva la enzima fosfatasa.

Posteriormente la leche debe ser rápidamente enfriada hasta 4°C o una temperatura inferior, para prevenir que las bacterias aerobias formadoras de esporas se multipliquen tras la termización. Este tratamiento provoca que muchas esporas retornen a la forma vegetativa, lo que implican que serían destruidas mediante un tratamiento de pasteurización posterior de la leche.

La termización debe aplicarse en casos excepcionales, el objetivo es pasteurizar la leche dentro de 24 horas de su recepción.

3.2 Pasteurización LTLT

Este método se denomina método discontinuo o método de baja temperatura, largo tiempo (Low temperature, long time). La leche se calienta a 63°C en envases abiertos, y se mantiene a dicha temperatura durante 30 minutos.

3.3 Pasteurización HTST

Proceso continuo a alta temperatura, corto tiempo (high temperature, short time).

Se calienta la leche hasta 72-75°C y se mantiene a la misma temperatura durante 15-20 segundos antes de proceder a su enfriamiento a 4°C o temperatura inferior. La enzima fosfatasa es destruida por esta combinación de tiempo y temperatura. Por ello, la prueba de la fosfatasa se utiliza para comprobar si la leche ha sido debidamente pasteurizada.

Como se muestra en la figura 3.5 el contenido en fosfatasa debe ser nulo después de la pasteurización.

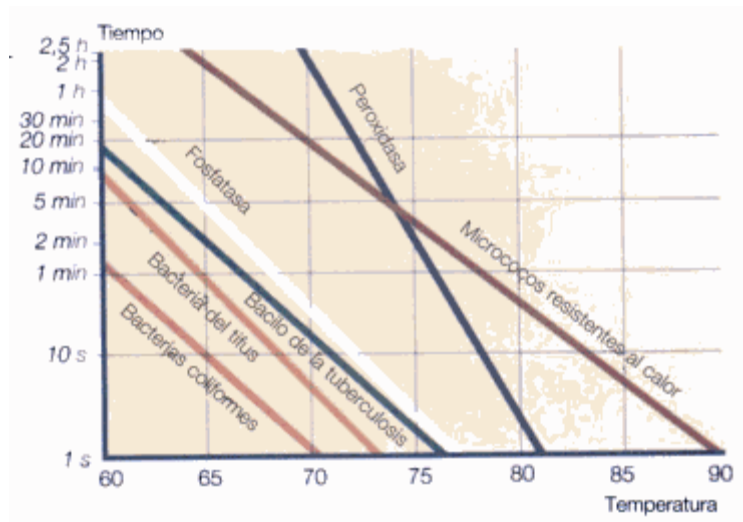


Figura 3.5 Curvas de efecto letal y curvas tiempo/temperatura de algunas enzimas y microorganismos (Fuente: Manual de Industrias Lácteas)

3.4 Ultra pasteurización

Se utiliza cuando se quiere conseguir una determinada vida útil. La base de la prolongación de la vida útil es calentar la leche a 125-138°C y mantenerla durante 2-4 segundos y enfriarla posteriormente a menos de 7°C.

El principio fundamental es reducir las principales causas de reinfeción del producto durante el procesado y el envasado con el fin de extender la vida útil. Esto requiere niveles extremadamente altos de higiene en la producción y una temperatura de distribución y venta por debajo de 7°C. Cuánto más baja mayor será la vida útil.

3.5 Tratamiento UHT

Tratamiento de temperatura ultraelevada (ultra high temperature), indicado para la conservación de productos alimenticios líquidos, por exposición de los mismos a un breve pero intenso calentamiento, con temperaturas que oscilan entre los 135 y 140°C. No necesita ser refrigerado por debajo de los 10°C antes de su consumo.

Es un proceso continuo que se desarrolla en un sistema cerrado, que impide que el producto se contamine por microorganismos presentes en el ambiente. El producto pasa por etapas de calentamiento y enfriamiento sucesivamente. Una parte esencial del proceso es el envasado aséptico, que elimina una gran parte de los riesgos de reinfeción.

Se utilizan dos métodos alternativos de tratamiento UHT:

- Calentamiento indirecto y enfriamiento en intercambiadores de calor.
- Calentamiento directo por medio de inyección de vapor o infusión de leche en vapor y enfriamiento por expansión bajo vacío.

3.6 Esterilización

Esterilización en el envase, normalmente a 115-120°C durante unos 30 minutos.

La leche se envasa en envases limpios (botella de vidrio o plástico), después de haber sido normalizada en su contenido en grasas, homogeneizada y calentada a unos 80°C. El producto envasado, aún caliente se transfiere a los autoclaves discontinuos o a una torre hidrostática de funcionamiento continuo.

4. SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO ADECUADO

En la selección del tratamiento térmico adecuado para 2500 litros de leche, se han tenido en cuenta las conclusiones obtenidas en el trabajo dirigido “Selección del Sistema de tratamiento térmico para la leche”, donde se explica de manera más extensa el razonamiento que ha llevado a tales resultados.

4.1 Ventajas e inconvenientes de cada tratamiento

Tabla 3.3 Ventajas e inconvenientes de cada tratamiento

TRATAMIENTOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Pasteurización LTLT	-Leche de alta calidad.	- Necesidad energética mayor que el HTST por tener que mantener la temperatura de la leche a 63°C durante 30 minutos. -La leche debe estar refrigerada igual o por debajo de los 4°C hasta su consumo. No puede romperse la cadena de frío. -Se necesita una empaquetadora. -El prolongado tiempo de mantenimiento hace necesario un tanque de almacenamiento con dosificador a la salida de la leche.
Pasteurización HTST	- El de menor necesidad energética en comparación con los demás tratamientos térmicos. - Tiempo de mantenimiento corto. - Leche de alta calidad.	-La leche debe estar refrigerada igual o por debajo de los 4°C hasta su consumo. No puede romperse la cadena de frío. -Se necesita una empaquetadora.
Ultrapasteurización	-Una vez empaquetada, la leche puede durar hasta 4 meses. Hasta ser abierto el envase puede estar sin refrigerar. -El tratamiento térmico es muy rápido. -Leche de alta calidad.	- Los sistemas para conseguir vapor (calderín o bomba de vacío), hace que la instalación se encarezca mucho más, y están indicados para tratar a partir de 5000litros de leche. -Enfriar por debajo de 7°C, después del tratamiento, en la distribución y la venta. -Se necesita una máquina de llenado aséptico. -Es necesario esterilizar la planta antes de empezar el tratamiento.
Tratamiento UHT	-Una vez empaquetada, la leche puede durar hasta 4 meses. Hasta ser abierto el envase puede estar sin refrigerar. -El tratamiento térmico es muy rápido. -Leche de alta calidad.	- Los sistemas para conseguir vapor (calderín o bomba de vacío), hace que la instalación se encarezca mucho más, y están indicados para tratar a partir de 5000litros de leche. -Se necesita una máquina de llenado aséptico. -Es necesario esterilizar la planta antes de empezar el tratamiento.
Esterilización	-Una vez embotellada, la leche puede durar hasta 4 meses. Hasta ser abierta la botella puede estar sin refrigerar.	-Envasado aséptico. -Envases resistentes al calor. -Leche con sabor a caramelo y aspecto parduzco. -Largo tiempo de mantenimiento. - Equipo hermético, indicado para cantidades menores de 500 litros de leche. -Se necesita una embotelladora.

4.2 Conclusión

Se ha destacado en negrita, en el cuadro anterior, los motivos por los que se llega a la conclusión de que el tratamiento térmico más propicio por el tipo de maquinaria necesaria, el consumo energético y el coste, es la Pasteurización HTST.

CAPÍTULO 4

LA INDUSTRIA LÁCTEA: NORMATIVA ESPAÑOLA Y NICARAGÜENSE

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	71
2. LA GRANJA	71
2.1 Producción	71
2.2 Almacenamiento	72
2.3 Transporte	73
3. INDUSTRIA LÁCTEA	74
3.1 Recepción	74
3.1.1 Filtración	74
3.1.2 Pruebas de calidad	74
3.2 Preenfriamiento	77
3.3 Pasteurización	78
3.3.1 Leche pasteurizada	78
3.3.2 Pasteurizador o intercambiador de calor	79
3.3.3 Pruebas de pasteurización	81
3.4 Envasado	85
3.5 Distribución y venta	87
3.6 Planta industrial	87
3.7 Limpieza	89
3.7.1 Grados de limpieza	90
3.7.2 Detergentes y desinfección	90
3.7.3 Proceso de limpieza	91
3.7.4 Limpieza en circuito cerrado	92

ÍNDICE DE TABLAS

1. **Tabla 4.1** Comparación entre España y Nicaragua de la producción de leche
2. **Tabla 4.2** Características FÍSICAS-QUÍMICAS de la leche
3. **Tabla 4.3** Requisitos microbiológicos
4. **Tabla 4.4** Tolerancia admitida para residuos de plaguicidas
5. **Tabla 4.5** Límites máximos permitidos para metales pesados

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, basándose en la Industria láctea española, se pretende explicar el proceso de transformación que sufre la leche desde su producción hasta su venta, y extrapolarlo, en la medida en que se dispone de datos, al caso concreto de Estelí.

Conjuntamente se expone la normativa española y nicaragüense, para conocer qué requisitos debe tener la planta industrial que se va a diseñar.

2. LA GRANJA

2.1 Producción

Para entender las diferencias entre la producción en España y Nicaragua, en la siguiente tabla se va a comparar la producción de leche habitual en un lado y otro del mundo.

Tabla 4.1 Comparación entre España y Nicaragua de la producción de leche

PRODUCCIÓN	ESPAÑA	NICARAGUA
ORDEÑO	Manual en granjas pequeñas. Automático en medianas y grandes.	Manual, la mayoría de las granjas son pequeñas.
TIEMPO DE ORDEÑO	5-8 minutos	
LITROS POR VACA POR ORDEÑO AL DÍA	6-8 litros	En invierno 6 litros En verano 4 o 0 litros, dependiendo de si tienen alimento.
Nº DE ORDEÑOS AL DÍA	2-3 ordeños, habitualmente 2 cada 12 horas.	1 sólo vez. El tipo de vaca autóctona, se adapta bien al calor pero produce poca leche aunque de muy buena calidad
LITROS POR VACA POR DÍA	16-20 litros.	6 litros en invierno y 0-4 litros en verano.

La producción en España se ha ido automatizando, las granjas pequeñas tienden a desaparecer. Las vacas que se adaptan al clima de la península, producen mayor cantidad de leche, por lo que pueden ser ordeñadas varias veces al día.

En Nicaragua la mayor parte de las granjas tienen una doble función la obtención de leche y de carne. La ganadería se practica de manera extensiva, el tamaño del hato es reducido, de 2-20 vacas y una minoría de granjas con más de 30. Las principales razas de vaca que se crían son la Brahman, Gyr e Indobrasil. Tiene gran longevidad, eficiencia reproductiva, carne de calidad y dan más cantidad de leche que las vacas empleadas en Europa para la producción de carne. Se adaptan bien al clima nicaragüense, las razas europeas a medida que aumenta la temperatura reducen su alimento y su producción de leche. En la estación seca, en Verano, el alimento escasea y si no se recoge a tiempo, los valores nutritivos menguan, esto acarrea un descenso en el número de litros que se obtienen por vaca en esta época del año.

2.2 Almacenamiento

En España, la leche es recogida en cubos que se vierten en cántaras de 30-50 litros pasando antes por un tamiz para eliminar impurezas groseras.

Las cántaras (cerradas) se enfrían y se almacenan a baja temperatura a la espera de su transporte a la central donde se hará el tratamiento térmico.

Si la entrega es diaria, se enfría a 12°C (todo el día), si es cada dos días a 4°C (los 2 días), si es cada tres días a 3°C (los 3 días) y si es cada cuatro se enfría a 2°C (los 4 días).

Se almacena en frío en un depósito de la granja. Se suelen usar enfriadores de aspersión o inmersión. En el enfriador de aspersión el agua fría en circulación es rociada por el exterior de las cántaras para mantener la leche fría. El enfriador de inmersión consta de un serpentín que se introduce en la cántara, por dicho serpentín circula agua que mantiene la leche a la temperatura requerida.

En Nicaragua, la tendencia es a no enfriar la leche antes de la entrega, esto se debe principalmente a la falta de medios materiales y económicos, pero mientras el tiempo transcurrido entre el ordeño y la recepción, sea menor de 2 horas, la refrigeración se hace dispensable. Bastaría con colocar la leche recién ordeñada en un lugar fresco, como una despensa o fresquera y que el centro de tratamiento estuviera emplazado lo más cerca posible de las granjas.

Además la entrega se hace a diario, ya que la leche pasteurizada se consume relativamente en el momento, pues su vida útil es de tres días en el refrigerador. La leche que se suele tomar en España esta uperizada y pueden pasar meses hasta que sea consumida, las cantidades que se tratan son mucho mayores, con lo que no es indispensable que se entregue a diario porque hay medios y mecanismos para enfriarla o conservarla hasta que se trate.

2.3 Transporte

El transporte en España por la cantidad de la leche y por estar refrigerada se hace normalmente en camión cisterna.

En Nicaragua el transporte es en cántaras, estas son llevadas en camiones abiertos. Sería conveniente evitar asolear las cántaras tapándolas con una lona blanca o con lo que se estime más apropiado.

3. INDUSTRIA LÁCTEA

3.1 Recepción

Lo primero que se hará en la Industria o Centro de tratamiento térmico, será filtrar la leche en su recepción, y después, un control de calidad.

3.1.1 Filtración

La **Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 03 034-99. Leche Entera Pasteurizada** dice: *“La leche entera o íntegra se debe someter a un proceso de limpieza (filtración o centrifugación) antes de la pasteurización”*

La **Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior español** indica: *“Limpieza previa de la leche por medio de centrifugación o filtración”*

3.1.2 Pruebas de calidad

La composición y la calidad higiénica son determinadas por primera vez mediante un cierto número de pruebas a la llegada de la leche a la industria. El resultado de algunas de estas pruebas tiene una influencia directa en el precio que el ganadero recibe por la leche entregada. Se toman muestras de la leche recibida en cántaras en el departamento de recepción de dichos envases.

Algunas de las pruebas más comunes que se realizan en la industria: sabor y olor, pruebas de limpieza, pruebas de sedimentos, prueba de higiene, conteo de células somáticas, conteo de bacterias,

contenido en proteínas, contenido en grasas y punto de congelación.

Con respecto a las pruebas de calidad, la **Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior español** indica:

“El elaborador deberá responsabilizarse del control de la materia prima, en cuanto se refiere a sus factores esenciales de composición, comprobando sus condiciones de pureza en el momento de su recepción, mediante examen y análisis adecuados y factibles dentro del carácter perecedero de la materia prima.

Está terminantemente prohibido la adición de cualquier ingrediente distinto de la propia leche, la tenencia por la industria de aditivos alimentarios no autorizados para alguno de los productos que elabore dicha industria, y la repasterización de la leche”

El **REGLAMENTO PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPENDIO DE LECHE** nicaragüense, estipula:

“La leche entera o íntegra, es el producto no alterado, no adulterado, del ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de vacas sanas, que no contenga calostro y que esté exento de color, olor, sabor y consistencia anormales.

Solamente podrá venderse al público, leche pura, entera, sin adulteraciones, sin preservativos, provenientes de vacas sanas y que contenga no menos del 3% de grasa 8% de sólidos sin grasa, y no más del 89% de agua; no deberá contener más de 500 mil bacterias por centímetro cúbico, no patógenas, ni decolar el azul de metileno en menos de 5 horas.

Cuando la leche sea entregada a una Planta con el fin de ser pasteurizada, el recuento de bacterias no patógenas deberá ser menos de un millón por centímetro cúbico y no deberá decolorarse en menos de 3 ½ horas.”

Atendiendo a la complejidad, al coste de las pruebas y a la normativa vigente, se aconsejaría realizar las siguientes en Estelí: sabor y olor, de limpieza, de sedimentos, de higiene, y punto de congelación.

Según los resultados obtenidos, el **REGLAMENTO QUE NORMA PROCEDIMIENTOS PARA INDUSTRIA LECHERA** nicaragüense establece la siguiente clasificación atendiendo a la calidad de la leche:

“La leche será de cinco clases grados: grado "A-R") "A") "B-R") "B") y "C").

a) Leche de grado "A-R") es aquella leche que haya sido refrigerada inmediatamente después de su ordeño, en instalaciones situadas en la misma finca y que al ser entregadas en las plantas tenga una temperatura no superior de quince grados centígrados y cuyo tiempo de reducción por el método de azul de metileno sea de cinco o más horas.

b) Leche de grado "A") es aquella no refrigerada cuyo tiempo de reducción por él método de azul de metileno es de cinco o más horas.

c) Leche de grado "B-R") es aquella leche refrigerada que tenga una temperatura no superior de quince grados centígrados al ser entregadas en las plantas y cuyo tiempo de reducción por el método

de azul de metileno sea no menor de tres horas y no, mayor de cinco horas.

d) Leche de grado "B") es aquella no refrigerada cuyo tiempo de reducción por el método de azul de metileno sea no menor de tres horas y no mayor de cinco horas.

e) Leche de grado "C") es aquella cuyo tiempo de reducción por el método de azul de metileno es menor de tres horas. Estas clasificaciones quedan sujetas a modificaciones que pueda hacer el Comité Coordinador a medida que se perfeccione la técnica de la Industria Láctea en el País, con la aprobación del Ministerio de Economía, Industria y Comercio."

3.2 Preenfriamiento

Según el **Real Decreto 1728/2007 español**: *"Transcurridas dos horas desde la finalización del turno de ordeño, la leche almacenada en el tanque tendrá una temperatura máxima de 8 °C si la recogida es diaria. Se diseñarán las rutas de recogida para evitar cargar leche a una temperatura superior."*

El **REGLAMENTO PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPENDIO DE LECHE** de Nicaragua exige que: *"Toda leche que tarde más de dos horas del ordeño a la entrega, deberá ser enfriada a una temperatura de 50 F (10 °C) o menos."*

Por lo que se recomienda tardar menos de dos horas del ordeño a la entrega, para lo que se tendrá que pensar bien dónde se localiza la Planta industrial y diseñar rutas de recogida que hagan lo más breve posible el tiempo de transporte. Para evitar este paso y por consiguiente el gasto que conlleva,

sería conveniente intentar que el transporte, la filtración y las pruebas de calidad, se hicieran en las dos horas siguientes al ordeño, es decir, que el proceso de pasteurización comenzara a las dos horas del ordeño.

3.3 Pasteurización

Según el **REGLAMENTO PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPENDIO DE LECHES** de Nicaragua:

“El término de "Pasterizar", "Pasterización", "Pasterizado" se implica cuando cada partícula de leche ha sido sometida a una temperatura no menor de 143 F (62°C) teniendo esta temperatura por 30 minutos o cuando se ha calentado cada partícula a no menos 160 F (71°C) por 15 segundos. Es entendido que esta definición no excluye cualquier otro método aprobado y que ha demostrado que es igualmente eficiente.”

La **Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior** entiende por pasteurización:

“Calentamiento uniforme de la leche en flujo continuo durante no menos de quince segundos a temperatura comprendida entre 72 °C y 78 °C. Esta relación de temperatura y tiempo no excluye otras igualmente eficaces ni otros procesos tecnológicos previamente aprobados por los Ministerios de Agricultura, Pesca y Alimentación y de Sanidad y Consumo. Refrigeración inmediata de la leche pasteurizada a no más de 4 °C”

3.3.1 Leche pasteurizada

El Reglamento español con la **Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior** dice lo siguiente:

“Leche Pasteurizada, es aquella leche íntegra o entera, semidescremada o descremada, que ha sido sometida a un tratamiento térmico específico y por un tiempo determinado que asegura la total destrucción de los organismos patógenos que pueda contener y casi la totalidad de los organismos no patógenos, sin alterar en forma considerable su composición, sabor ni valor nutritivo.

La leche entera pasteurizada será la que contenga un mínimo de 3,20 % de materia grasa de la leche y un mínimo de 8,20 % de extracto seco magro procedente de la leche, expresados en porcentaje en masa sobre la masa del producto final.”

En el **REGLAMENTO PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPENDIO DE LECHE**s de Nicaragua se escribe:

“La leche pasteurizada es aquella obtenida de acuerdo con el presente reglamento y que ha sido pasterizada, enfriada y envasada en una Planta, con equipo apropiado y con un recuento bacterial que en ningún tiempo deberá exceder de 30 mil colonias de bacterias por centímetro cúbico por el método de conteo de colonias (Petri Plate Meted).”

3.3.2 Pasteurizador o intercambiador de calor

Los pasteurizadores utilizados para pasteurizar la leche, son intercambiadores de calor, de placas o tubos, que utilizan como fuente de calor agua caliente, vapor o, en algunos casos, radiaciones infrarrojas. Son de acero inoxidable sanitario y constan de varias secciones: sección de intercambio de calor entre la leche fría que entra y la leche caliente que sale; sección de calentamiento, donde la leche alcanza la temperatura deseada; sección de mantenimiento, donde esta temperatura se mantiene durante el tiempo deseado; y

sección de enfriamiento final de la leche, primero mediante intercambio de calor con agua fría y luego con agua helada.

El material empleado es acero inoxidable sanitario debido a que otro tipo de metal, como el cobre, induce un sabor no deseado en la leche.

La ***Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior*** establece que el pasteurizador cumpla lo siguiente:

“Todos los aparatos serán construidos de forma que se asegure una completa protección de la leche contra los riesgos de contaminación atmosférica.

La temperatura de la leche o del medio por el que deba mantenerse será automáticamente regulada.

Todo sistema en el que la leche se caliente a la temperatura final de higienización antes de entrar en la sección de retención estará provisto, para el caso del fallo del regulador automático o del generador del vapor, de un dispositivo que interrumpa automáticamente la corriente de leche siempre que su temperatura descienda por debajo del límite requerido y que automáticamente la reanude cuando de nuevo se alcance dicho límite.

Además de los termómetros indicadores necesarios en las diferentes secciones de calentamiento y refrigeración, dispondrá de un termómetro registrador de la temperatura en la sección de retención. Estará ajustado de modo que en ningún momento marque temperatura más alta que el termómetro indicador que necesariamente deberá llevar dicha sección.

Los gráficos de temperatura con el nombre del centro higienizador y debidamente fechados y firmados por el operario deberán conservarse como mínimo un mes.”

La **Norma técnica obligatoria nicaragüense 03 027-99 Leche entera Cruda** indica los siguientes requisitos para los equipos:

“Fabricados con material higiénico sanitario y diseñados de tal manera que permitan su rápido desmontaje o fácil acceso para inspección y limpieza.

Protección permanente contra cualquier tipo de contaminación.

Buen estado de conservación, funcionamiento y aseo.”

3.3.3 Pruebas de pasteurización

La **Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior** explica los factores esenciales de composición y de calidad que debe presentar la leche pasteurizada, así como las normas microbiológicas aplicables y las tolerancias a productos contaminantes:

“Factores esenciales de composición y calidad: Ingrediente único leche de vaca. Organolépticas: Color uniforme blanco o ligeramente amarillento y olor y sabor característicos. Intrínsecas: Materia grasa de la leche: Mínimo 3,20 % m/m, Extracto seco magro: Mínimo 8,20 % m/m., Proteínas: Mínimo 2,90 % m/m. Lactosa: Mínimo 4,20 % m/m Cenizas: Mínimo 0,65 % m/m. Impurezas (prueba de filtración por disco de algodón): Grado 0 Acidez, expresada en peso de ácido láctico por 100 mililitros: Máximo 0,19 %.

- *Índices de la grasa de la leche:*
- *Índice de refracción a 40 °C: De 1,4540 a 1,4557.*
- *Índice de Reichert: De 26 a 32.*
- *Índice de Polenske: De 1 a 4.*
- *Índice de Kirchner: De 19 a 27*

El límite mínimo de colesterol dentro de los esteroides será del 98 % de la fracción esterólica del insaponificable, determinado por cromatografía gaseosa.

Norma microbiológica aplicable a la leche pasteurizada:

- *Gérmenes patógenos: Ausencia.*
- *Recuento de colonias aerobias mesófilas (30° ± 1 °C).*
- *Enterobacteriaceae totales: Máximo: 1.10¹ col/ml.*
- *Prueba de la fosfatasa: Negativa.*

Contaminantes:

Las tolerancias de productos contaminantes, sustancias tóxicas, antibióticos y sus metabolitos no deberán sobrepasar las contenidas en la legislación vigente y, en su defecto, en las normas internacionales aceptadas por el Estado español.”

La Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 03 034-99 Leche Entera Pasteurizada establece lo siguiente:

“La leche pasteurizada debe presentar un aspecto normal, estar limpia y libre de calostro, conservantes (tales como formaldehído, agua oxigenada, hipoclorito, cloraminas dicromato de potasio), adulterantes (tales como harinas, almidones, sacarosa, cloruros), neutralizantes, colorantes, antibióticos, drogas, materias extrañas y sabores u olores objetable o extraños.

La leche pasteurizada deberá cumplir en momento de su entrega al consumidor, todos los requisitos indicados en siguiente tabla:

Tabla 4.2 Características FÍSICAS-QUÍMICAS de la leche

Características	Leche Estandarizada	Leche Semidescremada	Leche Descremada
Materia Grasa (%)	3	>0.5 y ≤3	≤0.5
Sólidos totales mínimos %	11.0	10.0	8.0
Sólidos no grasos mínimos (%)	8.35	8.0	8.0
Acidez como ácido láctico			
máximo (%)	0.17	0.17	0.17
mínimo (%)	0.13	0.13	0.13
Cenizas			
máximo (%)	0.8	0.8	0.8
Proteínas (N * 6,38)			
mínimo (%)	3,0	3,0	3,0
Densidad 15 °C			
mínimo	1,032	1,032	1,032
Índice crioscópico*			
máximo	0,530 °C (-0,550 °H)	-0,512 °C (-0,531 °H)	-0,512 °C (-0,531 °H)
mínimo	-0,510 °C (-0,530 °H)	-0,539 °C (-0,560 °H)	-0,539 °C (-0,560 °H)
Ensayo de fosfatasa	Negativo		
Presencia de conservantes	Negativo		
Presencia de adulterantes	Negativo		
Presencia de neutralizantes	Negativo		
Ensayo de peroxidasa	Negativo		
Sedimento mg/kg	Negativo		
Prueba de alcohol	No se coagulará por la adición de un volumen igual de alcohol de 68 % en peso o 75% en volumen		

Especificaciones organolépticas:

Olor: característico no debe presentar olor a hervido, envejecido u otros olores extraños.

Color: blanco opaco amarillento o marfil.

Sabor: característico, no debe presentar sabor a hervido, rancio u otros sabores extraños.

Aspecto: puede presentar una línea perfectamente definida de crema en la parte superior del envase cuando no sea leche homogeneizada sin sedimento

La leche pasteurizada deberá cumplir los siguientes requisitos microbiológicos:

Tabla 4.3 Requisitos microbiológicos

Requisitos	N	M	M	c
Recuento total de microorganismos mesofílicos /cm ³	3	< 100 000	100 000	1
NMP coliformes totales/cm ³	3	<39	39	1
NMP coliformes fecales/cm ³	3	< 3	-	0

Donde :

- n = Número de muestras que deben analizarse
- m = Recuento mínimo recomendado
- M = Recuento máximo permitido
- c = Número de muestras que se permite que tengan un recuento mayor que m pero no mayor que M.

Las tolerancias admitidas para residuos de plaguicidas en la leche pasteurizada son las indicadas a continuación:

Tabla 4.4 Tolerancia admitida para residuos de plaguicidas

Nombre del Plaguicida	Límite máximo, mg/kg
Aldrin y dieldrin (HHDN Y HEODO); residuo: aldrin y dieldrin, solo grasa o en combinación expresados como dieldrin	0.006 referido a la leche F
Bromofós – residuos: bromofós	No LMR
Bromofós etílico – residuos: brp, fcps etílico	No LMR
Carbofenotión – residuo total de carbofenotión, junto con sus respectivos análogos oxigenados sin grasa. Si están presentes, expresados como carbofenotión.	No LMR
Clordano – residuos: es una combinación de los isómeros cis- y trans clordano y oxiclordano	0.002 referido a la leche F
Clordimeform – residuo: la suma de clordimeform y sus metabolitos determinados como 4-cloro-o-toluidina y expresados como clor-dimeform-	No LMR
Clorfenvinfós-residuos: expresados como la suma de los isómeros alfa y beta de clorfenvinfós	0.008 referido a la leche F
Clormequat – residuo: clormequat cation	0.1 referido a la leche F

Los residuos de plaguicidas liposolubles que se aplican en esta disposición, aparecen señalados con letra "F", junto al límite máximo para residuos especificados en la leche

Los límites máximos permitidos para metales pesados en la leche pasteurizada son los indicados a continuación:

Tabla 4.5 Límites máximos permitidos para metales pesados

Especificaciones	Límites máximos (mg/kg)
Arsénico (As)	0.2
Mercurio (Hg)	0.005
Plomo (Pb)	0.1

3.4 Envasado

La **Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior** dice:

“Envasado en recipientes limpios e higienizados, cerrados en forma que protejan contra contaminaciones y adulteraciones.

El material del envasado podrá ser vidrio, cartón, polietileno, material macromolecular y cualquier otro autorizado para este fin por el Ministerio de Sanidad y Consumo.

El tamaño de los envases podrá ser de 100 y 200 ml, un cuarto, un medio, tres cuartos, un litro, un litro y medio, dos litros, tres litros y cuatro litros.

La venta de la leche pasterizada para su consumo en centros y establecimientos colectivos podrá efectuarse en cántaras con cierre de ajuste adecuado y precintadas.

La tolerancia en cuanto a la verificación del contenido efectivo en el envasado para los productos afectados por la presente norma se deberá ajustar a lo dispuesto en este sentido en el Real Decreto 2506/1983, de 4 de agosto, por el que se aprueba la Norma general para el control del contenido efectivo de los productos alimenticios envasados.

Prohibiciones: El llenado y cerrado de los envases en forma manual, excepto los especificados en el caso de la venta. El envasado y cierre fuera del centro donde tiene lugar la pasterización. La tenencia y venta de leche pasterizada a granel y en envases abiertos en los locales de venta al público exceptuándose

la de uso propio o de cocina en establecimientos de la industria alimentaria y en el ramo de la hostelería.”

La **Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense 03 034-99 Leche Entera Pasteurizada** establece que:

“Los envases para leche pasteurizada, serán de material y forma tales que den al producto una adecuada protección durante el almacenamiento y transporte, y con cierre hermético que impida la contaminación. Estar limpios, asépticos, exentos de desperfectos y se ajustarán a las disposiciones sanitarias del producto.

El etiquetado serán de cualquier material que pueda ser adherido a los envases, o bien, de impresión permanente sobre los mismos.

El contenido de la etiqueta deberá cumplir con la Norma Técnica Nicaragüense 03 021-99 Norma Etiquetado de alimentos preenvasados para consumo humano.

Además en el etiquetado deberá aparecer la frase: Leche Pasteurizada.”

El **REGLAMENTO PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPENDIO DE LECHE**s nicaragüense indica que:

“El embotellado de la leche debe efectuarse en el lugar de pasterización por medio de maquinaria adecuada y aprobada.

El tapado de las botellas se hará mecánicamente. El tapado a mano es prohibido e ilegal.”

3.5 Distribución y venta

En la distribución y venta la **Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior** establece que la leche pasteurizada debe conservarse:

“En cámara frigorífica a no más de 6 °C. La leche pasteurizada deberá ser conservada en el ciclo de la distribución comercial a temperatura no superior a 6 °C, hasta su entrega al consumidor. La leche pasteurizada podrá ser vendida al consumidor dentro de los siete días siguientes, contados a partir de la fecha de su fabricación.”

El **REGLAMENTO PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPENDIO DE LECHE** nicaragüense indica que en la venta:

“Cuando se trate de leche pasteurizada deberán tener equipo de refrigeración adecuada, con capacidad suficiente para toda la leche que expendan. En ningún caso la temperatura a que se mantiene la leche deberá ser mayor de 50 F (10°C). La leche no podrá ser vendida después de 48 horas de pasteurizada.”

3.6 Planta Industrial

La **Norma técnica obligatoria nicaragüense 03 027-99 Leche entera Cruda** dice que las Plantas requieren para su instalación de las siguientes condiciones:

3.6.1.1 *“Edificaciones ubicadas en lugares aislados de cualquier foco de insalubridad o contaminación.*

3.6.1.2 *Edificaciones a prueba de roedores e insectos, con pisos de material lavable e impermeable y con desniveles adecuados para el desagüe.*

- 3.6.1.3 *Abastecimiento suficiente de agua potable, higienizada o de fácil higienización e instalaciones adecuadas para las necesidades de los siguientes servicios o secciones.*
- 3.6.1.4 *Edificaciones provistas de sistemas sanitarios adecuadas para la disposición de aguas servidas y excretas.*
- 3.6.1.5 *Iluminación y ventilación adecuadas a juicio de las autoridades sanitarias.*
- 3.6.1.6 *Disponer de un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales.*
- 3.6.1.7 *Patio en pavimento, asfalto o similares para recibo entrega de leche*
- 3.6.1.8 *Plataforma para la recepción de la leche.*
- 3.6.1.9 *Área para lavado y desinfección de pichingas.*
- 3.6.1.10 *Área habilitada para el análisis físico-químico de la leche*
- 3.6.1.11 *Sala de máquinas.”*

El **REGLAMENTO PARA LA PRODUCCIÓN Y EXPENDIO DE LECHE** nicaragüense expone que las Plantas de Pasteurización deberán ajustarse a las siguientes especificaciones:

- a) *El piso de cada uno de los departamentos donde la leche es recibida, manejada, almacenada, pasterizada y embotellada deberá ser de concreto o de cualquier otro material impermeable, de superficie lisa, de fácil limpieza, debidamente drenado y provisto de tapones o trampas de agua;*
- b) *Las paredes y cielos deberán ser lisos, lavables, pintados y mantenerse limpios*
- c) *Puertas y ventanas deberán tener cedazos para evitar el acceso de moscas y las puertas deberán cerrar solas.*
- d) *Todos los departamentos de la fábrica tendrán buena iluminación y ventilación;*
- e) *Todas las operaciones deberán efectuarse de manera que se eviten las contaminaciones, tanto de la leche como la del equipo ya limpio. Esto quiere decir que se evitarán las moscas y que se deben tener*

departamentos separados así: 1) para recibir la leche; 2) para pasteurizar, enfriar y embotellar; 3) para lavar y esterilizar envases y equipo; 4) servicios sanitarios; 5) bodegas; 6) oficinas; 7) cuarto para máquinas;

- f) Toda Planta deberá estar provista de servicios sanitarios, debiendo haber un vestíbulo o un departamento entre éstos y los destinados al manejo de la leche; las puertas cerrarán automáticamente. Deberán mantenerse escrupulosamente limpios y bien ventilados.*
- g) El agua usada será abundante, adecuada y limpia de contaminaciones.*
- h) Tendrá lavamanos de agua corriente, provistos de jabón y toallas sanitarias.*
- i) Sólo podrá usarse tuberías sanitarias para el manejo de la leche, que puedan lavarse fácilmente con escobillones.*
- j) Todo el equipo y recipientes que estén en contacto de la leche, serán de fácil limpieza y se mantendrán en buenas condiciones.*
- k) Los recipientes para basuras y desperdicios serán tapados y dispuestos convenientemente.*
- l) Todo equipo, aparato, recipiente, etc., para manejar leche, deberá ser lavado perfectamente después de usarse y someterlo inmediatamente bajo un procedimiento bactericida adecuado. El mismo procedimiento sufrirán los cántaros o pichingas de los productores que entreguen leche a las Plantas antes de devolverlos.*
- m) Las tapitas para tapar las botellas de leche deberán ser mantenidas y manejadas en sus tubos sanitarios y se almacenarán en lugares secos y bien ventilados. Será penado su reemplazo.*

3.7 Limpieza

Se va a explicar el tipo de limpieza habitual en una Planta industrial en España.

3.7.1 Grados de limpieza

Existen distintos grados de limpieza:

- Limpieza física: eliminación de todas las partículas visibles al ojo presentes sobre las superficies que se desea limpiar.
- Limpieza química: eliminación de toda la suciedad visible al ojo, así como los residuos microscópicos que pueden ser detectados por su olor o sabor, pero que no son apreciables a simple vista.
- Limpieza bacteriológica: obtenida por una desinfección que destruye todas las bacterias patógenas, aunque no todas las bacterias en general.
- Esterilidad: destrucción de todos los microorganismos.

En las operaciones de limpieza de una industria láctea, el objetivo es casi siempre conseguir tanto la limpieza química como la bacteriológica. Por ello, las superficies de los equipos se limpian en primer lugar con detergentes químicos de forma muy completa, para proceder después a su desinfección.

3.7.2 Detergentes y desinfección

Detergentes: Se emplean alcalinos y ácidos. Las propiedades más importantes de los detergentes: capacidad de arrancar la materia orgánica de las superficies de los equipos; alto poder humectante, que permite al detergente penetrar en la suciedad, y así actuar de forma más eficiente y rápida; capacidad para romper los depósitos de sales cálcicas, que se encuentran presentes sobre las superficies de los equipos; capacidad para mantener en solución las sales cálcicas, de forma que no se vuelvan a precipitar; alto efecto bacteriológico, con objeto de conseguir una desinfección adecuada

de los equipos y del propio detergente; formación moderada de espuma, sobre todo para los sistemas de limpieza CIP; no ser corrosivos; cumplir todos los controles y normas sobre contaminación.

Desinfección: Destrucción de microorganismos que podrían infectar los productos lácteos y perjudicar la calidad. Destrucción de microorganismos por calentamiento de los equipos con agua a 90°C o mediante la utilización de productos químicos. Los desinfectantes químicos se pueden dividir en tres categorías: ácidos, básicos y neutrales. Los más utilizados son los neutrales. Es importante mencionar que ciertos microorganismos, después de algún tiempo, pueden desarrollar inmunidad a algún desinfectante. Este riesgo puede ser eliminado cambiando el tipo de desinfectante de vez en cuando.

3.7.3 Proceso de limpieza

El ciclo de limpieza de una industria láctea consta de las siguientes etapas:

- Recuperación de los residuos de producto por medio de raspado, drenaje y eliminación por arrastre de agua o aire comprimido.
- Preenjuague con agua con objeto de eliminar las partículas sueltas de impurezas. Los residuos grasos son más fácilmente eliminados si el agua es caliente pero sin pasar los 60°C. Enjuague hasta que el agua salga clara. La mezcla de agua y leche se recoge en un depósito especial para su procesado posterior.
- Lavado con detergente
- Enjuague con agua limpia

- Desinfección por calentamiento o por agentes químicos, para este último caso enjuague final.

3.7.4 Limpieza en circuito cerrado

Se emplea la técnica CIP, el agua de enjuague y las soluciones con detergentes circulan por los depósitos, tuberías y líneas de proceso sin necesidad de desmontar los equipos. La limpieza CIP puede ser definida por la circulación de líquidos de lavado a través de máquinas y otros equipos en circuito cerrado. El paso de líquido a alta velocidad por las superficies de los equipos provoca un rascado mecánico que elimina los depósitos de suciedad. La técnica utilizada normalmente para la limpieza de grandes depósitos consiste en atomizar la solución de detergentes sobre las superficies superiores de los mismos y dejar entonces que descendan por las paredes.

CAPÍTULO 5

PANORAMA ENERGÉTICO DE NICARAGUA: ANÁLISIS AMBIENTAL

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	99
2. EL EFECTO INVERNADERO	99
2.1 Definición	99
2.2 Gases de efecto invernadero	100
3. NICARAGUA: BALANCE ENERGÉTICO	103
3.1 Producción de la energía primaria	103
3.2 Consumo de la energía primaria	105
3.3 Consumo de la energía final	108
3.3.1 Por fuentes	108
3.3.2 Por sectores	111
3.4 Conclusión	113
4. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA	115
4.1 Ventajas e inconvenientes	115

ÍNDICE DE FIGURAS

1. **Figura 5.1** Gráfica explicativa de la contribución del efecto invernadero al calentamiento global.
2. **Figura 5.2** Proporción de gases de efecto invernadero
3. **Figura 5.3** Producción de energía primaria por fuente 2004
4. **Figura 5.4** Evolución de la producción de energía primaria en Nicaragua 1970-2007
5. **Figura 5.5** Consumo de energía primaria 2004
6. **Figura 5.6** Consumo de energía primaria 2007
7. **Figura 5.7** Evolución del consumo de energía primaria 1971-2007
8. **Figura 5.8** Evolución del consumo de petróleo 1971-2007
9. **Figura 5.9** Consumo final de energía por fuente 2004
10. **Figura 5.10** Matriz de generación de electricidad 2008
11. **Figura 5.11** Evolución de la generación de electricidad con combustibles fósiles 1971-2007
12. **Figura 5.12** Consumo final de energía por sector año 2004
13. **Figura 5.13** Consumo final de energía, sector industrial año 2004
14. **Figura 5.14** Irradiación solar global horizontal media diaria en un año
15. **Figura 5.15** Diagrama climático

ÍNDICE DE TABLAS

1. **Tabla 5.1** Potencial de efecto invernadero de distintos gases

1. INTRODUCCIÓN

La finalidad de este capítulo es dar una visión global de la producción y del consumo energético de Nicaragua, mostrando las debilidades y fortalezas del sector. Como remedio a una parte de la problemática energética tanto a nivel nacional como internacional, se propone la energía solar térmica.

2. EL EFECTO INVERNADERO

2.1 Definición

Para comprender qué es el efecto invernadero, se debe hablar antes del balance energético de la Tierra. El Sol emite radiación a la atmósfera principalmente en forma de rayos de espectro visible y la Tierra irradia hacia la atmósfera a una mayor longitud de onda (con menor energía asociada), como consecuencia de su menor temperatura, denominada radiación infrarroja.

El efecto invernadero es el fenómeno por el cual determinados gases que son componentes de la atmósfera planetaria (gases de efecto invernadero), retienen y remiten parte de la energía proveniente del suelo, sumándose durante el día a la radiación solar, y compensando parcialmente el enfriamiento durante la noche.

Este balance energético de la Tierra permite mantener la temperatura en un estrecho margen que posibilita la vida.

El efecto invernadero es un proceso natural que está viéndose perturbado por la desmesurada emisión, en los dos últimos siglos, de gases de efecto invernadero. Perturbación que tiene como consecuencia directa el calentamiento global de la Tierra y los problemas que éste conlleva.

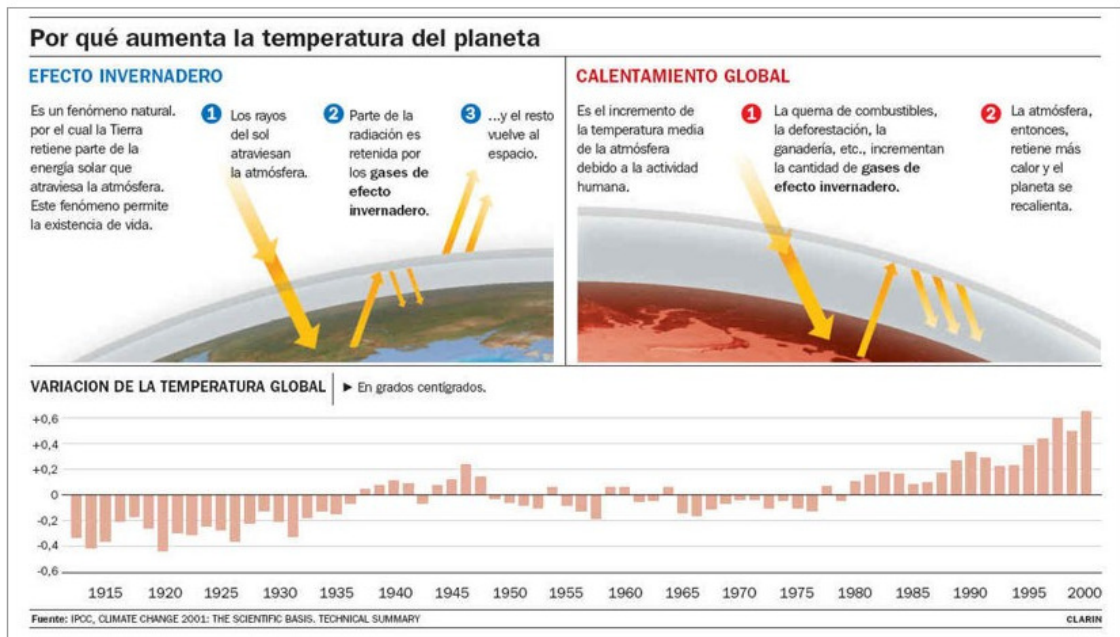


Figura 5.1 Gráfica explicativa de la contribución del efecto invernadero al calentamiento global

2.2 Gases de efecto invernadero

Los más importantes se encuentran en la atmósfera de manera natural, aunque su concentración puede verse modificada por la actividad humana, pero también entran en este concepto, algunos gases artificiales producto de la industria.

Los gases de efecto invernadero son:

- Vapor de agua (H₂O): gas que se obtiene por evaporación o ebullición de agua líquida o sublimación del hielo. Es el que más contribuye al efecto invernadero debido a su capacidad de absorción de los rayos infrarrojos. Si bien no resulta preocupante ya que precipita en forma de lluvia.
- Dióxido de carbono (CO₂): gas que se genera al oxidarse el carbón o cualquier compuesto que lo forme, se produce en la combustión de los hidrocarburos de automóviles, calefacciones industriales, etc. Su concentración se ha incrementado notablemente (30% con respecto a la era preindustrial) debido a la industrialización.

