

# **Instalación solar para calentamiento de agua de proceso aplicado a una industria de curtiembre, empleando materiales y topología de alta eficiencia desarrollados en Colombia**

**Andrés F. Jaramillo S<sup>\*a</sup>, Inés Restrepo Tarquino<sup>b</sup>, Ana Dorly Jaramillo S.<sup>c</sup>**

*(a)GT-Ingeniería Total Ltda.*

*(b)Universidad del Valle, Instituto CINARA, Cali, Colombia*

*(c) Centro Regional de Producción más Limpia - CRPML*

*\*ingenieriatotal@telesat.com.co*

(Recibido: Junio 30 de 2006 - Aceptado: Octubre 6 de 2006)

## **RESUMEN**

El siguiente documento presenta los resultados de la implementación de un Sistema de Calentamiento de Agua de Proceso, enmarcado dentro del proyecto de Univalle/Cinara y el Centro Regional de Producción más Limpia-CRPML: "Mejoramiento de la Competitividad de la Cadena Productiva del Cuero del Valle del Cauca con Aplicación de Producción Más Limpia", financiado por COLCIENCIAS. Con la implementación del proyecto se redujeron las emisiones atmosféricas de la industria y se mejoró su competitividad por reducción de costos de producción. En la construcción del sistema solar se utilizaron materiales de alta eficiencia desarrollados por IGT Ingeniería Total Ltda., empleando recursos locales. La topología del sistema propone un nuevo sistema de circulación que permite incrementar la eficiencia del sistema de calentamiento solar en comparación con esquemas topológicos tradicionales

**PALABRAS CLAVE:** *Energías Alternas, Energía Solar Térmica, Eficiencia Energética, Superficies Selectivas.*

## **Solar Energy Installation to Heat Process Water applied to a Tannery Industry, employing high-efficiency materials and topology developed in Colombia**

## **ABSTRACT**

The following document presents results from the implementation of a Heating System for Processing Water, considered within the project run by Univalle/Cinara and the Regional Center for Cleaner Production: "MEJORAMIENTO DE LA COMPETITIVIDAD DE LA CADENA PRODUCTIVA DEL CUERO DEL VALLE DEL CAUCA CON APLICACIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA" (COMPETITIVENESS IMPROVEMENT OF THE LEATHER PRODUCTION CHAIN IN VALLE DEL CAUCA WITH THE APPLICATION OF CLEANER PRODUCTION), financed by COLCIENCIAS. With the implementation of the project, atmospheric emissions from the industry were reduced and their competitiveness was improved by reducing production costs. In the construction of the solar energy system, high-efficiency materials were used. These were developed by IGT Ingeniería Total Ltda., using local resources. The system's topology proposes a new circulation system, which allows increasing the efficiency of the solar heating system as compared to traditional topological schemes.

**KEYWORDS:** *Alternative Energy, Thermal Solar Energy, Energetic Efficiency, Selective Surfaces.*

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Energía Solar Térmica en Colombia**

la energía solar térmica en Colombia se empezó a emplear de manera aislada en la década de los 80, principalmente en la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en residencias, instituciones hospitalarias y hoteles. Los sistemas solares surgieron como alternativa al calentamiento con energía eléctrica y calderas alimentadas por combustibles fósiles.

La masificación del gas natural en la década de los 90 a precios subsidiados, desestimuló el uso de la energía solar térmica. Es por eso que la mayoría de los actuales sistemas solares térmicos en servicio fueron instalados antes de la entrada del gas natural al mercado.

Actualmente el precio del gas natural es muy bajo en relación con los precios internacionales, condición que no favorece el uso de la energía solar térmica, sin embargo, el aumento progresivo del precio internacional del petróleo empieza a impactar sobre el gas natural y la tendencia de precios ha comenzado a cambiar.

Éstas y otras condiciones estratégicamente favorables, como las exenciones tributarias y apoyos institucionales a inversiones en producción más limpia, invitan a considerar nuevamente la energía solar térmica como una opción técnica y financieramente viable para la producción de agua caliente sanitaria y de proceso.

