

Comparación de escenarios para la integración de colectores solares térmicos en la Planta de Lácteos de Zamorano

Luz de Fátima Díaz Flores

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano

Honduras

Noviembre, 2018

ZAMORANO
CARRERA DE AMBIENTE Y DESARROLLO

Comparación de escenarios para la integración de colectores solares térmicos en la Planta de Lácteos de Zamorano

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Luz de Fátima Díaz Flores

Zamorano, Honduras

Noviembre, 2018

Comparación de escenarios para la integración de colectores solares térmicos en la Planta de Lácteos de Zamorano

Luz de Fátima Díaz Flores

Resumen. Las tecnologías de energía renovable representan una alternativa para el reemplazo de combustibles fósiles en la industria. Los colectores solares para calentamiento de agua cuentan con un alto potencia de integración en la agroindustria. En Zamorano, se realizó un estudio de prefactibilidad para la implementación de esta tecnología en su planta de lácteos. El estudio mostró que la planta obtendría un ahorro del 50% en consumo de combustible equivalente a USD 26,035 por año. En el año 2017 se instaló un sistema de colectores solares gracias a una donación del Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), iniciando su operación en el mes de mayo, como un sistema de precalentamiento de agua para la caldera. Para el desarrollo del presente estudio se validaron los datos reportados en la prefactibilidad, se evaluó el desempeño del sistema con base en el ahorro de diésel registrado durante el primer año de operación y se analizó el balance energético de la planta. Al comparar el consumo de combustible asociado a los litros de leche procesados en la planta de lácteos, se determinó que no existe una reducción en el consumo de este recurso luego de la implementación del sistema, lo que deriva en indicadores financieros no favorables. El balance energético indica que la alternativa que proyecta un mayor ahorro de combustible es suplir el agua caliente directamente de los colectores, reduciendo así el uso de la caldera.

Palabras clave: Caldera, eficiencia energética, energía renovable, energía solar, termosolar.

Abstract. Renewable energy technologies represent an alternative for the replacement of fossil fuels in industrial processes. Solar water heating systems have high potential for integration into agroindustry. Zamorano carried out a pre-feasibility study for the implementation of this technology in the dairy plant. The study showed that the plant would obtain a fuel consumption savings of 50% equivalent to USD 26,035 per year. In 2017, a solar water heater system was installed thanks to a donation from the Central American Bank for Economic Integration, It became operational in May, as a water preheating system for the boiler. For the present study, monitoring activities were developed to validate the data reported in the prefeasibility study, and the performance of the system was evaluated based on the diesel savings registered during the first year of operation. Furthermore, the energy balance of the plant was analyzed. When comparing the fuel consumption associated with the volume of milk processed in the dairy plant, no reduction in consumption after the implementation of the system was noted, which results in unfavorable financial indicators. The energy balance indicates that a greater fuel saving alternative would be to supply hot water directly from the collectors, thus reducing the use of the boiler.

Key words: Boiler, energy efficiency, renewable energy, solar energy, solar thermal.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas.....	ii
Resumen.....	iii
Contenido.....	iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos	v
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. METODOLOGÍA.....	4
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
4. CONCLUSIONES.....	17
5. RECOMENDACIONES.....	18
6. LITERATURA CITADA.....	19
7. ANEXOS.....	21

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Demanda térmica por operaciones unitarias de la planta	12
2. Demanda térmica para procesos de lavado	13
3. Energía utilizada para los procesos	13
4. Variables medidas en el estudio de prefactibilidad frente al estudio de 2018.....	14
5. Indicadores financieros de la implementación del sistema de colectores	16

Figuras	Página
1. Mapa de ubicación de la planta de lácteos de Zamorano	4
2. Configuración del sistema de colectores de la planta según BCIE (2016).....	5
3. Demanda promedio de agua caliente para procesos de lavado	10
4. Consumo de combustible de la planta de lácteos en el periodo 2012 – 2017	11
5. Consumo de diésel semanal.....	12
6. Consumo de combustible de la planta de lácteos	15