- Metano (CH_4): gas emitido a la atmósfera como escape de hidrocarburos y como producto de fermentación, generado mayormente en actividades agropecuarias.
- Óxido Nitroso (N_2O): gas proveniente principalmente de las chimeneas de las centrales energéticas que utilizan carbón, de los tubos de escape de los automóviles, y de la acción de los fertilizantes nitrogenados que se utilizan en la agricultura.
- Ozono (O_3): gas que se encuentra de manera natural en la atmósfera. Su concentración en la estratosfera es elevada y beneficiosa puesto que absorbe la radiación ultravioleta del Sol, en la troposfera el ozono es un contaminante secundario (no es emitido directamente), se genera por la reacción de la luz solar con contaminantes comunes, como el monóxido de carbono, los óxidos nitrosos y los hidrocarburos. Su concentración es menor que la estratosfera pero ha ido aumentando debido a la acción humana. Además de ser un gas de efecto invernadero, también es constituyente de la neblina fotoquímica.
- Halocarbonos: gases artificiales empleados como fluidos refrigerantes presurizados, su emisión a la atmósfera se debe fundamentalmente al escape en forma de fugas, de los mismos. Antiguamente se usaba los clorofluorocarbonos (CFC), prohibidos en la actualidad, se han sustituido por los hidrofluorcarbonos (HFC) y los prefluorcarbonos (PFC). Los CFC contribuyen a la destrucción de la capa de ozono y hacen que una mayor proporción de rayos ultravioletas lleguen a la faz de la Tierra.
- Hexafluoruro de azufre (S_6F): gas que se libera al usarse de aislante en los circuitos electrónicos y como gas trazador. Se trata de un gas artificial producido por la industria, aunque es un eficaz gas de efecto invernadero, su contribución es absolutamente ínfima.

Si bien la mayoría de ellos son naturales, en tanto que ya existían en la atmósfera antes de la aparición del hombre, desde la Revolución Industrial y

debido al uso intensivo de combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se han producido sensibles incrementos en las cantidades de óxidos de nitroso y dióxidos de carbono emitidas a la atmósfera, con el agravante de que otras actividades humanas, como la deforestación, han limitado la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero.

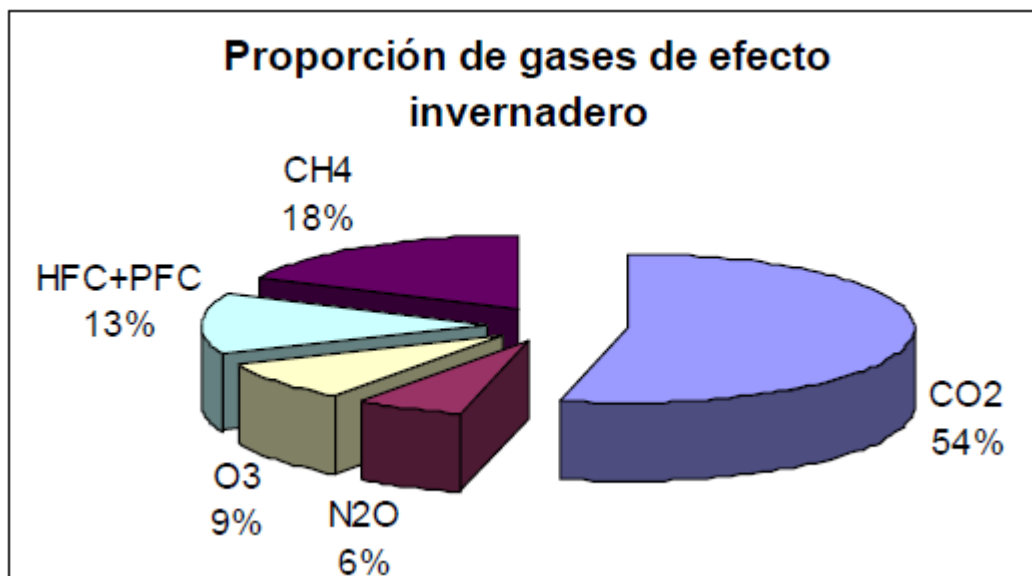


Figura 5.2 Proporción de gases de efecto invernadero (Fuente: SNE)

La figura 5.2 representa la medida del efecto invernadero adicional producido por los hombres dando la contribución relativa en tanto por ciento de cada uno de los gases de efecto invernadero.

Dos características fundamentales se emplean para medir la peligrosidad de estos gases: el potencial de efecto invernadero y el tiempo de vida en la atmósfera.

El potencial de efecto invernadero se define como la capacidad de absorción relativa al CO₂ en términos de masa:

Tabla 5.1 *Potencial de efecto invernadero de distintos gases*

CO₂	CH₄	N₂O	CFC	HFC
1	20-30	230	4000-15000	400-3000

El tiempo de vida en la atmósfera es el tiempo que tarda un contaminante en ver reducida su concentración a la mitad, bien por procesos físicos o por químicos. El tiempo de vida de este tipo de contaminantes es elevado, para el dióxido de carbono varía entre 50 y 200 años.

La emisión de gases de efecto invernadero es medida en toneladas equivalentes de CO₂.

3. NICARAGUA: BALANCE ENERGÉTICO

3.1 Producción de la energía primaria

En el año 2004 la producción de energía primaria fue de 1772,6 Ktep (miles de toneladas equivalentes de petróleo), lo que representó un 5% de crecimiento respecto al 2003. Este incremento fue debido en gran parte a la variación porcentual de un año a otro del 67,4% de los residuos vegetales, principalmente bagazo de caña utilizado por los ingenios azucareros conectados al Sistema Interconectado Nacional para la cogeneración de energía eléctrica.

En 2004, la hidroenergía y la geoenergía tuvieron una participación del 3,1% y 2,2% respectivamente dentro del total de la producción nacional de energía primaria. La biomasa constituida por leña y residuos vegetales, tuvo una participación del 94,7%, destacándose como principal fuente de energía la leña con una participación del 86,6% del total de la biomasa (Véase figura 5.3)

PRODUCCION DE ENERGIA PRIMARIA POR FUENTE Año 2004

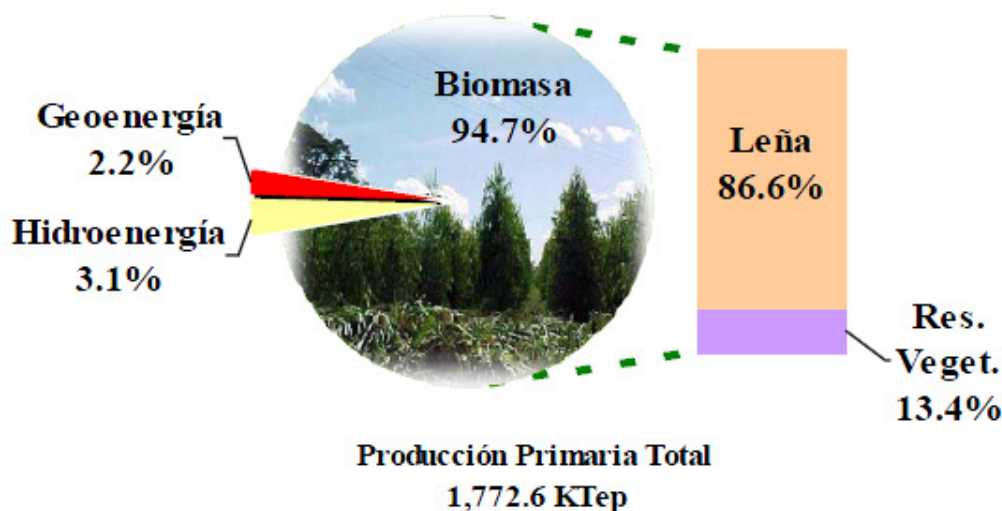


Figura 5.3 Producción de energía primaria por fuente 2004 (Fuente: BEN)

La producción de energía de Nicaragua, se basa fundamentalmente en la biomasa y más concretamente en la leña, esto ha contribuido al aumento de la deforestación en los últimos años, que se traduce en problemas de corrimientos de tierras y ambientales para la zona. Como se muestra en la figura 5.4, a lo largo de los años el incremento de la producción energética a aumentado en función de la demanda. A la leña se han sumado nuevos residuos vegetales, pero aún así sigue siendo la principal fuente de energía del país. La energía hidroeléctrica se ha mantenido prácticamente constante en las últimas cuatro décadas, a pesar de ser un país que tiene el 7,7% del total de su superficie cubierto de agua (España tiene 1,04%). Es el llamado país de los lagos y volcanes. Por su orografía, el potencial geotérmico es también elevado, esta industria se desarrolló mucho en la década de los noventa, y desde entonces ha decaído principalmente por su costo de mantenimiento y por abandono político. El gobierno en la actualidad esta invirtiendo en la recuperación de estas plantas geotérmicas.

Hay que recordar que durante la época de los 70 a los 80 Nicaragua estuvo en guerra y sufrió el embargo económico por parte de EEUU, es por esto que la producción incrementa de manera tan brusca a partir de los años 80.

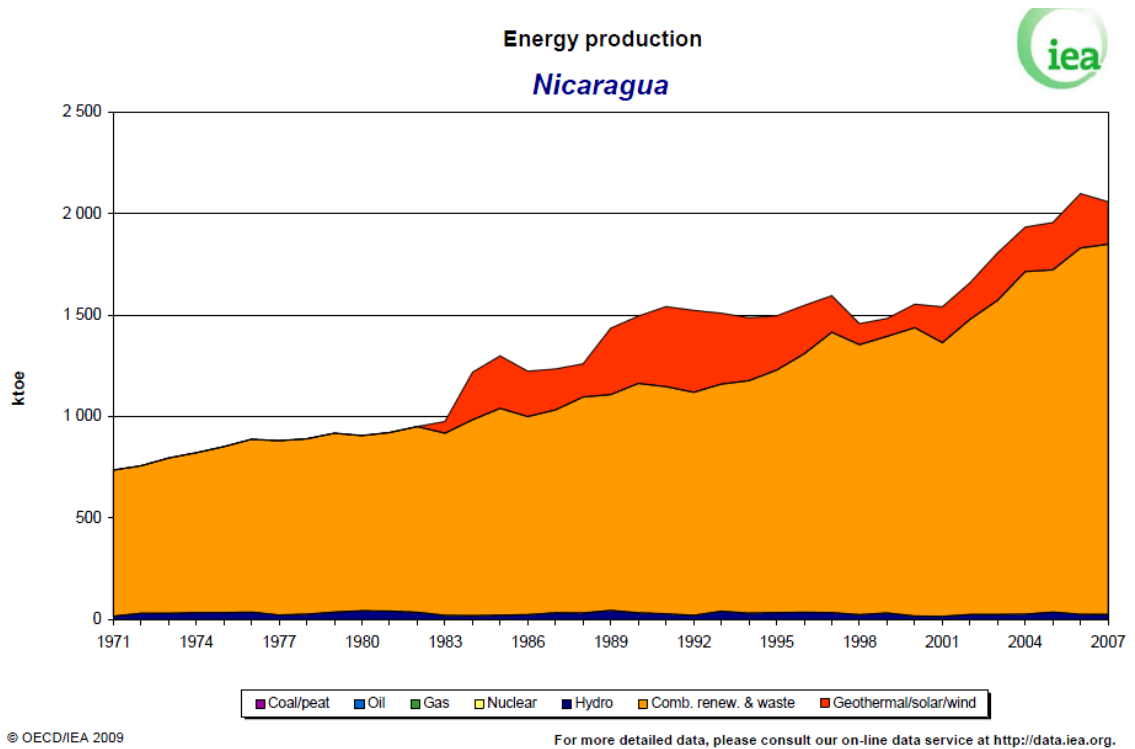


Figura 5.4 Evolución de la producción de energía primaria en Nicaragua 1970-2007

3.2 Consumo de la energía primaria

La oferta de energía primaria en el año 2004, alcanzó la cifra de 2611,7 Ktep, de los cuales el 55,7% correspondía a leña, 32,8% a petróleo, 1,6% a geoenergía, 1,3% a hidroenergía y 8,6% a residuos vegetales. (Véase figura 5.5)

En el año 2007 incrementó el consumo a 3474 Ktep (Ktoe en inglés), de este el 40,7% correspondía a petróleo, 52,5% a biomasa, 0,8% a hidroenergía y 6% a geoenergía y eólica.

OFERTA INTERNA BRUTA DE ENERGIA PRIMARIA

Año 2004

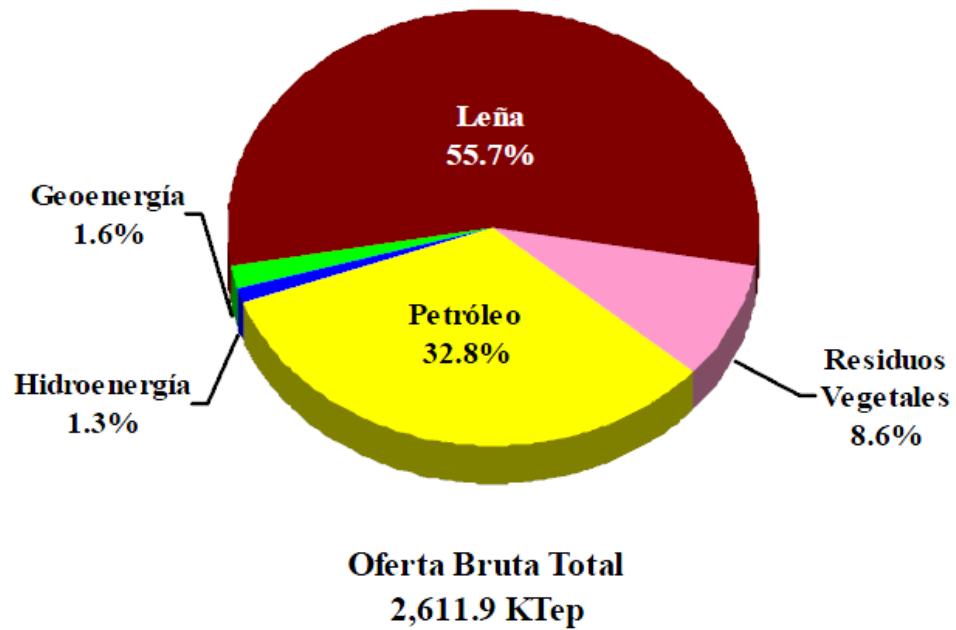
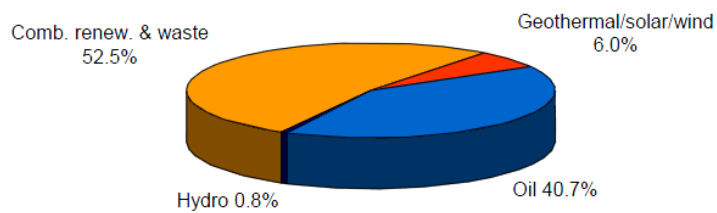


Figura 5.5 Consumo de energía primaria 2004(Fuente: BEN)



Share of total primary energy supply* in 2007

Nicaragua



3,474 ktoe

* Share of TPES excludes electricity trade.

Note: For presentational purposes, shares of under 0.1% are not included and consequently the total may not add up to 100%.

© OECD/IEA 2009

For more detailed data, please consult our on-line data service at <http://data.iea.org>.

Figura 5.6 Consumo de energía primaria 2007

El consumo de energía primaria ha aumentado de manera muy pronunciada a partir de la década de los 80, cuando finalizó el embargo.

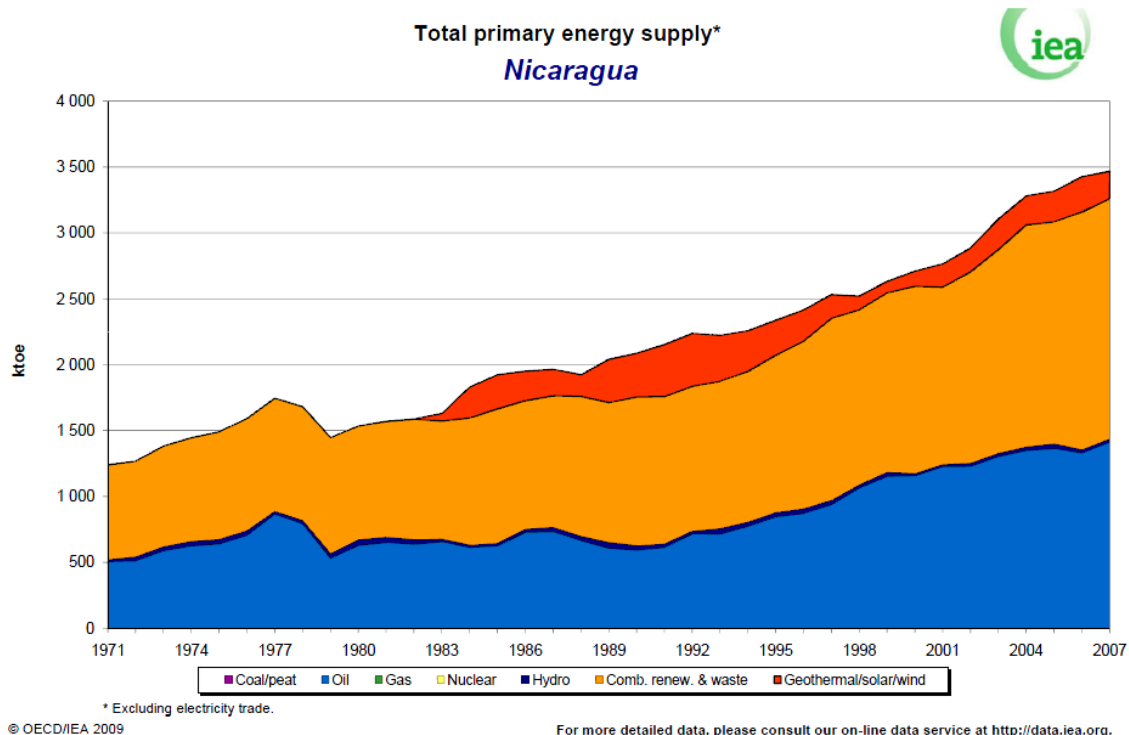


Figura 5.7 Evolución del consumo de energía primaria 1971-2007

El consumo de petróleo y por tanto su dependencia con el exterior se ha incrementado del orden del 10% en la última década.

Para el año 2007 en Nicaragua, según la International Energy Agency (la Agencia internacional de la energía) la suma de importaciones de petróleo y productos derivados de éste ascendía a 1525 Ktep mientras que las exportaciones eran de 34 Ktep. Esto evidencia la gran dependencia de ésta fuente de energía que tiene Nicaragua.

Dentro del petróleo y sus derivados, tiene mayor peso en el consumo de crudo procesado: el intermedio (middle destillates) y el pesado (heavy fuel oil), que se emplean en la industria, electricidad y transporte como se verá más adelante.

Las oscilaciones de importaciones de un año para otro, van directamente relacionadas con el alza o bajada del precio del crudo.

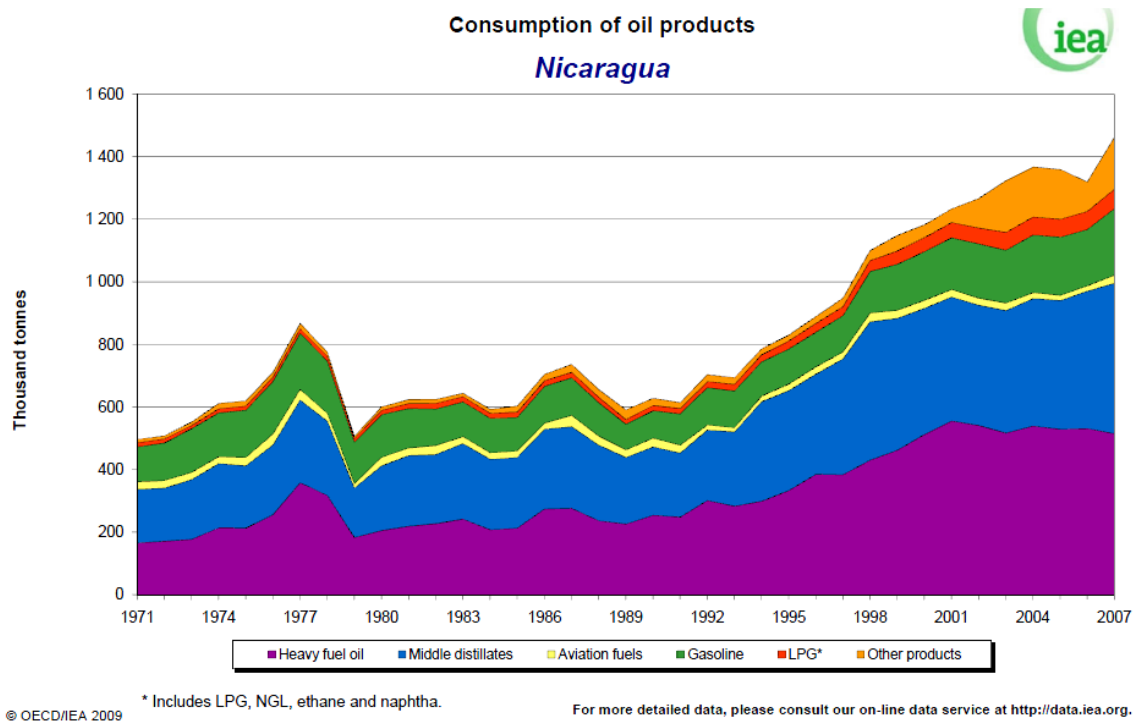


Figura 5.8 Evolución del consumo de petróleo 1971-2007

3.3 Consumo de la energía final

3.3.1 Por fuentes

El consumo final de energía para el año 2004 fue de 2409 Ktep de los cuales el 57,9% corresponde a leña, el 1,5% a residuos vegetales, el 0,6% a carbón vegetal, el 32,9% a productos derivados de petróleo y finalmente la energía eléctrica con el 7,1%. (Ver figura 5.9).

CONSUMO FINAL DE ENERGIA POR FUENTE Año 2004

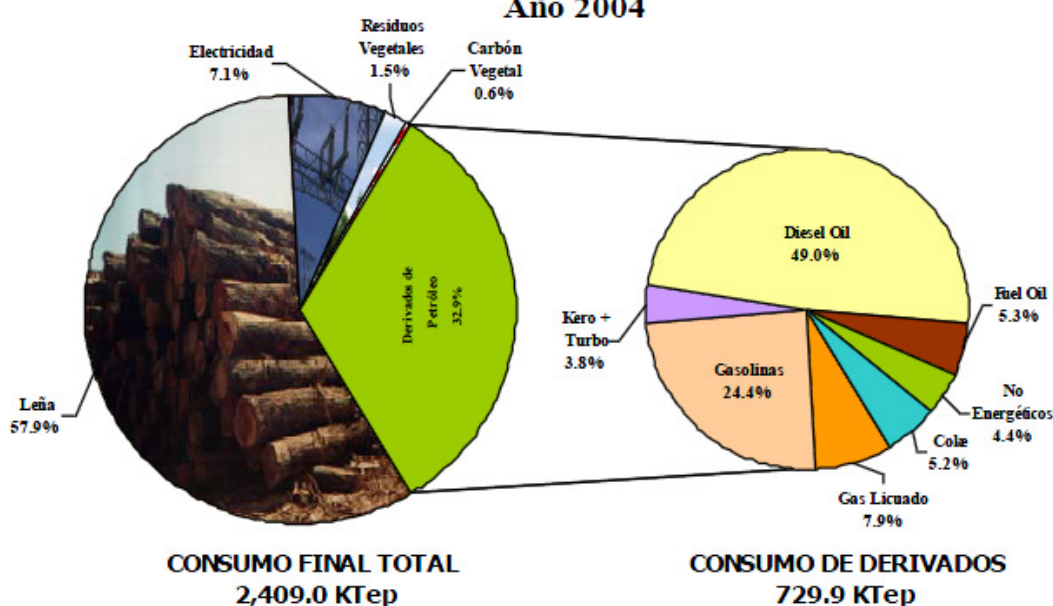


Figura 5.9 Consumo final de energía por fuente 2004 (Fuente: BEN)

En el año 2007 según la Interantional Energy Agency se consumió 3474 Ktep, correspondiendo el 48,3% a la leña y residuos vegetales, al 25,12% petróleo y el 26,6% a la electricidad.

Los agentes de productores de energía eléctrica predominantes en Nicaragua son las centrales termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles y en segundo lugar están las centrales a base de recursos renovables (hidroeléctricas, geotérmicas y eólicas).

En el año 2008 el porcentaje centrales térmicas que usaban derivados del petróleo ascendía a 70% (4% diesel, 66% fuel oil o bunker).

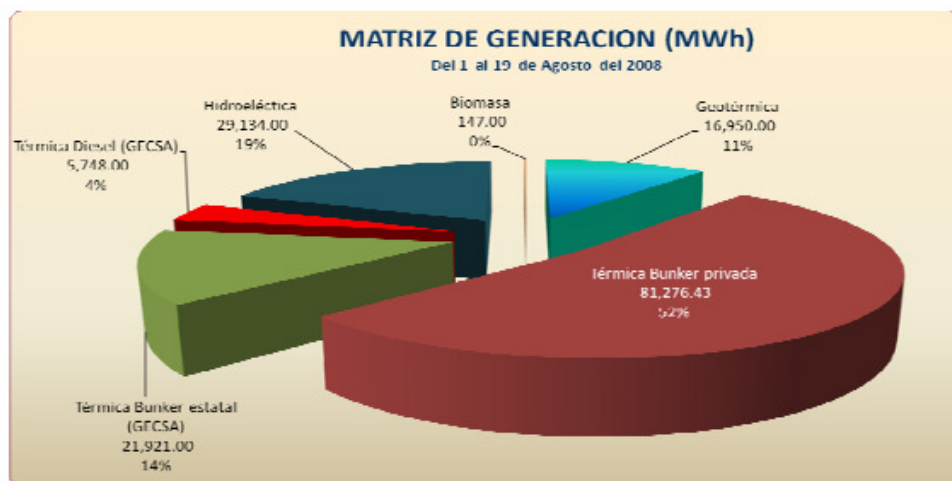


Figura 5.10 Matriz de generación de electricidad 2008 (Fuente: MEM)

Este uso del petróleo para la producción de electricidad ha incrementado la dependencia con el exterior y es responsable de los frecuentes cortes de electricidad que se han venido sucediendo con el alza en el precio del barril de Brent.

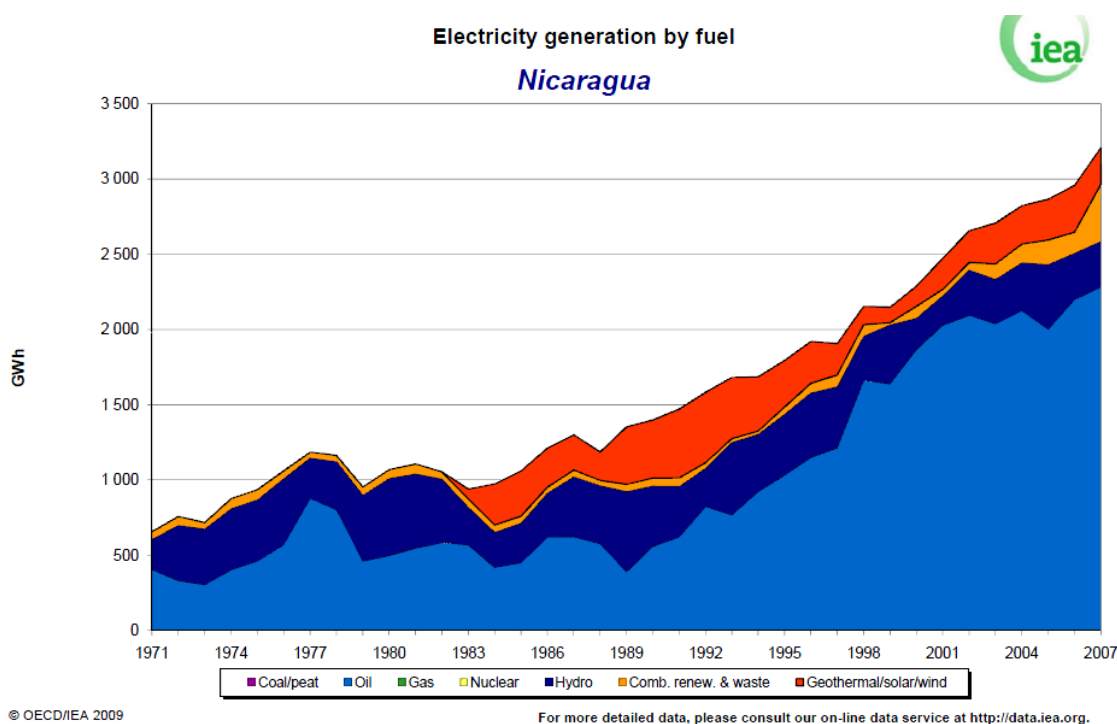


Figura 5.11 Evolución de la generación de electricidad con combustibles fósiles 1971-2007

En los últimos años hay una tendencia por parte del gobierno a favorecer el uso de la energía renovable. En este sentido, se han

creado plantas de cogeneración eléctrica de biomasa de 30MW, y un parque eólico de 40 MW en la región de Rivas.

3.3.2 Por sectores

La estructura porcentual del consumo final de energía por sectores para el año 2004, muestra por nivel de importancia, que el sector Residencial tuvo una participación del 60,6%, seguido del Transporte con el 19,6%, el Industrial con 10,3%, el sector Comercio y Servicio Público con el 7,7%, el sector Agropecuario 0,8% y finalmente otros con el 0,9%. (Ver figura 5.12)

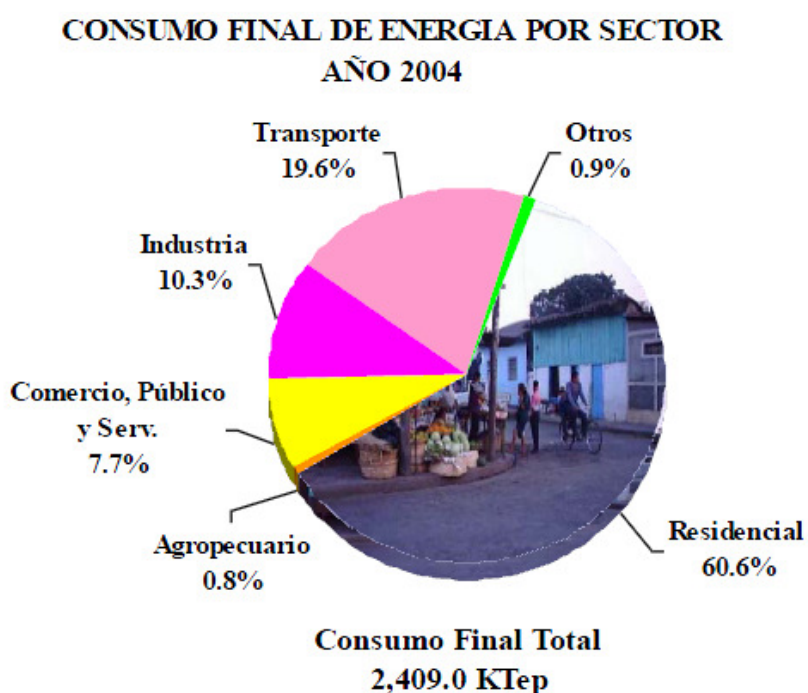


Figura 5.12 Consumo final de energía por sector año 2004 (Fuente: BEN)

El sector Residencial consumió 1459,5 Ktep en el año 2004, el 94,4% de este consumo fue de leña, seguido del 3,2% de electricidad, 1,8% de gas licuado, 0,5% de kerosene y 0,2% de carbón vegetal. La leña producida por el país el año 2004 fue prácticamente consumida en su totalidad por el sector residencial. Su uso principalmente es para

cocina, ya que las residencias carecen de ACS, sólo una minoría privilegiada de la población, servicios públicos como Hospitales y servicios relacionados con el turismo: algunos hoteles y restaurantes, tienen ACS. Al tener una temperatura ambiente elevada constante durante todo el año y por el coste de la leña, las personas se bañan, lavan y friegan con agua fría.

La tendencia actual en las ciudades ha venido siendo en los últimos años la sustitución de la madera por el gas natural para cocina. Esta tendencia no se ha seguido en las zonas rurales dónde la leña sigue siendo la fuente de energía más habitual.

Sobre este punto hay que recordar que Nicaragua es un país fundamentalmente agrícola y ganadero. Esto se refleja en el bajo consumo de energía de la Industria, por ser esta reducida aunque sigue creciendo en los últimos años.

En el año 2007 según la International Energy Agency en Nicaragua, el consumo de la energía final se distribuyó del siguiente modo entre sectores: 54,1% sector Residencial, el 20,3% el sector Transporte, 16,1% el sector Industrial, 7,8% el sector Comercial y Servicios públicos, 1,23% el sector Agropecuario y 0,47% otros.

Este mismo año 2007 el 82,8% de la madera era consumido por el sector Residencial, seguido del sector Industria con un 12,16%, un 3,8% el sector Agropecuario y Comercios y Servicios públicos 1,24%.

Centrándonos en el sector Industrial, vemos que en el año 2004 el consumo final de energía se basaba principalmente en derivados del petróleo con un 60,1%, electricidad con 19,8%, residuos vegetales 14,3% y leña 5,8%. (Ver figura 5.13)

Gráfico No. 9
CONSUMO FINAL DE ENERGIA "SECTOR INDUSTRIAL"
Año 2004

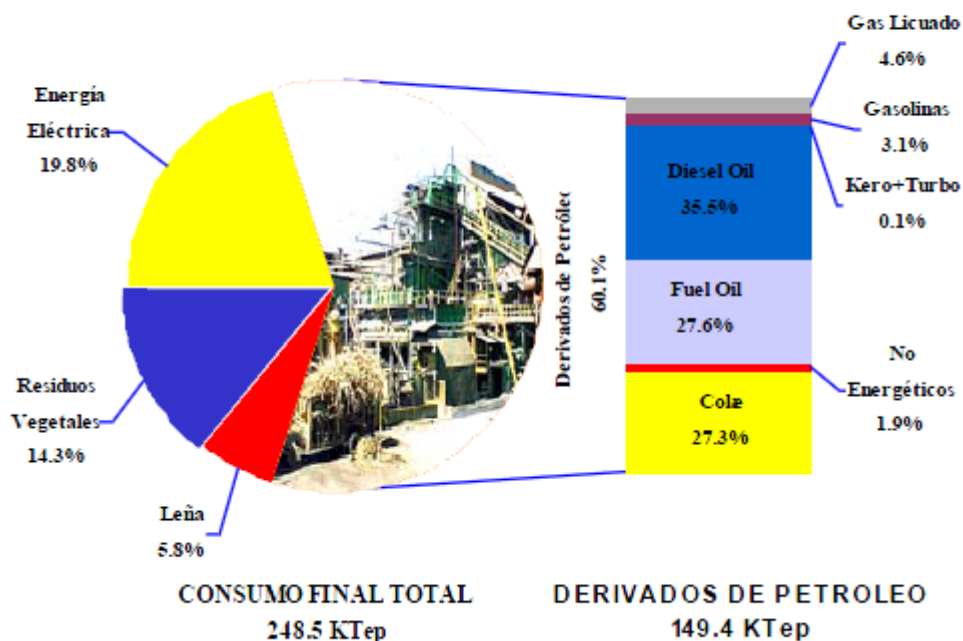


Figura 5.13 Consumo final de energía, sector industrial año 2004 (Fuente: BEN)

Teniendo en cuenta que la electricidad a su vez, se produce en un elevado porcentaje con derivados del petróleo, se puede concluir que en el año 2004 la Industria tenía gran dependencia del petróleo.

En los últimos años se ha producido un cambio, en el año 2007, el porcentaje de leña y residuos vegetales empleados en la Industria ascendió a 46,4%, quedando reducido el porcentaje de derivados del petróleo a 41,1% y de electricidad a 12,5%. Aunque la dependencia del petróleo sigue siendo elevada, se ha reducido considerablemente.

3.4 Conclusión

Nicaragua es un país fundamentalmente agrícola y rural. La mayoría de su producción de energía se basa en la madera, consumida principalmente en el

sector Residencial para cocinar. El resto de sectores: Transporte, Industria, Comercio y Servicios, Agropecuario y otros, consumen fundamentalmente energía producida con derivados del petróleo y electricidad. La electricidad producida proviene en un elevado porcentaje de los combustibles fósiles. Esto hace que Nicaragua tenga una gran dependencia del exterior. Ya que el 98% de los derivados de petróleo consumidos son importados.

El potencial del país en energías renovable es elevado. Posee gran cantidad de recursos naturales: lagos, ríos, volcanes, viento, biomasa y gran radiación solar, como se mostrará en el siguiente apartado.

En la generación de electricidad se desarrolla la mayor parte de la industria de energía renovable: eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa, el porcentaje es del 30% frente al 70% de la producción que se cubre con centrales térmicas que emplean derivados del petróleo.

La energía solar para producción de electricidad es prácticamente inexistente, se encuentra de manera muy puntual paneles fotovoltaicos en zonas remotas.

El sector del transporte consume únicamente derivados de petróleo, existiendo en el país un gran potencial de biocombustible como son el tempate, árbol autóctono y el etanol que se extrae de la caña de azúcar.

La industria consume al 50% productos derivados del petróleo y biocombustibles, teniendo más peso los residuos vegetales frente a la leña.

Aunque el consumo en Nicaragua de biomasa es mayor que el de combustibles fósiles 52,5% frente al 40,7% respectivamente, y la biomasa se considera menos contaminante, esta afirmación no es del todo cierta, pues dependerá de si la biomasa empleada es menor que la producción neta del ecosistema explotado. La tala indiscriminada de árboles que se lleva a cabo en el país, está acarreando graves problemas de deforestación puesto que en muchos casos no se replanta los árboles y en otros, la recuperación de los bosques va a un ritmo mucho más lento que la deforestación.

4. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE BAJA TEMPERATURA

La energía solar térmica de baja temperatura consiste en la transformación de la radiación solar en energía térmica empleando como fluido caloportador, en la mayoría de los casos, agua.

En los apartados anteriores se ha visto que el modelo energético basado en los combustibles fósiles y la leña, cuenta con serios problemas. Se va a explicar a continuación las ventajas e inconvenientes de la energía solar térmica como parte de la solución al problema energético actual, concretamente en la Industria.

4.1 Ventajas e inconvenientes

Se podrían destacar las siguientes ventajas:

- Sostenibilidad en el tiempo: la fuente de energía es el Sol y por tanto inagotable.
- Disponibilidad espacial elevada de la fuente de energía. En localizaciones remotas.
- Prácticamente nulo impacto ambiental. No contribuye al efecto invernadero, aunque habitualmente es necesario el aporte de una fuente auxiliar, y dependiendo del tipo, en proporciones pequeñas puede contribuir, como son: una resistencia eléctrica alimentada con electricidad de la red o una caldera diesel. El único impacto ambiental puede ser el visual.
- Ahorro de combustible, lo cual supone un ahorro económico y ecológico, pues se evitan las emisiones de dióxido de carbono derivada de la combustión de combustibles fósiles.
- Ahorro en las divisas, pues no precisa de importaciones de combustibles fósiles.
- Disminución de la dependencia energética del país con el exterior.
- Generación de empleo tanto en la construcción del sistema, como en la instalación y el mantenimiento.

- Transferencia de conocimiento, es una tecnología por desarrollar en Nicaragua.

Entre los inconvenientes:

- Elevado coste de inversión inicial.
- Dificultad de almacenamiento.
- Necesidad de una gran área de superficie para la instalación.
- Disponibilidad temporal de la fuente de energía variable, depende de las variaciones naturales como son día-noche, nublado-soleado, invierno-verano.

Aunque este último inconveniente, en buena parte, está directamente relacionada con la climatología del país que para el caso de Nicaragua es muy favorable por tener una temperatura y una radiación media anual elevada y constante.

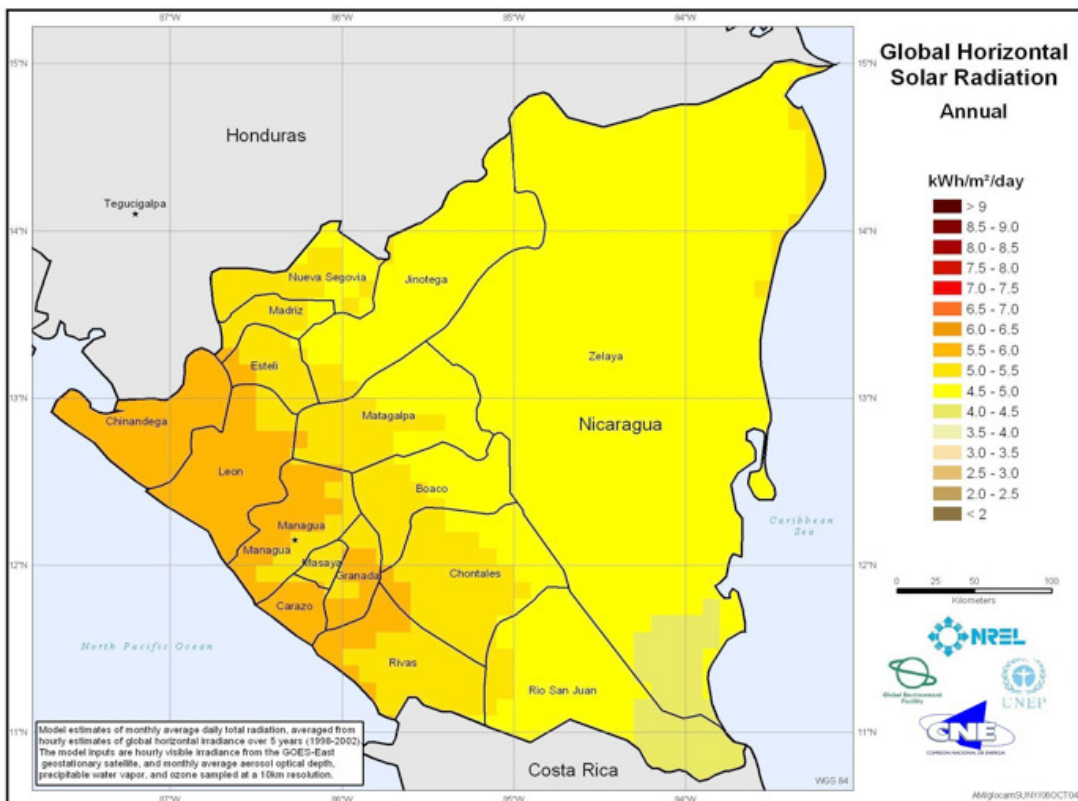


Figura 5.14 Irradiación solar global horizontal media diaria en un año

Comparando el mapa de irradiación solar con el de España, se puede concluir que más del 90% del territorio nicaragüense tiene un nivel de irradiación comparable con el sur de la Península.

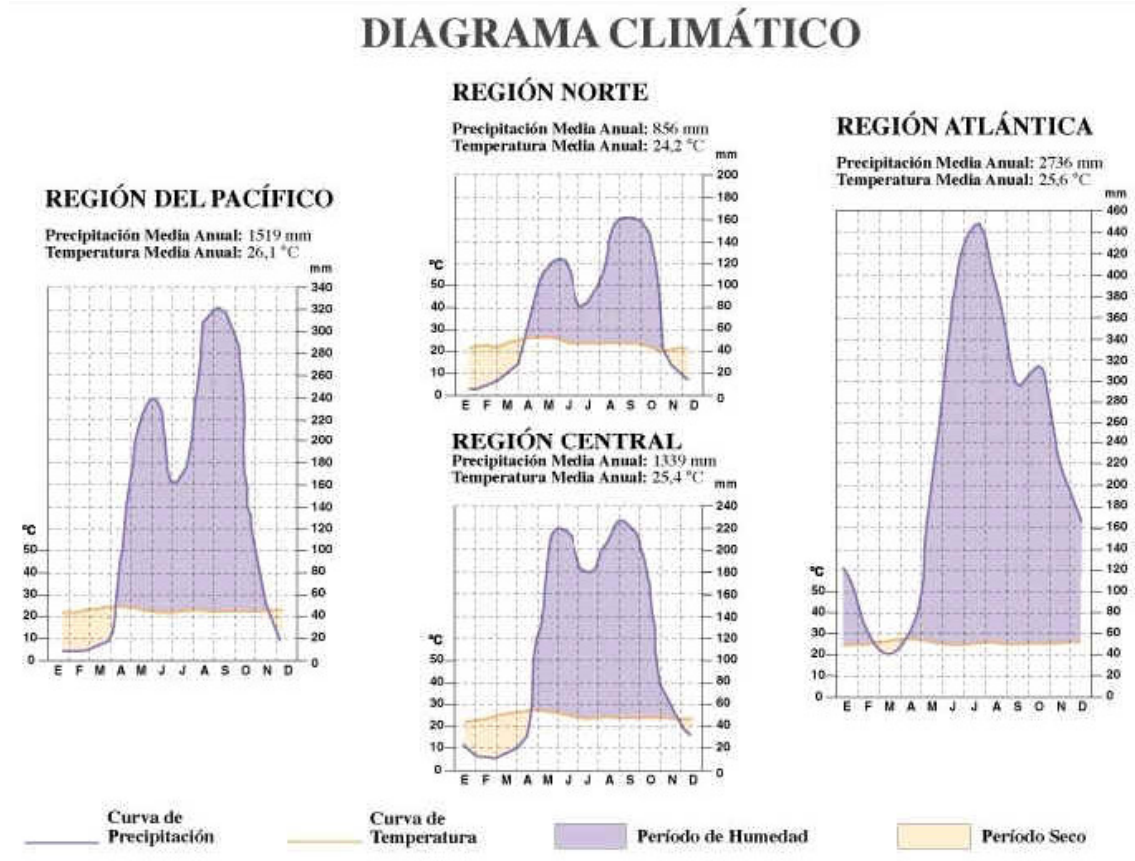


Figura 5.15 Diagrama climático (Fuente: INETER)

La solución solar propuesta para la pasteurización de la leche se basa fundamentalmente, en las ventajas anteriormente descritas, tratando de reducir, en la medida de lo posible, los inconvenientes. Además, como ya se ha explicado, el sector Industrial en Nicaragua consume al 50% derivados del petróleo y biomasa, donde un gran porcentaje proviene de residuos vegetales. Las industrias que consumen residuos vegetales, son industrias que consumen sus propios residuos. En el caso de la Industria láctea el residuo más relacionado, es el excremento de vaca a partir del cual se puede generar metano. Se descartó en principio debido a las

dificultades técnicas y al rechazo social, pero se tendría que estudiar en profundidad.