### **1.2 Materiales y Desarrollo Tecnológico**

En Colombia los materiales empleados en los sistemas solares térmicos son muy variados y dependen de la iniciativa de cada fabricante. No hay una reglamentación institucional, lo cual implica que no siempre se aplican diseños y construcciones normalizadas.

La mayoría de los elementos constitutivos de los sistemas solares en Colombia son fabricados empíricamente por pequeños empresarios. No existe un mercado de partes y por lo tanto, cuando se desea implementar una instalación solar térmica, se deben construir los colectores, tanques, aislamientos, controles, etc.

Al no existir un reglamento técnico para

instalaciones térmicas, no hay hojas técnicas de colectores, superficies captadoras o intercambiadores de calor. Todos estos parámetros se deben calcular con herramientas de cálculo y pruebas de campo.

### **1.3 Condiciones Geográficas**

La ausencia de estaciones en Colombia favorece y simplifica la construcción de los sistemas solares térmicos. No existe la posibilidad de congelamiento en las tuberías y la radiación solar no presenta grandes diferencias durante el año.

La alta radiación solar y la condición de disponibilidad permanente a lo largo del año permiten un mejor dimensionamiento de los sistemas solares, de tal manera que se pueden diseñar para suplir más del 80% de la demanda de agua caliente y en algunos casos residenciales, el 100% de la demanda, aceptando las incomodidades menores que se puedan presentar en los pocos días de baja radiación.

Para aplicaciones con acumulación superior a un día de consumo, la instalación se puede dimensionar hasta el 90% de la demanda de agua caliente, sin riesgos importantes de sobrecalentamiento o déficit.

### **1.4 Aplicación de Energía Solar en Curtiembres**

En el municipio de Cerrito (Valle) se encuentran instaladas un grupo de empresas manufactureras dedicadas al procesamiento de pieles, que procesan en conjunto un total de 30.000 pieles mensuales.

Los principales energéticos empleados por las curtiembres para la producción de calor en el desarrollo de su proceso productivo son la energía eléctrica y el DIESEL. La primera se emplea en mayor proporción para mover los motores de inducción que agitan los fulones y en bombas que trasiegan fluidos. El combustible DIESEL se emplea en las curtiembres medianas y grandes para alimentar las calderas.

El vapor producido en las calderas se emplea para calentar agua y para algunos procesos productivos que aplican directamente el vapor. El agua caliente se usa en los fulones a una temperatura de entre 50oC y 75oC. En las curtiembres pequeñas, que cuentan con menor

infraestructura, se usan energéticos que causan mayor impacto negativo al ambiente, como el carbón y la leña.

## **2. JUSTIFICACIÓN**

La Universidad del Valle-CINARA, el Centro Regional de Producción más limpia (CRPML) y el Centro de Desarrollo Productivo del Cuero (CDP), en un proyecto aprobado por COLCIENCIAS para el mejoramiento de la competitividad de la cadena productiva del cuero con PML en el Valle del Cauca, realizaron un programa integral de apoyo al eslabón curtiembres para el mejoramiento de sus prácticas productivas para promover la reducción de los impactos ambientales y el mejoramiento de su competitividad. Enmarcadas en este proyecto, se desarrollaron auditorías energéticas en una muestra representativa de curtiembres.

En las auditorías energéticas se encontró que el consumo de combustibles representa entre el 30% y el 40% del costo de los energéticos y gran parte de su uso es para el calentamiento de agua a temperaturas que se pueden considerar bajas dentro del rango industrial. Estos niveles de calentamiento requeridos para el agua, se pueden lograr fácilmente con sistemas de calentamiento de energía solar, empleando colectores solares planos (CSPs).

Con este sistema de calentamiento, el agua caliente se puede emplear directamente en el proceso, sin necesidad de calor de apoyo o se puede incrementar la temperatura de agua de alimentación a las calderas, con lo cual se reduce la cantidad de calor requerido para producir vapor y por lo tanto, se reduce la demanda de combustible.

Por otra parte, en los procesos de curtido y recurtido se emplea cromo disuelto en agua. La temperatura ideal para el proceso de recurtido es de 75-80°C, sin embargo, por costos y limitaciones energéticas, se está realizando el proceso a menores temperaturas (50°C), con las cuales la fijación del cromo en el cuero es menor y se requiere mayor concentración en el agua para lograr el mismo resultado final. Terminado el proceso, la cantidad de cromo en el agua es mayor que si se empleara agua a 80°C.

El precalentamiento de agua con energía solar permite emplear la energía de la caldera para

lograr temperaturas cercanas a 80°C en el proceso. Con esta temperatura de trabajo, la absorción del cromo en el cuero aumenta y se reducen considerablemente sus residuos en las aguas residuales.

## **3. OBJETIVOS**

Los objetivos fueron reducir el consumo de combustibles fósiles empleados para el calentamiento de agua y la producción de vapor, como consecuencia, reducir los costos de producción al reducir la compra de DIESEL. Además, incrementar la temperatura del proceso de 50°C a 80°C, empleando menor cantidad de energéticos tradicionales (leña, DIESEL, gas propano). Con estos objetivos se contribuía a disminuir el impacto ambiental negativo del proceso productivo tanto en términos de uso de combustibles como de emisiones atmosféricas.

## **4. METODOLOGÍA**

Los objetivos del proyecto de investigación se alcanzaron mediante dos componentes:

### **a. Innovación Tecnológica**

Introducción, en el gremio de las curtiembres, de un energético renovable, empleando una tecnología limpia y de bajo costo de operación.

Se consideró importante la adaptación tecnológica a las condiciones regionales y particularmente a los esquemas de producción de las curtiembres. Estos elementos particulares se tuvieron en cuenta para el diseño de los esquemas del sistema de calentamiento de agua y para definir el sistema óptimo de control.

### **b. Prototipo didáctico**

Construcción de un prototipo que sirva de modelo de pruebas para futuras implementaciones dentro del gremio de las curtiembres y para propósitos académicos.

El prototipo se construyó directamente en una curtiembre. Se le ha realizado seguimiento técnico permanente durante tres meses. Una vez se haya logrado un alto desempeño de la infraestructura instalada, se intentará reproducir el proyecto en otras curtiembres. Para permitir los ajustes y mejoramientos, se diseñó con la suficiente flexibilidad y accesibilidad para los cambios que surgen a partir de los resultados de seguimiento.

### c. Conciencia Ambiental

Incremento de la conciencia ambiental en el sector de curtiembres, tradicionalmente uno de los más contaminantes en la cadena del cuero.

La participación permanente del empresario y los trabajadores en todo el proceso de diseño, construcción y puesta en funcionamiento se constituye en un proceso de aprendizaje colectivo que mejora la disposición hacia tecnologías ambientalmente amigables y la voluntad empresarial para su implementación.

## 5. MATERIALES EMPLEADOS EN EL SISTEMA SOLAR

Teniendo en cuenta el bajo costo local del gas natural, del DIESEL (subsidiado por el Estado) e incluso, de la energía eléctrica, en relación con otros países, era importante lograr muy bajos costos de fabricación para que el sistema de calentamiento de agua con energía solar fuera viable financieramente. Esto implicó una investigación para la búsqueda de materiales altamente eficientes y del menor costo posible.

Sin embargo, esta situación no implicaba emplear materiales inapropiados o con corta vida útil, por lo cual se utilizó el RITE (Real Decreto 1751-1998 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios) de España [4]. A continuación se presentan algunos componentes del sistema solar instalado y los aportes investigativos y de desarrollo logrados o incorporados tecnológicamente (Figura 2).

### a. Colectores Solares

Los Colectores solares se construyeron con superficies selectivas de aluminio. Se empleó un recubrimiento aplicado por galvanoplastia con excelentes propiedades ópticas y térmicas que presenta una absorción óptica de  $94\% \pm 2\%$  y una emisión térmica a  $100^{\circ}\text{C}$  de  $5\% \pm 2\%$ .