CAPÍTULO 6

ÁNGULO DE INCLINACIÓN ÓPTIMO DE LOS COLECTORES SOLARES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	125
2. LA RADIACIÓN SOLAR	125
2.1 Irradiancia y Constante solar	125
2.2 Componentes de la radiación en superficie	126
2.3 Posición del Sol	127
2.4 Geometría del movimiento del Sol	128
3. IRRADIACIÓN EN EL CAPTADOR	129
3.1 Ángulo de incidencia	130
3.2 Irradiación en el plano inclinado	131
4. RESULTADOS OBTENIDOS	132
4.1 Datos de partida	132
4.2 Orientación e inclinación óptima de los colectores	137

ÍNDICE DE FIGURAS

1. **Figura 6.1** Interacción de la radiación solar con la atmósfera
2. **Figura 6.2** Movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol
3. **Figura 6.3** Trayectoria del Sol desde el punto de vista de un observador en la Tierra
4. **Figura 6.4** Ángulo de incidencia sobre un plano inclinado
5. **Figura 6.5** Irradiación solar global diaria media sobre el plano horizontal
6. **Figura 6.6** Irradiación total sobre plano horizontal
7. **Figura 6.7** Constante solar corregida a lo largo del año
8. **Figura 6.8** Correlación de Erbs
9. **Figura 6.9** Irradiación solar total, directa y difusa
10. **Figura 6.10** Ángulo de inclinación óptimo
11. **Figura 6.11** Posición del Sol en Nicaragua en distintas horas del día y épocas del año

ÍNDICE DE TABLAS

1. **Tabla 6.1** Irradiación total anual en función del ángulo de inclinación

1. INTRODUCCIÓN

La irradiación interceptada por un colector solar plano es proporcional a la energía calorífica absorbida por el fluido caloportador que circula en su interior. Con objeto de maximizar la ganancia térmica, se ha estudiado el ángulo de inclinación óptimo del captador.

2. LA RADIACIÓN SOLAR

La energía solar que alcanza la superficie tiene una distribución temporal muy variable. Además de variar la insolación máxima diaria (horas en las que el Sol está por encima del horizonte del lugar), la radiación solar es más o menos atenuada según la composición instantánea de la atmósfera que atraviesa. Sólo el 47% en término medio de la radiación incidente sobre la atmósfera terrestre alcanza la superficie del planeta. El 31% lo hace directamente y el otro 16% después de ser dispersada por polvo en suspensión, vapor de agua y distintas moléculas presentes en el aire. La energía restante, un 53%, es reflejada hacia el espacio exterior o absorbida en la atmósfera.

2.1 Irradiancia y Constante solar

En un instante determinado, la potencia de la radiación solar que se recibe sobre un metro cuadrado de superficie se conoce como *irradiación* (I_s) y se expresa en W/m^2 . Se denomina constante solar (S_s), al valor de la irradiancia en un plano exterior a la atmósfera y perpendicular a los rayos del Sol, para una distancia media Tierra-Sol. El valor determinado por la NASA indica que la constante solar es $1367 W/m^2$.

2.2 Componentes de la radiación en superficie

La atmósfera terrestre se compone de gases, nubes y partículas sólidas en suspensión, los cuales son culpables de la atenuación de la radiación que se origina debido a los procesos de absorción, reflexión y refracción que la radiación solar sufre a medida que atraviesa la masa de aire.

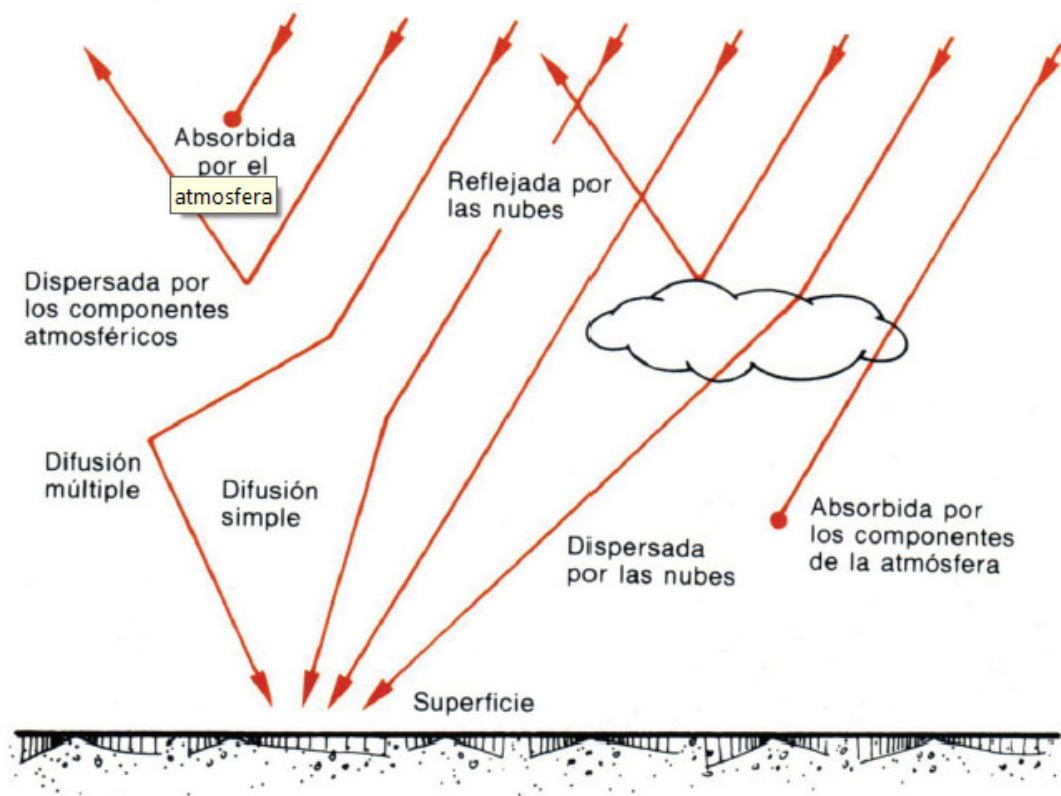


Figura 6.1 Interacción de la radiación solar con la atmósfera

Como resultado de la interacción de la radiación solar con la atmósfera la energía que llega a la superficie tiene diferentes componentes:

Radiación directa: no ha sufrido ninguno de los citados fenómenos y llega a la superficie en la dirección del disco solar.

Radiación difusa: procede del resto de direcciones de la bóveda celeste.

Radiación reflejada: un captador inclinado también puede recibir radiación previamente reflejada en el suelo.

Radiación global: el conjunto de radiaciones que alcanza la superficie.

2.3 Posición del Sol

El movimiento aparente del Sol a través de la bóveda celeste es otro factor que junto a las condiciones atmosféricas, determina la incidencia de la radiación sobre un captador solar a lo largo del día y del año. Se conoce como *eclíptica* a la línea imaginaria que representa la órbita que la Tierra describe en su movimiento de traslación alrededor del Sol en una trayectoria en forma de elipse, con excentricidad de un 3%. En su movimiento de traslación el eje de rotación terrestre forma siempre el mismo ángulo de $23,45^\circ$ con la perpendicular al plano de la eclíptica.

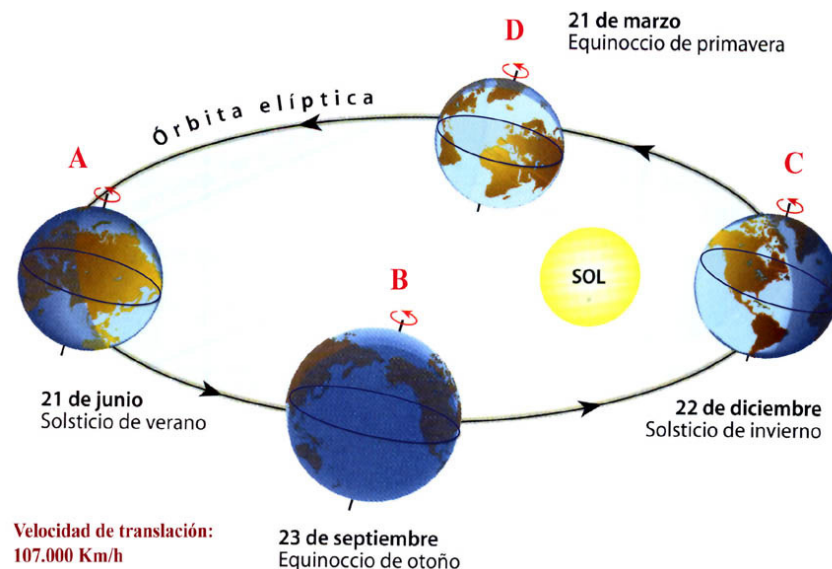


Figura 6.2 Movimiento de traslación de la Tierra alrededor del Sol

Se conoce como *declinación*, al ángulo que forma el plano de la eclíptica con el plano del ecuador, varía entre $23,45^\circ$ el día de solsticio de verano y $-23,45^\circ$ el día del solsticio de invierno.

El Sol se sitúa en la perpendicular al plano del horizonte un instante al año, al mediodía del solsticio de verano y de invierno, respectivamente en los lugares extremos de latitud: los trópicos de Cáncer ($23,45^\circ$ Norte) y de Capricornio ($23,45^\circ$ Sur).

2.4 Geometría del movimiento del Sol

Desde el punto de vista de un observador sobre la superficie de la Tierra, el Sol parece describir un arco de círculo desde su salida hasta su puesta. El plano meridiano local se define a la mitad de este recorrido, al mediodía solar. El punto de intersección entre la vertical del observador sobre la superficie terrestre y la *bóveda celeste*, se llama *cénit*. El eje de la Tierra forma un ángulo igual a la latitud del lugar (ϕ) con el plano del horizonte del observador.

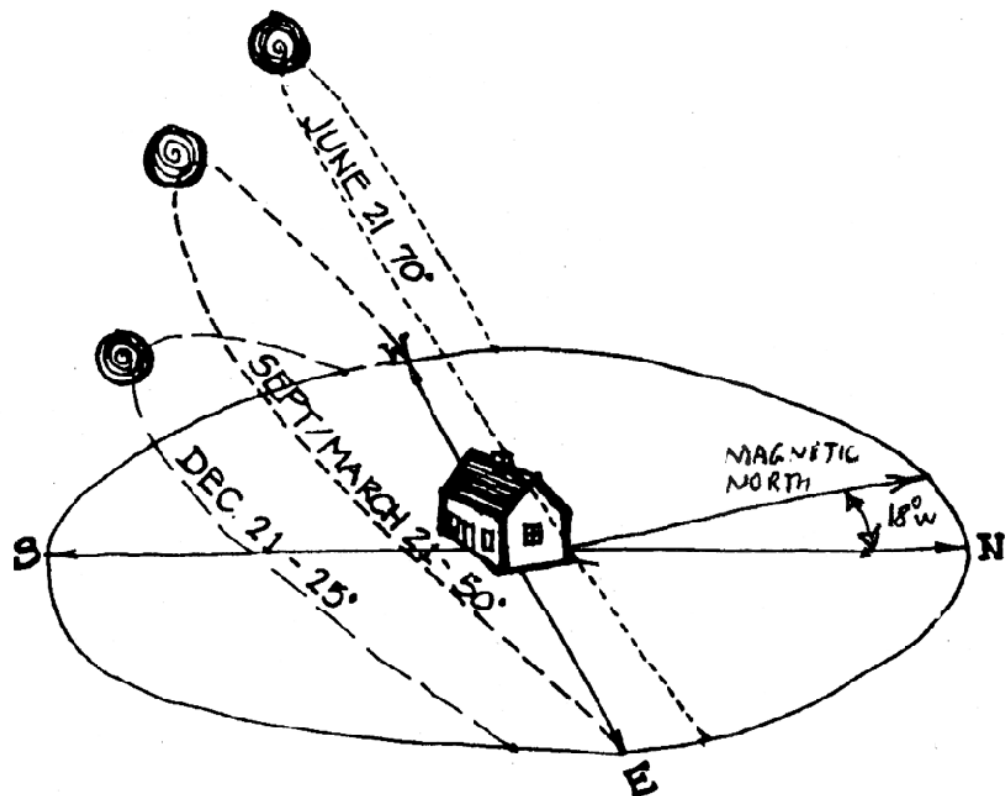


Figura 6.3 Trayectoria del Sol desde el punto de vista de un observador en la Tierra

Según el sistema de referencia escogido, la posición del Sol se puede referir en dos sistemas de coordenadas centradas en el observador: *horarias* (δ_s declinación, ω_s ángulo horario) y *horizontales* (h_s altura solar, a_s azimut). Estas coordenadas determinan el vector solar entendido como un vector con origen en el observador y extremo en el Sol.

La declinación solar δ_s ($^\circ$): posición angular del Sol al mediodía solar con respecto al plano del Ecuador terrestre, Norte positivo. Siendo “n” el día del año

$$\delta_s = 23,45 \cdot \text{sen}\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right)$$

Ángulo horario solar ω_s ($^\circ$): desplazamiento angular del Sol, Este u Oeste respecto del meridiano local debido a la rotación de la Tierra sobre su eje a 15° por hora, mañana negativo, tarde positivo. Siendo “h” la hora del día.

$$\omega_s = \frac{15^\circ}{hr} \cdot (h - 12hr)$$

Altura solar h_s ($^\circ$): es la altura angular del Sol sobre el horizonte celestial del observador. Varía entre 0° y 90° . Es el complemento de ángulo cenital.

Ángulo azimutal α_s ($^\circ$): es el ángulo determinado por la proyección del Sol sobre la superficie de la Tierra partiendo de la posición Sur, por tanto, se consideran ángulos negativos desplazamientos hacia el Este y positivos hacia el Oeste.

3. IRRADIACIÓN EN EL CAPTADOR

Las medidas de irradiación directa y difusa disponibles en algunas estaciones meteorológicas se realizan en el plano horizontal. El paso de estas medidas al plano inclinado del captador requiere de modelos para la radiación difusa y reflejada en los alrededores del captador.

3.1 Ángulo de incidencia

A partir de las coordenadas del *vector director*, perpendiculares al plano de un captador se determina su orientación. Este vector queda definido por el ángulo cenital que coincide con la inclinación del plano (β_c) respecto a la horizontal y el ángulo acimutal (α_c). Se entiende como ángulo de incidencia al ángulo que forma la radiación solar directa con el vector director del plano.

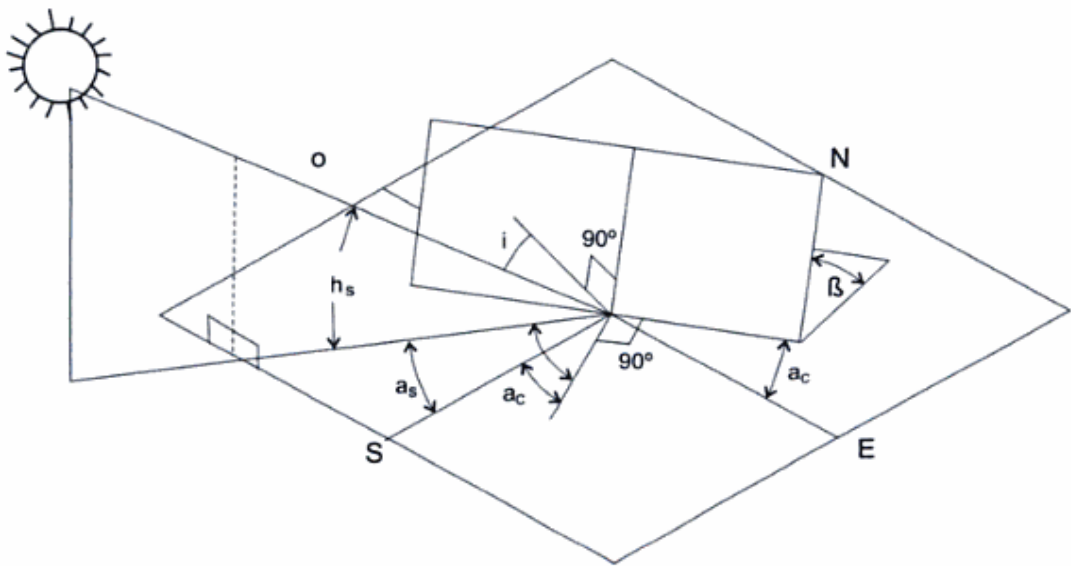


Figura 6.4 Ángulo de incidencia sobre un plano inclinado (Fuente: Tecnología solar)

La irradiación recibida sobre un plano inclinado, y por extensión en un captador, depende del ángulo de incidencia (i) de los rayos solares sobre éste.

El ángulo de incidencia depende de las coordenadas horarias del Sol (δ_s, ω_s), según la siguiente expresión trigonométrica:

$$\begin{aligned} \cos(i) = & \text{sen}\delta_s \cdot \text{sen}\phi \cdot \cos\beta_c - \text{sen}\delta_s \cdot \cos\phi \cdot \text{sen}\beta_c \cdot \cos(\alpha_c) \\ & + \cos\delta_s \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta_c \cdot \cos\omega_s \\ & + \cos\delta_s \cdot \text{sen}\phi \cdot \text{sen}\beta_c \cdot \cos(\alpha_c) \cdot \cos\omega_s \\ & + \cos\delta_s \cdot \text{sen}\beta_c \cdot \text{sen}(\alpha_c) \cdot \text{sen}\omega_s \end{aligned}$$

El ángulo cenital donde α_c y β_c se hacen cero es:

$$\cos(i_z) = \cos\delta_s \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega_s - \sin\delta_s \cdot \sin\phi$$

3.2 Irradiación en el plano inclinado

La irradiación recibida por un captador inclinado es la combinación de la irradiación directa ($I_{T,b}$), la difusa ($I_{T,d}$) y la reflejada en las superficies frente al captador ($I_{T,r}$).

$$I_T = I_{T,b} + I_{T,d} + I_{T,r}$$

La radiación difusa se divide a su vez en isotrópica, circunsolar y del horizonte.

Para el cálculo de la radiación difusa se ha empleado el *modelo de cielo isotrópico* que parte de la hipótesis simplificadora que toda la radiación difusa es isotrópica.

La irradiación total incidente sobre un plano inclinado, expresada en función de las irradiaciones sobre el plano horizontal:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_{d,iso} \cdot F_{c-s} + I \cdot \rho_g F_{c-g}$$

Dónde " $I_b, I_{d,iso}, I_r$ " es respectivamente la irradiación directa, difusa isotrópica y reflejada sobre el plano horizontal, " R_b " es la relación entre la radiación directa sobre el plano inclinado y el horizontal, " F_{c-s}, F_{c-g} " es respectivamente el factor de forma entre el colector y el cielo y entre el colector y la superficie horizontal, " I " la irradiación global sobre el plano

horizontal y “ ρ_g ” la reflectividad del suelo que se considera 0,2 en condiciones normales.

$$R_b = \frac{\cos(i)}{\cos(i_z)} = \frac{\cos\delta_s \cdot \cos(\phi - \beta_c) \cdot \cos\omega_s + \sin\delta_s \cdot \sin(\phi - \beta_c)}{\cos\delta_s \cdot \cos\phi \cdot \cos\omega_s + \sin\delta_s \cdot \sin\phi}$$

$$F_{c-s} = \frac{1 + \cos\beta_c}{2}$$

$$F_{c-g} = \frac{1 - \cos\beta_c}{2}$$

4. RESULTADOS OBTENIDOS

4.1 Datos de partida

Nicaragua se encuentra en Centroamérica en el hemisferio norte, la ciudad de Estelí pertenece al departamento de Las Segovias, al noroeste del país, su latitud (ϕ) es 13,05°.

La Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN) con la que la Universidad Carlos III de Madrid tiene un convenio de colaboración, ha facilitado los datos meteorológicos de Estelí. Los cuales han sido obtenidos de la estación meteorológica El Limón, situada en este mismo municipio.

La información de la que se dispone abarca desde el 1 de Marzo hasta el 31 de Diciembre del año 2009 y del 1 de Enero al 28 de Febrero del 2010. Ha sido imposible la obtención de datos anteriores, debido a que esta estación se inauguró a principios del año 2009.

Los datos que se han empleado para el presente estudio son: la irradiación solar global sobre plano horizontal, la temperatura ambiente y la velocidad del viento.

Dada la situación geográfica de Nicaragua, es sin duda un país con gran potencial solar. En el siguiente mapa (figura 6.5) queda patente.

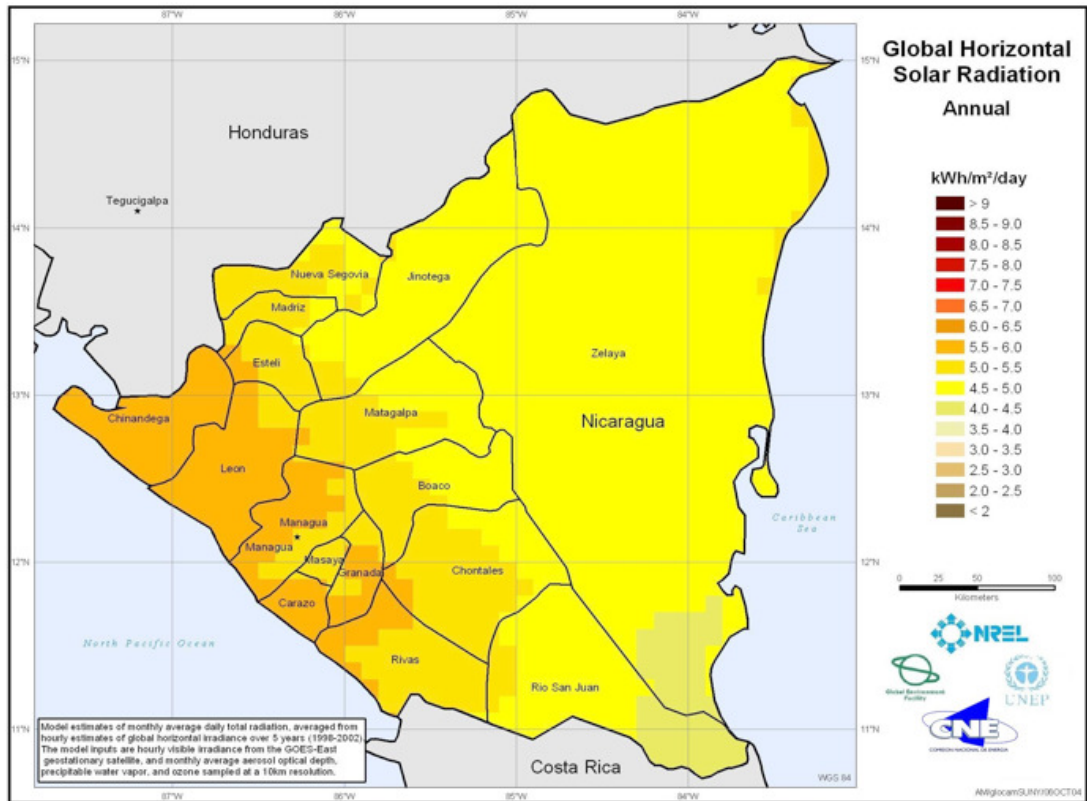


Figura 6.5 Irradiación solar global diaria media sobre el plano horizontal

El clima en Nicaragua es tropical, hay dos estaciones: la seca y la húmeda. Los meses de duración de cada estación varía en función del año, una buena aproximación sería decir que los meses de la estación seca abarcan desde mediados del mes de Octubre hasta Abril incluido y la estación lluviosa el resto del año.

Para los datos disponibles se ha decidido delimitar la estación seca o verano desde el día 21 de Octubre hasta el 31 de Abril, y la estación húmeda o invierno desde el 1 de Mayo hasta el 20 de Octubre.

En la figura 6.6 se muestra la irradiación total o global sobre el plano horizontal.

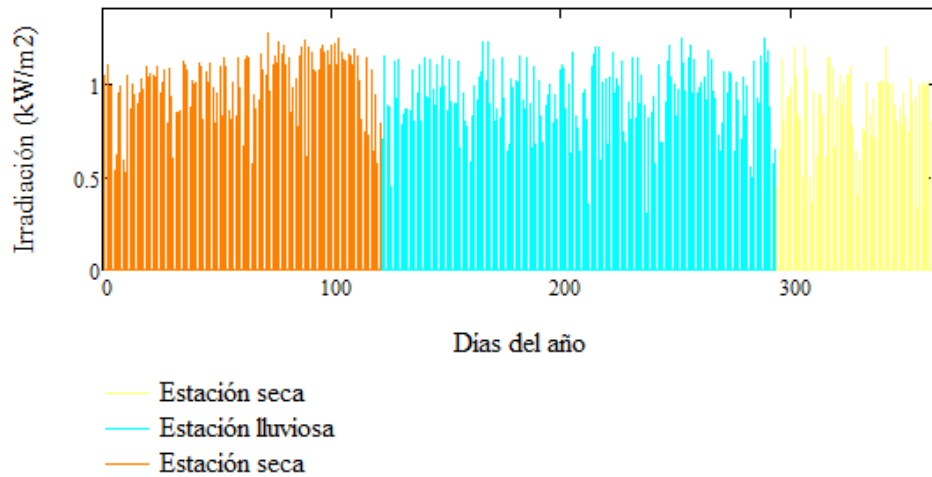


Figura 6.6 Irradiación total sobre plano horizontal

Debido a que sólo se dispone de la irradiación solar global (I_T), se ha calculado la contribución de radiación directa (I_b) y difusa (I_d) mediante la correlación de Erbs et al (1982), la cual obtiene la fracción de radiación difusa en función del índice de transparencia (k_T).

El índice de transparencia se define como el cociente entre la irradiación total y la constante solar.

$$k_T = \frac{I_T}{I_{\text{ext}}}$$

La constante solar corregida a lo largo del año (I_{ext}):

$$I_{\text{ext}} = S_s \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n \text{ deg}}{365}\right) \text{ W/m}^2$$

Dónde “n” es el día del año correspondiente y “ S_s ” la constante solar sin corregir cuyo valor es 1367 W/m^2 .

La figura 6.7 muestra la variación de la constante solar durante el año. Su valor es mayor durante los meses de Noviembre a Febrero debido a que el radio de la eclíptica entre el Sol y la Tierra es mayor durante estos meses y menor en los meses de Mayo a Agosto, ver figura 6.2.

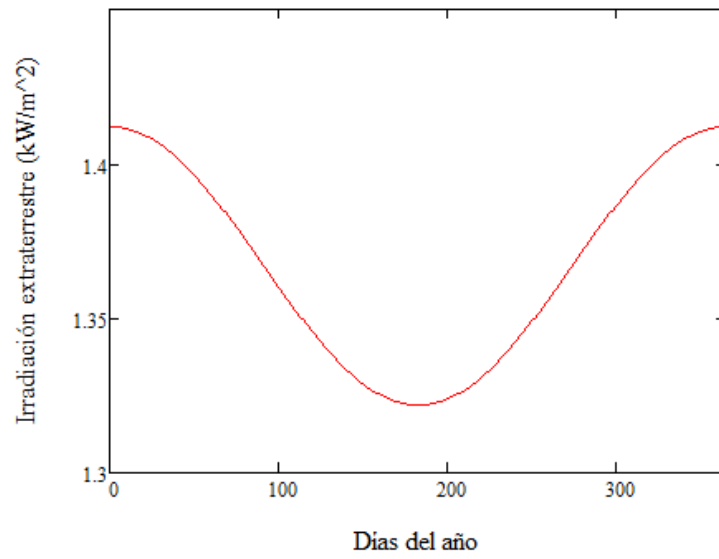


Figura 6.7 Constante solar corregida a lo largo del año

La correlación de Erbs et al. (1982) se calcula del siguiente modo:

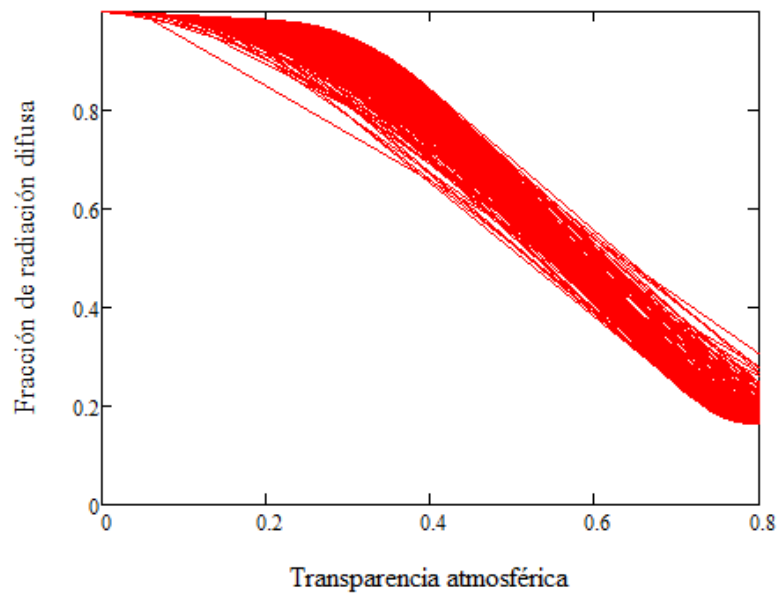


Figura 6.8 Correlación de Erbs

$$C_{erb} := \begin{cases} \text{for } j \in 0.. \text{rows(Data)} - 1 \\ \quad C_{erb_j} \leftarrow 1 - 0.09k_{T_j} \text{ if } k_{T_j} \leq 0.22 \\ \quad C_{erb_j} \leftarrow 0.9511 - 0.1604k_{T_j} + 4.388(k_{T_j})^2 - 16.638(k_{T_j})^3 + 12.336(k_{T_j})^4 \text{ if } 0.22 \leq k_{T_j} < 0.8 \\ \quad C_{erb_j} \leftarrow 0.165 \text{ otherwise} \\ C_{erb} \end{cases}$$

Como la correlación de Erbs es el cociente entre la radiación difusa y la total:

$$C_{erb} = \frac{I_d}{I_T}$$

Se puede calcular la componente difusa de la radiación (I_d) y sabiendo que:

$$I_T = I_b + I_d$$

Se puede entonces hallar la componente directa de radiación (I_b).

A continuación la contribución de irradiación directa y difusa para dos días representativos de cada estación, 6 de Abril y el 9 de Septiembre.

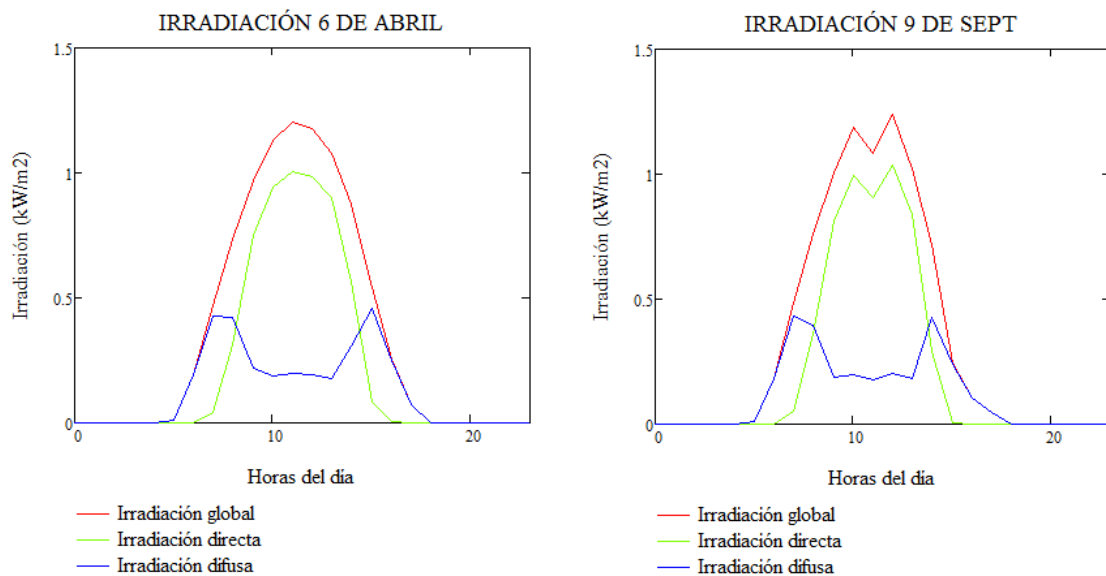


Figura 6.9 Irradiación solar total, directa y difusa

4.2 Orientación e inclinación óptima de los colectores

La orientación óptima del colector en el hemisferio Norte es hacia el Sur si la latitud es mayor que la declinación y si no hacia el Norte.

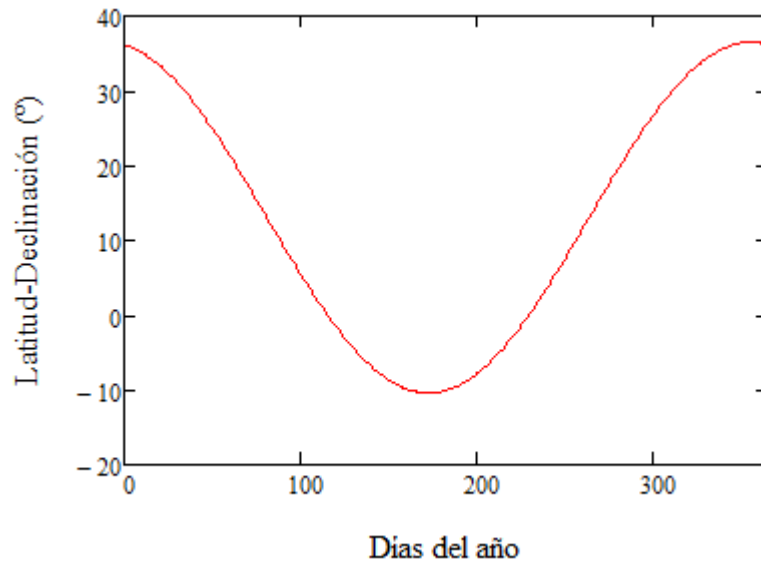


Figura 6.10 Ángulo de inclinación óptimo

Según el gráfico se debería orientar hacia el Sur durante la estación seca y hacia el Norte durante parte de la estación húmeda.

La realidad nos impone que la orientación de los colectores debe ser la misma durante todo el año ya que es complejo el cambiar la orientación y sufren los componentes. La orientación elegida es por tanto la Sur, puesto que la mayoría de los días del año la latitud es superior a la declinación.

El siguiente gráfico (figura 6.11) muestra la posición del Sol en Nicaragua en diferentes horas del día y en distintas épocas del año. Se demuestra que el Sol se ve por el Sur más días al año que por el Norte ya que el área amarilla es mayor en el Sur que en el Norte.

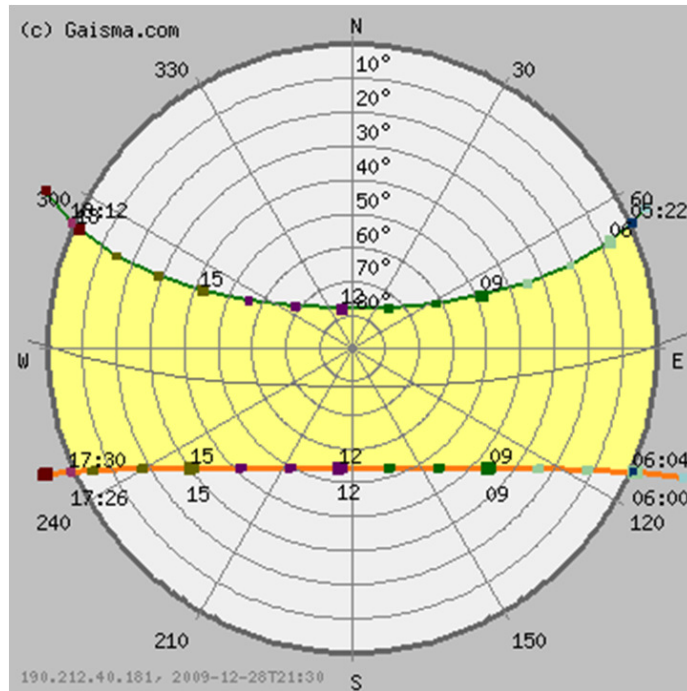


Figura 6.11 Posición del Sol en Nicaragua en distintas horas del día y épocas del año

Para recoger la máxima cantidad de radiación solar por unidad de superficie es preciso inclinar el colector hasta lograr la incidencia normal. La inclinación óptima es igual a la diferencia entre latitud y declinación, y consecuentemente varía a lo largo del año. Debido a que los colectores no están monitorizados y se van a mover manualmente, por comodidad se ha preferido inclinarlos en una única posición durante todo el año. Se ha calculado la irradiación anual sobre superficies inclinadas distintos grados:

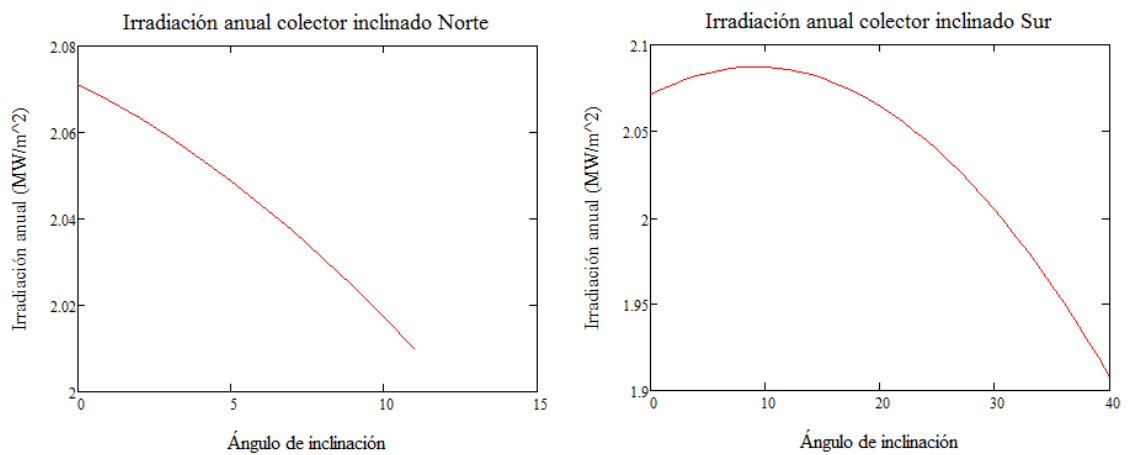


Figura 6.12 Irradiación total anual en función del ángulo de inclinación

La figura 6.12 vuelve a corroborar lo ya explicado, se consigue captar mayor irradiación total en suma en un año, orientando el colector al Sur con una inclinación entre 0 y 15°. El intervalo de ángulos empleado es el dado por el ángulo óptimo diario de -11° a 40°, es decir de 0° a 10° con orientación norte y de 0° a 40° con orientación sur.

Tabla 6.1 Irradiación total anual en función del ángulo de inclinación

Ángulo de inclinación	Irradiación (kW/m ²)
-10	2017
-5	2049
0	2071
5	2084
10	2087
15	2081
20	2064
30	2004
40	1908

El ángulo óptimo anual es el correspondiente al valor máximo de irradiación total sumada a lo largo del año, este es 10° para un valor de 2087 kW/m². Dividiendo dicho valor entre los 365 días del año, se obtiene 5,72 kW/m² como la irradiación media diaria en un año.

Diferentes estudios demuestran que el ángulo óptimo anual coincide con la latitud del lugar. El por qué de que no coincida con la latitud en este caso, tiene su explicación en que la mayoría de los estudios parten de datos que son promedios de varios años, éstos son más precisos que los datos de un único año. **Por ello, se va a emplear como ángulo óptimo, la latitud de Estelí 13,05°.**

CAPÍTULO 7

MODELIZACIÓN Y DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	149
2. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	149
3. MODELIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	151
3.1 Modelo de los colectores planos	151
3.2 Modelo del circuito primario	158
3.2.1 Tuberías	159
3.2.2 Tanque a la entrada del intercambiador	169
3.2.3 Intercambiador	172
3.2.3.1 Sección de calentamiento	176
3.2.3.2 Sección de regenerativa	179
3.2.4 Tanque a la salida del intercambiador	180
3.3 Modelo integrador de los colectores y del circuito primario	182
4. DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	185
5. BALANCE DE ENERGÍA DE LA INSTALACIÓN	186
5.1 Balance de energía en los colectores planos	187
5.2 Balance de energía en el circuito primario	196
5.2.1 Tubería de salida	196
5.2.2 Tanque a la entrada del intercambiador	196
5.2.3 Intercambiador	199
5.2.4 Tanque a la salida del intercambiador	203
5.2.5 Tubería de entrada	204
5.3 Fuente auxiliar de energía	205
6. DIMENSIONADO DEL RESTO DE COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA	206
6.1 Válvulas	207
6.2 Purgadores de aire	208
6.3 Vaso de expansión	208
6.4 Pérdidas de carga	210
1.1 Bomba de circulación	214
7. ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA PLANTA DE PASTEURIZACIÓN SOLAR	215

7.1 Potencial de efecto invernadero	215
7.2 Ahorro de combustibles fósiles	219

ÍNDICE DE FIGURAS

1. **Figura 7.1** Esquema de la Instalación Solar Térmica
2. **Figura 7.2** Bucle de cálculo de la temperatura de salida en el colector
3. **Figura 7.3** Esquema del cálculo de la temperatura de salida del agua en una fila de colectores
4. **Figura 7.4** Separación entre filas de colectores
5. **Figura 7.5** Altura solar a las 12h
6. **Figura 7.6** Esquema de las tuberías en el circuito primario
7. **Figura 7.7** Resistencias térmicas para un edificio
8. **Figura 7.8** Esquema del intercambiador de calor
9. **Figura 7.9** Bucle de cálculo de la temperatura de la leche a la salida del intercambiador
10. **Figura 7.10** Dimensiones del intercambiador de calor
11. **Figura 7.11** Bucle en el intercambiador
12. **Figura 7.12** Bucle integral
13. **Figura 7.13** Radiación solar interceptada por los colectores
14. **Figura 7.14** Radiación solar interceptada el 6 de Abril y el 9 de Septiembre
15. **Figura 7.15** Energía cedida al agua
16. **Figura 7.16** Pérdidas globales en el colector
17. **Figura 7.17** Pérdidas estándar en el colector
18. **Figura 7.18** Pérdidas por viento en el colector
19. **Figura 7.19** Pérdidas por inercia térmica de los componentes
20. **Figura 7.20** Pérdidas en las tuberías
21. **Figura 7.21** Temperatura del agua a la salida del primer colector
22. **Figura 7.22** Energía cedida al agua por el octavo colector
23. **Figura 7.23** Pérdidas de calor globales del octavo colector
24. **Figura 7.24** Temperatura del agua a la salida del octavo colector
25. **Figura 7.25** Temperatura de salida de cada colector el 6 de Abril
26. **Figura 7.26** Pérdidas en la tubería auxiliar
27. **Figura 7.27** Pérdidas en la tubería de salida
28. **Figura 7.28** Temperatura a la entrada del tanque

- 29. **Figura 7.29** Temperatura del agua en el tanque durante las 8 horas de trabajo
- 30. **Figura 7.30** Pérdidas de calor en el tanque durante las 8 horas de trabajo
- 31. **Figura 7.31** Pérdidas de calor en el tanque de 16h hasta las 7h del día siguiente
- 32. **Figura 7.32** Temperatura del agua en el tanque a las 7h de la mañana
- 33. **Figura 7.33** Temperatura de la leche pasteurizada
- 34. **Figura 7.34** Temperatura de la leche precalentada
- 35. **Figura 7.35** Temperatura la leche preenfriada
- 36. **Figura 7.36** Temperatura de la leche a la salida de la sección de calentamiento
- 37. **Figura 7.37** Temperatura del agua a la salida del intercambiador
- 38. **Figura 7.38** Pérdidas de calor en el tanque
- 39. **Figura 7.39** Temperatura del agua a la salida del tanque
- 40. **Figura 7.40** Pérdidas en la tubería de entrada
- 41. **Figura 7.41** Temperatura a la entrada de los colectores
- 42. **Figura 7.42** Potencia térmica necesaria
- 43. **Figura 7.43** Esquema de la Instalación Solar Térmica componentes de fontanería
- 44. **Figura 7.44** Esquema de los purgadores de aire
- 45. **Figura 7.45** Esquema de vaso de expansión cerrado
- 46. **Figura 7.46** Potencial de efecto invernadero indirecto

ÍNDICE DE TABLAS

1. **Tabla 7.1** Características de los componentes del colector solar
2. **Tabla 7.2** Dimensiones de las tuberías en el circuito primario
3. **Tabla 7.3** Resistencias térmicas de las tuberías del circuito primario
4. **Tabla 7.4** Propiedades termodinámicas del agua en las tuberías del circuito primario
5. **Tabla 7.5** Esquema de las tuberías en el circuito primario
6. **Tabla 7.6** Propiedades termodinámicas del aire
7. **Tabla 7.7** Dimensiones y propiedades termodinámicas del tanque
8. **Tabla 7.8** Resistencias térmicas en el intercambiador de calor
9. **Tabla 7.9** Propiedades termodinámicas de los fluidos en el intercambiador
10. **Tabla 7.10** Parámetros para el cálculo del volumen del vaso de expansión
11. **Tabla 7.11** Parámetros para el cálculo de la pérdida de carga
12. **Tabla 7.12** Parámetros para el cálculo de la pérdida de carga de una fila de colectores
13. **Tabla 7.13** Pérdida de carga de una fila de colectores
14. **Tabla 7.14** Datos de tubería de unión entre colectores
15. **Tabla 7.15** Pérdida de carga en la tubería de unión entre colectores
16. **Tabla 7.16** Accesorios en la tubería de unión entre colectores
17. **Tabla 7.17** Pérdida de carga en accesorios en la tubería de unión entre colectores
18. **Tabla 7.18** Datos de tubería de entrada
19. **Tabla 7.19** Pérdida de carga en la tubería de entrada
20. **Tabla 7.20** Accesorios en la tubería de entrada
21. **Tabla 7.21** Pérdida de carga en accesorios en la tubería de entrada
22. **Tabla 7.22** Datos de tubería de salida
23. **Tabla 7.23** Pérdida de carga en la tubería de salida
24. **Tabla 7.24** Accesorios en la tubería de salida
25. **Tabla 7.25** Pérdida de carga en accesorios en la tubería de salida
26. **Tabla 7.26** Emisión de CO₂ por kWh_c para distintos combustibles

1. INTRODUCCIÓN

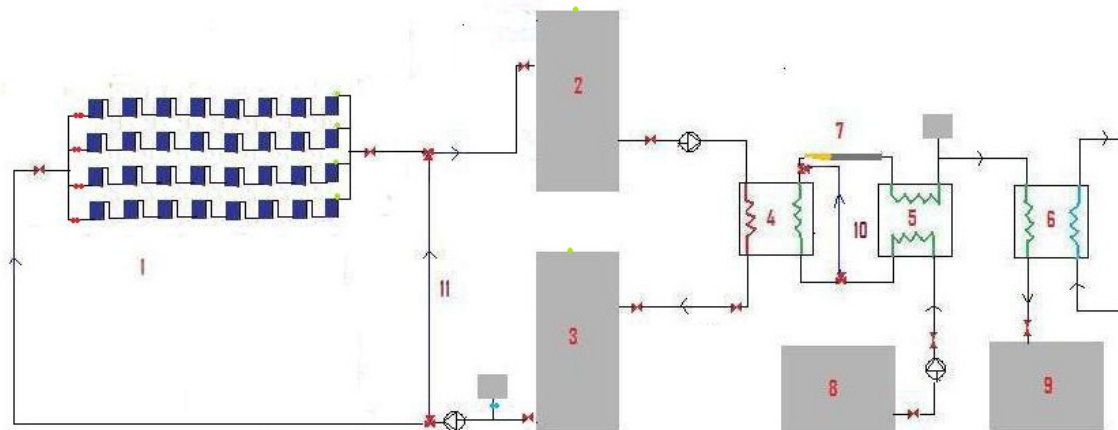
En el presente capítulo se estudia en profundidad la instalación solar. Simulando mediante un modelo matemático el funcionamiento de los principales componentes, se logra conocer la energía anual disponible y el aporte auxiliar necesario para lograr con éxito la pasteurización. Finalmente se concluye con un análisis ambiental específico de la Planta pasteurizadora.