Este tipo de material es empleado para la construcción de colectores planos de alta eficiencia por la firma alemana ALANOD ([www.alanod.de](http://www.alanod.de)). Las superficies fueron fabricadas localmente, con materiales de la región y talleres de galvanoplastia locales. Este tipo de superficie mejora en un  $15\% - 20\%$  la eficiencia del colector solar en comparación con pinturas negras no selectivas.

### b. Curvas de Eficiencia

Se realizó un montaje experimental para la obtención de las curvas de eficiencia. Para la prueba se empleó la bomba de circulación del sistema, dos termómetros y un pirómetro. El flujo de agua se midió por el volumen acumulado durante un minuto.

La prueba de eficiencia se realizó sobre ocho (8) colectores en paralelo, por lo tanto, el resultado es una aproximación a la eficiencia real de un colector individual.

### Máxima Temperatura del Colector - Estacionario

Para una radiación máxima aproximada de  $955 \text{ W/m}^2$ , se obtuvo una temperatura de régimen estable de  $145^{\circ}\text{C}$ , a una temperatura ambiente de  $28^{\circ}\text{C}$ . Esto representa un diferencial máximo de temperatura de  $117^{\circ}\text{C}$ . Esta prueba se hizo con el colector vacío. Con esta medición se obtuvo el corte con el eje de temperaturas en la curva de eficiencia.

### Curva de Eficiencia vs Temperatura - Dinámico

Para la misma condición de radiación, se realizó una prueba con flujo de agua. Los datos empleados para el cálculo de eficiencia fueron los siguientes:

- Temperatura Ambiente:  $27.6^{\circ}\text{C}$
- Temperatura del agua de entrada:  $24.8^{\circ}\text{C}$
- Temperatura del agua de salida:  $37.9^{\circ}\text{C}$
- Diferencial de temperatura:  $13.1^{\circ}\text{C}$
- Área efectiva de un colector:  $2.72 \text{ m}^2$
- Área efectiva del grupo de colectores:

$$A_s = A \times 8 \text{ m}^2$$

$$A_s = 2.72 \times 8 = 21.76 \text{ m}^2$$

- Flujo másico para ocho colectores: 16.19 Litros/minuto
- Radiación promedio medida durante la prueba:  $955 \text{ W/m}^2$

### Cálculos de Eficiencia

Radiación Incidente sobre los ocho colectores

$$I = 955 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 8 \times 2.72 \text{ m}^2, \quad I = 20780.8 \text{ W}$$

Energía Incidente sobre los ocho colectores durante un minuto:

$$Q = mC_p\Delta T, \quad Q = 16.19 \frac{kg}{m} \times 1.163 \frac{W}{kg K} \times 13.1 K$$

$$Q = 246.66 \frac{W}{m}$$

Eficiencia de los colectores para las condiciones indicadas:

$$\eta = \frac{Q}{W}, \quad \eta = \frac{246.66}{346.35} = 0.712$$

Con este mismo procedimiento se obtuvieron los diferentes puntos de la curva de eficiencia del grupo de colectores. Los puntos se graficaron en una hoja de cálculo y se aproximaron a la curva de datos presentada (Tabla 1).

El valor de eficiencia para valor cero de diferencial de temperatura se obtuvo por interpolación de la curva obtenida (Figura 1).

### c. Sistema de Control

Para la instalación solar industrial se empleó circulación forzada, controlada por diferencial de temperatura. El control diferencial de temperatura se construyó con base en electrónica digital. Al controlador se le puede programar la temperatura diferencial de encendido y de apagado.

## 6. TOPOLOGÍA DEL SISTEMA SOLAR INSTALADO

El esquema topológico de la instalación industrial es atípico y es una propuesta original resultado de la investigación [1, 2, 3]. Este esquema fue propuesto con base en la observación y la búsqueda de mejoras en los sistemas solares.