2. COMPONENTES PRINCIPALES DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

La instalación solar térmica consta de los siguientes subsistemas:

- Subsistema de captación: compuesto por los colectores solares térmicos. Su función es captar la radiación solar y transformarla en la energía térmica transferida al fluido caloportador.
- Subsistema hidráulico: integrado por intercambiadores de calor, bombas, conducciones, vasos de expansión, purgadores, válvulas, etc... Su finalidad es transferir el calor producido en los colectores planos al tanque de almacenamiento y de éste a la leche que se va a pasteurizar.
- Subsistema de almacenamiento: constituido por el tanque de almacenamiento a la entrada del intercambiador leche-agua y el tanque de almacenamiento a la salida del intercambiador.
- Subsistema de apoyo: compuesto por una resistencia eléctrica. Su cometido es el de aportar el calor instantáneo necesario para lograr una adecuada pasteurización.
- Subsistema de control: formado por sensores, válvulas, etc... Su fin es el de controlar la correcta operación de la instalación.

ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA



- 1 Campo de colectores
- 2 Tanque de almacenamiento de agua
- 3 Tanque de almacenamiento de agua
- 4 Intercambiador sección de calentamiento
- 5 Intercambiador sección regenerativa
- 6 Intercambiador sección de enfriamiento
- 7 Fuente auxiliar y tubería para mantener la temperatura de pasteurización
- 8 Tanque de almacenamiento de la leche ordeñada
- 9 Tanque de almacenamiento de la leche enfriada después de haber sido pasteurizada
- 10 Tubería auxiliar en el intercambiador
- 11 Tubería auxiliar entre tanques de almacenamiento

Figura 7.1 Esquema de la Instalación Solar térmica

Como se muestra en la figura 7.1, la instalación consta de un circuito primario compuesto por el campo de colectores (1) con los tanques de almacenamiento (2 y 3), y enlaza con el circuito secundario a través del bloque de intercambiadores. El bloque se diferencia en tres secciones: calentamiento (4), regeneración (5) y enfriamiento (6).

Se ha decidido el empleo de la sección regenerativa entre la leche enfriada antes de la pasteurización y la leche caliente ya pasteurizada, porque supone un ahorro de energía en el calentamiento y enfriamiento de la leche.

El tanque a la entrada del intercambiador (2) almacena la energía captada por los colectores en las horas de mayor radiación, mientras el tanque a la salida (3) del colector almacena el calor residual que transporta el agua a la salida del intercambiador.

La pasteurización, es decir, el intercambio de calor entre el agua caliente y la leche, debe hacerse en el menor tiempo posible. Es por ello que se empleará

la totalidad del agua calentada durante el día en los colectores para realizar el intercambio a primera hora del día siguiente. El tratamiento térmico conviene que se lleve a cabo al poco tiempo de haber recibido la leche. Los ganaderos en Estelí ordeñan una única vez a sus vacas al amanecer entre las 4:30 y 5:30 de la mañana, por tanto suponemos que la leche será recibida en el centro sobre las 6-6:30 de la mañana. Es por ello que la pasteurización se realizará a las 7 de la mañana y durará una hora.

3. MODELIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

3.1 Modelo de los colectores planos

Es importante cuando se diseña una instalación intentar garantizar su durabilidad, teniendo en cuenta las características del país dónde se va a realizar. Una manera de hacerlo sostenible es que los principales componentes de la instalación se compren o construyan en el país, de este modo, además se consigue abaratar el coste de la inversión inicial y el mantenimiento.

Si se compara el precio medio unitario de un colector fabricado en España con el precio medio unitario de uno fabricado en países sudamericanos (Perú, Ecuador, etc...), éste puede llegar a reducirse hasta un 75%.

Actualmente en Nicaragua no se encuentran talleres que fabriquen colectores térmicos, pero se está construyendo un prototipo de colector plano en Managua, concretamente en la Universidad Nacional Agraria. Se va a calcular su coste aproximado en el capítulo 8, con el fin de dar una visión más realista y conseguir un proyecto más sostenible.

Para el cálculo del modelo de los colectores planos se ha empleado como primera aproximación el colector plano Chromagen Cr 10-SN, cuyas características técnicas se pueden consultar en el Anexo.

Su curva de normalización viene dada por la siguiente expresión:

$$\eta_{co_j} = 0,6715 - 3,141 \cdot \frac{(T_{eco_j} - T_{a_j})}{I_{opt_j}}$$

La curva indica el rendimiento instantáneo de los colectores planos (η_{co_j}) en función de la radiación instantánea incidente, que en este caso es la radiación para el ángulo óptimo anual (I_{opt}) calculado en el capítulo anterior, la temperatura instantánea a la entrada del colector (T_{eco_j}) y la temperatura instantánea ambiente (T_{a_j}).

Todo ello es determinado bajo las siguientes condiciones normalizadas:

- Colocar los colectores con orientación Sur (hemisferio Norte) e inclinados a las horas centrales del día (entre las 11 y las 13 horas solares).
- En días claros en los cuales la radiación solar supere los 600 W/m^2 .
- En días con el viento en calma, de modo que el resultado obtenido tenga en cuenta únicamente las pérdidas de calor en el colector por convección natural.
- Tomar medidas simétricas a partir de las 12 horas solares para minimizar el efecto de la inercia térmica en los componentes.

Las pérdidas de calor obtenidas en estas condiciones son conocidas como pérdidas en condiciones estándar. Se calculan empleando la siguiente fórmula:

$$P_{est_j} = (1 - \eta_{co_j}) \cdot 1hr \cdot A_{útil} \cdot I_{opt_j}$$

Las pérdidas estándar instantáneas (P_{est_j}), son función del área útil del colector ($A_{útil}$), de la radiación instantánea global incidente (I_{opt_j}), de la unidad de tiempo considerado (1hr) y del rendimiento instantáneo (η_{co_j}).

En el colector, además de estas pérdidas, se dan pérdidas de inercia térmica (por el calor almacenado en sus componentes), de convección forzada cuando el viento entra en contacto con la cubierta y la caja, y de radiación, si bien, éstas últimas son despreciables debido a las bajas temperaturas de operación.

Para el cómputo de las pérdidas debidas a la inercia térmica en los componentes, se utiliza la siguiente expresión:

$$P_{comp_{ij}} = m_i \cdot Cp_i \cdot (T_{ij} - T_{ij-1})$$

Para el que “i” es el componente del colector que estamos analizando, “ m_i ” la masa del mismo (en función de su área, su espesor y su densidad), “ Cp_i ” su calor específico y “ T_{ij} ” su temperatura para un instante de tiempo dado y “ T_{ij-1} ” su temperatura en el instante anterior.

Los componentes susceptibles de incrementar las pérdidas de inercia son:

Tabla 7.1 Características de los componentes del colector solar

Componentes	Material	Área (m ²)	Espesor (mm)	Densidad (kg/m ³)	Masa (kg)	Cp (J/kg.K)	Temperatura (°C)
Placa absorbente	Acero	2,13	0,5	7870	8,382	447	$\frac{T_{eco} + T_{sco}}{2}$
Aire contenido	Aire	2,18	30	1,1614	$7,6 \cdot 10^{-3}$	1007	$\frac{T_{plac} + T_{cub}}{2}$
Cubierta	Vidrio	2,38	3,2	2500	19,04	810	$\frac{T_{aire} + T_a}{2}$
Aislante	Lana mineral	2,77	60	120	19,94	840	$\frac{T_{plac} + T_{caja}}{2}$
Caja	Acero	2,98	1	7870	23,45	477	$\frac{T_{ais} + T_a}{2}$

Siendo " T_{sco} " la temperatura a la salida del colector, " T_{plac} " la temperatura de la placa, " T_{cub} " la temperatura de la cubierta, " T_{caja} " la temperatura de la caja, " T_{ais} " la temperatura del aislante y " T_{aire} " la temperatura del aire contenido entre la placa y la cubierta.

El cálculo de las pérdidas debidas al viento se formula del siguiente modo:

$$P_{viento_{ij}} = A_i \cdot h_{v_i} \cdot 1hr \cdot (T_{ij} - T_{a_j})$$

Dónde " h_{v_i} " es el coeficiente de transferencia de calor por convección cuyo valor se obtiene de la ecuación de *McAdams*:

$$h_v = 2,8(W/m^2 \cdot K) + 3(kg/m \cdot K \cdot s^2) \cdot v_{viento}$$

Esta ecuación consta de dos componentes, una dependiente de la velocidad del viento (v_{viento}) correspondiente a la convección forzada y otra constante relativa a la convección natural. Como ya se explicó, las pérdidas por convección natural están incluidas en las pérdidas en condiciones estándar, por lo tanto sólo tendremos en cuenta la componente correspondiente a la convección forzada.

$$h_v = 3(kg/m \cdot K \cdot s^2) \cdot v_{viento}$$

Los componentes del colector expuestos al viento son la cubierta y la caja.

Unas pérdidas importantes dependientes de la temperatura del agua que recorre los colectores, son las pérdidas en las tuberías que unen el campo de colectores.

En el cálculo de la longitud de la tubería se considera que la tubería de unión entre un colector y otro en serie mide 1,5m, el agua siempre debe de entrar por debajo pues el colector está compuesto por una parrilla convencional.

Las pérdidas de calor al ambiente de la tubería se han calculado del siguiente modo:

$$T_{agua_{colj}} = \frac{T_{eco_j} + T_{sco_j}}{2}$$

$$P_{tuberíacolij} = \frac{T_{agua_j} - T_{aj}}{R_{TOTAL_j}}$$

Dónde R_{TOTAL_j} es la resistencia total térmica en la tubería, en el apartado 3.2.1 de este mismo capítulo se explica con detalle.

Las pérdidas por inercia térmica en el aislante térmico y la tubería de cobre, se calculan de la siguiente manera:

$$P_{comptubij} = \frac{\pi}{4} (D_{ext_i}^2 - D_{int_i}^2) \cdot L_i \cdot \rho_i \cdot Cp_i \cdot (T_{ij} - T_{ij-1})$$

Una vez calculadas todas las pérdidas de calor del colector y las pérdidas de calor en las tuberías, podemos hallar la temperatura del agua a la salida del colector, parámetro determinante en la elección del número de colectores necesarios para pasteurizar 2500 litros al día en una hora.

Se ha supuesto inicialmente una temperatura de entrada del agua en el colector similar a la temperatura del agua que esperamos a la entrada (60°C). El caudal (q_{agua}) ha sido elegido de modo que maximice la temperatura a la salida, encontrándose dentro de las recomendaciones técnicas.

Se ha simulado un bucle en Mathcad para hallar la temperatura que lleva el fluido caloportador a la salida del colector, el bucle opera del siguiente modo:

1. Se calcula un valor inicial de la variable auxiliar de temperatura (T_{sscoj}), que es igual a la temperatura a la salida del colector teniendo en cuenta únicamente las pérdidas estándar.

$$T_{sscoj} = T_{eco_j} + \frac{(I_{opt_j} \cdot A_{\acute{u}til} \cdot 1hr - P_{est_j})}{C_{p_{agua}} \cdot \rho_{agua} \cdot q_{agua}}$$

2. Esta temperatura es introducida como valor inicial del bucle para poder calcular las pérdidas totales en el colector, luego se calcula la temperatura de salida del agua teniendo en cuenta todas las pérdidas y se compara su valor con el supuesto inicialmente, si es distinto, se toma el último valor calculado como dato de partida y se vuelve al principio del bucle.

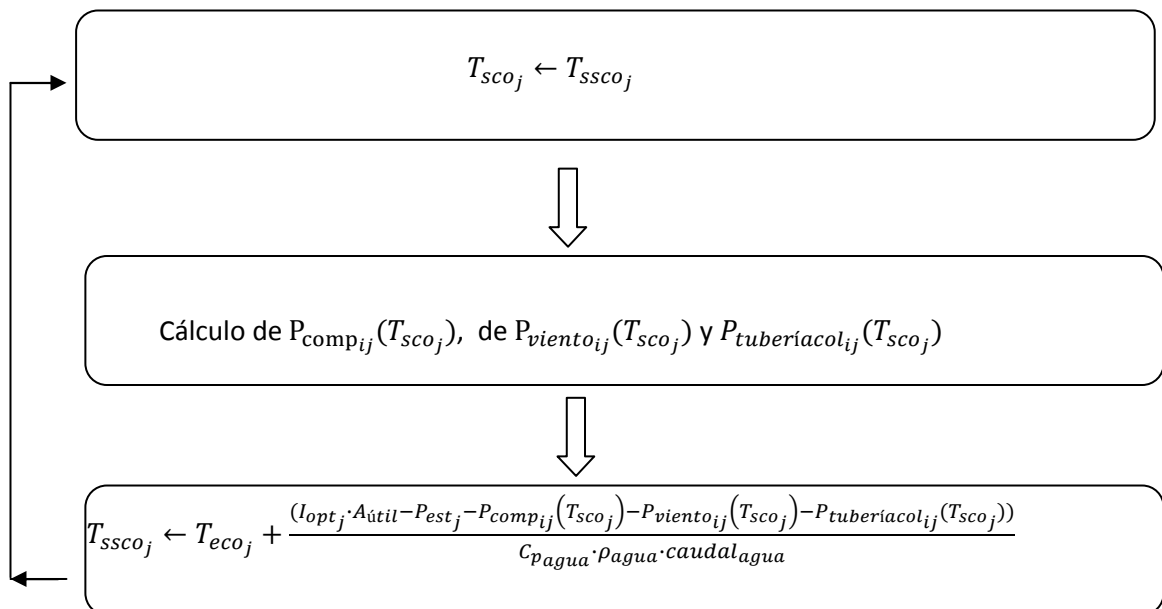
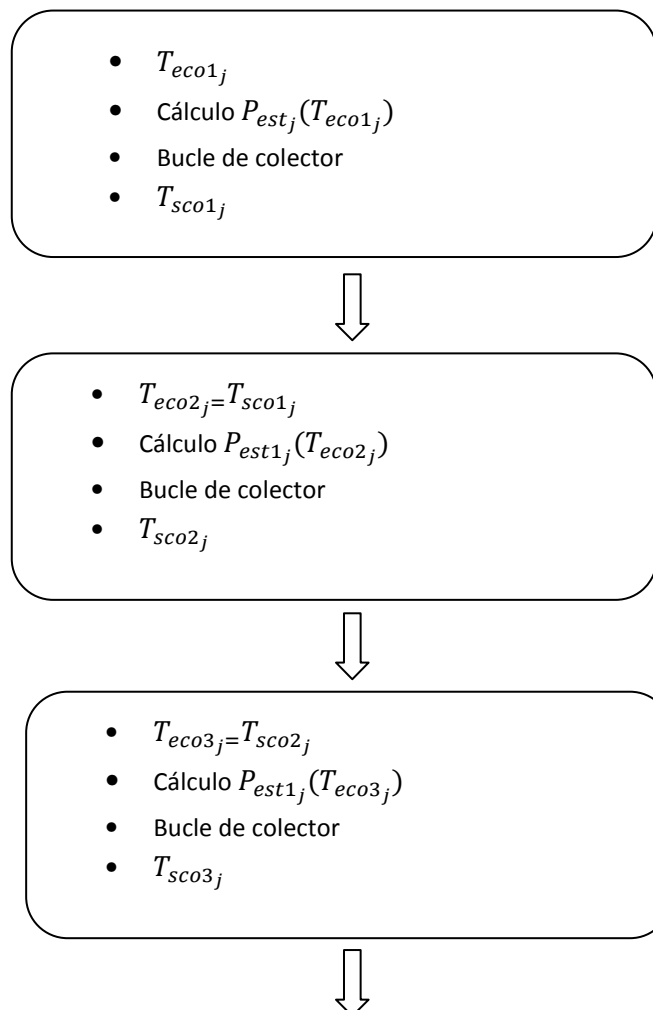


Figura 7.2 Bucle de cálculo de la temperatura de salida en el colector

3. El bucle finaliza cuando $T_{sco_j} = T_{ssco_j}$

El número de colectores en serie lo calculo imponiendo la siguiente condición: Alrededor del 30% de las horas de Sol en un año, la temperatura del agua a la salida del colector debe estar a una temperatura superior a los 80°C para obtener un aporte solar en la pasteurización razonable. De esta imposición se resuelve que es necesario el empleo de ocho colectores en serie. La colocación en serie implica que el agua que sale de un colector es introducida en el siguiente, por lo que se va aumentando la temperatura a la entrada del siguiente colector y por ende la de salida. Las pérdidas estándar se calculan nuevamente para cada colector en serie, ya que dependen de la temperatura de entrada del agua en el colector.



(.....)



- $T_{eco8_j} = T_{sco7_j}$
- Cálculo $P_{est1_j}(T_{eco8_j})$
- Bucle de colector
- T_{sco8_j}

Figura 7.3 Esquema del cálculo de la temperatura de salida del agua en una fila de colectores

Una vez conocido el número de colectores conectados en serie (8 colectores), las 8 horas de trabajo diarias del circuito primario y el caudal diario de leche que se quiere pasteurizar (2500 litros), se puede calcular el número de filas de colectores conectados en paralelo y el caudal de agua diario necesario para pasteurizar. Teniendo en cuenta lo expresado, el caudal de agua diario es de 3209 litros, esto se traduce en 4 filas de colectores conectados en paralelo, donde por cada ramal discurre un caudal de 100,28 litros/hora (46 litros/ (hora. $A_{útil}$)).

3.2 Modelo del circuito primario

El circuito primario consta de un circuito de tuberías que conecta el campo de colectores con los tanques de almacenamiento, y enlaza con el circuito secundario a través del intercambiador. Vamos a calcular las pérdidas de inercia térmica en sus distintos componentes.

3.2.1 Tubería

La tubería de cobre del circuito primario se encuentra a la intemperie, para disminuir la pérdida de calor del agua, se recubre con el material aislante caucho sintético.

Las pérdidas de calor en la tubería son causadas por transferencia de calor al ambiente y por la inercia térmica en sus materiales.

Para ser más estrictos en el cálculo de estas pérdidas, se ha dividido el circuito de tuberías en función de su temperatura: entrada, unión entre colectores y salida, ver figura 7.6.

La temperatura del agua en las tuberías que unen el tanque de almacenamiento (3) con el campo de colectores es principalmente la temperatura a la salida del tanque de almacenamiento, se calcularán sus pérdidas para conocer la temperatura a la entrada de los colectores, se han denominado pérdidas en la tubería de entrada.

Las tuberías en las que se ramifica la tubería de entrada, y que conectan uno por uno cada colector hasta la tubería de salida, son las que se han llamado tubería de unión entre colectores, cuyas pérdidas se han introducido en el bucle de cálculo de temperatura de salida del colector.

Por último la tubería de salida, es aquella que une la salida de los colectores con el tanque de almacenamiento (2), se le supondrá inicialmente una temperatura igual a la de salida de colectores, hasta introducir las pérdidas en su tubería y recalcular su valor.

Para el cálculo de la longitud de la tubería de entrada y de salida, se ha tenido en cuenta la separación entre filas de colectores pensada para minimizar la sombra producida sobre una fila por la que le precede.

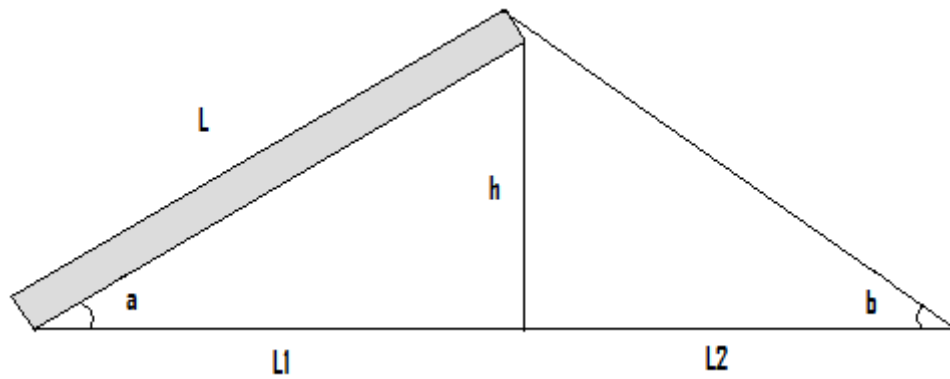


Figura 7.4 Separación entre filas de colectores

Siendo “a” la inclinación del captador 13.05°, “L” la longitud del colector 2,19m, “h” la altura y “b” es 53,5° la altura solar mínima producida a las 12 horas.

La altura solar para un plano inclinado se calcula del siguiente modo:

$$\alpha_{s_j} = \pi/2 - \arccos(\cos(\phi) \cdot \cos(\delta_j) \cdot \cos(\omega_j) + \sin(\phi) \cdot \sin(\delta_j))$$

Dónde “ ϕ ” es la latitud, “ δ_j ” la declinación y “ ω_j ” el ángulo horario.

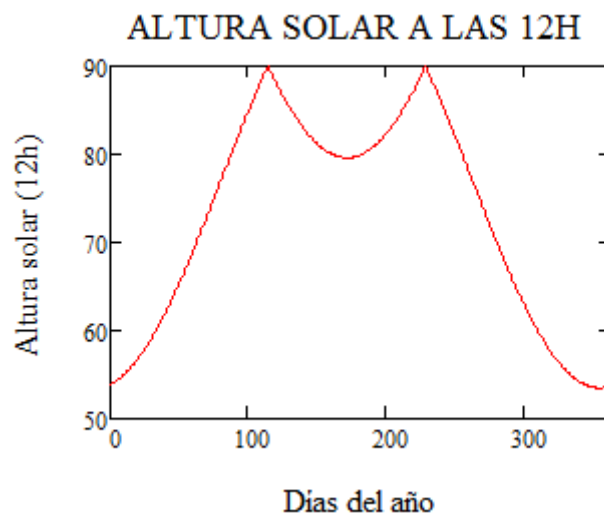


Figura 7.5 Altura solar a las 12h

Como se explicó en el capítulo anterior, hay ciertos meses que el Sol supera el cenit de la localización y en las horas centrales del día se sitúa en el Norte, es por esto que en la gráfica de la figura 7.5 vemos que después del pico decrece la función para luego crecer hasta alcanzar de nuevo su valor máximo.

Podemos calcular “L1” y “L2” por medio de relaciones trigonométricas simples.

$$L1 = L \cdot \cos(a)$$

$$L2 = \frac{h}{\tan(b)} = \frac{L \cdot \sin(a)}{\tan(b)}$$

Siendo “L1” 2,13m y “L2” 0,37m, con lo que la separación entre filas de colectores debe ser de 2,5m.

Atendiendo al esquema la longitud de la tubería de entrada se estima como la distancia entre filas por 3 para las 4 filas, más la mitad de esta distancia, más la longitud de una fila de colectores, más 1,5 metros de tubería. Un total de 23 metros de tubería de entrada.

La tubería de salida será la distancia entre filas por los 3, más 2,5metros, con lo que el total es de 10 metros.

Se ha decidido así la conexión para minimizar las pérdidas de calor a la salida de los colectores.

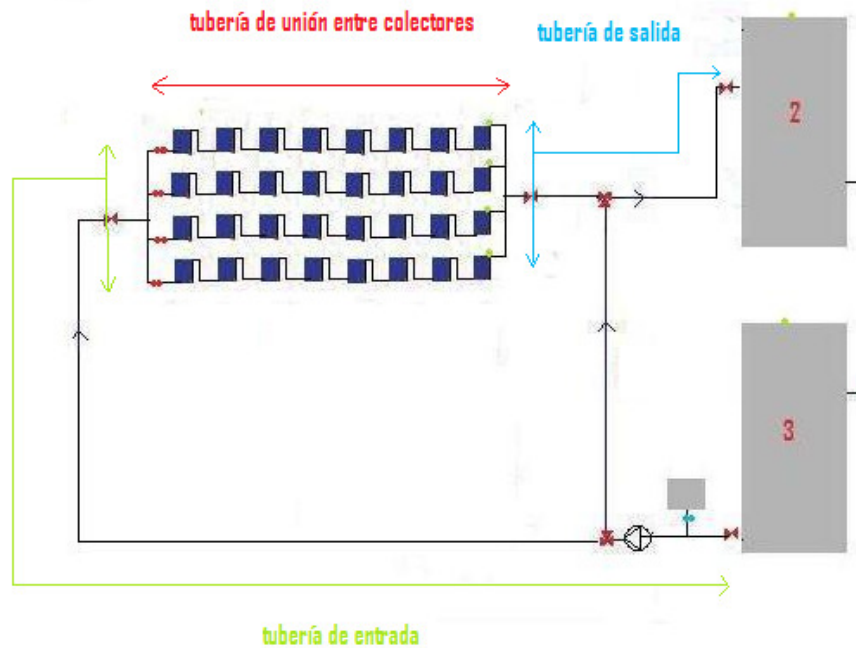


Figura 7.6 Esquema de las tuberías en el circuito primario

El diámetro de las tuberías se han calculado teniendo en cuenta los pliegos de condiciones técnicas, por los cuales el diámetro se obtiene de la imposición: “la velocidad del fluido en la tubería debe ser menor de 1,5metros/segundo y mayor que 0,2metros/segundo, la pérdida de carga menor de 40mm.c.a/metro de tubería longitudinal”. Se quiere una velocidad menor de 1,5m/s para que la instalación no produzca ruido en exceso, una velocidad mayor de 0,2m/s para evitar problemas de sedimentación y por otro lado la imposición de los 40mmca/m es para equilibrar el costo de tubería y bomba de agua.

La longitud y diámetro interno de los distintos tramos de tubería quedan del siguiente modo:

Tabla 7.2 Dimensiones de las tuberías en el circuito primario

Tramos	$L_i(m)$	$D_{int}(mm)$
Entrada	23	17
Colectores	1,5/colector	20
Salida	10	17

Se han determinado las pérdidas por transferencia de calor, calculando primeramente las resistencias térmicas de los componentes para los distintos tramos de tuberías:

Tabla 7.3 Resistencias térmicas de las tuberías del circuito primario

Materiales	k(W/m.K)	e(mm)	R_{col}(K/W)	R_e(K/W)	R_s(K/W)
Cobre	401	1,5	$3,698 \cdot 10^{-5}$	$2,804 \cdot 10^{-6}$	$6,45 \cdot 10^{-6}$
Aislante	0,04	20	2,673	0,19	0,437

Entendiendo “k” como el coeficiente de conducción del material, “e” el espesor y “R” la resistencia térmica para cada tramo de tubería. La resistencia del material se calcula con la siguiente fórmula, dónde “i” es el material que estamos analizando.

$$R_i = \frac{\ln \cdot \left(\frac{D_i + 2 \cdot e_i}{D_i} \right)}{2 \cdot \pi \cdot k_i \cdot L_i}$$

La resistencia térmica entre el agua y la tubería de cobre se calcula del siguiente modo:

$$R_{int} = \frac{1}{h_{agua} \cdot [\pi \cdot L_{Cu} \cdot (D_{Cu} + 2 \cdot e_{Cu})]}$$

Los parámetros dimensionales de la ecuación corresponden a los de la tubería de cobre. Para el cálculo del coeficiente convectivo se ha usado la fórmula correspondiente a flujo interno completamente desarrollado en conductos de sección circular régimen turbulento.

Tabla 7.4 Propiedades termodinámicas del agua en las tuberías del circuito
primario

Fluido	ρ (kg/m ³)	μ (N.s/m ²)	v (m/s)	k (W/m.K)	Nu	Re	Pr	f
Agua _{col}	1024	$389 \cdot 10^{-6}$	0,089	0,668	21,701	4668	2,45	0,032
Agua _e	1021	$420 \cdot 10^{-6}$	0,49	0,660	109,18	20290	2,66	0,029
Agua _s	1027	$365 \cdot 10^{-6}$	0,49	0,668	115,9	23480	2,29	0,028

La velocidad del fluido la hemos calculado dividiendo el caudal “q” (m³/s) que circula por los colectores, entre el área transversal de la tubería:

$$v = \frac{q \cdot 4}{\pi \cdot D_{Cu}}$$

El cálculo del coeficiente de flujo convectivo de calor implica conocer si el flujo es laminar o turbulento, para ello calculamos el número de Reynolds:

$$Re_D = \frac{\rho \cdot v \cdot D_{Cu}}{\mu}$$

El número de Nusselt se ha calculado según la correlación de Gnielinski ya que se cumplen todas las condiciones de aplicación.

$$Nu_D = \frac{(f/8) \cdot (Re_D - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot (f/8)^{1/2} \cdot (Pr^{2/3} - 1)}$$

El factor de fricción “f” se ha sacado del diagrama de Moody como función del número de Reynolds y el coeficiente de rugosidad relativa (ϵ/D_{Cu}) donde la rugosidad (ϵ) del cobre es de 0,002mm.

El coeficiente convectivo lo calculamos despejando el número de Nusselt de agua, su coeficiente de conducción y el diámetro de la tubería interna de esta manera:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D_{Cu}}$$

Introduciendo todos los valores calculados en la ecuación de la resistencia térmica interna:

Tabla 7.5 Resistencia térmica interna en las tuberías del circuito primario

Tramos	h(W/m ² K)	R _{int} (K/W)
Entrada	4239	1,6.10 ⁻⁴
Colectores	724,8	0,013
Salida	4556	3,5.10 ⁻⁴

Entre el viento y el aislante se produce una resistencia térmica convectiva, el cálculo del coeficiente de convección se ha simplificado asumiendo que la tubería es un cilindro en flujo cruzado.

En este caso la convección libre se desprecia frente a la forzada ya que $Gr/Re^2 \ll 1$. Dónde "Gr" es el número de Grashof, proporcional al cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas que actúan en un fluido.

$$Gr_D = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot D^3}{\nu^2}$$

Correspondiendo "g" a la aceleración de la gravedad, "β" al coeficiente de expansión del aire, "T_s" la temperatura de la pared, "T_∞" la temperatura del ambiente, "D" la longitud característica y "ν" la velocidad del aire.

Tabla 7.6 Propiedades termodinámicas del aire

Fluido	ρ (kg/m ³)	μ (N.s/m ²)	k (W/m.K)	Pr
Aire	1,1614	$184,6 \cdot 10^{-7}$	$26,3 \cdot 10^{-3}$	0,707

Correspondiendo “ ρ ” a la densidad del aire, “ μ ” a su viscosidad dinámica, “k” a la conductividad térmica y “Pr” al número de Prandtl para una temperatura ambiente media diaria.

El número de Reynolds se computa del mismo modo que para el agua con la diferencia de que ahora los parámetros corresponden al aire, la velocidad del aire es la del viento y el diámetro es el del aislante. Como la velocidad del aire varía con el tiempo, calcularemos el número de Reynolds instantáneo:

$$Re_{D_j} = \frac{\rho_{air} \cdot v_{viento_j} \cdot D_{ais}}{\mu_{air}}$$

El coeficiente de convección es:

$$h_{air_j} = \frac{k_{air} \cdot C_j \cdot Re_{D_j}^{M_j} \cdot Pr_{air}^{1/3}}{D_{ais} + 2 \cdot e_{ais}}$$

Dónde “C” y “M” son parámetros cuyos valores dependen del número de Reynolds y están tabulados:

$$C_j := \begin{cases} 0.989 & \text{if } 0.4 < Re_{viento_j} < 4 \\ 0.911 & \text{if } 4 < Re_{viento_j} < 40 \\ 0.683 & \text{if } 40 < Re_{viento_j} < 4000 \\ 0.193 & \text{if } 4000 < Re_{viento_j} < 40000 \\ 0.027 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_j := \begin{cases} 0.330 & \text{if } 0.4 < Re_{viento_j} < 4 \\ 0.385 & \text{if } 4 < Re_{viento_j} < 40 \\ 0.466 & \text{if } 40 < Re_{viento_j} < 4000 \\ 0.618 & \text{if } 4000 < Re_{viento_j} < 40000 \\ 0.805 & \text{otherwise} \end{cases}$$

El valor de la resistencia térmica del exterior viene dado por:

$$R_{ext_j} = \frac{1}{h_{air_j} \cdot [\pi \cdot L_{ais} \cdot (D_{ais} + 2 \cdot e_{ais})]}$$

Sumando todas las resistencias térmicas:

$$R_{TOTAL_j} = R_{int} + R_{cu} + R_{aisl} + R_{ext_j}$$

Podemos hallar el valor de las pérdidas en las tuberías del siguiente modo:

$$T_{agua_{colj}} = \frac{T_{eco_j} + T_{sco_j}}{2}$$

$$T_{agua_{ej}} = T_{eco_j}$$

$$T_{agua_{sj}} = T_{sco8_j}$$

$$P_{tubería_{ij}} = \frac{T_{agua_j} - T_{a_j}}{R_{TOTAL_j}}$$

La temperatura del agua para el cálculo del calor transferido en cada tramo, se ha estimado como la media entre la temperatura a la entrada y a la salida en el colector para el tramo de tubería correspondiente con el campo de colectores ($T_{agua_{colj}}$), y se ha igualado a la temperatura de entrada de los colectores en la tubería de entrada ($T_{agua_{ej}}$) y a la temperatura de salida del último colector en serie a la de la tubería de salida ($T_{agua_{sj}}$).

En la determinación de las pérdidas por inercia térmica en el aislante térmico y en la tubería de cobre, para el cálculo de la temperatura en la pared de contacto entre el cobre y el aislante (T_{med_j}), se ha igualado la potencia térmica de cada material con la potencia térmica entre el agua y el ambiente, pudiéndose despejar así la temperatura deseada.

$$\frac{T_{agua_j} - T_{a_j}}{R_{TOTAL_j}} = \frac{T_{agua_j} - T_{med_j}}{R_{cu_j}} = \frac{T_{med_j} - T_{a_j}}{R_{aisl_j}}$$

Las pérdidas inercia térmica en el aislante térmico y la tubería de cobre, se calculan de la siguiente manera para cada tramo:

$$P_{comp_{ij}} = \frac{\pi}{4} (D_{ext_i}^2 - D_{int_i}^2) \cdot L_i \cdot \rho_i \cdot Cp_i \cdot (T_{ij} - T_{ij-1})$$

Dónde " T_{ij} " es la temperatura media entre la temperatura del agua (T_{agua_j}) y la temperatura de la pared de contacto (T_{med_j}) para el cobre, y para el aislante la media entre la temperatura de la pared de contacto y la temperatura exterior (T_{a_j}).

Se va a calcular la nueva temperatura a la entrada y salida de los colectores teniendo en cuenta las pérdidas de calor globales de la siguiente manera:

$$T_{scotub_j} = T_{sco8_j} - \frac{P_{tubería_{ij}} 1hr + \sum_i P_{comp_{ij}}}{R_{TOTAL} \cdot C_{p_{agua}} \cdot 4 \cdot \rho_{agua} \cdot q_{agua} \cdot 1hr}$$

$$T_{tecotub_j} = T_{teco_j} - \frac{P_{tubería_{ij}} 1hr + \sum_i P_{comp_{ij}}}{R_{TOTAL} \cdot C_{p_{agua}} \cdot 4 \cdot \rho_{agua} \cdot q_{agua} \cdot 1hr}$$

Dónde " T_{sco8j} " es la temperatura de salida del último colector en serie y " T_{tecoj} " es la temperatura de salida del tanque de almacenamiento (3) mostrado en la figura 7.3.

3.2.2 Tanque previo al intercambiador (2)

El tanque almacena el agua que sale de los colectores y lo mantiene caliente hasta el momento de la pasteurización.

Como la radiación solar varía con el tiempo, la temperatura del agua entrante en el tanque también cambiará con el tiempo. La unidad mínima de tiempo de los datos de partida es la hora, es por ello que se ha calculado la temperatura en el interior del tanque en función del caudal y su temperatura a cada hora.

La temperatura interior del tanque ($T_{intanq_{j+1}}$) es la media ponderada entre la temperatura a la entrada del tanque ($T_{scotub_{j+1}}$), que es la temperatura a la salida del último colector en serie teniendo en cuenta las pérdidas en las tuberías de salida, y la que ya está en el interior (T_{intanq_j}). La cantidad de agua que entra es siempre la misma 401,1 litros/hora (4 filas por q_{agua} de una fila). Como la cantidad de agua en el interior varía con el tiempo, habrá que multiplicar el caudal a la entrada por un número entero que aumenta a cada hora, el factor de proporcionalidad "n".

La ecuación queda de este modo:

$$T_{intanq_{j+1}} = \frac{T_{intanq_j} \cdot n + T_{sco8_{j+1}}}{n + 1}$$

Una vez calculada la temperatura en el tanque, se calculan las pérdidas de inercia térmica de los componentes y por transmisión al ambiente, en las horas en las que está entrando fluido al tanque. La explicación del cálculo de estas pérdidas se verá más adelante en el

tanque (3), pues al tratarse del mismo tanque, las fórmulas son iguales.

El Sol se pone y los colectores dejan de funcionar, el agua es almacenada en el tanque y encerrada durante toda la noche hasta las 7 de la mañana, la hora de pasteurizar. Durante este tiempo (de las 16h hasta las 7h del día siguiente) se producen pérdidas de calor al ambiente principalmente. Teniendo en cuenta las características del tanque elegido, se calculan dichas pérdidas.

El tanque está compuesto por una pared doble de acero inoxidable separada por un material aislante, tiene una capacidad de 4000 litros y está situado en el interior de un edificio. Se ha elegido el depósito de almacenamiento de Master Inox de la serie MVX de Lapesa, ver Anexo.

Tabla 7.7 Dimensiones y propiedades termodinámicas del tanque

Material	Dint (m)	Dext (m)	H (m)	k (W/m.K)	R(K/W)
Acero inoxidable 1	1,83	1,84	1,52	15,1	$7,761 \cdot 10^{-6}$
Poliuretano	1,84	1,90	2,29	0,021	0,215
Acero inoxidable 2	1,90	1,91	2,31	15,1	$4,78 \cdot 10^{-6}$

Siendo “Dint” el diámetro interior del material que compone el tanque, “Dext” su diámetro exterior, “H” su altura, “k” su coeficiente de conductividad térmica y “R” su resistencia térmica.

Las resistencias térmicas de cada uno de los componentes se han calculado con la ecuación del cilindro:

$$R_i = \frac{\ln \cdot \left(\frac{D_{ext}}{D_{int}} \right)}{2 \cdot \pi \cdot k_i \cdot H_i}$$

Al localizarse el tanque en el interior de un edificio, la resistencia térmica exterior con el ambiente se ha sacado del Código Técnico de Edificación:

Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor	R_{ce}	R_{ci}
Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal	0,13	0,13
Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente	0,10	0,10
Particiones interiores horizontales y flujo descendente	0,17	0,17

Figura 7.7 Resistencias térmicas para un edificio

Se han calculado las resistencias térmicas del techo, suelo y pared:

$$R_{TOTAL} = \frac{1}{\frac{1}{R_{lateral}} + \frac{1}{R_{techo}} + \frac{1}{R_{suelo}}}$$

Cada resistencia se compone de:

$$R_{il} = R_{ext_i} + R_{acer1_i} + R_{ais_i} + R_{acer2_i}$$

Siendo esta vez "i" las distintas paredes: lateral, techo y suelo.

Podemos calcular la temperatura en el tanque antes de la pasteurización:

$$T_{tanq_{j+1}} = T_{tanq_j} - \frac{(T_{tanq_j} - T_{in_{j+1}}) \cdot 1hr}{R_{TOTAL} \cdot C_{p_{agua}} \cdot m_{TOTAL_{agua}}}$$

La temperatura en el interior del tanque será su temperatura en el instante anterior (T_{tanq_j}) menos la diferencia de temperaturas entre

la temperatura en el interior de la planta ese instante (T_{inj+1}) y el interior del tanque el instante anterior (T_{tanqj}) por el tiempo ($1hr$), entre la resistencia de los materiales del tanque (R_{TOTAL}), el calor específico del agua ($C_{p_{agua}}$) y la masa total de agua ($m_{TOTAL_{agua}}$) que está en el interior. La temperatura en el edificio (T_{in}) se ha supuesto de 25°C.

3.2.3 Intercambiador

El intercambiador de calor se diferencia en tres secciones: calentamiento (4), regeneración (5) y enfriamiento (6).

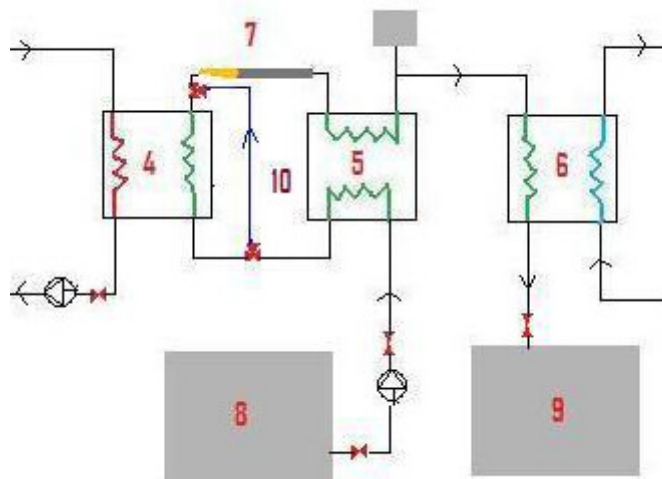


Figura 7.8 Esquema del intercambiador de calor

Se ha decidido el empleo de la sección regenerativa (5) entre la leche antes de la pasteurización y la leche caliente ya pasteurizada, porque supone un ahorro de energía diario tanto en el enfriamiento como en el calentamiento del producto.

El método de cálculo térmico empleado para la simulación del intercambiador de calor de placas es el método de la efectividad y el número de unidades de transmisión (ϵ -NTU).

El intercambiador de calor elegido es el modelo Clip3 de Alfa Laval por sus dimensiones adecuadas y por emplearse habitualmente en la industria alimentaria, concretamente en la pasteurización de leche. Para más especificaciones consultar Anexo.

El intercambiador se ha modelizado del siguiente modo:

La temperatura del agua a la entrada de la sección de calentamiento es conocida, es la temperatura del agua en el interior del tanque. Sin embargo, inicialmente para dimensionar el intercambiador se ha simplificado el cálculo matemático tomando la temperatura anual del agua a la entrada del intercambiador (T_{ea}) de 82°C, pudiendo garantizar así la temperatura de pasteurización mínima de la leche a 72°C.

La temperatura de la leche a la entrada de la sección de calentamiento (T_{el}) corresponde con la temperatura de salida de la leche precalentada (T_{slf}) en el intercambiador leche-leche.

La temperatura de la leche a la salida del intercambiador leche-agua (T_{sl}), leche pasteurizada, corresponde a la temperatura de la leche caliente a la entrada (T_{elc}) del intercambiador leche-leche.

En la sección regenerativa (5) la temperatura de la leche fría a la entrada (T_{elf}) es 38°C, que corresponde a la temperatura de la leche a la salida de la ubre. Se prescindirá del preenfriamiento previo a la pasteurización, ya que pasarán escasas dos horas entre el ordeño y la pasteurización, cumpliéndose con el “Reglamento para la producción y expendio de leche” nicaragüense, que obliga a que: *“Toda leche que tarde más de dos horas del ordeño a la entrega, deberá ser enfriada a una temperatura de 50 F (10°C) o menos”*.

Inicialmente en ambas secciones del intercambiador se calculará el número de unidades de transmisión (ϵ -NTU) que denominaremos “n”, necesario para lograr una efectividad de intercambio del 80%.

Así mismo se hará un bucle donde se variará la temperatura de la leche caliente a la entrada de la sección de regeneración (T_{elc}), y se

hallará la temperatura de la leche precalentada (T_{slf}) que se sustituirá por la de la leche a la entrada (T_{el}) de la sección de calentamiento (4), calculando la temperatura de pasteurización (T_{sl}) e introduciéndola en la temperatura de la leche caliente (T_{elc}) de nuevo a la entrada del intercambiador leche-leche (5).

Siempre se tendrá cuidado de que la temperatura del agua a la salida del intercambiador (T_{sa}) favorezca el porcentaje de días en el que la temperatura a la entrada del intercambiador (T_{ea}) esté por encima de 82°C, esto es, que T_{sa} no sea muy elevada pues esta temperatura del agua corresponde aproximadamente a la de la entrada en los colectores (T_{eco}).

El siguiente esquema recoge lo anteriormente explicado:

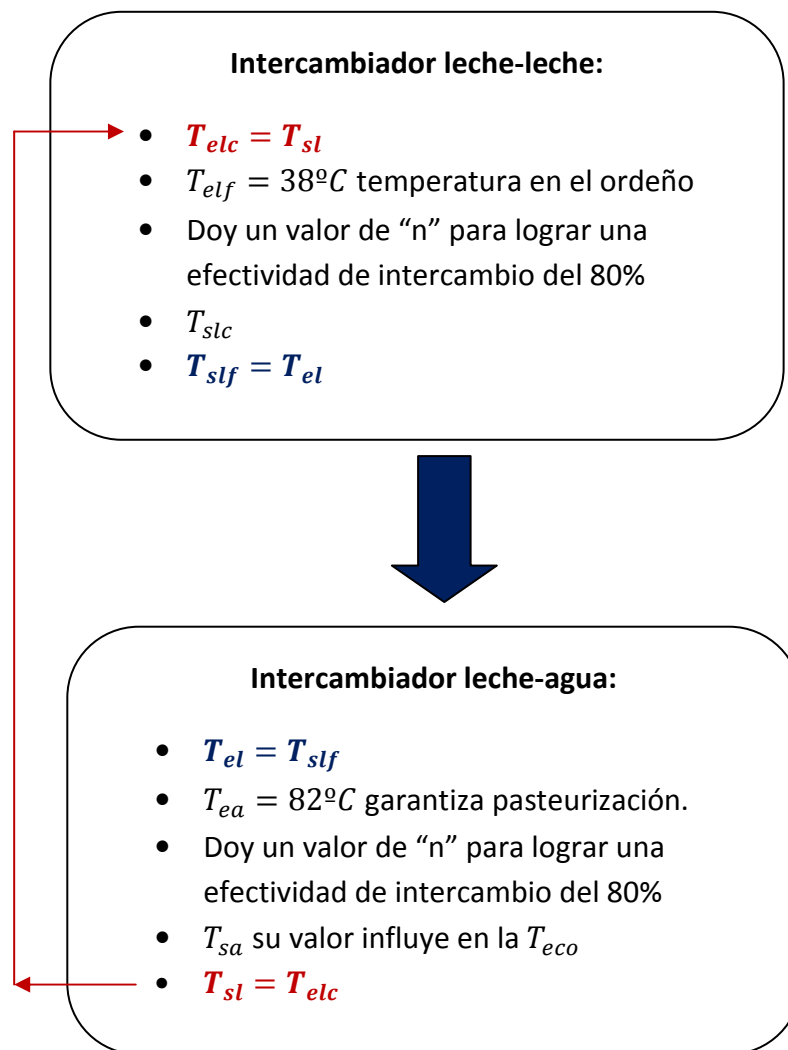


Figura 7.9 Bucle de cálculo de la temperatura de la leche a la salida del intercambiador

Obteniendo como resultado una temperatura de la leche precalentada (T_{slf}) de $71,5^{\circ}\text{C}$ que pasa a una temperatura calentada en el intercambiador leche-agua (T_{sl}) de $79,9^{\circ}\text{C}$.

La temperatura de agua a la entrada del intercambiador de calentamiento (T_{ea}) de 82°C a la salida es (T_{sa}) de 76°C .

La leche que entra pasteurizada (T_{sl}) a $79,9^{\circ}\text{C}$ sale de la sección regenerativa preefriada a (T_{slc}) $46,4^{\circ}\text{C}$.

La leche que entra a la temperatura de ordeño (T_{elf}) de 38°C alcanza la temperatura de precalentamiento (T_{slf}) de $71,5^{\circ}\text{C}$, como se acaba de exponer.

El número de unidades de transmisión de la sección regenerativa es 51 y el número de unidades de la sección de calentamiento es 33.

3.2.3.1 Sección de calentamiento

A continuación se expondrá el método de la efectividad y el número de unidades de transmisión (ϵ -NTU):

1. Se da el valor al número de placas " n " correspondiente a una efectividad del 80%
2. Se calcula el coeficiente global de transferencia de calor del intercambiador " U " ($W/K.m^2$):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{agua}} + \frac{1}{h_{leche}} + R_{cl} + R_{placa} + R_{ca}}$$

Dónde " h_{agua} " y " h_{leche} " son los coeficientes de transferencia de calor por convección del agua y la leche respectivamente, " R_{placa} " es la resistencia térmica de la placa, y las resistencias térmica originadas por los contaminantes de los fluidos que se depositan en las dos superficies de las placas son " R_{cl} " y " R_{ca} ".

Tabla 7.8 Resistencias térmicas en el intercambiador de calor

$R_{placa} (m^2.K/W)$	$R_{cl} (m^2.K/W)$	$R_{ca} (m^2.K/W)$
$e_{placa}/k_{acero}=3,311.10^{-5}$	$8,625.10^{-5}$	$3. 10^{-5}$

Los intercambiadores de placas se caracterizan por poseer unas corrugaciones que provocan turbulencias en el fluido mejorando la transferencia de calor. En régimen turbulento una correlación que puede utilizarse para el cálculo del número de Nusselt es:

$$Nu = 0,4. Pr^{0,4}. Re^{0,64}$$

En función del número de Nusselt, que depende del número de Prandtl (Pr) y de Reynolds (Re), podemos obtener el coeficiente de convección de ambos fluidos:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{lc}$$

Siendo “ k ” la conductividad del fluido y “ lc ” la longitud característica.

La longitud característica del canal es:

$$lc = \frac{4 \cdot S_c}{P_c} = \frac{4 \cdot b \cdot W}{2 \cdot (b + W)}$$

Dónde “ S_c ” es la sección transversal del canal, “ P_c ” el perímetro de la sección del canal, “ b ” el ancho del canal de 72 mm y “ W ” el ancho de la placa de 0,5 mm.

Los números de Prandtl y Reynolds para cada fluido se calculan del siguiente modo:

$$Pr = \frac{\mu \cdot Cp}{k}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot lc}{\mu} = \frac{lc \cdot \rho \cdot q \cdot 2}{\mu \cdot \rho \cdot Sc \cdot (n + 1)}$$

Siendo “ q ” el caudal y $(n+1)/2$ el número de canales por los que circula el fluido.

Sustituyendo los siguientes datos, se calculan los coeficientes de convección térmica de ambos fluidos. Para aquellos parámetros de la leche de los que no se dispone de valores experimentales, se han tomado como aproximación los valores correspondientes al agua.

Tabla 7.9 Propiedades termodinámicas de los fluidos en el intercambiador

Fluido	ρ (kg/m ³)	μ (N.s/m ²)	k (W/m.K)	Cp (J/kg.K)	q (kg/h)
Agua	1027	365.10 ⁻⁶	0,668	4195	3209
Leche	1034	365.10 ⁻⁶	0,668	3790	2500

3. Se calcula el parámetro adimensional NTU (número de unidades de transmisión) que se define como:

$$NTU = \frac{U \cdot A_{\text{útil}} \cdot (n - 1)}{(q \cdot Cp)_{\text{mín}}}$$

El valor de “ $(q \cdot Cp)_{\text{mín}}$ ” corresponde a la leche y “ $A_{\text{útil}}$ ” es el área útil del canal: su ancho 0,072m por su alto 0,570m.

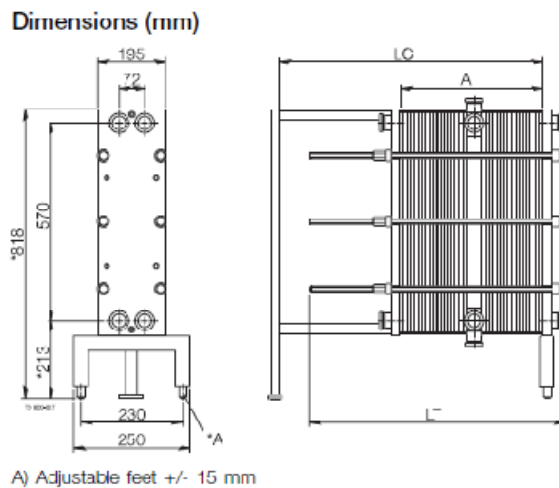


Figura 7.10 Dimensiones del intercambiador de calor

4. Se obtiene la relación de capacidades térmicas (C_R) y la efectividad del intercambiador de calor (ϵ):

$$C_R = \frac{C_{\text{mín}}}{C_{\text{máx}}} = \frac{C_{\text{leche}}}{C_{\text{agua}}} \quad \text{siendo } C = q \cdot Cp$$

$$\varepsilon = \frac{1 - e^{-NTU \cdot (1 - C_R)}}{1 - C_R \cdot e^{-NTU \cdot (1 - C_R)}}$$

5. Se halla la transferencia de calor máxima en función de la diferencia de temperaturas entre fluidos caliente (T_{ce}) y frío (T_{fe}) a la entrada del intercambiador:

$$Q_{m\acute{a}x} = C_{m\acute{i}n} \cdot (T_{ce} - T_{fe}) = C_{leche} \cdot (T_{ea} - T_{el})$$

6. Se resuelve la temperatura de ambos fluidos a la salida del intercambiador, del siguiente modo:

$$T_{sa} = T_{ea} - \frac{\varepsilon \cdot Q_{m\acute{a}x}}{C_{agua}}$$

$$T_{sl} = T_{el} + \frac{\varepsilon \cdot Q_{m\acute{a}x}}{C_{leche}}$$

3.2.3.2 Sección regenerativa

El modelo matemático de esta sección es igual que la anterior con la salvedad de haber utilizado para el cálculo de la relación de capacidades térmicas (C_R) los calores específicos a presión constante (C_p) del agua a distinta temperatura, ya que no se han encontrado tablas con los del valor de la leche y el porcentaje de agua en la leche es muy elevado, del 88%.

$$C_R = \frac{C_{m\acute{i}n}}{C_{m\acute{a}x}} = \frac{C_{lcaliente}}{C_{lfr\acute{i}a}}$$

Las temperaturas de la leche a la salida del intercambiador son:

$$T_{slc} = T_{elc} - \frac{\varepsilon \cdot Q_{m\acute{a}x}}{C_{leche}}$$

$$T_{slf} = T_{elf} + \frac{\varepsilon \cdot Q_{m\acute{a}x}}{C_{leche}}$$

3.2.4 Tanque posterior al intercambiador (3)

El agua empleada en calentar la leche en el intercambiador, finalizado el intercambio será almacenada en el tanque (3). Posteriormente irá abandonando el tanque progresivamente para ser calentada en los colectores durante sus 8 horas de funcionamiento.

Para el cálculo de la temperatura del agua a la entrada de los colectores, se ha tenido en cuenta la pérdida de calor de agua en el interior por inercia térmica de los componentes, por transmisión de calor al ambiente y el volumen de agua saliente del tanque cada hora.

La resistencia térmica total calculada para el tanque de almacenamiento a la entrada del intercambiador de calor, es la misma que para este tanque pues se trata del mismo modelo de tanque.

Para la determinación de temperaturas necesarias para el cálculo de las pérdidas por inercia térmica en las paredes de aislante térmico, de acero inoxidable interior y exterior, se ha igualado la potencia térmica de cada material con la potencia térmica entre el agua y el interior del local, pudiéndose despejar así las temperaturas deseadas. Dónde “i” corresponde a las distintas paredes: suelo, lateral y techo.

$$\frac{T_{agua_j} - T_{inj}}{R_{ij}} = \frac{T_{agua_j} - T_{med1_j}}{R_{cu_{ij}}} = \frac{T_{med1_j} - T_{med2_j}}{R_{aisl_{ij}}} = \frac{T_{med2_j} - T_{inj}}{R_{cu_{ij}}}$$

Las pérdidas por inercia térmica para cada componente que conforma la pared "l" de cada pared "i" durante la unidad de tiempo (1hr), se calculan de la siguiente manera:

$$P_{comp_{il_j}} = \frac{\pi}{4 \cdot 1hr} (D_{ext_{il}}^2 - D_{int_{il}}^2) \cdot e_{il} \cdot \rho_{il} \cdot C_{p_{il}} \cdot (T_{il_j} - T_{il_{j-1}})$$

Dónde " T_{il_j} " es la temperatura media entre la temperatura de la pared interna y externa del componente en cuestión.

La temperatura ($T_{teco_{j+1}}$) se ha calculado del siguiente modo:

$$T_{teco_{j+1}} = T_{teco_j} - \frac{(T_{teco_j} - T_{inj}) \cdot 1hr / R_{TOTAL} + \sum_i \sum_l P_{comp_{il_j}}}{C_{p_{agua}} \cdot 1hr \cdot (m_{TOTAL_{agua}} - n \cdot 4 \cdot \rho_{agua} \cdot q_{agua})}$$

Siendo la temperatura del agua dentro del tanque en el instante anterior " T_{teco_j} ", la resistencia térmica del tanque " R_{TOTAL} ", la suma de pérdidas por componente para cada pared " $\sum_i \sum_l P_{comp_{il_j}}$ ", la masa inicial de agua en el tanque " $m_{TOTAL_{agua}}$ ", el caudal de agua que sale del tanque cada hora " q_{agua} ", el porcentaje de caudal que ha salido del tanque " n " y el número de filas en paralelo de colectores "4".

3.3 Modelo integrador de los colectores y del circuito primario

El modelo integra los colectores y el circuito primario a través de la temperatura del agua en los distintos estadios. Y es que las temperaturas del circuito primario dependerán de las de los colectores y viceversa.

Por ello, una vez dimensionado el intercambiador (conocido su número de placas), se volverá a calcular de nuevo las temperaturas de pasteurización (T_{sl}), de enfriamiento (T_{slc}), de precalentamiento (T_{el}) y la temperatura de agua a la salida del intercambiador (T_{sa}), esta vez teniendo en cuenta la temperatura diaria del agua en el interior del tanque (T_{tanq}).

Primero se igualará la temperatura del agua introducida en el intercambiador (T_{ea}) al valor diario de la temperatura en el tanque antes de la pasteurización (T_{tanq}). A continuación se hallará la temperatura diaria del agua (T_{sa}) y la leche (T_{sl}) a las salida de la sección de calentamiento.

Entonces se introducirá el resultado de la temperatura de la leche calentada (T_{elc}) en la sección de regeneración, imponiendo que para temperaturas de " T_{sl} " inferiores a 72°C la " T_{elc} " sea 72°C, ya que antes de introducir la leche en la sección de calentamiento, esta pasará por una fuente auxiliar que incrementará su temperatura hasta la de pasteurización 72°C. Se hallará así la temperatura diaria de precalentamiento (T_{slf}) y preenfriamiento de la leche (T_{slc}) a su salida. La temperatura de precalentamiento de la leche (T_{slf}) se igualará a la temperatura de la leche a la entrada de la sección de calentamiento (T_{el}), volviéndose a hallar la temperatura del agua (T_{sa}) y de la leche a la salida (T_{sl}). El bucle continuará hasta que la temperatura calculada a la salida (T_{sl}) sea mayor o igual a 72°C coincida con la temperatura de la leche introducida en la sección regenerativa (T_{elc}).

A continuación se muestra el bucle del intercambiador:

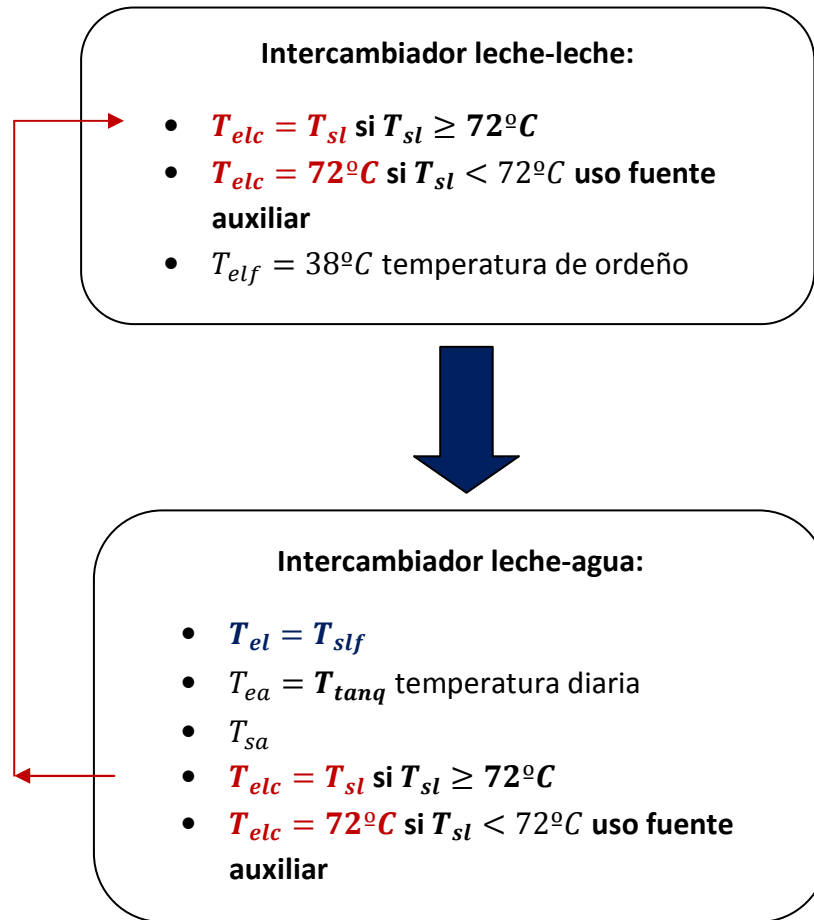


Figura 7.11 Bucle en el intercambiador

Una vez realizado el primer bucle, se iniciará un nuevo bucle. Ya resuelta la temperatura diaria del agua a la salida del intercambiador (T_{sa}), se calculará la temperatura del agua en el tanque después de la pasteurización teniendo en cuenta sus pérdidas al ambiente y luego la temperatura en la tubería a la entrada del campo de colectores teniendo en cuenta las pérdidas de calor (T_{ecotub}). Posteriormente, se igualará dicho valor a la temperatura diaria del agua a la entrada de los colectores (T_{eco}) en el inicio del modelo matemático. Debido a que todas las temperaturas calculadas dependen de dicha temperatura, se repetirán los cálculos, volviendo a darse el bucle del intercambiador. Finalmente, terminará este

nuevo bucle cuando la temperatura de la tubería de entrada (T_{ecotub}) se iguale a la temperatura a la entrada de los colectores (T_{eco}).

Queriendo aclarar este trabalenguas, se muestra un esquema de lo expuesto:

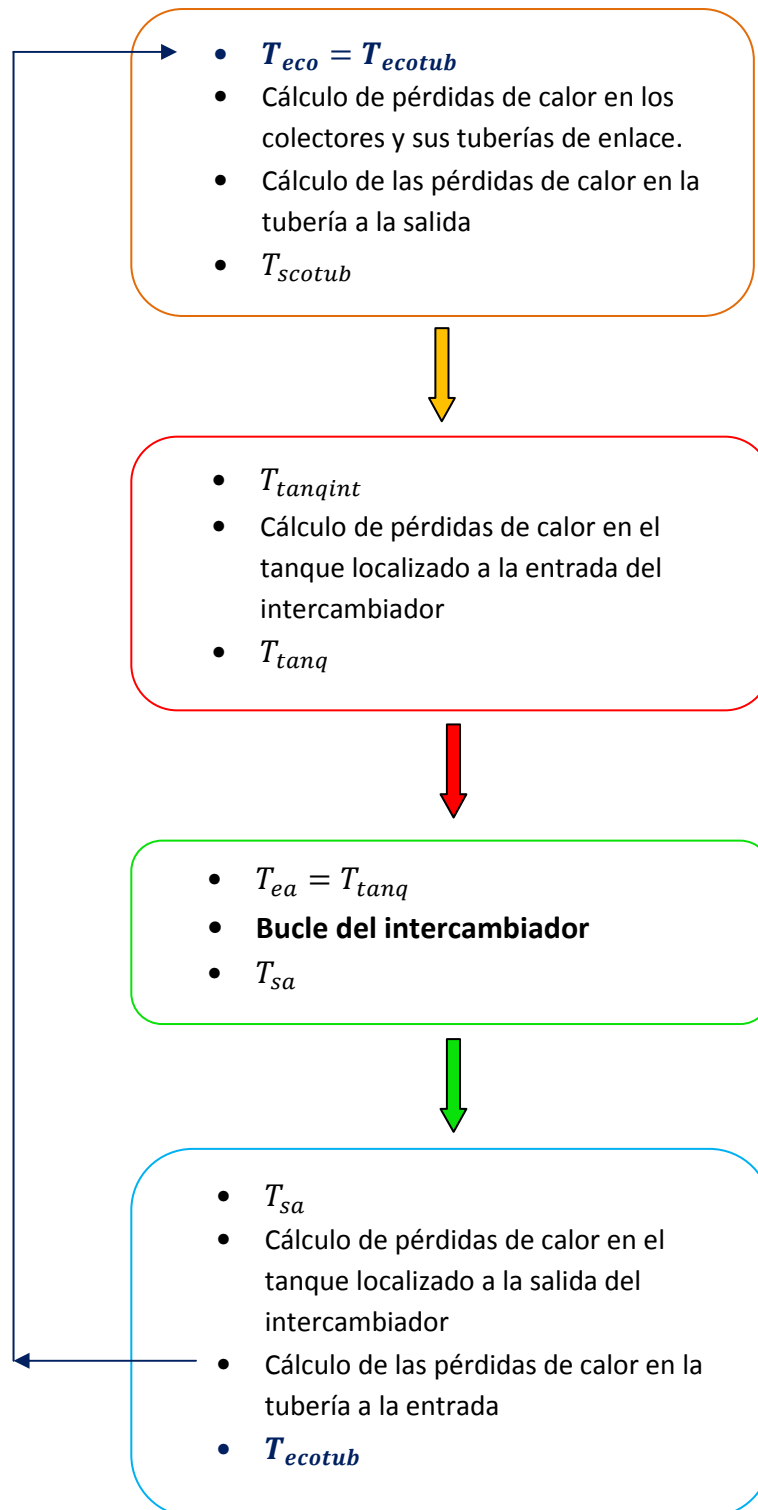


Figura 7.12 Bucle integral

En el cálculo de la temperatura de salida del campo de colectores (T_{scob}), ha sido preciso limitar la temperatura de salida del agua en cada colector formante de la fila en serie, ya que en los días de mucha radiación podía alcanzar valores muy elevados. Se ha limitado a 110°C la salida del agua que es próxima a la temperatura de ebullición del fluido caloportador, no pudiéndose producir la misma por la gran cantidad de energía necesaria.

4. DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

Se quieren pasteurizar 2500 litros de leche a una temperatura igual o mayor de 72°C.

Para dicho propósito se ha dimensionado la instalación del siguiente modo:

- El número de colectores en serie se calcula imponiendo la siguiente condición: **Alrededor del 30% de las horas de Sol del año la temperatura del agua a la salida del último colector en serie debe estar a una temperatura superior a los 80°C.** De esta imposición se resuelve que es necesario el empleo de ocho colectores en serie.
- El número de horas que están trabajando los colectores debe maximizar la temperatura del agua en el interior del tanque antes de la pasteurización. Hallándose que es preferible finalizar el horario de trabajo de los colectores con una temperatura de entrada en el tanque elevada puesto que el tanque está bien aislado y sus pérdidas al ambiente son reducidas. El período de trabajo de los colectores solares será de 8 horas, desde las 8 de la mañana a las 16 de la tarde.
- El caudal de agua necesario para pasteurizar 2500 litros de leche en una hora, debe ser igual o mayor para que el intercambio sea efectivo. Como el caudal de agua en los colectores en serie es 100,28 litros/hora y los colectores funcionarán durante 8 horas, necesitaré 4 filas de colectores en paralelo. El caudal de agua será por tanto:

$$q_{TOTAL_{agua}} = 8hr \cdot 4filas \cdot q_{agua}$$

$$q_{TOTAL_{agua}} = 3209 \text{ litros}$$

Se concluye que la instalación solar está compuesta por un total de 32 colectores que ocupa una superficie de 76,8 m², repartidos en 4 filas de cuatro colectores en serie cada una, discurriendo un caudal de 100,28 litros/hora por cada colector, es decir de 401,12 litros/hora por el campo de colectores.

Los tanques de almacenamiento y el intercambiador se encontrarán situados en el interior de un edificio resguardados del viento.

Los tanques están compuestos por una pared doble de acero inoxidable separada por un material aislante, tienen una capacidad de 4000 litros.

El intercambiador está compuesto por dos secciones: la de calentamiento, donde se pasteuriza la leche y la regenerativa donde se precalienta y preenfria la leche. El intercambiador consta de 51 placas para la primera sección y de 33 para la segunda. Sumando un total de 84 placas. Con lo que podemos concluir que ha de medir 195 mm de ancho, 818 mm de alto y aproximadamente 50mm de profundidad.

5. BALANCE DE ENERGÍA DE LA INSTALACIÓN

La instalación ha sido dimensionada con el fiel propósito de pasteurizar la mayor cantidad de leche posible únicamente con energía solar térmica.

En este apartado se explica la cantidad de energía, temperatura del agua y rendimiento obtenidos en cada paso, así como la temperatura final de la leche y el aporte de energía auxiliar para lograr su total pasteurización.

5.1 Balance de energía en los colectores planos

La radiación (W/m^2) a cada hora interceptada por los colectores inclinados a 13,05 grados (ángulo óptimo) en Estelí, para todos los días del año es:

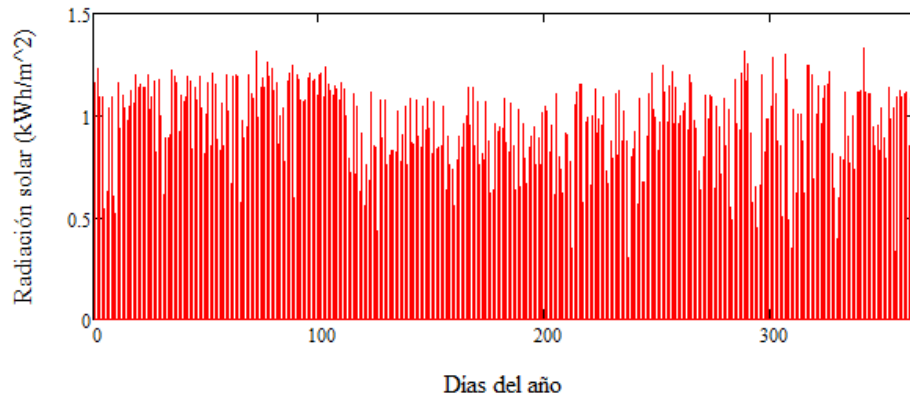


Figura 7.13 Radiación solar interceptada por los colectores

Durante la estación seca, la radiación interceptada por los colectores será mayor que en la estación húmeda. A continuación se muestra dos días representativos de cada estación, el 6 de Abril correspondiente a la estación seca y el 9 de Septiembre a la húmeda.

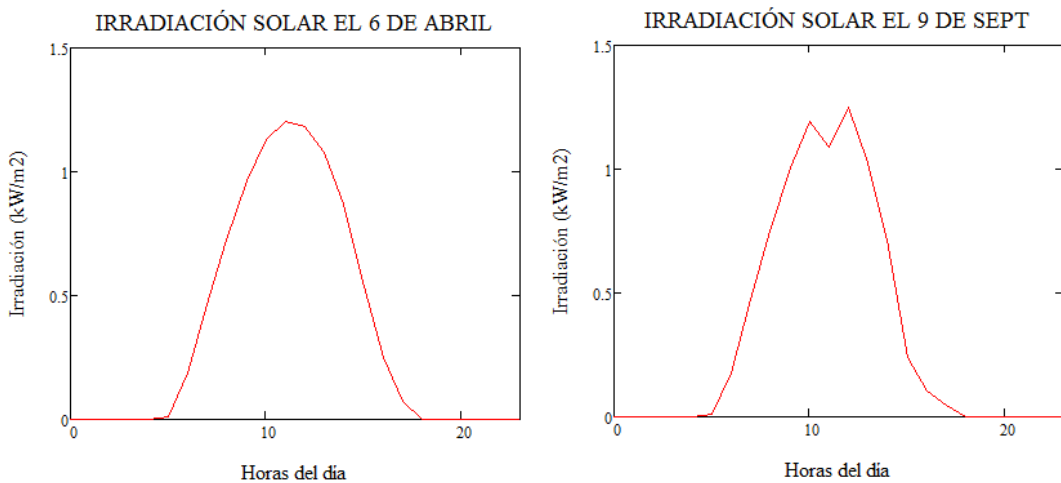


Figura 7.14 Radiación solar interceptada el 6 de Abril y el 9 de Septiembre

La radiación incidente (I_{opt_j}) debe ser siempre mayor que la radiación mínima ($I_{optmín_j}$) necesaria para que se ponga en funcionamiento la

instalación. Esta se calcula haciendo cero el rendimiento estándar del colector y despejando la radiación.

$$0 = 0,7132 - 4,396 \cdot \frac{(T_{\text{eco}j} - T_{\text{aj}})}{I_{\text{optmín}j}}$$

Sólo 216 horas en todo el año, es decir, el 7,4% de las horas totales del año (8 horas/día los 365 días del año) la radiación incidente va a ser menor que la radiación mínima. Estas horas se reparten a lo largo de distintos días correspondiéndose a las primeras horas de la mañana o las últimas de la tarde.

La energía transmitida al fluido caloportador en el colector y las pérdidas al ambiente se han calculado por columnas de colectores, correspondiendo la primera columna al primer colector en serie, la segunda al segundo colector en serie y así sucesivamente hasta la octava. Se hace esta división porque todas las columnas tendrán la misma temperatura a la entrada y a la salida del colector.

Los gráficos muestran los datos calculados durante las horas de trabajo del campo de colectores de las 8 de la mañana hasta las 16 de la tarde para todos los días del año.

Primera columna de colectores:

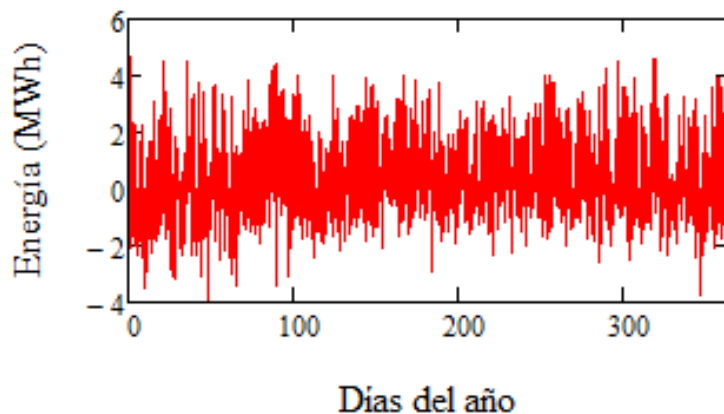


Figura 7.15 *Energía cedida al agua*

La energía se ha calculado a cada hora (j) del siguiente modo:

$$E_{col1j} = q_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot 1hr \cdot Cp_{agua} \cdot (T_{sco1j} - T_{eco1j})$$

Siendo el caudal de agua (q_{agua}), T_{sco1j} es la temperatura de salida del agua del primer colector en serie, es decir, de la primera columna y T_{eco1j} la temperatura de entrada.

El valor de la energía muchos días es negativo y esto se debe a que la temperatura a la entrada del colector es elevada, pudiendo ser algunas horas del día mayor que la temperatura de salida.

Las pérdidas calculadas para la columna de colectores, teniendo en cuenta pérdidas estándar, por inercia térmica de los componentes, por viento y las pérdidas en las tuberías a cada hora de trabajo de colector todos los días del año son:

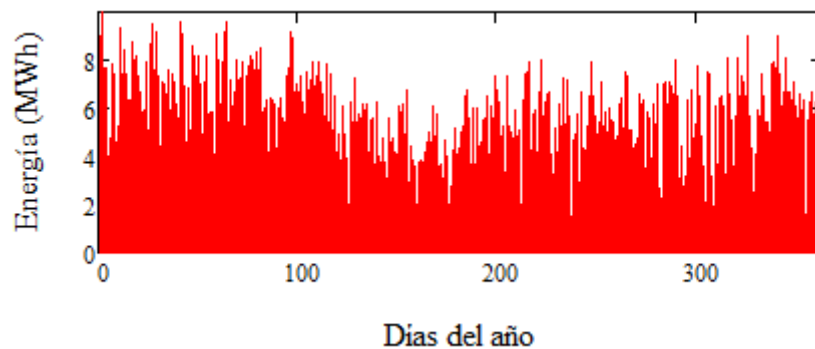


Figura 7.16 Pérdidas globales en el colector

Dónde las pérdidas estándar son:

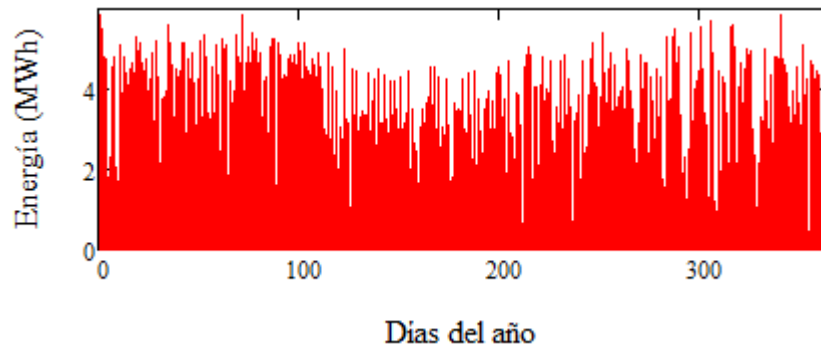


Figura 7.17 Pérdidas estándar en el colector

Las pérdidas por viento en los componentes:

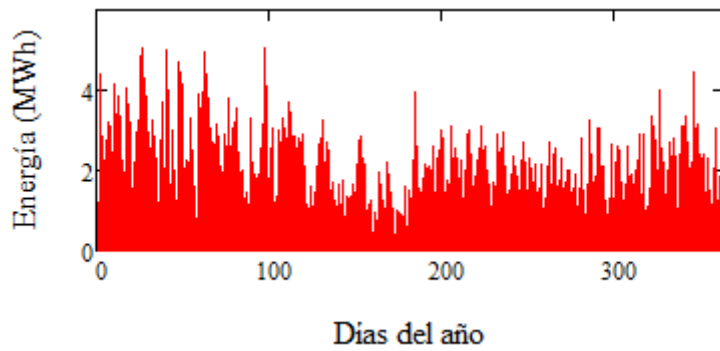


Figura 7.18 Pérdidas por viento en el colector

Las pérdidas por inercia térmica de los componentes que constituyen el colector:

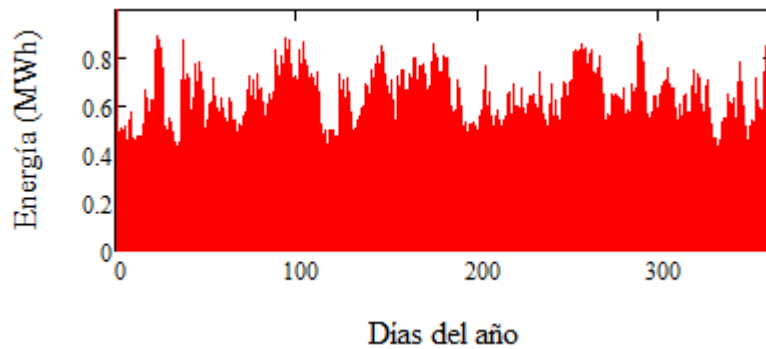


Figura 7.19 Pérdidas por inercia térmica de los componentes

Las pérdidas en las tuberías por inercia térmica de sus componentes y por transmisión de calor al ambiente:

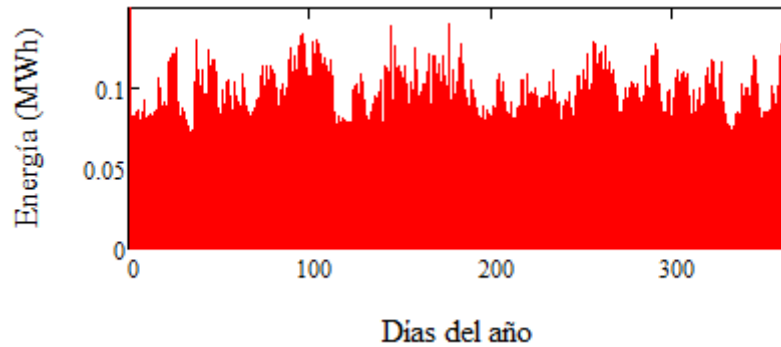


Figura 7.20 Pérdidas en las tuberías

Atendiendo al orden de magnitud, las pérdidas estándar son las más importantes siendo alrededor de 3MWh de media al día, seguidas de las de viento de unos 2MWh de media, menos significativas son las pérdidas por inercia térmica de los componentes del colector 0,5 MWh de media diario, por último, se pueden considerar despreciables las pérdidas por inercia térmica en las tuberías de unión entre colectores en comparación con el resto de pérdidas.

La temperatura del agua a la salida del colector queda de la siguiente manera:

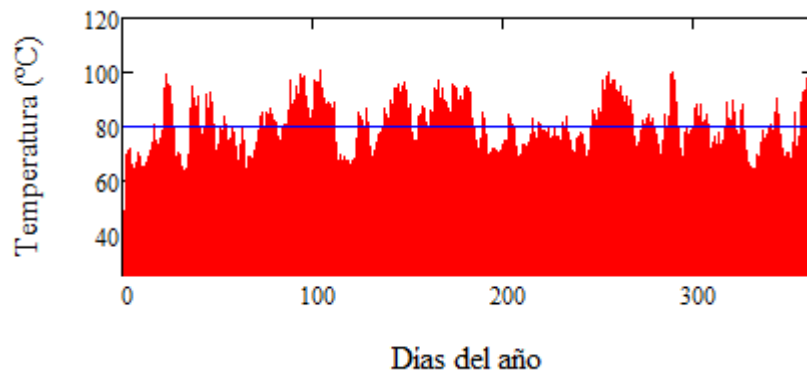


Figura 7.21 Temperatura del agua a la salida del primer colector

La línea azul marca la temperatura de 80°C. Para la selección del número de colectores en serie antes de conocerse las horas de trabajo del colector, se dijo que **Alrededor del 30% de las horas de Sol del año la temperatura del**

agua a la salida del colector debía estar por encima de 80°C. Siendo para este caso 21,24%. Si tenemos ahora en cuenta únicamente las horas de trabajo del colector, el porcentaje asciende a 35,32%.

Octava columna de colectores:

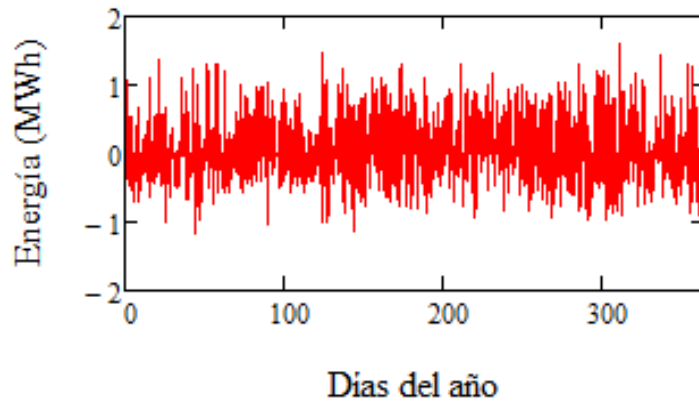


Figura 7.22 Energía cedida al agua por el octavo colector

La energía se ha calculado a cada hora (j) del siguiente modo:

$$E_{col1_j} = q_{agua} \cdot \rho_{agua} \cdot 1hr \cdot Cp_{agua} \cdot (T_{sco8_j} - T_{sco7_j})$$

Las pérdidas calculadas para la columna de colectores:

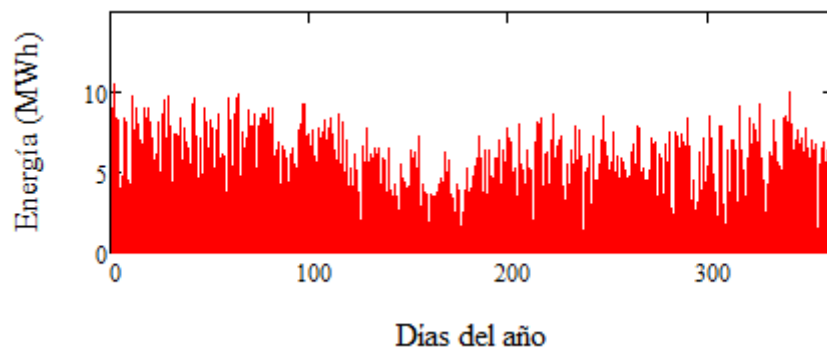


Figura 7.23 Pérdidas de calor globales del octavo colector

La temperatura del agua a la salida del colector queda de la siguiente manera:

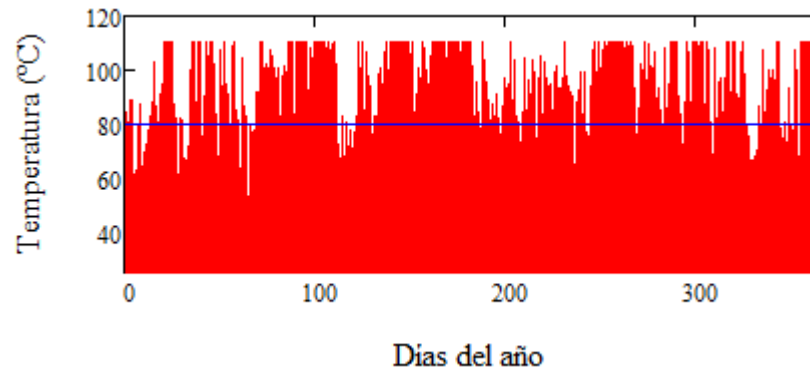


Figura 7.24 Temperatura del agua a la salida del octavo colector

El porcentaje de horas de Sol al año cuya temperatura supera los 80°C es 28,39 %. Si tenemos ahora en cuenta únicamente las horas de trabajo del colector, el porcentaje asciende a 47,2%.