Tabla 1. Curva de Eficiencia del Grupo de Colectores Planos

| $(T_e - T_a)/I_T$ | $\eta$ |
|-------------------|--------|
| 0.000             | 0.740  |
| 0.007             | 0.712  |
| 0.024             | 0.613  |
| 0.034             | 0.547  |
| 0.041             | 0.497  |
| 0.059             | 0.368  |
| 0.113             | 0.000  |

La instalación solar implementada en la curtiembre, en el modo de funcionamiento tiene dos regímenes de operación:

- Llenado - Operación con nivel bajo del Tanque de Almacenamiento.
- Recirculación - Operación con nivel Máximo del Tanque de Almacenamiento.

En cada uno de los regímenes de operación, el sistema de control ejecuta algoritmos de regulación diferentes. Para determinar en qué régimen opera el sistema, el tanque de almacenamiento tiene un sensor electrónico de nivel. Para permitir la variación de nivel, el tanque no es hermético.

A continuación se explican detalladamente los modos de funcionamiento.

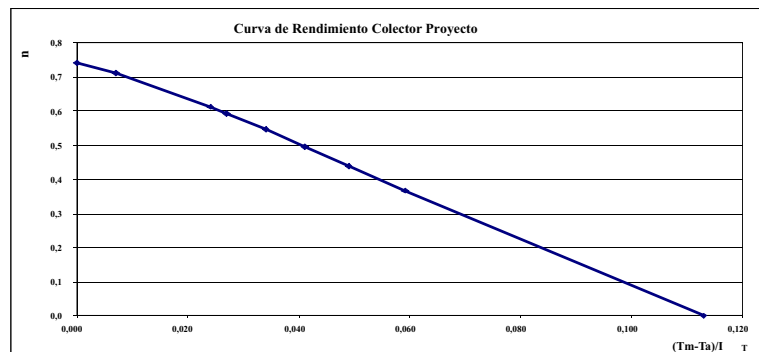


Figura 1. Curva de Eficiencia CSP

#### a. Llenado - Operación con nivel bajo

En este modo de operación se repone agua al tanque de almacenamiento, la cual es precalentada en los colectores solares a un valor de ajuste programable. El tanque de reposición está ubicado por encima de los colectores solares. Cuando el sensor de temperatura ubicado en los colectores solares alcanza el valor de ajuste programado, se acciona una válvula solenoide que permite el paso del agua que desciende por gravedad hacia los colectores y de allí al tanque de almacenamiento. La válvula solenoide permanecerá abierta llenando el tanque de almacenamiento de agua caliente, hasta que la temperatura de los colectores disminuya hasta el valor de ajuste de apagado. El llenado del tanque de almacenamiento continuará hasta que se alcance el límite de máximo nivel. Si esto sucede, el sistema de control conmuta automáticamente al modo "Recirculación".

El agua de llenado ingresa por la parte superior del tanque de almacenamiento. No se pierde estratificación por que el agua ingresa caliente. Este sistema de llenado reduce significativamente la pérdida de estratificación en el tanque de almacenamiento, ya que nunca ingresa agua fría. Con esto se garantiza que el mayor porcentaje del calentamiento de agua, se realiza en el punto de máxima eficiencia de los colectores solares.

El valor de ajuste seleccionado para la apertura de la válvula solenoide fue de 50°C y el ajuste para el cierre fue de 45°C. Estos valores se seleccionaron porque están muy cerca de la temperatura de uso final. Por lo tanto, con el simple llenado del tanque, ya se dispone de agua caliente para el proceso, sin necesidad de emplear vapor de la caldera para recalentamiento.

#### b. Recirculación Operación con máximo nivel

Cuando el tanque de almacenamiento alcanza el máximo nivel, no se adiciona más agua de reposición. Esto es detectado por un sensor electrónico que conmuta el modo de control a "Modo Recirculación", que es el control convencional por diferencial de temperatura. El valor de temperatura diferencial, tanto de encendido como de apagado es programable en el sistema de control numérico. Si no hay consumo de agua caliente, el control por

recirculación continuará incrementando la temperatura del agua del tanque de almacenamiento. Si hay consumo de agua caliente, el nivel bajará del valor máximo y nuevamente se activa el modo llenado.