Conclusiones:

El aumento de temperaturas se puede ver con un ejemplo, el día 6 de Abril:

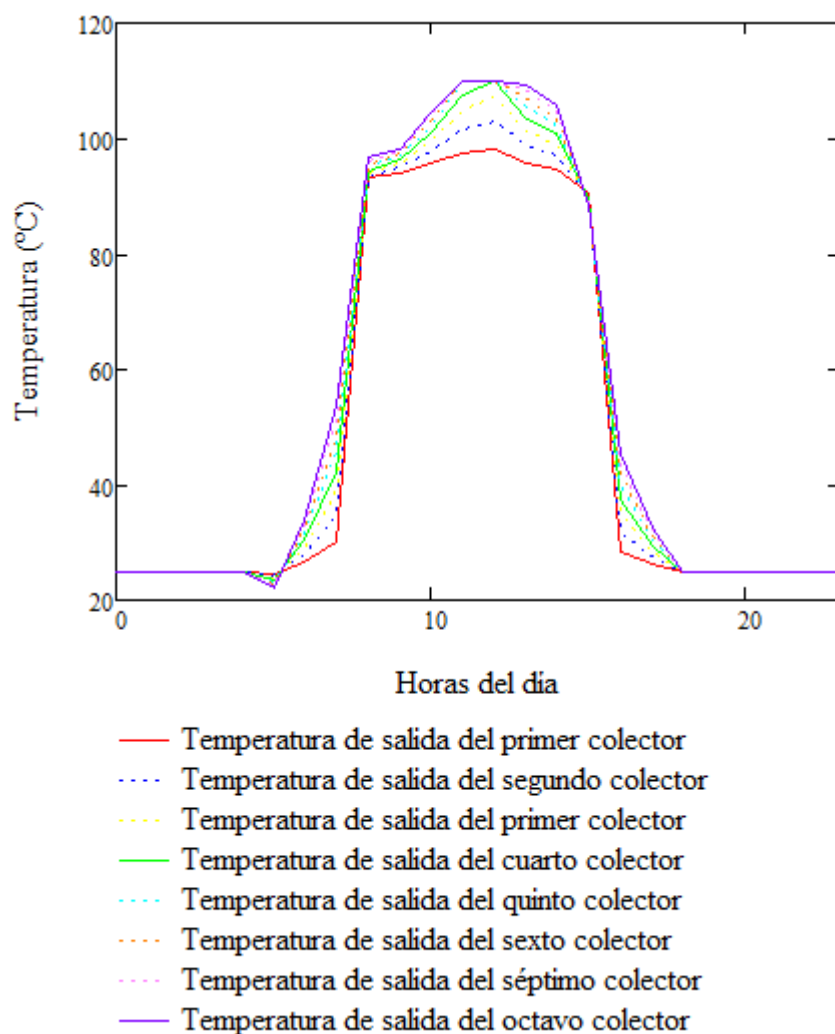


Figura 7.25 Temperatura de salida de cada colector el 6 de Abril

La energía cedida al agua a veces es negativa, esto es porque la temperatura de entrada en el colector es mayor que la temperatura de salida, es decir, se producen pérdidas.

Como solución a este problema se ha decidido poner una tubería auxiliar que una los dos tanques de almacenamiento en el interior del edificio. El propósito de la tubería es desviar el fluido hacia el tanque de almacenamiento cuando la temperatura de salida del campo de colectores sea menor que la de entrada, y cuando la radiación incidente sea menor que la mínima pero esto suele coincidir con lo primero. Para ello será

necesario el empleo de un termopar que mida ambas temperaturas y una válvula de tres vías para redireccionar el agua, la válvula estará situada a la salida de la bomba de agua colocada a la entrada del campo de colectores. Se han calculado las pérdidas en la tubería por transferencia de calor y por inercia térmica de sus componentes, de la misma manera que las pérdidas en la tubería a la entrada o salida sólo que ahora suponiendo una tubería de 2m de largo y 17mm de diámetro interno.

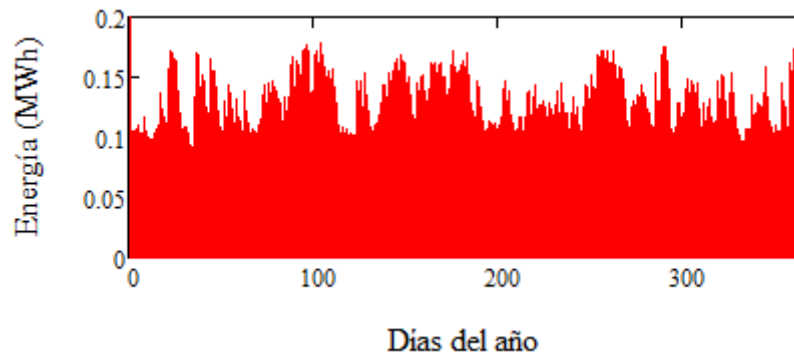


Figura 7.26 Pérdidas en la tubería auxiliar

El rendimiento global de la instalación teniendo en cuenta las cuatro filas de colectores y por tanto todo el campo es del 18%:

$$\eta_{col} = \frac{\rho_{agua} \cdot C_{p_{agua}} \cdot 4 \cdot q_{agua} \cdot \sum (T_{sco8j} - T_{eco_j})}{32 \cdot A_{útil} \cdot \sum I_{opt_j}}$$

Para las 8 horas que trabaja el campo de colectores, teniendo en cuenta únicamente las horas que el agua pasa por el campo y no se desvía por la tubería auxiliar, es decir, las horas en las que la temperatura a la salida del último colector en serie sea mayor que la temperatura a la entrada del campo de colectores.

El rendimiento global es bajo porque se ha sacrificado a favor de conseguir una temperatura de salida del agua muy elevada, para ello la temperatura del agua a la entrada se ha mantenido alta como mostraremos más adelante.

5.2 Balance de energía en el circuito primario

5.2.1 Tubería de salida

En la tubería de unión entre el campo de colectores y el tanque de almacenamiento a la entrada del intercambiador se producen pérdidas por transferencia de calor al ambiente y por inercia térmica de sus componentes.

Las pérdidas calculadas son:

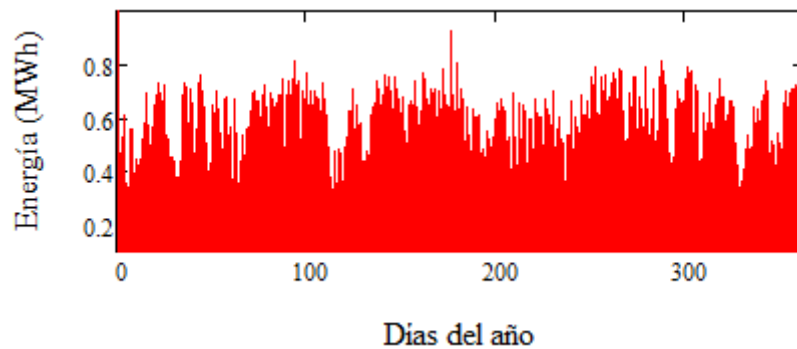


Figura 7.27 Pérdidas en la tubería de salida

La temperatura en la tubería de salida disminuye respecto a la de salida del último colector alrededor de $0,2^{\circ}\text{C}$.

5.2.2 Tanque a la entrada del intercambiador

Se ha considerado que la temperatura de entrada en el tanque es la temperatura del agua de la tubería de salida las horas en que no se usa la tubería auxiliar, y cuando se usa, la temperatura del agua en dicha tubería.

La temperatura del agua a la entrada del tanque es:

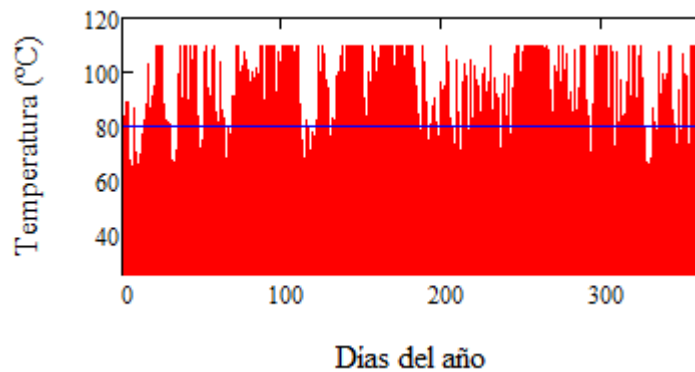


Figura 7.28 Temperatura a la entrada del tanque

El 56,16% de las horas que trabaja la temperatura del agua es superior a los 80°C dentro del horario de trabajo de los colectores.

Primero se calcula la temperatura a la que queda el agua en su interior durante el tiempo que trabajan los colectores:

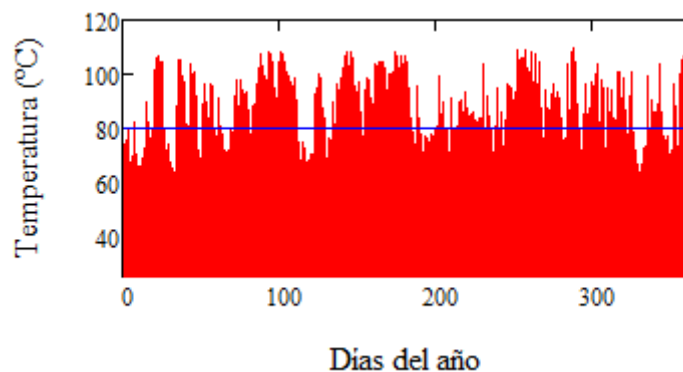


Figura 7.29 Temperatura del agua en el tanque durante las 8 horas de trabajo

Conviene recordar que se ha calculado la temperatura en el interior del tanque como la media ponderada entre la temperatura que había en su interior y la que iba entrando a cada hora multiplicado por un coeficiente de proporcionalidad en función de la cantidad de agua en su interior.

Se calcula a continuación las pérdidas producidas por inercia térmica de sus componentes y por transferencia de calor durante las 8 horas de trabajo de los colectores:

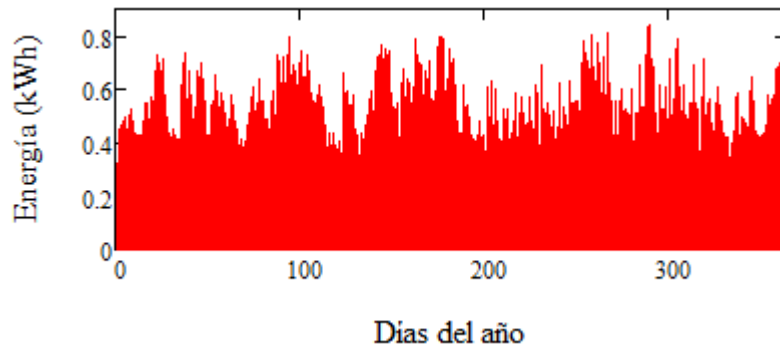


Figura 7.30 Pérdidas de calor en el tanque durante las 8 horas de trabajo

El 62,46% de los días del año la temperatura del agua en el interior del tanque nada más finalizar los colectores a las 16 horas, está por encima de los 80°C.

Las pérdidas de calor en el tanque que se producen desde las 16 horas hasta las 7 horas de la mañana del día siguiente cuando tiene lugar la pasteurización:

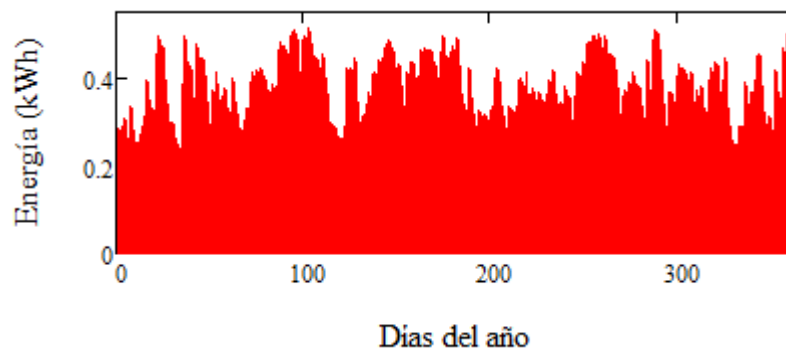


Figura 7.31 Pérdidas de calor en el tanque de 16h hasta las 7h del día siguiente

La temperatura en el interior del tanque a las 7 de la mañana del día siguiente, en la entrada del intercambiador es:

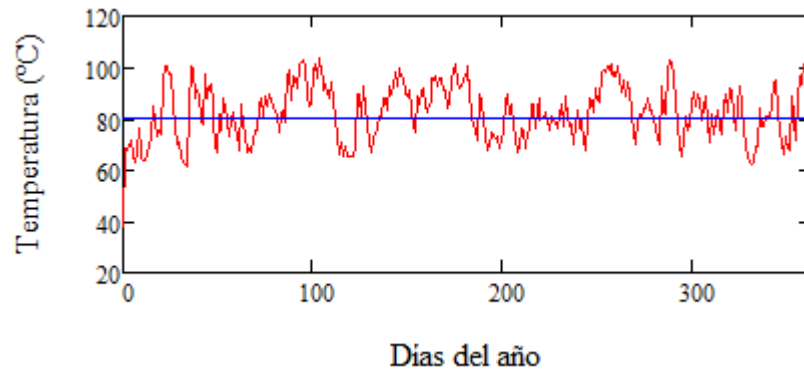


Figura 7.32 Temperatura del agua en el tanque a las 7h de la mañana

El porcentaje de días del año con temperatura del agua superior a los 80°C desciende a 57,42%.

5.2.3 Intercambiador

A las 7h de la mañana se introduce el agua del tanque por la sección de calentamiento, la leche entra desde la sección regenerativa a 38°C y llega con esta misma temperatura a la sección de calentamiento dónde se calienta con el agua. Una vez calentada, pasa por una tubería que conecta con la sección regenerativa. Al comienzo, la tubería se estrecha, alrededor de esta hay una resistencia eléctrica que se acciona si la leche tiene una temperatura por debajo de los 72°C y transmite el calor suficiente para que alcance los 72°C.

Para que se produzca la pasteurización es indispensable garantizar que la leche se mantenga a 72°C al menos durante 15s, si su temperatura fuera superior sería necesario un tiempo mínimo menor. Para garantizar la pasteurización se obliga a que la leche se mantenga a la misma temperatura durante 15s independientemente de que su temperatura sea mayor que la requerida, 72°C. La tubería con la fuente auxiliar termina en una

tubería de mayor diámetro en forma de serpentín donde se garantiza que la temperatura se mantiene el tiempo requerido.

La longitud del serpentín de 60mm de diámetro interior es de 3,69m, la calculamos imponiendo que la leche tarda en recorrerla 15s conocida su velocidad. El radio de curvatura de la tubería de acero inoxidable (R_{curv}) es 1,5 veces el diámetro exterior de la tubería a curvar, siendo por tanto de 93mm. Si curvamos 6 veces el tubo, la altura (H_{tub}) que ocuparía sería 46,27 cm y el ancho (B_{tub}) 1,116m.

$$L_{recto} = \frac{3,69 - (6 \cdot \pi \cdot R_{curv})}{7}$$

$$B_{tub} = 6 \cdot (2 \cdot R_{curv}) \quad H_{tub} = L_{recto} + (2 \cdot R_{curv})$$

La temperatura de la leche pasteurizada cada día del año:

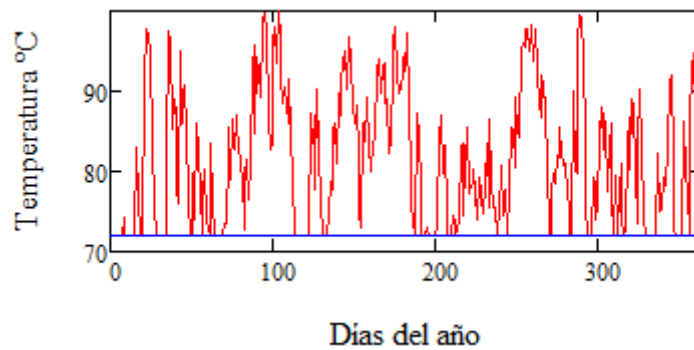


Figura 7.33 Temperatura de la leche pasteurizada

Estando el 100% de la leche por encima de los 72°C gracias al aporte de energía de la fuente auxiliar.

Una vez pasteurizada la leche entra en la sección regenerativa dónde intercambia calor con la leche ordeñada a 38°C. Entonces la leche precalentada entrará ahora en la sección de calentamiento y la leche preenfriada irá a la sección de enfriamiento.

La temperatura de la leche precalentada cada día del año:

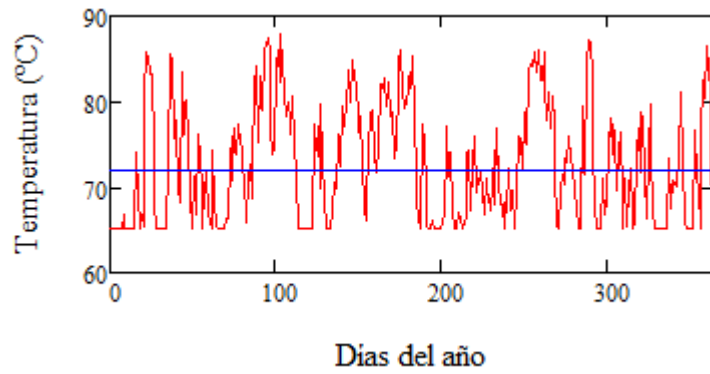


Figura 7.34 *Temperatura de la leche precalentada*

La temperatura de la leche preenfriada cada día del año:

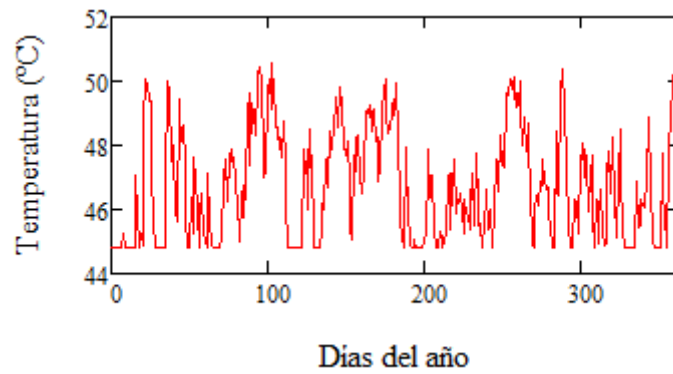


Figura 7.35 *Temperatura de la leche preenfriada*

La temperatura de la leche a la salida del intercambiador de calentamiento es:

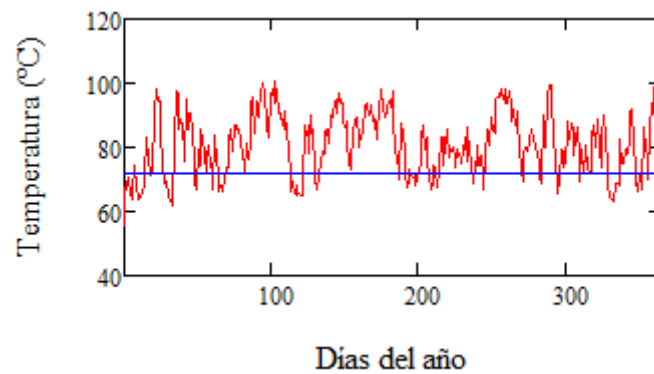


Figura 7.36 *Temperatura de la leche a la salida de la sección de calentamiento*

Con este sistema se consigue pasteurizar sin necesidad de una fuente auxiliar (resistencia eléctrica) el 77,7% de la leche, es decir, a la salida de la sección de calentamiento antes de entrar en el serpentín **el 77,7% de los días del año la leche alcanza una temperatura igual o superior a los 72°C.**

El agua a la salida de la sección de calentamiento entra en el tanque por dónde saldrá el agua hacia los colectores.

La temperatura del agua a la salida del intercambiador:

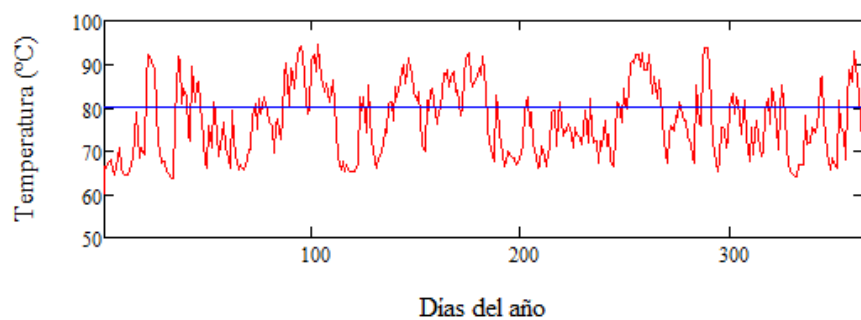


Figura 7.37 Temperatura del agua a la salida del intercambiador

Estando el 36% de los días la temperatura del agua por encima de los 80°C.

La temperatura mínima de la leche precalentada es 65,3°C, que corresponde a la leche pasteurizada a 72°C. El 96,7% de los días del año el agua a la entrada del intercambiador de calor tendrá mayor temperatura que la leche precalentada. Los días que esto no se cumpla para evitar que la leche precalentada ceda calor al agua, **se ha dispuesto de una tubería auxiliar que une la salida de la leche de la sección regenerativa con la tubería donde se encuentra la fuente auxiliar.** Empleando un termopar que mida ambas temperaturas de agua y leche respectivamente, se usará una válvula de tres vías para redireccionar la leche, la válvula de entrada de la leche en la sección de calentamiento.

El rendimiento de la instalación puede ahora calcularse del siguiente modo:

$$\eta_{col} = \frac{\rho_{leche} \cdot C_{p_{leche}} \cdot Caudal_{leche} \cdot \sum(T_{sl_j} - T_{elf_j})}{32 \cdot A_{\acute{u}til} \cdot \sum I_{opt_j}}$$

Resultando un rendimiento de la instalación del 44,1%, dónde el “ $Caudal_{leche}$ ” son los 2500 litros/hora que se quieren pasteurizar, “ T_{elf_j} ” es la temperatura de la leche a la llegada a la planta, es decir, la temperatura de ordeño y “ T_{sl_j} ” es la temperatura de la leche a la salida del intercambiador de calentamiento. La radiación incidente se suma para las horas dónde discurre agua por los colectores en el horario de trabajo.

5.2.4 Tanque a la salida del intercambiador

El agua almacenada en el tanque después de haber calentado la leche, va a introducirse en el campo de colectores.

La masa de agua en el interior del tanque desciende a medida que pasan las horas. Al igual que su temperatura en el interior del tanque que sufre pérdidas de calor al ambiente y pérdidas por inercia térmica de los componentes.

El conjunto de pérdidas se refleja en la siguiente gráfica:

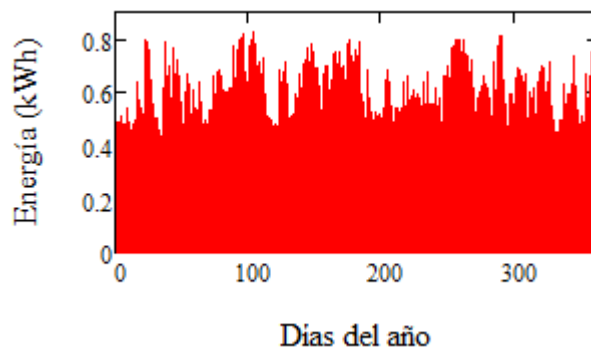


Figura 7.38 Pérdidas de calor en el tanque

Disminuye aproximadamente 0,6°C a lo largo de las 8 horas de trabajo de los colectores.

La temperatura de entrada en el campo de colectores a cada hora desde las 8 a las 16 horas para todos los días del año es:

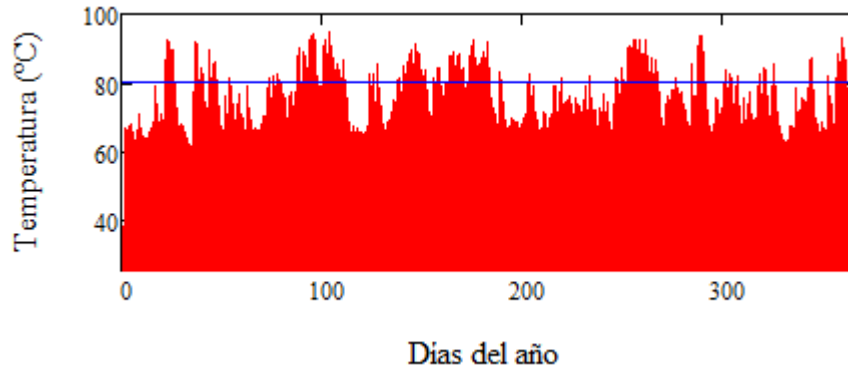


Figura 7.39 *Temperatura del agua a la salida del tanque*

El porcentaje de horas al año con temperatura superior a 80°C inicialmente es de 33,77% durante las ocho horas de trabajo de los colectores.

5.2.5 Tubería de entrada

Las pérdidas que se producen en la tubería que une el tanque con el campo de colectores son:

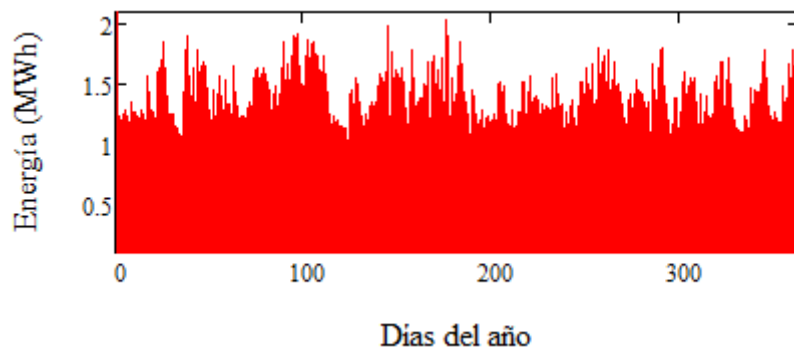


Figura 7.40 *Pérdidas en la tubería de entrada*

La temperatura a la entrada del campo de colectores:

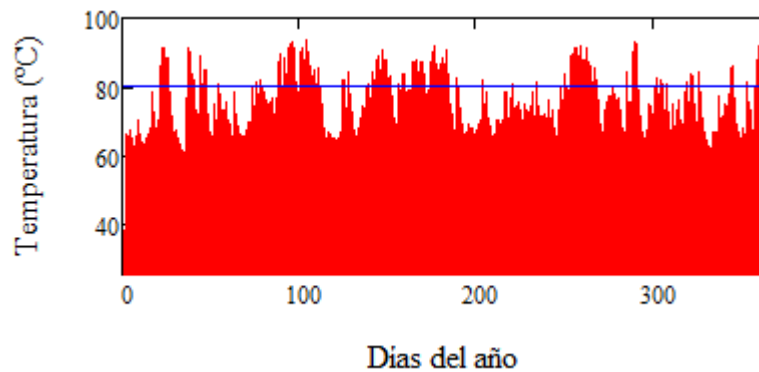


Figura 7.41 Temperatura a la entrada de los colectores

El porcentaje de horas al año con temperatura superior a 80°C inicialmente es de 31,54% durante las ocho horas de trabajo de los colectores.

5.3 Fuente auxiliar de energía

La fuente auxiliar de energía consiste en una resistencia eléctrica colocada alrededor de un tubo de diámetro interior 20mm y 20 cm de longitud que se encuentra a la salida de la sección de calentamiento del intercambiador.

Se quiere calcular el aporte auxiliar de energía para que la leche a la entrada del tubo de mantenimiento alcance la temperatura de pasteurización de 72°C.

La temperatura de salida de la leche es la temperatura de la leche calentada en el intercambiador cuando la temperatura del agua caliente es mayor que la temperatura de la leche precalentada, si esto no se cumple, entonces la temperatura de salida de la leche es la temperatura de precalentamiento, porque la leche pasa por la tubería auxiliar sin pasar por la sección de calentamiento.

La potencia térmica diaria aportada se calcula del siguiente modo:

$$Pot_{día} = \rho_{leche} \cdot Cp_{leche} \cdot Caudal_{leche} \cdot (72^{\circ}C - T_{sl_{día}})$$

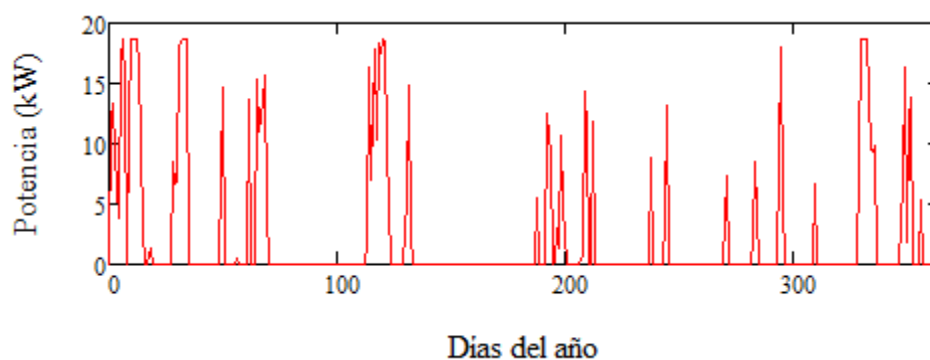


Figura 7.42 Potencia térmica necesaria

Como la potencia diaria máxima necesaria es de 18,6 kW, se escoge una resistencia de 20 kW. La resistencia eléctrica irá unida a un regulador, que disminuirá o aumentará su intensidad en función de la potencia necesaria.

El regulador a su vez estará conectado con un termostato que medirá la temperatura de la leche a la salida del intercambiador de calentamiento, si su temperatura es mayor de 72°C el termostato abrirá el circuito eléctrico, dejando de alimentar la resistencia.

6. DIMENSIONADO DEL RESTO DE COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA

En este apartado se ha tratado de describir y se dimensionar la mayoría de componentes que conforman la instalación hidráulica.

6.2 Purgadores de aire

Los purgadores de aire se emplean para eliminar el aire contenido en el circuito hidráulico. Se abren antes de la puesta en marcha de la bomba y después se cierran.

Se deben colocar en los puntos más elevados de la instalación, por eso se han colocado en la parte elevada de los colectores.

Los purgadores pueden ser de accionamiento manual o automático:

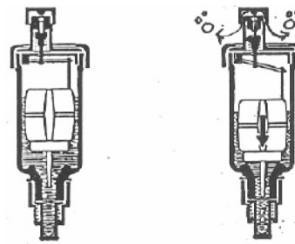


Figura 7.44 Esquema de los purgadores de aire

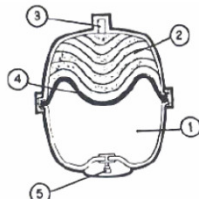
6.3 Vaso de expansión

Su función es absorber las variaciones de volumen del fluido, debido al importante cambio térmico que sufre a lo largo del ciclo de funcionamiento.

El vaso de expansión no es más que un depósito que permite la expansión del fluido, contrarrestando los aumentos de volumen y presión producidos.

Se van a emplear un de vaso de expansión cerrado para evitar la contaminación del fluido con el ambiente. Se ha colocado a la salida del campo de colectores.

El vaso de expansión cerrado consiste en una cámara de gas, normalmente nitrógeno, separada de la cámara en contacto con el fluido por una material elástico impermeable.



- 1: Cámara de gas.
- 2: Cámara de expansión del fluido.
- 3: Conexión a la instalación.
- 4: Membrana elástica.
- 5: Válvula de llenado de gas.

Figura 7.45 Esquema de vaso de expansión cerrado

Se va a colocar en la parte de la aspiración de la bomba, para que la membrana elástica no se dañe debido a posibles sobrepresiones. Se ha colocado una válvula de alivio delante del vaso de expansión para disminuir la sobrepresión en el vaso.

El volumen mínimo necesario de un vaso de expansión cerrado se calcula de la siguiente forma:

$$V = V_a \cdot K \cdot C_T$$

Dónde “K” es el factor de presión, “ V_a ” es el volumen total de agua que se va a calentar, que equivale al volumen en las tuberías, colectores y tanques, y el coeficiente de expansión del fluido es función de la temperatura de trabajo “ C_T ” es 0,043.

El factor de presión “K” es función de “ P_m ” la presión absoluta máxima: 8 bar y “ P_i ” la presión absoluta de trabajo: 1,5bar en el punto más alto del circuito primario. El valor mínimo de la presión se fija de forma que se mantenga en el punto más alto del sistema una presión superior a la atmosférica (1,5bar según ET).

$$K = \frac{P_m}{P_m - P_i}$$

Los valores de presión máxima y mínima se deben corregir con la altura geométrica del emplazamiento del vaso de expansión, que se ha supuesto

a una distancia entre el punto más elevado del circuito primario y el vaso de expansión de 0,5m.

Tabla 7.10 *Parámetros para el cálculo del volumen del vaso de expansión*

Va (litros)	K	V(litros)
3373	1,2	174

El vaso de expansión elegido es el Reflex S200 de la marca Sedical de 200 litros de capacidad, ver Anexo.

6.4 Pérdidas de carga

Para el cálculo de la potencia de la bomba de circulación, es necesario conocer las pérdidas de carga en el circuito primario.

Las pérdidas se han hallado empleando la hoja de cálculo proporcionada por *La guía de usuario para el cálculo de pérdidas de carga y volumen de vaso de expansión*, aportada por la Agencia Andaluza de la Energía.

Se introducen, antes que nada los siguientes parámetros:

Tabla 7.11 *Parámetros para el cálculo de la pérdida de carga*

Caudal de diseño	46litros/h.m ²
Superficie unitaria del captador solar	2,18m ²
Número de captadores	32
Nº de baterías captadores en serie	8

Para el cálculo de la pérdida de carga en una fila de colectores se han introducido los siguientes datos:

Tabla 7.12 *Parámetros para el cálculo de la pérdida de carga de una fila de colectores*

Nº de captadores por batería	8
Longitud de la base del captador	1,09m
Diámetro de tubería exterior	23mm
Pérdida de carga en la longitud del captador	10 mmca

De estos valores se obtiene:

Tabla 7.13 *Pérdida de carga de una fila de colectores*

Pérdida de carga longitud captador	0,58mmca/m
Pérdidas de carga en los colectores	50,29mmca

Las pérdidas de carga en las tuberías y accesorios se dividen en los diferentes tramos: entrada, unión entre colectores en serie y salida.

Para las pérdidas de carga y accesorios de la tubería de unión entre colectores se han introducido los siguientes valores.

Pérdida de carga en la tubería de unión entre colectores:

Tabla 7.14 *Datos de tubería de unión entre colectores*

Caudal de agua	100,28litros/h
Longitud	1,5m
Diámetro exterior	23mm

Las pérdidas de carga en la tubería de unión entre colectores en serie, son:

Tabla 7.15 *Pérdida de carga en la tubería de unión entre colectores*

Pérdida de carga longitud tubería	0,58mmca/m
Pérdidas de carga	1,27mmca
Pérdida de carga en una fila	10,16mmca

Tipos y número de accesorios en la tubería de unión:

Tabla 7.16 *Accesorios en la tubería de unión entre colectores*

Número de codos	2
-----------------	---

Pérdida de carga de accesorios en la tubería de unión:

Tabla 7.17 *Pérdida de carga en accesorios en la tubería de unión entre colectores*

Longitud equivalente	1,22m
Pérdida de carga	0,7mmca
Pérdida de carga en una fila	5,6mmca

Pérdida de carga en la tubería de entrada:

Tabla 7.18 *Datos de tubería de entrada*

Caudal de agua	401,12litros/h
Longitud	23m
Diámetro exterior	19mm

Las pérdidas de carga en la tubería entrada:

Tabla 7.19 *Pérdida de carga en la tubería de entrada*

Pérdida de carga longitud tubería	21,07mmca/m
Pérdidas de carga	484,58mmca

Tipos y número de accesorios en la tubería de entrada:

Tabla 7.20 *Accesorios en la tubería de entrada*

Número de válvulas de esfera	7
Número de T90	4
Número de codos	4

Pérdida de carga de accesorios en la tubería de entrada:

Tabla 7.21 Pérdida de carga en accesorios en la tubería de entrada

Longitud equivalente	6,07m
Pérdida de carga	127,9mmca

Pérdida de carga en la tubería de salida:

Tabla 7.22 Datos de tubería de salida

Caudal de agua	401,12litros/h
Longitud	10m
Diámetro exterior	19mm

Las pérdidas de carga en la tubería de unión salida:

Tabla 7.23 Pérdida de carga en la tubería de salida

Pérdida de carga longitud tubería	21,07mmca/m
Pérdidas de carga	210,69mmca

Tipos y número de accesorios en la tubería de salida:

Tabla 7.24 Accesorios en la tubería de salida

Número de válvulas de esfera	3
Número de T90	3
Número de codos	4

Pérdida de carga de accesorios en la tubería de salida:

Tabla 7.25 Pérdida de carga en accesorios en la tubería de salida

Longitud equivalente	4,56m
Pérdida de carga	96,07mmca

Cuando se dimensiona un circuito de tubería (selección de diámetro) hay que definir un criterio de dimensionado que busque un equilibrio entre lo

económico y lo físico. Esto quiere decir que el diámetro deberá elegirse de forma que sea:

- Lo suficientemente pequeño para no resultar excesivamente caro.
- Lo suficientemente grande para minimizar las pérdidas de carga (de forma que la bomba necesaria no sea excesivamente cara) y para minimizar también la velocidad del fluido (de forma que no se produzcan ruidos en la instalación; cuanto más grande sea el diámetro, a caudal fijo, menor será la velocidad del fluido).

Teniendo en cuenta estas dos directrices se ha utilizado el siguiente criterio para el dimensionado de tuberías: seleccionar el diámetro comercial inmediatamente superior al mínimo necesario para cumplir las dos condiciones siguientes:

- Que la velocidad de paso del fluido sea menor de 1,5m/s, para no producir ruidos en la instalación y mayor de 0,2m/s para evitar la sedimentación de partículas.
- Que la pérdida de carga por unidad de longitud sea $< 40 \text{ mm.c.a} / \text{ m}$ lineal de tubería, para que la bomba necesaria no necesite ser excesivamente potente para vehicular el fluido.

Las pérdidas de carga en las tuberías son 985mmca, más la diferencia de altura entre la tubería de entrada y de salida del tanque 1,5metros, quedan unas pérdidas de carga totales de 2485mmca.

6.5 Bomba de circulación

Se emplean bombas de circulación centrífuga para bombear el fluido caloportador ya bien sea a través de los colectores solares o de la tubería que une los dos tanques de almacenamiento.

Conocidas las pérdidas de carga del circuito primario 2485mmca, el caudal de diseño 401,12litros/hora, y la temperatura del fluido, se selecciona la bomba.

Se ha elegido la bomba de la marca Wilo tipo Stratos ECO-ST 15/1-5-130, potencia absorbida hidráulica es 16,4W, la potencia nominal del motor es de 47W y la potencia absorbida por el motor 59W. Para más detalle consultar Anexo.

7. ANÁLISIS AMBIENTAL DE LA PLANTA DE PASTEURIZACIÓN SOLAR

En este apartado se va a evaluar la instalación desde el punto de vista medio ambiental. Para ello se calcularán las emisiones de gases de efecto invernadero para el caso más desfavorable, es decir, que la resistencia de la fuente auxiliar haya sido alimentada con electricidad proveniente de la red, y se compararán dichas emisiones con las de una caldera de diesel, el sistema más empleado actualmente en la industria láctea.

7.1 Potencial de efecto invernadero

El potencial de efecto invernadero (PEI) es el potencial que tienen los gases de efecto invernadero liberados en la combustión. Se divide en:

- Potencial de efecto invernadero indirecto (PEII): es el efecto invernadero generado por el dióxido de carbono producido al quemar el combustible fósil.

$$PEII = E_c \cdot peii \cdot N$$

Dónde “ E_c ” es la energía consumida a lo largo del año, “ $peii$ ” el potencial de efecto invernadero indirecto por unidad de consumo y “ N ” el número de años de la instalación, (se ha fijado en 25 años).

- Potencial de efecto invernadero directo (PEID): es una característica propia del refrigerante, son las fugas directas a la atmósfera de los gases de efecto invernadero.

$$PEID = f \cdot c \cdot peid \cdot N$$

Siendo “ f ” el factor de fugas, porcentaje que anualmente se fuga, “ c ” la cantidad de gas de efecto invernadero en kilogramos, “ $peid$ ” el potencial de efecto invernadero directo por unidad de masa, y “ N ” número de años de funcionamiento de la instalación.

En este caso sólo se tendrá en cuenta el potencial de efecto invernadero indirecto ya que el potencial de efecto invernadero directo está indicado tanto para la instalación solar como para la de diesel es nulo.

Para el cálculo del PEI, se necesita conocer la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) que se emite a la atmósfera por unidad de energía primaria consumida ($peii$):

Tabla 7.26 Emisión de CO_2 por kWh_c para distintos combustibles

Combustible	$peii$ o Emisión CO_2 (kg CO_2/kWh_c)
Diesel	0,27
Fuel oil o bunker	0,32
Leña	0,39

Para calcular la cantidad de dióxido de carbono que genera una unidad de energía eléctrica, se tienen que tener en cuenta las diferentes fuentes primarias que contribuyen a la producción de electricidad y cuáles aportan gases de efecto invernadero en la combustión. Observando la figura 5.10 del

capítulo 5, Matriz de generación de electricidad en el año 2008, se encuentra el 70% de la energía eléctrica es generada a partir de combustibles fósiles, donde un 4% corresponde al diesel, y un 66% fuel oil o bunker, el otro 30% correspondiente de generación de electricidad corresponde a energías renovables con cero emisiones de CO₂. Además es indispensable conocer el rendimiento de la central eléctrica para saber cuánta energía combustible puede transformarse en energía eléctrica, se estima un rendimiento del 35%.

$$E_{eleCO_2} = 0,7 \cdot \left(\frac{0,04 \cdot 0,27kgCO_2/kWh_c + 0,66 \cdot 0,32kgCO_2/kWh_c}{0,35 kWh_c/kWh_e} \right)$$

$$E_{eleCO_2} = 0,44kgCO_2/kWh_e$$

La energía consumida a lo largo del año y liberadora de monóxido de carbono en la instalación solar, es la energía eléctrica consumida por la fuente auxiliar (E_{fa}) y es de 884,8 kWh.

Por otro lado, para el cálculo de la energía aportada anualmente por la instalación diesel, se ha calculado la temperatura del agua caliente para poder lograr en el intercambiador elegido una temperatura de la leche pasteurizada de 72°C; esta temperatura (T_{sa}) es de 74°C. A la temperatura del agua a la salida del intercambiador se le ha calculado las pérdidas que sufriría a lo largo del día y la noche en el tanque de almacenamiento, hasta que se dieran las 7 de la mañana del día siguiente, que se calentaría en la caldera, su temperatura (T_{ea}) es de 69°C. Por tanto, la energía aportada por la caldera de diesel puede calcularse del siguiente modo:

$$E_{aportada} = \rho_{agua} \cdot Cp_{agua} \cdot Caudal_{agua} \cdot (T_{sa} - T_{ea}) \cdot 364 \cdot 1hr$$

$$E_{aportada} = 9669kWh$$

Siendo el “ $Caudal_{agua}$ ” 3209 litros/hora, 364 días del año, puesto que el primer día no se pasteuriza la leche, y “1hr” la hora en la tarde en calentarse el agua.

Por lo que la fuente auxiliar supone el 9,15% de la energía aportada por la caldera de diesel, es decir, el aporte de energía solar sustituye al 90,9% de la energía aportada por una caldera de diesel.

Se va a considerar el rendimiento de la caldera (η_{cal}) del 90% y el poder calorífico inferior (PCI_{diesel}) 10,2kWh/litro.

El potencial de efecto invernadero para las distintas instalaciones

$$PEII_{solar} = 884,8 \text{ kWh/año} \cdot 0,44 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_e \cdot 25 \text{ años}$$

$$PEII_{solar} = 9,7 \text{ tmCO}_2$$

$$PEII_{caldera} = \frac{9669 \text{ kWh}}{\text{año}} \cdot 0,27 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_c \cdot 25 \text{ años}$$

$$PEII_{caldera} = \frac{6505,5}{0,9}$$

$$PEII_{caldera} = 72,5 \text{ tmCO}_2$$

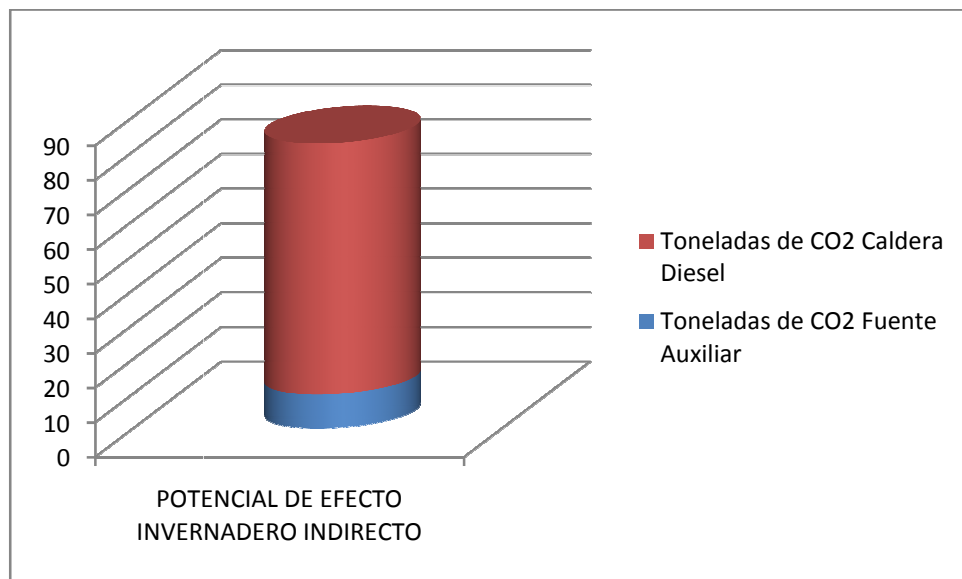


Figura 7.46 Potencial de efecto invernadero indirecto

En la figura 7.46 se muestra como el **potencial de efecto invernadero indirecto de la fuente auxiliar de la instalación solar supone el 13,4% del potencial de la caldera diesel.**

Si la fuente auxiliar estuviera alimentada con paneles solares fotovoltaicos o con energía eólica, entonces, el potencial de efecto invernadero indirecto de la instalación solar sería nulo.