El modo de recirculación se puede forzar con un selector manual. Si se fuerza el modo recirculación, se recalentará el volumen de agua que en esos momentos esté en el tanque y no se repone más agua. También es posible forzar el llenado del tanque. Con un selector manual, se fuerza el llenado del tanque y se abre la válvula solenoide. El agua ingresará a éste proveniente del tanque de reposición y pasando por los colectores. Si la radiación no es suficiente, el agua ingresará al tanque a una temperatura menor.

#### c. Succión Flotante

Lo ideal es consumir el agua caliente a la mayor temperatura de almacenamiento en la parte superior del tanque, pero debido a las variaciones de nivel, la succión de consumo no se podía ubicar en la parte superior como es habitual en los sistemas convencionales. Para succionar siempre del espejo del agua, se empleó una succión flotante que sale desde el fondo del tanque con una manguera flexible y un flotador en el extremo superior. Cuando el nivel del tanque baja, la succión también lo hace, pero siempre queda en el extremo superior del nivel de agua. Este sistema garantiza la máxima temperatura de servicio independientemente del nivel del tanque.

## 7. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA SOLAR INSTALADO

#### a. Demanda de agua caliente

2 m<sup>3</sup> a 50°C desde las 10:00 hasta las 12:00 horas.

1 m<sup>3</sup> a 80°C a partir de las 14:00 horas.

Horario de trabajo: Lunes a Viernes de las 8:00 hasta las 17:00 horas. Temperatura del agua de entrada: 20°C.

#### b. Número de colectores solares

En una hoja de cálculo desarrollada para el proyecto se realizaron simulaciones de desempeño del sistema solar. La simulación detallada final se realizó con 10 y 8 colectores del tipo de modelo indicado en el numeral 5. La configuración topológica y el particular sistema de control dificultaron el uso de los programas de simulación disponibles, debido a que estos

emplean esquemas normalizados. Se realizó entonces en hoja de cálculo una simulación dinámica del proceso de calentamiento, hora a hora. Para cada hora se calculó el nivel del tanque y la temperatura del agua. En las horas de consumo se restó el volumen consumido del tanque de almacenamiento. En la hoja se desarrollaron los siguientes cálculos:

1. Radiación Terrestre para la latitud del proyecto.
2. Energía total incidente sobre el área total de colectores simulados.
3. Simulación dinámica del calentamiento y consumo del sistema solar implementado.
4. Simulación del proceso de llenado del tanque de almacenamiento, con perfiles de temperatura hora a hora.
5. Análisis particular del calentamiento durante el fin de semana y los días posteriores.

Se concluyó que con 10 colectores, la temperatura de almacenamiento durante los fines de semana superaba los 85°C, lo cual no es adecuado para las bombas de recirculación. Como en Colombia muchos días festivos son trasladados al lunes, pueden presentarse períodos de hasta tres días de calentamiento continuo, lo cual sobrecalienta el agua de almacenamiento y puede deteriorar los sellos de la bomba de recirculación. Tampoco es conveniente apagar la bomba de recirculación porque el agua ebulle dentro del colector y se producen mayores incrustaciones de sílice. El agua de proceso es agua de pozo, con altos niveles de sílice y cloruros.

Después de diferentes análisis e iteraciones, se decidió emplear 8 colectores de 3 m<sup>2</sup> de área, para un total de 24 m<sup>2</sup> con 21.76 m<sup>2</sup> efectivos de superficie captadora. De acuerdo con los cálculos, el sistema suplirá entre el 85% y el 95% de la demanda total de agua caliente, teniendo en cuenta que el calor almacenado el fin de semana sirve para cubrir la demanda del lunes y Martes.