7.2 Ahorro de combustibles fósiles

El ahorro de diesel que supone el empleo de la instalación solar en 25 años es de:

$$A_{diesel} = \frac{E_{diesel} \cdot N}{\eta_{cal} \cdot PCI_{diesel}}$$

$$A_{diesel} = 26331,7 \text{ l}$$

El ahorro de diesel en 25 años es de 26331,7 litros, lo que equivale a 956,9 litros anuales de diesel ahorrado.

CAPÍTULO 8

EVALUACIÓN ECONÓMICA

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	227
2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS DIFERENTES SOLUCIONES TÉCNICAS	227
2.1 Costes de inversión y de explotación a lo largo de la vida útil de la instalación con tecnología solar térmica	228
2.2 Costes de inversión y de explotación a lo largo de la vida útil de la instalación con caldera de diesel.	230
2.3 Costes de inversión y de explotación a lo largo de la vida útil de la instalación con resistencia eléctrica.	231
2.4 Comparación de los costes de las tres tecnologías	232
3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN SOLAR PARA PASTEURIZAR 240 LITROS DE LECHE CONSTRUIDA EN MANAGUA	233
3.1 Breve explicación del funcionamiento de la instalación	233
3.2 Coste del colector solar plano construido artesanalmente en Managua	235
3.3 Coste de inversión inicial	237
4. CONCLUSIÓN	238

ÍNDICE DE FIGURAS

1. **Figura 8.1** Evolución de los costes de las tres tecnologías a lo largo de los años
2. **Figura 8.2** Esquema del circuito primario
3. **Figura 8.3** Esquema de la Instalación de Managua
4. **Figura 8.4** Foto de la construcción del colector
5. **Figura 8.5** Foto del circuito primario

ÍNDICE DE TABLAS

1. **Tabla 8.1** Desglose de los costes del circuito secundario
2. **Tabla 8.2** Desglose de los costes del circuito primario solar térmico
3. **Tabla 8.3** Desglose de los costes del circuito primario caldera diesel
4. **Tabla 8.4** Desglose de los costes del circuito primario resistencia eléctrica
5. **Tabla 8.5** Desglose de los costes del colector

1. INTRODUCCIÓN

Se van a evaluar los costes de inversión inicial y de explotación de la instalación para las distintas tecnologías que se quieren comparar: solar térmica, caldera de diesel y resistencia eléctrica. Para poder compararlas, por no disponer de todos los precios del mercado nicaragüense, se han tenido que estimar los costes de inversión inicial con precios del mercado español.

Para garantizar la durabilidad de la instalación, se pretende que los principales componentes se compren o construyan en Nicaragua, consiguiendo así abaratar el coste de inversión inicial y el mantenimiento.

El colector solar plano es una tecnología fácil de fabricar con los medios que se tiene al alcance. Por ello se ha calculado el coste de un colector solar plano y el coste de inversión inicial de la planta piloto de pasteurización con energía solar térmica para fabricación de quesos, construidos con materiales locales en la Universidad Nacional Agraria, Managua.

2. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS DIFERENTES SOLUCIONES TÉCNICAS

Para poder comparar las distintas soluciones técnicas se han estimado los costes de los equipos teniendo en cuenta los precios del mercado español, por no disponer de todos sus precios en el mercado nicaragüense.

Los costes de inversión inicial del circuito secundario compuesto por el intercambiador de calor y los dos tanques de almacenamiento de leche, serán iguales para las tres tecnologías que se van a estudiar.

Se ha estimado un coste total de inversión inicial del circuito secundario de 8327€, el desglose del coste estimado para cada componente se muestra en la tabla 8.1.

Tabla 8.1 Desglose de los costes del circuito secundario

MATERIALES	UNIDADES	COSTE (€)
Intercambiador acero inoxidable	1	1.138 €
Tanques acero inoxidable	2	5.600 €
Válvula de alivio acero inoxidable	1	83 €
Bombas de agua	1	162,98 €
Bomba sanitaria	1	640 €
Tubería serpentín acero inox	1	163,30 €
Tubería auxiliar acero inox	3,69m	14,04 €
Tubería de cobre	1m	48,60 €
Tubería de acero inox	3m	14,04 €
Válvulas de esfera cobre	1m	17,85 €
Válvulas acero inox 3 vías	3	320 €
Válvula acero inox	2	116,90 €
Codos	3	4,08 €
Tés	1	4,52 €

En los costes de explotación se han tenido en cuenta los costes de combustible, puesto que el coste de mantenimiento se ha considerado despreciable frente a los costes de inversión y combustible.

Se ha estimado una vida útil para todos los equipos de 25 años.

2.1 Costes de inversión y de explotación a lo largo de la vida útil de la instalación con tecnología solar térmica

El coste de la inversión inicial del circuito primario es de 35109,6€, en la siguiente tabla 8.2 se muestra los costos desglosados.

Los costes de los colectores y los tanques de almacenamiento son los que más peso tienen con respecto al coste total de inversión inicial, correspondiendo al 58% el de los colectores y al 34% el de los tanques.

Si se consiguieran abaratar dichos costes la inversión inicial se abarataría considerablemente.

Tabla 8.2 Desglose de los costes del circuito primario solar térmico

MATERIALES	UNIDADES	COSTE (€)
Colectores solares	32	20.313,60 €
Bomba agua primario	1	612,43 €
Tanque agua	2	11.902 €
Vaso de expansión	1	420 €
Válvula 3 vías cobre	2	39,13 €
Válvula de esfera cobre	8	47,65 €
Válvula de escape	1	10,75 €
Purgadores	8	64,32 €
Tubería de cobre Dext=23mm	48m	777,60 €
Tubería de cobre Dext=19mm	35m	647,50 €
Tés cobre Dext=19mm Dext=23mm	4	35,44 €
Tés cobre Dext=19mm	3	5,22 €
Codos Dext=23mm	2	5,20 €
Codos Dext=19mm	8	13,76 €
Resistencia fuente aux.	1	215 €

El coste de inversión inicial de la instalación solar térmica (I_{solar}) teniendo en cuenta ambos circuitos, primario y secundario es de 43436,6€.

La energía consumida anualmente por la fuente auxiliar (E_{faux}) es de 884,7kWh, calculado en el apartado 7.1 del capítulo 7.

Del Instituto Nicaragüense de Energía (INE), se ha obtenido un precio medio de electricidad (p_{ele}) para una Industria Mediana de 4,9936C\$/kWh.

Se va aplicar el cambio monetario 30C\$ equivale a 1€.

El coste total de inversión y de explotación tomando el valor del dinero actual:

$$C_{solar} = I_{solar} + \sum_{n=1}^{25} \frac{E_{faux} \cdot p_{ele}}{30^{(C\$/\epsilon)}}$$

2.2 Costes de inversión y de explotación a lo largo de la vida útil de la instalación con caldera de diesel

El coste de inversión inicial del circuito primario es de 12915,4€. El coste total de inversión sumándole el circuito secundario es de 21242€.

Se ha dispuesto de un tanque además de la caldera, para almacenar el agua a la salida del intercambiador y mantener así su temperatura elevada.

Tabla 8.3 Desglose de los costes del circuito primario caldera diesel

MATERIALES	UNIDADES	COSTE (€)
Caldera de diesel	1	6.964 €
Tanque de agua	1	5.951,40 €

La energía consumida anualmente por la instalación (E_{cons}) es de 9660kWh, calculado en el apartado 7.1 del capítulo 7.

El consumo anual de diesel (m_{diesel}) es de 1052,3 litros, se ha calculado de la siguiente manera:

$$m_{diesel} = \frac{E_{cons}}{\eta_{cal} \cdot PCI_{diesel}}$$

Dónde " η_{cal} " el rendimiento de la caldera que se ha supuesto del 90% y " PCI_{diesel} " el poder calorífico inferior del diesel 10,2kJ/litro.

El precio (p_{diesel}) del litro de diesel es de 20C\$.

El coste total de inversión y de explotación tomando el valor del dinero actual:

$$C_{diesel} = I_{diesel} + \sum_{n=1}^{25} \frac{m_{diesel} \cdot p_{diesel}}{30^{(C\$/\text{€})}}$$

2.3 Costes de inversión y de explotación a lo largo de la vida útil de la instalación con resistencia eléctrica

El coste de inversión inicial del circuito primario es de 12748,4€. El coste total de inversión es de 21075€.

Se ha dispuesto de un tanque además del tanque con la resistencia eléctrica, para almacenar el agua a la salida del intercambiador y mantener así su temperatura elevada.

Tabla 8.4 Desglose de los costes del circuito primario resistencia eléctrica

MATERIALES	UNIDADES	COSTE (€)
Resistencia eléctrica	1	6.797 €
Tanque de agua	1	5.951,40 €

La energía consumida anualmente por la instalación (E_{ele}) es de 9660kWh, calculado en el apartado 7.1 del capítulo 7.

Del Instituto Nicaragüense de Energía (INE), se ha obtenido un precio medio de electricidad (p_{ele}) para una Industria Mediana de 4,9936C\$/kWh.

El coste total de inversión y de explotación tomando el valor del dinero actual:

$$C_{ele} = I_{ele} + \sum_{n=1}^{25} \frac{E_{ele} \cdot p_{ele}}{30^{(C\$/\text{€})}}$$

2.4 Comparación de los costes de las tres tecnologías

Comparando los costes de las tres tecnologías:

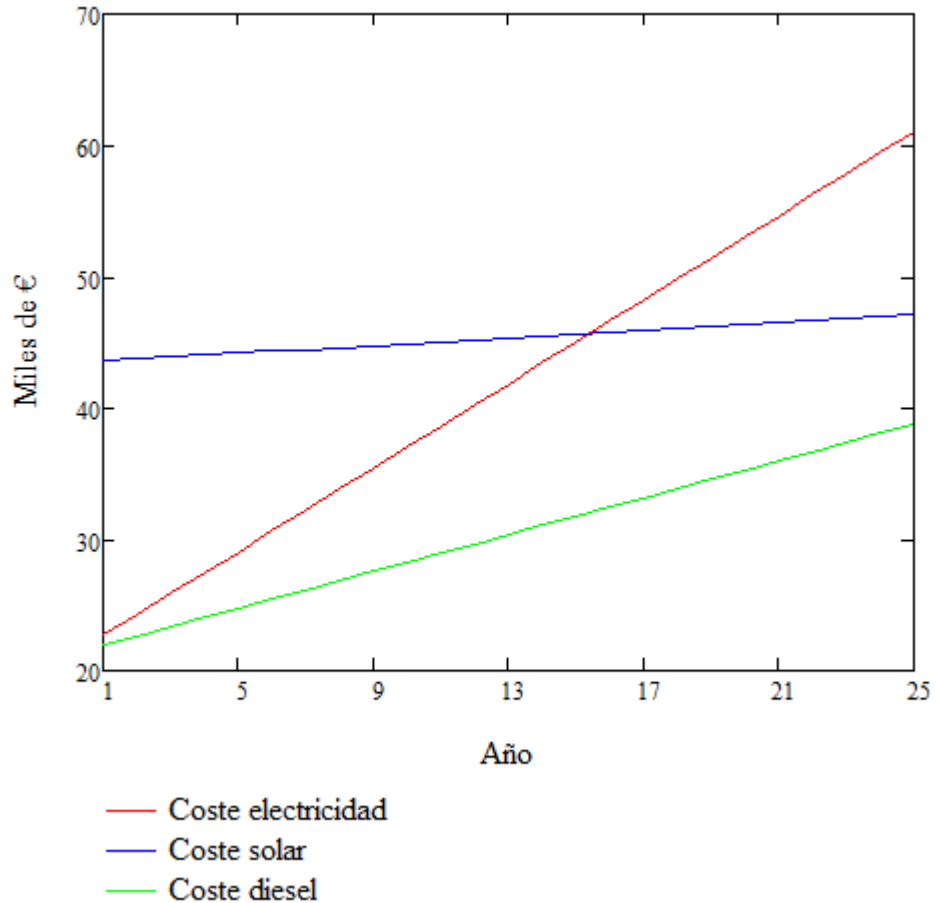


Figura 8.1 Evolución de los costes de las tres tecnologías a lo largo de los años

De la gráfica anterior se puede observar que el coste de la tecnología solar térmica empieza a ser menor que el de la resistencia eléctrica a partir del 15º y 16º año; en el caso de la caldera diesel los costes son menores que los de la energía solar térmica en toda su vida útil, a partir del año 40 empezarían a ser mayores.

Se va a calcular el precio actual que debería tener el diesel si se igualaran los costes de la tecnología solar térmica con los de la caldera diesel en el último año de su vida útil. Sería de 29,48C\$, es decir 0,98€, el precio aumentaría 47,4%, respecto del empleado.

3. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA INSTALACIÓN SOLAR PARA PASTEURIZAR 240 LITROS DE LECHE CONSTRUIDA EN MANAGUA

En la Universidad Nacional Agraria de Managua, se está construyendo un prototipo de pasteurizadora que emplea energía solar térmica para pasteurizar 240 litros de leche, destinada para la elaboración de quesos. Se ha instalado en la Facultad de Ciencias Animales, próxima al ganado.

El equipo de docentes investigadores: el doctor Carlos Zelaya, la doctora Martha Orozco, de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria y el doctor Joan Ignasi Rossel de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Lleida, han diseñado y desarrollado el prototipo.

En la construcción de la instalación y los colectores solares planos, la compra de materiales, puesta en marcha y toma de datos han colaborado, entre otros, Jaime Muñoz director de la ONG Asofenix, el profesor Yader Barrera de la Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente de la Universidad Nacional Agraria y dos alumnas de la Universidad Carlos III de Madrid: Daniela Vicario y Beatriz Maroto.

3.1 Breve explicación del funcionamiento de la instalación

El sistema cuenta con 6m² de colector solar térmico plano (3 colectores) que utiliza una tecnología de concentración solar a través de 4 reflectores: Norte, Sur, Este y Oeste ver figura 8.2. Los paneles solares se han construido utilizando materiales asequibles tanto desde el punto de vista de coste como de disponibilidad (aluminio, cobre, zinc y fibra de vidrio). Como reflectores se ha reutilizado las planchas metálicas usadas en la impresión de periódicos.

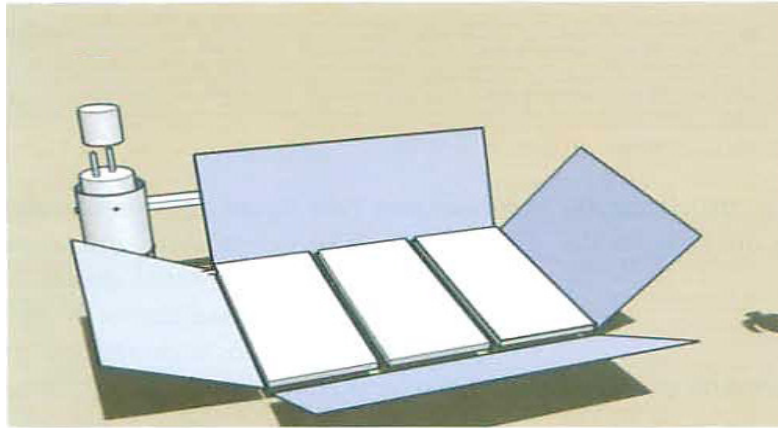


Figura 8.2 *Esquema del circuito primario*

El circuito primario es cerrado, el fluido caloportador empleado es agua, que fluye por la tubería de cobre que conecta la batería de colectores con el tanque de acumulación de 250 litros. El fluido es impulsado por termosifón, el tanque se encuentra colocado a una altura superior a la de los colectores de unos 50cm. El agua caliente entra por la parte superior del tanque y por estratificación el agua de menor temperatura sale por la parte inferior hacia los colectores. El acumulador es un barril de polietileno, ha sido aislado con poliuretano expandido y se ha empleado una carcasa exterior de zinc.

El circuito secundario de leche consiste en dos tanques, uno en el que se vierte la leche sin pasteurizar y otro donde se almacena la leche pasteurizada, un intercambiador de serpentín en el interior del tanque de agua y un recuperador de calor (intercambiador de tubos concéntricos en contracorriente), ambos de 6 metros de longitud. La leche recibida del ordeño es introducida en el tanque y circula por el intercambiador de doble tubo en forma de U, para ser precalentada con la leche ya pasteurizada, es impulsada con una bomba sanitaria hasta el intercambiador de serpentín, comienza a subir por la espiral a medida que se calienta, ya que hay estratificación en el tanque. Se estima que estará durante más de 15 segundos a una temperatura de 72°C o mayor. Ya pasteurizada, entra en el recuperador de calor donde cede calor a la leche que está entrando en el circuito, y por último será almacenada en el tanque o marmita, donde se cuajará para hacer el queso. Salvo el serpentín el resto del circuito

secundario se ha colocado en el interior del edificio donde se produce el queso. Todo el material empleado para este circuito es acero inoxidable sanitario, se ha fabricado íntegramente en Nicaragua.

Se va a disponer de una fuente auxiliar, una pequeña caldera para calentar el agua del tanque cuando no se alcance la temperatura deseada. Se pretende alimentar esta caldera con residuos forestales o biogás obtenido de los excrementos del ganado.

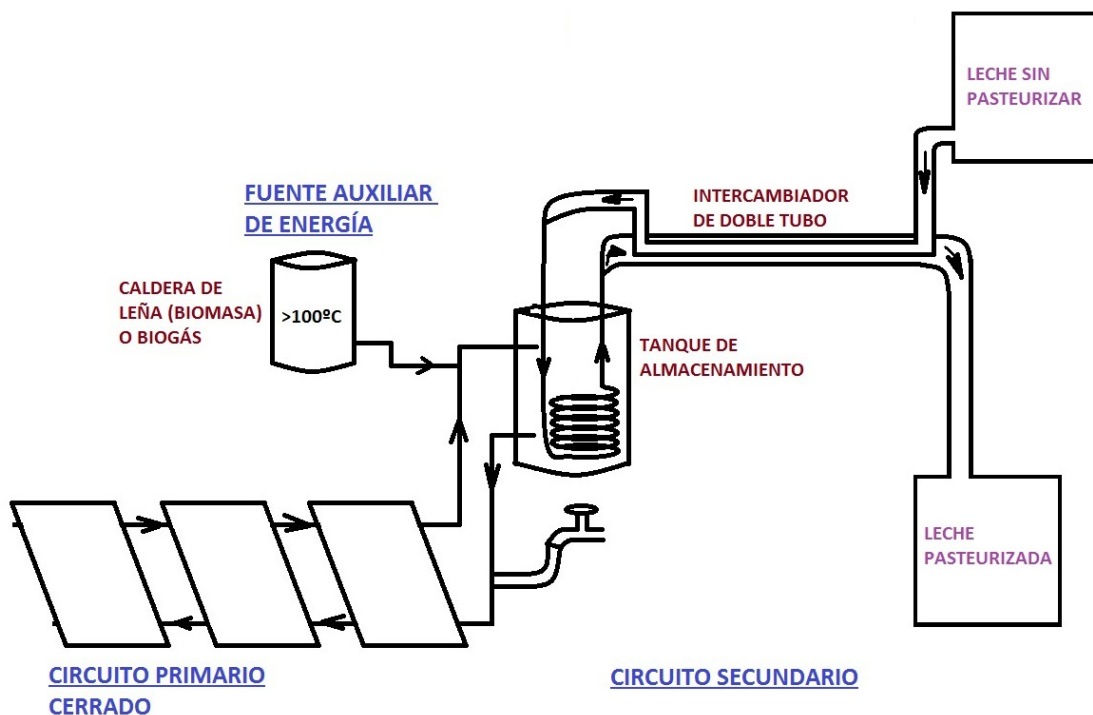


Figura 8.3 Esquema de la Instalación de Managua

3.2 Coste del colector solar plano construido artesanalmente en Managua

Los precios estaban en la moneda local córdobas (C\$) y en dólares americanos (\$), se ha empleado los siguientes cambios: 20C\$ equivale a 1\$, 30C\$ equivale a 1€, por tanto 1\$ se ha aproximado a 0,7€.

El área útil del captador es de 1,86m² y su área total de 2,31m².

Tabla 8.5 Desglose de los costes del colector

Materiales	Coste (€)
Tubería cobre	62,70 €
Tés cobre	14,40 €
Aislante	19,25 €
Aluminio angular	16,80 €
Aluminio rectángulo	30,27 €
Plancha zinc	5,12 €
Vidrio templado	67,40 €
Absorbedor aluminio	39,48 €
Tubo de "T" aluminio	1,30 €

El coste de un colector de área total 2m² es 256,72€, su precio por metro cuadrado de captación es 128,36€/m².



Figura 8.4 Foto de la construcción del colector

3.3 Coste de inversión inicial

Los precios de la bomba sanitaria y de la marmita donde se almacena la leche pasteurizada se han tenido que estimar, puesto que la marmita se usaba antes de la construcción de la instalación y se desconoce su coste, y la bomba por el momento no ha sido comprada.

Se han empleado los mismos cambios monetarios que en el apartado anterior.

Tabla 8.6 Desglose de los costes de la Instalación

Materiales	Coste (€)
CIRCUITO PRIMARIO	
Colectores térmicos	770,16 €
Tanque con aislamiento	32 €
Reflectores	42 €
Tuberías de cobre	32 €
Tés	6 €
válvulas	5,56 €
Tapones	1,95 €
Uniones roscadas	36,40 €
Válvula de escape	14,30 €
CIRCUITO SECUNDARIO	
Tanque de acero inoxidable	513,62 €
Intercambiador	246,70 €
Serpentín	140,40 €
Tubería de unión	22,80 €
Bomba sanitaria	350 €
Llave de pase rápido	7,60 €
Marmita de acero inoxidable	739,40 €

El coste total estimado de la instalación es 2961€



Figura 8.5 Foto del circuito primario

4. CONCLUSIÓN

La tecnología más barata para suministrar calor es la que emplea diesel, no obstante, dependiendo de la localización de la Planta, podría ser complicado tener acceso a dicho combustible.

Sin embargo, sería interesante conocer cómo se reduciría la inversión inicial si los colectores y los tanques se fabricaran en Nicaragua. Hay que recordar que ambos suman el 92% del coste del circuito primario, 58% y 34% respectivamente. Habría que calcular sus nuevas características para ver cómo varía el diseño respecto al original. Desafortunadamente esto no se ha podido hacer porque en el caso de los colectores fabricados en Managua se desconoce la curva de rendimiento, pues de momento no se han podido conseguir los datos de radiación.

Pero siendo muy optimistas usando el coste de referencia 128,36€/m² construido en Managua, suponiendo los 25 años de vida útil, el coste total de los paneles para la Instalación de Estelí sería de 9858€ reduciéndose en un 51,5%.

En este caso a partir del 21º año los costes de solar serían inferiores a los de diesel.

Hay que recordar que el coste de inversión inicial de los tanques es elevado. Supone el 34% de coste del circuito primario. Este coste es el más fácil de reducir en principio, pues al encontrarse en el interior de un edificio, usando un tanque de plástico que aguante calor y aislándolo con poliuretano expandido, la diferencia de pérdidas por transferencia de calor deben de ser mínimas.

Se va a calcular el coste del circuito primario para que en el año 15 la solar sea más barata que la tecnología que emplea diesel. El coste tendría que ser de 21242,35€, es decir, se tendría que reducir el coste total del circuito primario en un 39,5%.

Otra forma de abaratar los costes de la inversión inicial, sería usar paneles reflectores para disminuir el área total de captación.

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	245
2. RESULTADOS OBTENIDOS	245
2.1 Problemática del sector lácteo en Nicaragua	245
2.2 Efectos del calor en la leche: tratamientos térmicos	246
2.3 La Industria láctea: normativa española y nicaragüense	247
2.4 Panorama energético de Nicaragua: análisis ambiental	249
2.4.1 Panorama energético y la energía solar térmica de baja temperatura	249
2.5 Ángulo de inclinación óptimo de los colectores solares	251
2.6 Modelización y dimensionado de la instalación solar	253
2.6.1 Dimensionado de la instalación solar térmica	253
2.6.2 Balance energético	255
2.6.3 Análisis ambiental de la Planta de pasteurización solar	262
2.7 Evaluación económica	263
3. CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS	265

1. INTRODUCCIÓN

Se van a recopilar las conclusiones y los resultados obtenidos en cada capítulo, a fin de poder evaluar la consecución de los objetivos planteados.

2. RESULTADOS OBTENIDOS

2.1 Problemática del sector lácteo en Nicaragua

Nicaragua es un país donde el 46,2% de la población es pobre y el 14,9% extremadamente pobre, los limitados recursos económicos provocan que el 50% de los hogares consuma el 70% o menos de la energía requerida y su dieta sea pobre en proteínas, vegetales y frutas. Esta situación afecta más acentuadamente a los niños menores de 5 años, en cuyo desarrollo se hace vital el consumo de productos lácteos.

El consumo aparente de leche per cápita ha descendido de 38,6 litros al año en 1997 a 32,61 litros al año en el 2001.

Los bajos ingresos económicos y el desconocimiento de buenas prácticas alimenticias de la mayoría de la población, explica el alto porcentaje consumido de leche y sus derivados, en pulperías o puestos de la calle. Éstos se proveen de plantas artesanales o de pequeños productores que no pasteurizan la leche y que en su mayoría operan bajo condiciones sanitarias deficientes.

Los productos elaborados a partir de leche fluida sin pasteurización son una fuente de posibles enfermedades, la más común es la enfermedad diarreica, siendo de nuevo el grupo poblacional de niños menores de cinco años el más afectado.

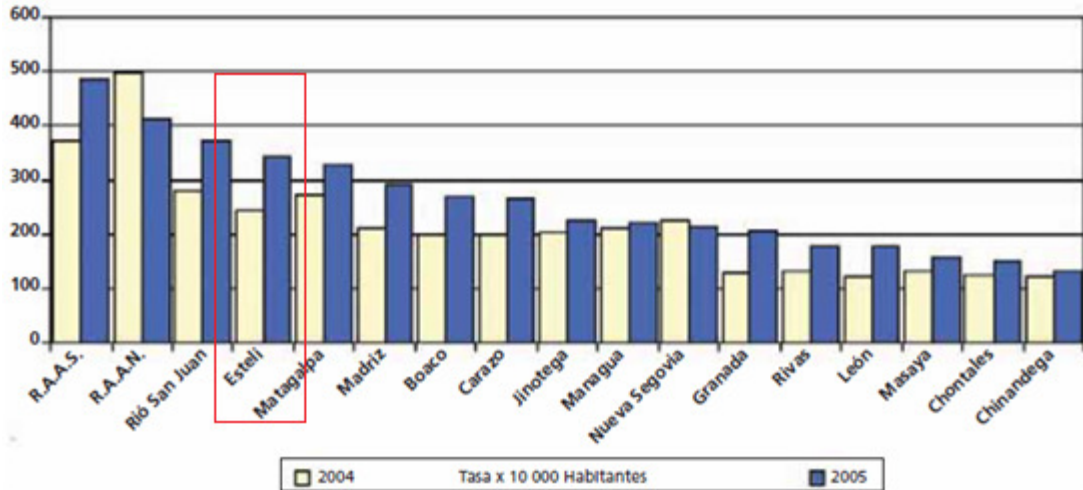


Figura 2.7 Síndrome diarreico agudo, 2004-2005 por departamento (*Fuente: MINSA*)

Como solución a este problema se propone crear una mediana industria con sistemas de producción modernos, que cumpla los requisitos de inocuidad de los alimentos, basada en la economía de escala para poder reducir los costos de transporte, acopio y el proceso industrial. Se ha pensado en una cooperativa de productores.

Uno de los objetivos, es el de producir una leche pasteurizada a un precio de venta menor que el actual.

2.2 Efectos del calor en la leche: tratamientos térmicos

En la selección del tratamiento térmico adecuado para 2500 litros de leche, los motivos por los que se llega a la conclusión de que el tratamiento térmico más propicio por el tipo de maquinaria necesaria, el consumo energético y el coste, es la Pasteurización HTST, son los siguientes:

- La Pasteurización HTST es el tratamiento de menor necesidad energética en comparación con los demás tratamientos térmicos, su necesidad de mantenimiento es limitada y se obtiene una leche de alta calidad.

- La Pasteurización LTLT tiene una necesidad energética mayor que la HTST por tener que mantener la temperatura de la leche a 63°C durante 30 minutos.
- La Ultrapasteurización y Tratamiento UHT, utilizan sistemas para conseguir vapor (calderín o bomba de vacío), que hacen que la instalación se encarezca mucho, y están indicados para tratar a partir de 5000 litros de leche.
- La Esterilización emplea un equipo hermético, indicado para cantidades menores de 500 litros de leche.

2.3 La Industria láctea: normativa española y nicaragüense

En Nicaragua la mayor parte de las granjas tienen una doble función la obtención de leche y de carne. El tamaño habitual del hato es reducido de 2 a 20 vacas. Las principales razas de vaca, tienen gran longevidad, eficiencia reproductiva, carne de calidad y dan más cantidad de leche que las vacas empleadas en Europa para la producción de carne. En la estación seca, el alimento escasea, esto acarrea un descenso en el número de litros que se obtienen por vaca en esta época del año. Se ordeña una única vez al día al amanecer (5 de la mañana).

La entrega de la leche al Centro de tratamiento, se hace a diario, ya que la leche pasteurizada se consume normalmente en el día, pues su vida útil es de dos días máximo en el refrigerador. La tendencia es a no enfriar la leche antes de la entrega por falta de medios materiales y económicos.

La leche se trasporta a la Industria en cántaras llevadas por camiones abiertos. Se recomienda usar algún tipo de medida para evitar asolear las cántaras.

Lo primero que hará la Industria o Centro de tratamiento térmico, será filtrar la leche en su recepción, y después, un control de calidad. Atendiendo a la a la normativa vigente, a la complejidad y al coste de las pruebas de control de

calidad, se aconsejan realizar las siguientes: de sabor y olor, de limpieza, de sedimentos, de higiene y punto de congelación.

Se podrá evitar preenfriar la leche en la Industria, si se tarda menos de dos horas del ordeño a la entrega, para lo que se tendrá que pensar bien dónde localizar la Planta y diseñar rutas de recogida que hagan lo más breve posible el tiempo de transporte.

La ley establece que se entiende por pasteurización el calentamiento uniforme de leche en flujo continuo durante no menos de quince segundos a temperatura comprendida entre 72°C y 78°C, y refrigeración inmediata de la leche pasteurizada a no más de 4°C.

Los pasteurizadores utilizados para pasteurizar la leche, son intercambiadores de calor, de placas o tubos, que utilizan como fuente de calor agua caliente, vapor o, en algunos casos, radiaciones infrarrojas.

Todos los aparatos por donde circule la leche deberán de ser construidos con materiales higiénicos sanitarios y diseñados de tal manera que garanticen la inocuidad del alimento, y permitan su rápido desmontaje o fácil limpieza.

Después de la pasteurización se le hará pruebas al producto para comprobar que ha sido pasteurizado correctamente.

El envasado deberá hacerse en recipientes limpios e higienizados, cerrados en forma que protejan contra contaminaciones y adulteraciones.

En la distribución y venta la leche pasteurizada no podrá en ningún caso superar la temperatura de 10°C. No podrá ser vendida después de 48 horas de pasteurizada.

La Planta Industrial de acuerdo a la ley deberá cumplir una serie de condiciones, entre las que se destacan: edificaciones ubicadas en lugares aislados de cualquier foco de insalubridad o contaminación, provistas de sistemas sanitarios, abastecimiento suficiente de agua potable, sistema

adecuado de tratamiento de aguas residuales, patio en pavimento, distintas áreas habilitadas para la recepción de la leche, lavado y desinfección de las cántaras y el análisis físico-químico de la leche.

En las operaciones de limpieza de los equipos de la Planta industrial, el objetivo es casi siempre conseguir tanto la limpieza química como la bacteriológica.

2.4 Panorama energético de Nicaragua: análisis ambiental

2.4.1 Panorama energético y la energía solar térmica de baja temperatura

Nicaragua es un país fundamentalmente agrícola y rural. La mayoría de su producción de energía se basa en la madera, consumida principalmente en el sector Residencial para cocinar. Aunque la biomasa se considera menos contaminante, esta afirmación no es del todo cierta, pues dependerá de si la biomasa empleada es menor que la producción neta del ecosistema explotado. La tala indiscriminada de árboles que se lleva a cabo en el país, está acarreando graves problemas de deforestación puesto que en muchos casos no se replanta los árboles y en otros, la recuperación de los bosques va a un ritmo mucho más lento que la deforestación. El resto de sectores: Transporte, Industria, Comercio y Servicios, Agropecuario y otros, consumen fundamentalmente energía producida con derivados del petróleo y electricidad. La electricidad producida proviene en un elevado porcentaje de los combustibles fósiles. Esto hace que Nicaragua tenga una gran dependencia del exterior. Ya que el 98% de los derivados de petróleo consumidos son importados.

El potencial del país en energías renovable es elevado. Posee gran cantidad de recursos naturales: lagos, volcanes, viento, biomasa y gran radiación solar.

El modelo energético basado en los combustibles fósiles y la leña, cuenta con serios problemas. La solución solar propuesta para la pasteurización de la leche se basa fundamentalmente, en las ventajas que se van a describir, tratando de reducir, en la medida de lo posible, los inconvenientes.

Se podrían destacar las siguientes ventajas:

- Sostenibilidad en el tiempo: la fuente de energía es el Sol y por tanto inagotable.
- Disponibilidad espacial elevada de la fuente de energía. En localizaciones remotas.
- Prácticamente nulo impacto ambiental. No contribuye al efecto invernadero, aunque habitualmente es necesario el aporte de una fuente auxiliar, y dependiendo del tipo, en proporciones pequeñas puede contribuir, como son: una resistencia eléctrica alimentada con electricidad de la red o una caldera diesel. El único impacto ambiental puede ser el visual.
- Ahorro de combustible, lo cual supone un ahorro económico y ecológico, pues se evitan las emisiones de dióxido de carbono derivada de la combustión de combustibles fósiles.
- Ahorro en las divisas, pues no precisa de importaciones de combustibles fósiles.
- Disminución de la dependencia energética del país con el exterior.
- Generación de empleo tanto en la construcción del sistema, como en la instalación y el mantenimiento.
- Transferencia de conocimiento, es una tecnología por desarrollar en Nicaragua.

Entre los inconvenientes:

- Elevado coste de inversión inicial.
 - Dificultad de almacenamiento.
 - Necesidad de una gran área de superficie para la instalación.
- Disponibilidad temporal de la fuente de energía variable, depende de las variaciones naturales como son día-noche, nublado-soleado, invierno-verano.

2.5 Ángulo óptimo de los colectores solares

Para recoger la máxima cantidad de radiación solar por unidad de superficie es preciso inclinar el colector hasta lograr la incidencia normal. La inclinación óptima es igual a la diferencia entre latitud y declinación, y consecuentemente varía a lo largo del año. Debido a que los colectores no están monitorizados y se van a mover manualmente, por comodidad se ha preferido inclinarlos en una única posición durante todo el año. Se ha calculado la irradiación anual sobre superficies inclinadas distintos grados:

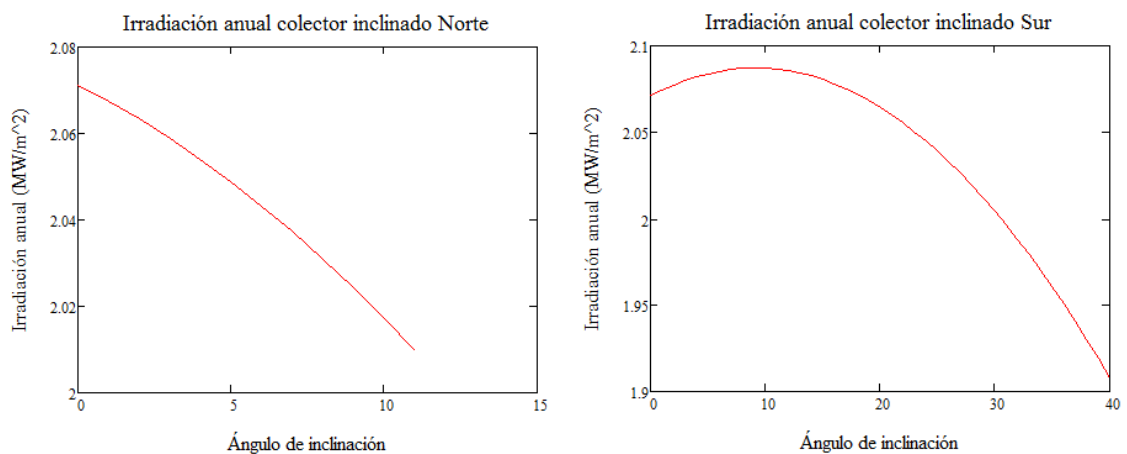


Figura 6.12 Irradiación total anual en función del ángulo de inclinación

Se consigue captar mayor irradiación total en suma en un año, orientando el colector al Sur con una inclinación entre 0 y 15°. El intervalo de ángulos

empleado es el dado por el ángulo óptimo diario de -11° a 40° , es decir de 0° a 10° con orientación norte y de 0° a 40° con orientación sur.

Tabla 6.1 Irradiación total anual en función del ángulo de inclinación

Ángulo de inclinación	Irradiación (kW/m ²)
-10	2017
-5	2049
0	2071
5	2084
10	2087
15	2081
20	2064
30	2004
40	1908

El ángulo óptimo anual es el correspondiente al valor máximo de irradiación total sumada a lo largo del año, este es 10° para un valor de 2087 kW/m². Dividiendo dicho valor entre los 365 días del año, se obtiene 5,72 kW/m² como la irradiación media diaria en un año.

Diferentes estudios demuestran que el ángulo óptimo anual coincide con la latitud del lugar. El por qué de que no coincida con la latitud en este caso, tiene su explicación en que la mayoría de los estudios parten de datos que son promedios de varios años, éstos son más precisos que los datos de un único año. Por ello, se va a emplear como ángulo óptimo, la latitud de Estelí $13,05^\circ$.

2.6 Modelización y dimensionado de la instalación solar

2.6.1 Dimensionado de la instalación solar térmica

Se quieren pasteurizar 2500 litros de leche a una temperatura igual o mayor de 72°C.

Para dicho propósito se ha dimensionado la instalación del siguiente modo:

- El número de colectores en serie se calcula imponiendo la siguiente condición: Alrededor del 30% de las horas de Sol del año la temperatura del agua a la salida del último colector en serie debe estar a una temperatura superior a los 80°C. De esta imposición se resuelve que es necesario el empleo de ocho colectores en serie.
- El número de horas que están trabajando los colectores debe maximizar la temperatura del agua en el interior del tanque antes de la pasteurización. Hallándose que es preferible finalizar el horario de trabajo de los colectores con una temperatura de entrada en el tanque elevada puesto que el tanque está bien aislado y sus pérdidas al ambiente son reducidas. El período de trabajo de los colectores solares será de 8 horas, desde las 8 de la mañana a las 16 de la tarde.
- La pasteurización se realiza en una hora, de 7 a 8 de la mañana. El caudal de agua necesario para pasteurizar 2500 litros de leche en una hora, debe ser igual o mayor para que el intercambio sea efectivo. Como el caudal de agua en los colectores en serie es 100,28 litros/hora y los colectores

funcionarán durante 8 horas, necesitaré 4 filas de colectores en paralelo. El caudal de agua será por tanto:

$$q_{TOTAL_{agua}} = 8hr \cdot 4filas \cdot q_{agua}$$

$$q_{TOTAL_{agua}} = 3209 \text{ litros}$$

Se concluye que la instalación solar está compuesta por un total de 32 colectores que ocupa una superficie de 76,8 m², repartidos en 4 filas de cuatro colectores en serie cada una, discurriendo un caudal de 100,28 litros/hora por cada colector, es decir de 401,12 litros/hora por el campo de colectores.

Los tanques de almacenamiento y el intercambiador se encontrarán situados en el interior de un edificio resguardados del viento.

Los tanques están compuestos por una pared doble de acero inoxidable separada por un material aislante, tienen una capacidad de 4000 litros.

El intercambiador está compuesto por dos secciones: la de calentamiento, donde se pasteuriza la leche y la regenerativa donde se precalienta y preenfria la leche. El intercambiador consta de 51 placas para la primera sección y de 33 para la segunda. Sumando un total de 84 placas. Con lo que podemos concluir que ha de medir 195 mm de ancho, 818 mm de alto y aproximadamente 50mm de profundidad

2.6.2 Balance energético

La instalación ha sido dimensionada con el fiel propósito de pasteurizar la mayor cantidad de leche posible únicamente con energía solar térmica.

En este apartado se muestra la temperatura del agua en cada paso, así como la temperatura final de la leche y el aporte de energía auxiliar para lograr su total pasteurización.

La temperatura del agua a la salida del último colector en serie, queda de la siguiente manera:

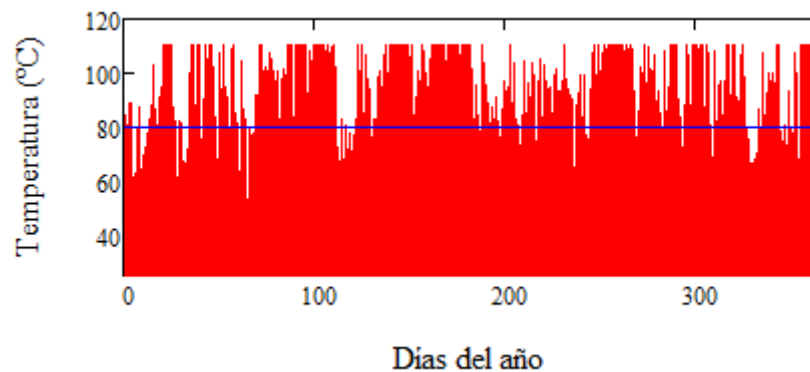


Figura 7.24 Temperatura del agua a la salida del octavo colector

El porcentaje de horas de Sol al año cuya temperatura supera los 80°C es 28,39 %. Si tenemos ahora en cuenta únicamente las horas de trabajo del colector, el porcentaje asciende a 47,2%.

La energía cedida al agua a veces es negativa, esto es porque la temperatura de entrada en el colector es mayor que la temperatura de salida, es decir, se producen pérdidas.

Como solución a este problema se ha decidido poner una tubería auxiliar que una los dos tanques de almacenamiento en el interior del edificio. El propósito de la tubería es desviar el fluido hacia el tanque de almacenamiento cuando la temperatura de salida del campo de colectores sea menor que la de entrada, y cuando la

radiación incidente sea menor que la mínima pero esto suele coincidir con lo primero.

El rendimiento global de la instalación teniendo en cuenta las cuatro filas de colectores y por tanto todo el campo es del 18%:

$$\eta_{col} = \frac{\rho_{agua} \cdot C_{p_{agua}} \cdot 4 \cdot q_{agua} \cdot \sum (T_{sco8j} - T_{eco_j})}{32 \cdot A_{\acute{u}til} \cdot \sum I_{opt_j}}$$

Para las 8 horas que trabaja el campo de colectores, teniendo en cuenta únicamente las horas que el agua pasa por el campo y no se desvía por la tubería auxiliar, es decir, las horas en las que la temperatura a la salida del último colector en serie sea mayor que la temperatura a la entrada del campo de colectores.

El rendimiento global es bajo porque se ha sacrificado a favor de conseguir una temperatura de salida del agua muy elevada, para ello la temperatura del agua a la entrada se ha mantenido alta como mostraremos más adelante.

La temperatura del agua a la salida del campo de colectores teniendo en cuenta las pérdidas de calor en la tubería de salida:

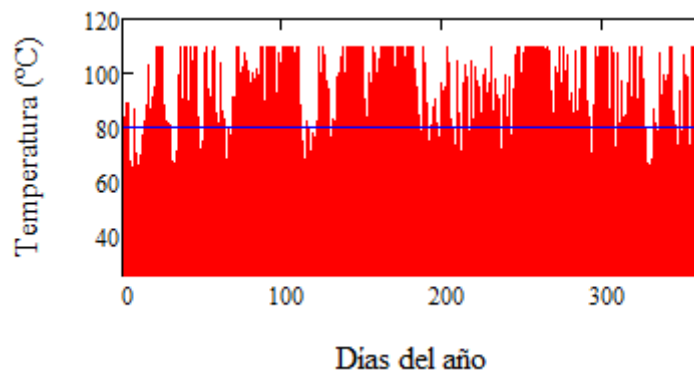


Figura 7.28 Temperatura a la entrada del tanque

El 56,16% de las horas que trabaja la temperatura del agua es superior a los 80°C dentro del horario de trabajo de los colectores.