#### **c. Tanque de almacenamiento**

El tanque de almacenamiento se dimensionó de 3000 Litros. Igual al volumen de la demanda diaria de agua caliente.

#### **d. Bomba de circulación**

Se seleccionó una bomba de circulación de ½ HP. Se estimó un flujo óptimo de entre 15 y 20 l/m.

La bomba de ½ HP es de 32 l/min máximos nominales. Con la pérdida de carga en el sistema hidráulico, el flujo real obtenido fue de 16.2 l/min. Según los cálculos realizados, este flujo desocupa el agua caliente de los colectores en 67 segundos. En condiciones de máxima radiación solar, la bomba opera casi permanentemente con un salto térmico cercano a 7°C para una temperatura de entrada de 50°C, la cual es la temperatura mínima de almacenamiento y recirculación. Con el flujo de 16.2 l/min, la bomba circula 971 l/h.

## **8. ANÁLISIS FINANCIERO PRELIMINAR**

Previo al proyecto se realizó un estimado de ahorro, que se validó teniendo en cuenta que el proyecto ya está en operación desde el 1º de abril de 2006. Según los registros del propietario de la curtiembre, el ahorro promedio por semana es de unos 125 litros de DIESEL. Sin tener en cuenta los ahorros por reducción en el mantenimiento de la caldera, reducción de consumo de agua desmineralizada de caldera, transporte de combustible, incremento por encima de la inflación del precio de los combustibles, y otros detalles; el proyecto tiene un retorno de inversión inferior a cuatro años.

#### **a. Exenciones tributarias**

En Colombia la ley permite descontar hasta el 20% de la renta líquida gravable, contra partida de proyectos ambientales. En este caso, el proyecto se ajusta a los beneficios tributarios por diversos beneficios ambientales logrados:

- Reducción de emisiones gaseosas (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, Material Particulado).
- Reducción en el consumo de agua.
- Reducción en el consumo de recursos no renovables.

En estos momentos, se está preparando la documentación de soporte para solicitar los beneficios tributarios de ley. Si esta reclamación tributaria es exitosa, el estado descontaría de la renta un porcentaje importante de la inversión inicial y el tiempo de retorno de la inversión sería mucho más corto.

## **9. CONCLUSIONES**

En Colombia la Energía Solar Térmica es una opción energética viable técnica y financieramente. El incremento de la eficiencia

energética y la reducción de los costos de fabricación de los sistemas solares térmicos, son aspectos fundamentales para lograr dicha viabilidad.

Con la reducción del consumo de DIESEL, se logró reducir la producción de gases contaminantes tales como NOx, SOx, CO, CO2 y material particulado.

La reducción de costos mejoró la competitividad de la empresa, lo cual permitió inversiones para mejorar su infraestructura y prácticas productivas.

El incremento de la temperatura de recurtido reduce la cantidad de cromo empleada en el proceso. A mayor temperatura la piel absorbe mayor cantidad de cromo y ésta será otra razón para su reducción en los vertimientos de las curtiembres.

## **10. RECONOCIMIENTOS**

A todo el grupo de trabajo en la curtiembre COLTER, especialmente a su propietario, Señor Elier Cañas y su Gerente Operativo, Señor Alejandro Cañas. Al grupo de trabajo de IGT-Ingeniería Total Ltda. en especial a la Arquitecta María Teresa Alarcón y al maestro Jesús Antonio Erazo.

## **11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] UPME, Unidad de Planeación Minero Energética, *Energías renovables: descripción, tecnologías y usos finales*, ISBN: 9383-36-X, 2001. [www.upme.gov.vo](http://www.upme.gov.vo)

[2] CIMNE Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, *Cálculo y diseño de instalaciones solares de agua caliente sanitaria y de proceso*, Universidad de Lleida, Cataluña, 2005.

[3] A. F. Jaramillo, *Diseño de instalación solar industrial con optimización de estratificación térmica*, 2006.

[4] RITE Real Decreto 1751/1998, *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios*, Ministerio de Presidencia, España.