El 62,46% de los días del año la temperatura del agua en el interior del tanque nada más finalizar los colectores a las 16 horas, está por encima de los 80°C.

La temperatura en el interior del tanque a las 7 de la mañana del día siguiente, en la entrada del intercambiador es:

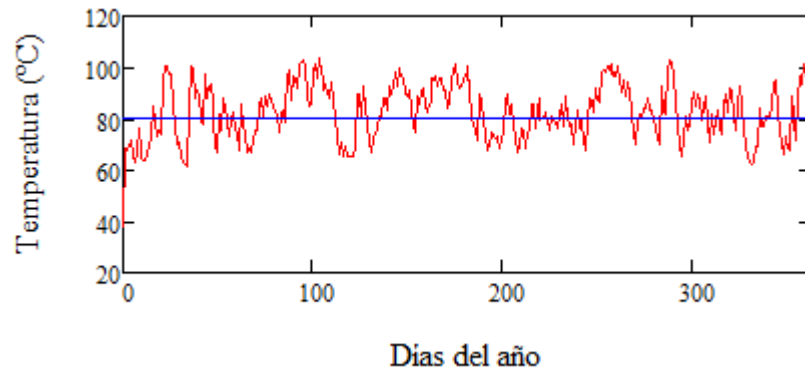


Figura 7.32 *Temperatura del agua en el tanque a las 7h de la mañana*

El porcentaje de días del año con temperatura del agua superior a los 80°C desciende a 57,42%.

La temperatura de la leche pasteurizada cada día del año:

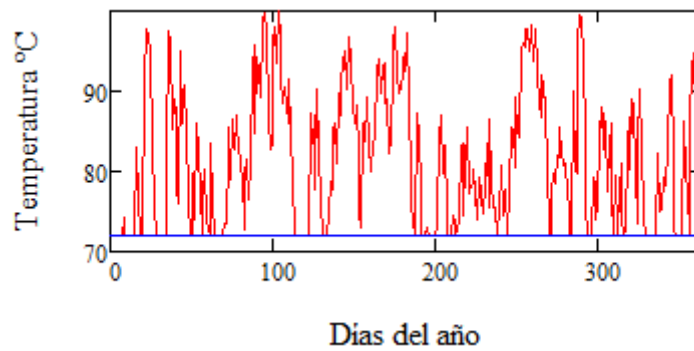


Figura 7.33 *Temperatura de la leche pasteurizada*

Estando el 100% de la leche por encima de los 72°C gracias al aporte de energía de la fuente auxiliar.

La temperatura de la leche precalentada cada día del año:

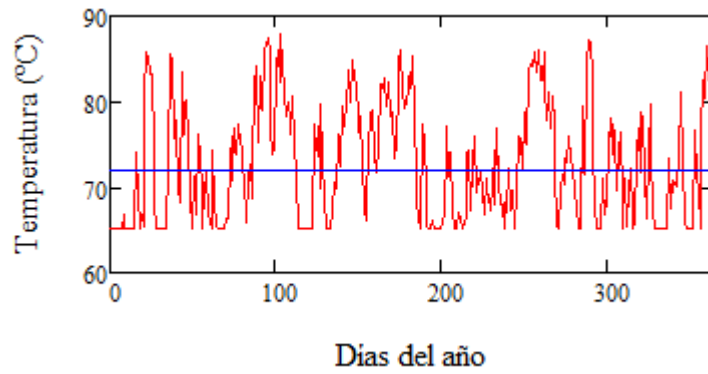


Figura 7.34 *Temperatura de la leche precalentada*

La temperatura de la leche preenfriada cada día del año:

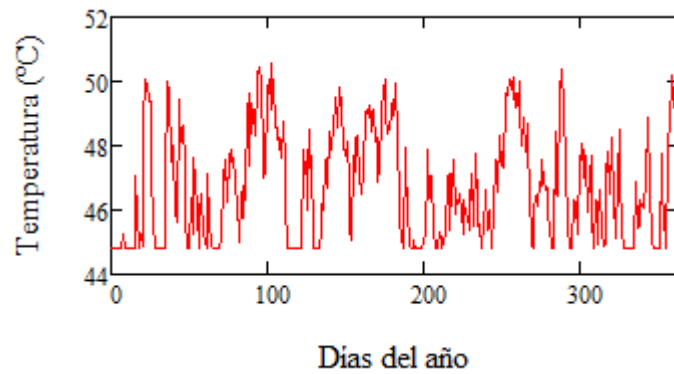


Figura 7.35 *Temperatura de la leche preenfriada*

La temperatura de la leche a la salida del intercambiador de calentamiento es:

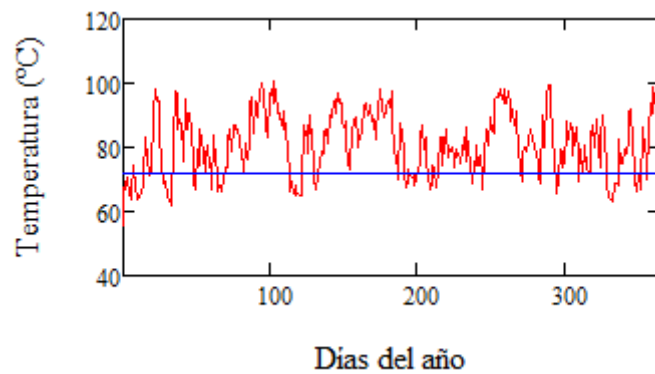


Figura 7.36 *Temperatura de la leche a la salida de la sección de calentamiento*

Con este sistema se consigue pasteurizar sin necesidad de una fuente auxiliar (resistencia eléctrica) el 77,7% de la leche, es decir, a la salida de la sección de calentamiento antes de entrar en el serpentín el 77,7% de los días del año la leche alcanza una temperatura igual o superior a los 72°C.

El agua a la salida de la sección de calentamiento entra en el tanque por dónde saldrá el agua hacia los colectores.

La temperatura del agua a la salida del intercambiador:

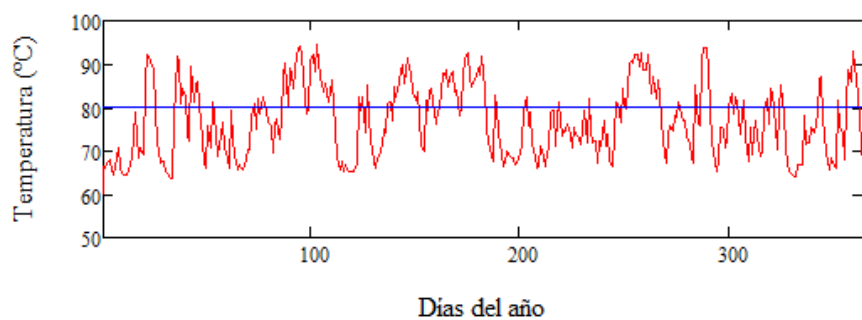


Figura 7.37 Temperatura del agua a la salida del intercambiador

Estando el 36% de los días la temperatura del agua por encima de los 80°C.

La temperatura mínima de la leche precalentada es 65,3°C, que corresponde a la leche pasteurizada a 72°C. El 96,7% de los días del año el agua a la entrada del intercambiador de calor tendrá mayor temperatura que la leche precalentada. Los días que esto no se cumpla para evitar que la leche precalentada ceda calor al agua, se ha dispuesto de una tubería auxiliar que une la salida de la leche de la sección regenerativa con la tubería donde se encuentra la fuente auxiliar. Empleando un termopar que mida ambas temperaturas de agua y leche respectivamente, se usará una válvula de tres vías para redireccionar la leche, la válvula de entrada de la leche en la sección de calentamiento.

El rendimiento de la instalación puede ahora calcularse del siguiente modo:

$$\eta_{col} = \frac{\rho_{leche} \cdot C_{p_{leche}} \cdot Caudal_{leche} \cdot \sum(T_{sl_j} - T_{elf_j})}{32 \cdot A_{\acute{u}til} \cdot \sum I_{opt_j}}$$

Resultando un rendimiento de la instalación del 44,1%, dónde el “ $Caudal_{leche}$ ” son los 2500 litros/hora que se quieren pasteurizar, “ T_{elf_j} ” es la temperatura de la leche a la llegada a la planta, es decir, la temperatura de ordeño y “ T_{sl_j} ” es la temperatura de la leche a la salida del intercambiador de calentamiento. La radiación incidente se suma para las horas dónde discurre agua por los colectores en el horario de trabajo.

La temperatura a la entrada del campo de colectores teniendo en cuenta las pérdidas en el tanque y la tubería de entrada:

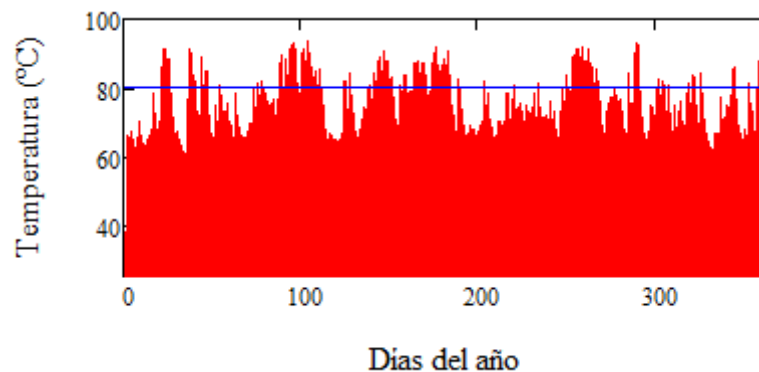


Figura 7.41 Temperatura a la entrada de los colectores

El porcentaje de horas al año con temperatura superior a 80°C inicialmente es de 31,54% durante las ocho horas de trabajo de los colectores.

La potencia térmica diaria aportada es:

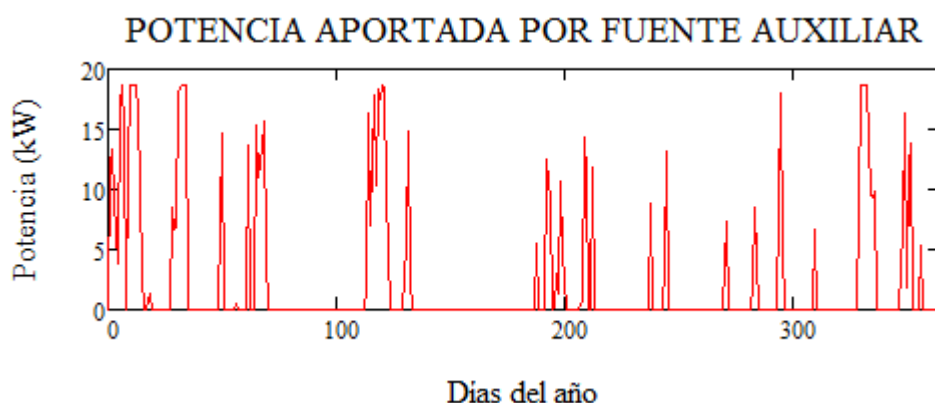


Figura 7.42 Potencia térmica necesaria

Como la potencia diaria máxima necesaria es de 18,6 kW, se escoge una resistencia de 20 kW.

Se han dimensionado, también la mayoría de componentes que conforman la instalación hidráulica.

El vaso de expansión elegido es el Reflex S200 de la marca Sedical de 200 litros de capacidad, ver Anexo.

Las pérdidas de carga en las tuberías son 985mmca, más la diferencia de altura entre la tubería de entrada y de salida del tanque 1,5metros, quedan unas pérdidas de carga totales de 2485mmca.

Se ha elegido la bomba de la marca Wilo tipo Stratos ECO-ST 15/1-5-130, potencia absorbida hidráulica es 16,4W, la potencia nominal del motor es de 47W y la potencia absorbida por el motor 59W. Para más detalle consultar Anexo.

2.6.3 Análisis ambiental de la Planta de pasteurización solar

En la evaluación de la instalación desde el punto de vista medio ambiental, se calculan las emisiones de gases de efecto invernadero para el caso más desfavorable, es decir, que la resistencia de la fuente auxiliar haya sido alimentada con electricidad proveniente de la red, y se comparan dichas emisiones con las de una caldera de diesel, el sistema más empleado actualmente en la industria láctea. La energía consumida a lo largo del año y liberadora de monóxido de carbono en la instalación solar, es la energía eléctrica consumida por la fuente auxiliar y es de 884,8 kWh.

La energía aportada anualmente por la instalación diesel, es de 9669 kWh.

Por lo que la fuente auxiliar supone el 9,15% de la energía aportada por la caldera de diesel, es decir, el aporte de energía solar sustituye al 90,9% de la energía aportada por una caldera de diesel. El potencial de efecto invernadero indirecto es de 9,7 toneladas de CO₂ para la instalación solar y de 72,5 toneladas de CO₂ para la caldera diesel.

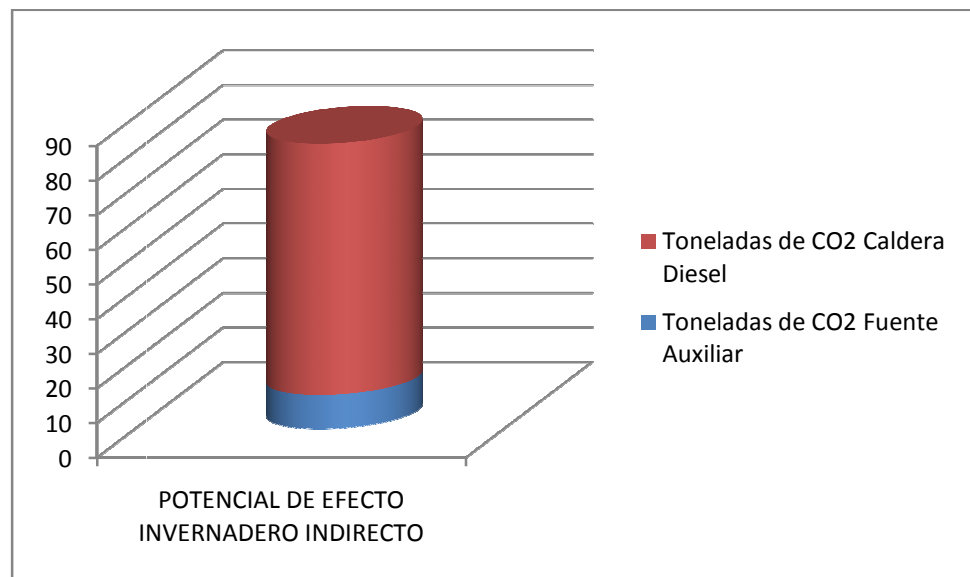


Figura 7.46 Potencial de efecto invernadero indirecto

En la figura 7.46 se muestra como el potencial de efecto invernadero indirecto de la fuente auxiliar de la instalación solar supone el 13,4% del potencial de la caldera diesel.

Si la fuente auxiliar estuviera alimentada con paneles solares fotovoltaicos o con energía eólica, entonces, el potencial de efecto invernadero indirecto de la instalación solar sería nulo.

El ahorro de diesel en 25 años es de 26331,7 litros, lo que equivale a 956,9 litros anuales de diesel ahorrado.

2.7 Evaluación económica

Se han calculado los costes de inversión inicial y de explotación de la instalación para las distintas tecnologías que se quieren comparar: solar térmica, caldera de diesel y resistencia eléctrica. Comparando los costes de las tres tecnologías:

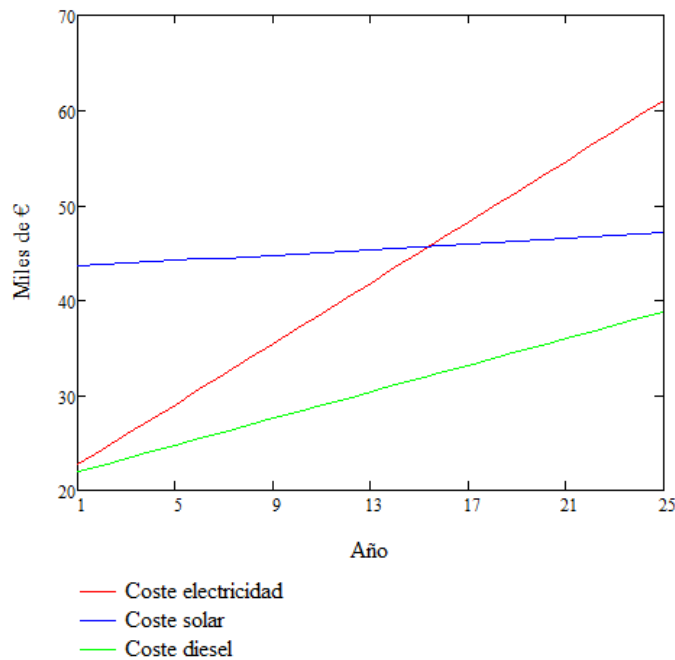


Figura 8.1 Evolución de los costes de las tres tecnologías a lo largo de los años

De la gráfica anterior se puede observar que el coste de la tecnología solar térmica empieza a ser menor que el de la resistencia eléctrica a partir del 15º y 16º año; en el caso de la caldera diesel los costes son menores que los de la energía solar térmica en toda su vida útil, a partir del año 40 empezarían a ser mayores.

La tecnología más barata para suministrar calor es la que emplea diesel, no obstante, dependiendo de la localización de la Planta, podría ser complicado tener acceso a dicho combustible.

Sin embargo, sería interesante conocer cómo se reduciría la inversión inicial si los colectores y los tanques se fabricaran en Nicaragua. Hay que recordar que ambos suman el 92% del coste del circuito primario, 58% y 34% respectivamente. Habría que calcular sus nuevas características para ver cómo varía el diseño respecto al original. Desafortunadamente esto no se ha podido hacer porque en el caso de los colectores fabricados en Managua se desconoce la curva de rendimiento, pues de momento no se han podido conseguir los datos de radiación.

Pero siendo muy optimistas usando el coste de referencia 128,36€/m² del colector construido en Managua, suponiendo los 25 años de vida útil, el coste total de los paneles para la Instalación de Estelí sería de 9858€ reduciéndose en un 51,5%.

En este caso a partir del 21º año los costes de solar serían inferiores a los de diesel.

Hay que recordar que el coste de inversión inicial de los tanques es elevado. Supone el 34% de coste del circuito primario. Este coste es el más fácil de reducir en principio, pues al encontrarse en el interior de un edificio, usando un tanque de plástico que aguante calor y aislándolo con poliuretano expandido, la diferencia de pérdidas por transferencia de calor deben de ser mínimas.

Se va a calcular el coste del circuito primario para que en el año 15 la solar sea más barata que la tecnología que emplea diesel. El coste tendría que ser de 21242,35€, es decir, se tendría que reducir el coste total del circuito primario en un 39,5%.

Otra forma de abaratar los costes de la inversión inicial, sería usar paneles reflectores para disminuir el área total de captación.

3. CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS

7. Examinar el tratamiento térmico que se adecúe mejor a las condiciones del país y al tamaño de la Industria que se quiere estudiar.

Este primer objetivo se ha llevado a cabo en el capítulo 3, complementado con los capítulos 2 y 4 donde se describe el funcionamiento de la Industria láctea en Nicaragua.

8. Diseñar la instalación para que cumpla las normas de higiene establecidas por el Gobierno de Nicaragua.

Las normas quedan expresadas en el capítulo 4, y se han tenido en cuenta en el diseño de la instalación en el capítulo 7.

9. Seleccionar una tecnología respetuosa con el medio ambiente, que pueda emplearse en localizaciones remotas, cuyos principales componentes se compren o construyan en Nicaragua para garantizar la durabilidad y minimizar los costes de inversión inicial y mantenimiento.

El tercer objetivo se ha cumplido como se ve en los capítulos 5 y 7 donde se demuestra que la tecnología elegida es respetuosa con el medio ambiente y puede emplearse en localizaciones remotas; en el capítulo 8 se ponen ejemplos del coste aproximado de los principales componentes.

10. Diseñar la instalación para maximizar la energía que se pueda conseguir con dicha tecnología.

El hecho de seleccionar la inclinación óptima del captador en el capítulo 5 y el diseño que se ha llevado a cabo en el capítulo 7, deja patente que se ha cumplimentado satisfactoriamente este objetivo.

11. Desarrollar una simulación de operación que permita detectar y solucionar problemas técnicos de antemano.

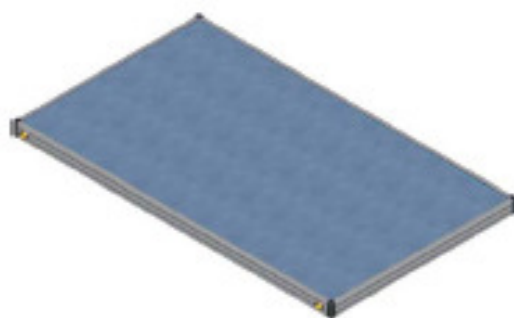
Se realiza en el capítulo 7.

12. Minimizar los costes del precio del producto final.

Es el único objetivo que no se ha podido lograr debido a la dificultad de calcular el coste del precio del producto final sin conocer el equipo de refrigeración y por lo tanto su coste, el coste de empaquetado, el coste de transporte, el emplazamiento de la planta etc.

ANEXO

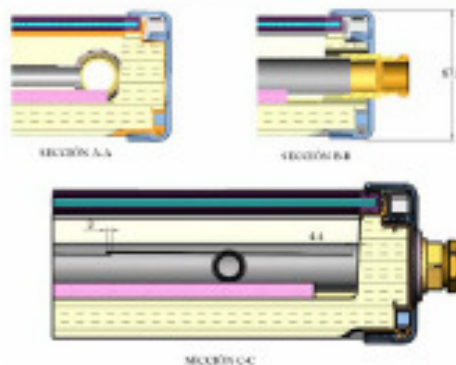
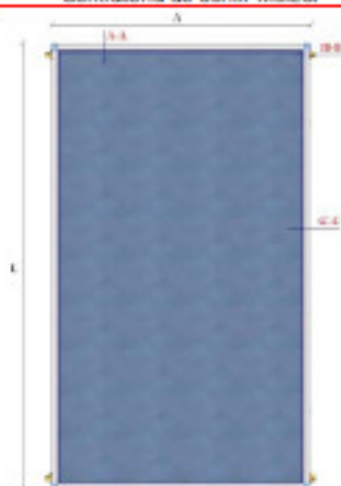
CHROMAGEN



CAPTADORES SOLARES SELECTIVOS ALTA EFICIENCIA

CHROMAGEN CR-10 SN

CAPTADOR SOLAR		CHROMAGEN CR-10 SN
DIMENSIONES / PESOS		
largo total (mm) [L]		2.190
ancho total (mm) [A]		1.090
fondo (mm) [F]		98
área total (m ²)		2,40
área de apertura (m ²)		2,18
área del absorbedor (m ²)		2,13
peso en vacío (kg)		44
capacidad de fluido (l)		4,2
PRESIONES DE PRUEBA Y CAUDAL RECOMENDADO		
presión de timbre (bar)		14,0
presión máx. de trabajo (bar)		8,0
caudal recomendado (l/h m ²)		45,0
caída de presión (mm.c.a.) @4l/m ²		0,37 q ² +1,25 q
fluidos compatibles		agua o agua con anticongelante
CALIDADES DE FABRICACIÓN		
cubierta transparente (01)		vidrio solar templado de 3,20 mm de espesor (τ=0,91)
Carcasa (08)		aluminio anodizado Al6063-T5 (τ=1,50 mm)
Absorbedor (02)		láminas de cobre τ=0,5 mm soldadas por ultrasonidos a planilla de cobre
tratamiento selectivo		Cromo Negro sobre base de Níquel Claro
relación en planilla (03)		colector principal Ø 23 mm / colector secundario Ø 12 mm
aislamiento térmico FONDO (04-05-06)		poliuretano rígido inyectado 30 mm + lámina de Al + lana mineral 30 mm
aislamiento térmico LATERAL (04-05)		poliuretano rígido inyectado 30 mm + lámina de Al
terminación posterior (07)		lámina de polipropileno moldeado
sellado		espuma de EPDM
conexiones		B.S.P. hembra de ½" en bronce (x4)
CURVAS DE RENDIMIENTO INSTANTANEO Y REGISTRO		
Factor óptico η (τ _s)		0,6715
Factor pérdidas (U _L) °C m ² / W		0,3141
Contraseña de certif. Mo.Ec.		NPS-1205



CHROMAGEN
Energías de Energía Solar

CALS05

WILO SE
 Nortkirchenstr. 100
 D 44263 Dortmund
 Teléfono 0231/4102-0
 Telefax 0231/4102-7363

Stratos ECO-ST 15/1-5-130
 Instalación: High-efficiency pump

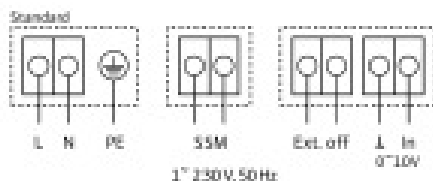
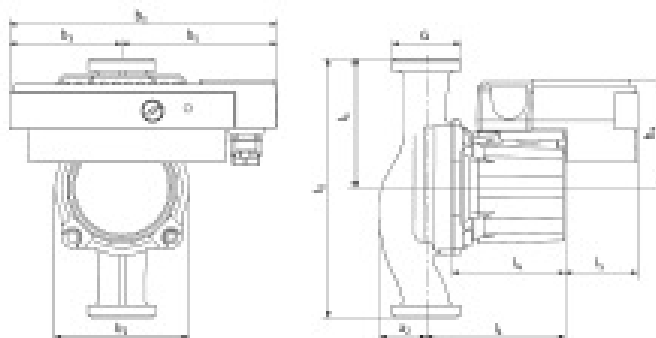
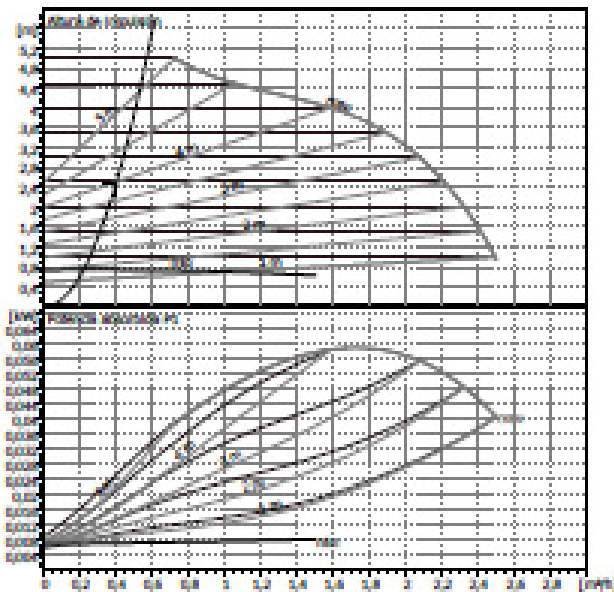


Cliente
 Nº Cliente
 Contacto
 Elaborado por

Proyecto
 Nº proyecto
 Nº pos.
 Location
 Fecha

11.05.2010

Página 1 / 1



Datos de trabajo teóricos

Caudal 0,401 m³/h
 Altura de impulsión 2,485 m
 Fluido Agua limpia
 Temperatura fluido 80 °C
 Densidad 0,9983 kg/dm³
 Viscosidad cinemática 1005 mm²/s
 Presión de vapor 0 bar

Datos bomba

Marca WILO
 Tipo Stratos ECO-ST 15/1-5-130
 Tipo inst. Bomba simple
 Modo de funcionamiento dp-v
 Presión nominal máx. PN10
 Temp. mín. fluido 15 °C
 Temp. máx. fluido 110 °C

Datos hidráulicos (punto de trabajo)

Caudal 0,401 m³/h
 Altura de impulsión 2,48 m
 Potencia absorbida P1 0,0164 kW

Altura mín. aspiración

Temperatura	50	95	110			°C
Altura mín. aspiración	0,5	3	10			m

Materiales

Carcasa bomba Fundición gris
 Rodete PP + G/P 40 %
 Eje Acero inox.
 Cojinete Carbón, impre. d. metal

Medidas

mm						
IO	130	b4	73	G	40	
a2	32,5	b5	107,3	13	90	
b1	184,8	11	98			
b2	93,5	14	78			
b3	77,3	15	50			

Lado aspiración Rp 1/2" G 1 / PN10
 Lado impulsión Rp 1/2" G 1 / PN10
 Peso 3 kg

Datos del motor

Energy efficiency class -
 PoL nominal P2 47 W
 Potencia absorbida P1 59 W
 Velocidad nominal 3500 1/min
 Tensión nominal 1~ 230 V 50Hz
 Intensidad máx. absorbida 0,46 A
 Tipo de protección IP 44
 Tolerancia tensión

Referencia de la versión estándar 4094623

DEPÓSITOS PARA PRODUCCIÓN Y ACUMULACIÓN DE ACS

MASTER VITRO e INOX, acumulación



de 1500 a 5000 litros

Depósitos acumuladores de gran capacidad, fabricados en ACERO VITRIFICADO s/DIN 4753 (serie "MVV") o en ACERO INOXIDABLE (serie "MXV").

Destinados a funciones de producción y acumulación de agua caliente sanitaria, para instalaciones de gran consumo individuales, comunitarias e industriales. Con capacidades hasta los 5000 litros, todos los depósitos acumuladores de la serie "Master Vitro" y "Master Inox" van aislados con 80 mm. de espesor de espuma rígida de poliuretano de densidad optimizada y libre de CPC, inyectada en molde, lo que hace de esta serie que una de sus características más importantes sea precisamente su incomparable capacidad de acumulación.

La boca lateral DN 400, también incorpora su aislamiento térmico convenientemente adaptado.

Todos los modelos disponen de conexiones para la incorporación de resistencias eléctricas de calentamiento como sistema principal de producción de ACS, o como sistema de apoyo a una fuente energética externa.

Los depósitos "Master Vitro", se suministran de serie con equipo de protección catódica permanente "Lapasa correx-up", y como opción, equipo de protección catódica compuesto por ánodos de magnesio y medidor de carga de ánodo.

Bajo demanda, se suministra conjunto de ferro acilado color gris RAL 7042 y conjunto de acabado donde se incluyen cubierta, tapa y embellecedores de color negro.

DEPÓSITOS ACUMULADORES DE GRAN CAPACIDAD "MASTER VITRO", serie MVV

Depósitos acumuladores de gran capacidad (sin sistema intercambiador de serpentina para producción propia de ACS), destinados a funciones de acumulación de ACS procedente de sistemas externos de producción, p.e. intercambiadores de placas.

Fabricados en acero vitrificado s/DIN 4753.

Capacidades de 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 y 5000 litros.

Incorporan de serie equipo de protección catódica "Lapasa correx-up". Como opción, suministramos equipo de protección catódica, compuesto por ánodos de magnesio y medidor de carga.

Como opción, pueden incorporar resistencias eléctricas de inmersión en INCOLOY 825, como sistema de producción propia (ver tabla de potencias).

DEPÓSITOS ACUMULADORES DE GRAN CAPACIDAD "MASTER INOX", serie MXV

Depósitos acumuladores de gran capacidad (sin sistema intercambiador de serpentina para producción propia de ACS), destinados a funciones de acumulación de ACS procedente de sistemas externos de producción, p.e. intercambiadores de placas.

Fabricados en acero inoxidable AISI 316 L, decapado y pasivado químicamente.

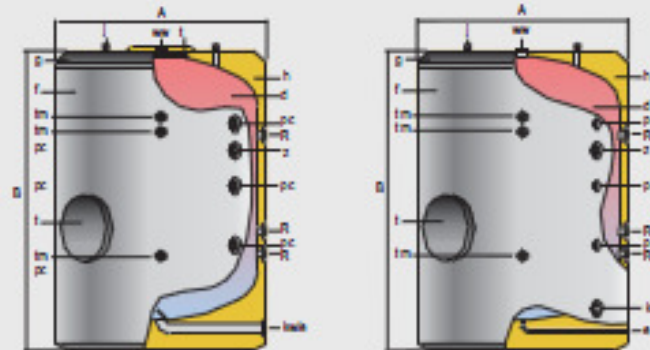
Capacidades de 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 y 5000 litros.

Como opción pueden incorporar equipo de protección catódica "Lapasa correx-up INOX", para casos de aguas especialmente agresivas o con contenidos en cloruros superiores a 150 mg/l.

Como opción, pueden incorporar resistencias eléctricas de inmersión en INCOLOY 825, como sistema de producción propia (ver tabla de potencias).

Características técnicas

Temperatura máx. ACS	°C	90
Presión máx. depósito ACS	bar	8



Mod. MVV...RB

- b- Boca de hombre DN 400
- d- Depósito acumulación ACS
- é- Forro externo

Mod. MXV...RB

- g- Cubierta superior
- h- Aislamiento térmico
- j- Cáncamos para transporte

Características / Conexiones / Dimensiones		Ref. tamaño acumulador						
		1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000
Capacidad de ACS	litros	1500	2000	2500	3000	3500	4000	5000
Peso en vacío Mod. MVV (aprox.)	Kg.	390	450	630	690	755	880	1040
Peso en vacío Mod. MXV (aprox.)	Kg.	275	315	450	485	530	595	685
bw: Entrada agua fría desagüe	*GAS/M	2 (3/ 1)*	2 (3/ 1)*	3 (3/ 1)*	3 (3/ 1)*	3 (3/ 1)*	3 (3/ 1)*	3 (3/ 1)*
ww: Salida de ACS	*GAS/M	2	2	3	3	3	3	3
z: Recirculación	*GAS/M	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2
R: Conexión lateral	*GAS/M	2	2	2	2	2	2	2
ts: Conexión vaina sensores	*GAS	3/4M (1/2H)*	3/4M (1/2H)*	3/4M (1/2H)*	3/4M (1/2H)*	3/4M (1/2H)*	3/4M (1/2H)*	3/4M (1/2H)*
pc: Conexión ánodos protección catódica	*GAS	1-1/2M (3/4H)*	1-1/2M (3/4H)*	1-1/2M (3/4H)*	1-1/2M (3/4H)*	1-1/2M (3/4H)*	1-1/2M (3/4H)*	1-1/2M (3/4H)*
Díametro exterior: A	mm.	1300	1300	1660	1660	1660	1910	1910
Altura total: B	mm.	1830	2280	2015	2305	2580	2510	2710
Boca de hombre	DN	400	400	400	400	400	400	400
Resistencia eléctrica (opcional)	KW (400V)	6 ó 9	6 ó 9	6 ó 9	6 ó 9	6 ó 9	6 ó 9	6 ó 9

(* Modelos en acero inoxidable, serie MXV)



First Choice in Sanitary Applications - at low Capacity

Clip 3 Plate Heat Exchangers

Application

Pasteurization and general cooling/heating of dairy and brewery products, fruit juices and similar food products.

Working principle

The heat exchanger consists of a number of corrugated plates clamped together in a frame and sealed at the edges by means of gaskets.

The plates have ports at the corners and the gaskets are so arranged that the two media flow through alternate passages between the plates. The two media are separated by the plates and cannot be mixed. Heat is transferred through the plates, from the hot medium to the cold.

One unit can contain several heat exchangers, separated by connection plates with interchangeable connections.

Frame

The frame consists of a fixed frame plate, a movable pressure plate, an upper carrying bar, a lower guiding bar, a support column and tightening bolts with nuts.

The Clip 3-RM frame plate has adjustable feet and the Clip 3-RMV is without feet for wall mounting.

Plate

The corrugation of the plates provides a passage between the plates, supports each plate against the adjacent one and enhances the turbulence, resulting in efficient heat transfer.

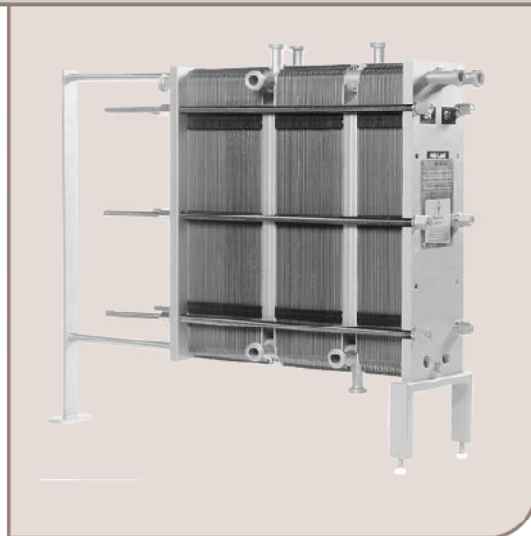
The plates have a chevron pattern for maximum strength at high working pressures.

The plates are reversible and have parallel flow, which means only one type of plate is needed.

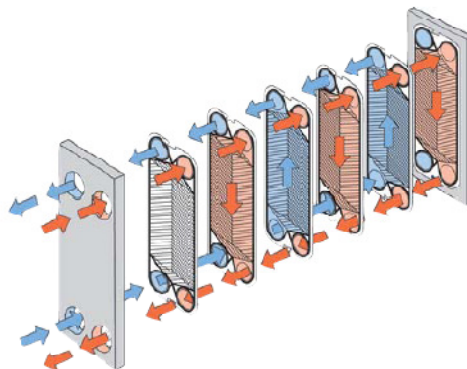
Gasket

The plates are supplied with glue-free Clip-On gaskets, which are easy to replace even with the plates still hanging in the frame.

No tools are needed to replace the gaskets.



Clip 3-RM



Flow principle of a plate heat exchanger

Standard Materials

Plates

Stainless steel AISI 316.

Gaskets

Nitrile-FDA, Clip-On design.

Frame

Connection plates of mild steel, clad with stainless steel in glass blasted finish. Nuts of chromium plated brass. All other parts of stainless steel.

Technical Data

Plates

Actual heating surface 0.058 m²

Connections

All connections 25 mm

SMS or DIN male parts.

Other union standards on request.

Mechanical design pressure (g) / Temperature

Frame RM - 10 bar/150°C

Complies with European Pressure Equipment Directive (PED), may carry the CE mark depending on the design conditions.

Capacity

Pasteurization 2,500 l/h

Heating/cooling 4,500 l/h

Water 8,000 l/h

Options

A. Protection sheet

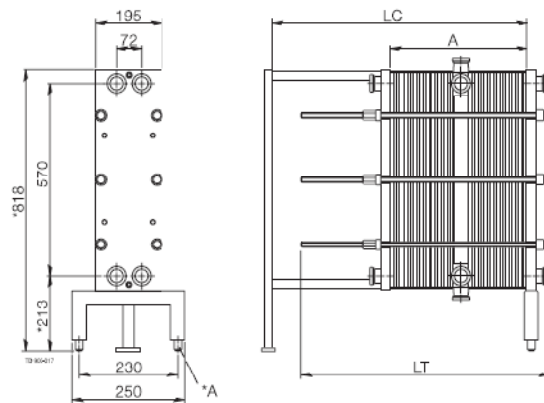
B. 3-A finish

C. Extra standard wrench

D. Test certificates and material certificates

E. Testing by authorized inspection companies

Dimensions (mm)



A) Adjustable feet +/- 15 mm

Overall length varies depending on numbers of plates and connecting plates. Recommended free space around the unit is 1 meter at sides and sufficient space at the frame head end to pull out the bolts

ESE00257EN 0701

The information contained herein is correct at the time of issue, but may be subject to change without prior notice.

How to contact Alfa Laval

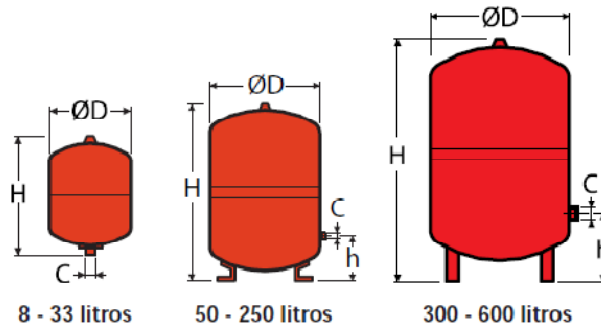
Contact details for all countries are continually updated on our website. Please visit www.alfalaval.com to access the information direct.

SISTEMAS DE EXPANSIÓN



"reflex S"

- Para sistemas solares, de calefacción y climatización
- Para líquidos anticongelantes hasta 50%
- Conexiones roscadas
- Membrana no recambiable según DIN 4807. Tª máxima hasta 70°C
- Homologado según directiva 97/23/CE de aparatos a presión
- Color rojo
- Presión inicial 8-33: 1,5 bar
- Presión inicial 50-600: 3,0 bar



MODELO LITROS	C	DIMENSIONES (mm)			PRESIÓN / Tª MÁX. DE TRABAJO	Rojo
		ØD	H	h		
S 8	R 3/4"	206	325	-	10 bar / 120°C	9703900
S 12	R 3/4"	280	300	-		9704000
S 18	R 3/4"	280	380	-		9704100
S 25	R 3/4"	280	500	-		9704200
S 33	R 3/4"	354	450	-		9706200
S 50	R 3/4"	409	469	168		7209500
S 80	R 1"	480	538	166		7210300
S 100	R 1"	480	644	166		7210500
S 140	R 1"	480	886	166		7211500
S 200	R 1"	634	760	205		7213400
S 250	R 1"	634	890	235		7214400
S 300	R 1"	634	1.060	235		7215400
S 400	R 1"	740	1.070	245		7219000
S 500	R 1"	740	1.290	245		7219100
S 600	R 1"	740	1.530	245		7219200

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 1 Introducción

CAPÍTULO 2 Problemática del sector lácteo en Nicaragua

- *“Nicaragua. Valoración Común de País 2007”*. Sistema de Naciones Unidas
- *“Agroindustria de la Leche: estrategia, lineamientos de política y plan de acción”* Estudio facilitado por la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN)
- *“Pequeña Industria Láctea del Municipio de Estelí”* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN)
- *“Estudio de caso: Enfermedades Transmitidas por Alimentos en Nicaragua 2006”*. Autor: Guillermo Gutiérrez. Consultor de la FAO en Nicaragua.

CAPÍTULO 3 Efectos del calor en la leche: tratamientos térmicos

- *“Ciencias Bromatológicas. Principios generales de los alimentos”*. Autor: José Bello Gutiérrez.
- *“Apuntes de Tecnología Alimentaria”*. Departamento de Nutrición, Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Licenciatura de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid (UCM).
- *“Manual de Industrias lácteas”*. Autor: Gösta Bylund. Traducido: Antonio López Gómez y Antonio Madrid Vicente.
- *“Selección del Sistema de Tratamiento Térmico para la leche”*. Autora: Beatriz Maroto. Trabajo dirigido por el doctor Ulpiano Ruíz-Rivas. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).

CAPÍTULO 4 La Industria láctea: normativa española y nicaragüense

- *“Manual de Industrias lácteas”*. Autor: Gösta Bylund. Traducido: Antonio López Gómez y Antonio Madrid Vicente.

- Normativa española: *Norma General de Calidad para la leche pasteurizada destinada al mercado interior. Real Decreto 1728/2007.*
- Normativa nicaragüense: *Reglamento para la producción y expendio de leche. Reglamento que norma procedimientos para la Industria lechera. La norma técnica obligatoria nicaragüense 03 034-99 Leche entera pasteurizada. La norma técnica obligatoria nicaragüense 03 027-99 Leche entera cruda.*
- *“Pequeña Industria Láctea del Municipio de Estelí”.* Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN)

CAPÍTULO 5 Panorama energético de Nicaragua: análisis ambiental

- *“Balance Energético Nacional 2004”.* Autor: Comisión Nacional de Energía. Ministerio de Energía y Minas de Nicaragua.
- *“Estadísticas Nicaragua 2007”.* Autor: International Energy Agency.
- *“Descripción del Mercado eléctrico nacional 2008”.* Ministerio de Energía y Minas de Nicaragua.
- *“Apuntes de Energías Renovables”.* Autor: Marcelo Izquierdo Millán. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).

CAPÍTULO 6 Ángulo de inclinación óptimo de los colectores solares

- *“Solar Engineering of Thermal Processes”.* Autores: John A. Duffie y William A. Beckman
- *“Tecnología Solar”.* Autores: M. Ibañez Plana, J.R. Rossell Polo y J.I. Rossel Urrutia (Universidad de Lleida)
- *“Apuntes de Energías Renovables”.* Autores: María C. Venegas Bernal y Pedro Rodríguez Aumente. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).

CAPÍTULO 7 Modelización y dimensionado de la instalación solar

- *“Fundamentos de Transferencia de Calor”* Autor: Frank P. Incropera

- “*Solar Engineering of Thermal Processes*”. Autores: John A. Duffie y William A. Beckman.
- “*Código Técnico de la Edificación. DB-HE Ahorro de Energía*”. Ministerio de Vivienda España.
- “*Apuntes de Energías Renovables*”. Autor: Marcelo Izquierdo Millán. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).

CAPÍTULO 8 Evaluación económica

- “*Apuntes de Proyectos*”. Autores: Francisco A. Rivera y Victoria E. Sánchez. Área de Ingeniería de Organización. Departamento de Ingeniería Mecánica. Ingeniería Industrial. Universidad Carlos III de Madrid (UC3M).

CAPÍTULO 9 Conclusiones