Anexos	Página
1. Medición de agua caliente en la planta de lácteos.....	21
2. Tanque de diésel ubicado en la parte trasera de la planta de lácteos.....	21
3. Flujo de Caja proyectado por BCIE	22
4. Comparación de escenarios de Tapia (2012) E2 escenario de interés.....	22
5. Flujo de efectivo con el ahorro de diésel en el primer año de puesta en marcha ...	23

1. INTRODUCCIÓN

Las industrias utilizan diferentes tipos de energía para el desarrollo de sus procesos unitarios, entre ellos podemos mencionar el calentamiento de agua, procesos de secado, procesos de precalentamiento, calentamiento de vapor, pasteurización, esterilización y sanitización de equipos. Estas son operaciones que demandan energía térmica para su integración en los procesos productivos (Farjana, Huda, Mahmud y Saidur, 2017). La demanda de energía térmica del sector industrial en año 2017 fue de 23×10^{24} BTU y la demanda de electricidad para el mismo sector fue de $1,100 \times 10^{15}$ kWh. Para la ejecución de los procesos descritos se utiliza combustibles fósiles o electricidad (Agencia Internacional de Energía, 2018).

Uno de los métodos más comunes utilizados para cubrir la demanda térmica requerida en los procesos de producción es el uso de calderas para generar vapor a una presión mayor a la atmosférica y que a través de tecnologías de intercambio de calor, facilita la transferencia de energía presente para cubrir las necesidades de calor en la industria. Se manifiesta a través de los procesos de combustión, se libera energía en forma de calor la cual es transferida al agua por medio de radiación, convección y conducción. Lo ideal es que el agua de alimentación de la caldera se encuentre dotada de un sistema de recuperación de condensados de la industria que facilite el retorno del agua al proceso de generación de vapor y reduzca el consumo de este recurso y combustible (Golato, Franck Colombres, Aso, Correa y Paz, 2008).

La demanda energética de la industria puede ser suplida por fuentes renovables. Para los procesos de calentamiento de agua la energía solar térmica representa una alternativa con diferentes aplicaciones, siendo los colectores solares la tecnología más utilizada para este fin. La integración de esta tecnología en la industria se puede realizar de tres formas: 1) Calentamiento directo de un fluido en circulación (agua o aire); 2) Suplir agua caliente a procesos con requerimientos de baja temperatura y 3) Precalentamiento de agua para suministrar agua a calderas de vapor industriales operadas con combustibles fósiles. Además, esta tecnología contribuye a la eficiencia energética de la industria (Energy Technology Systems Analysis Programme y International Renewable Energy Agency, 2015; Patterson, 1996).

Un estudio realizado en India, en donde se instalaron colectores solares para reducción de combustible y emisiones de gases de efecto invernadero, estimó una demanda térmica de 660 MJ/tonelada de producto procesado, suplida a través de vapor y agua caliente en nueve plantas de lácteos. Cada planta contaba con la capacidad de procesar un promedio de 132.42 millones de toneladas de leche al año. Se instalaron dos tipos de colectores solares en las plantas: un colector parabólico llamado Arun 160 y el segundo es un cilindro parabólico,

que supliría las necesidades de vapor y de agua caliente en combinación con sistemas convencionales operados con biomasa, diésel y aceite de horno. Los resultados muestran que la operación conjunta del colector parabólico Arun 160 y la biomasa como combustible representa la alternativa con mejor desempeño, obteniendo una reducción entre 20-30% adicional de los GEI, en comparación con los otros sistemas, supliendo además la demanda energética de la planta, además este sistema reduce el consumo de combustible entre un 60-70% (Sharma, Sharma, Mullick y Kandpal, 2017).

El Instituto Tecnológico de Costa Rica instaló un calentador solar termosifónico (con auxiliar eléctrico) e híbrido (sistema fotovoltaico) para proveer de energía térmica a plantas de lácteos. El estudio cuantificó también la reducción del consumo de electricidad y las emisiones de gases de efecto invernadero. El sistema se monitoreó durante los meses de mayo a diciembre de 2015, obteniendo como resultado la reducción de consumo de electricidad entre un 40-50% y el carbono que se dejó de emitir fue de 1,007.9 kg CO₂. Además, se reportó un ahorro económico de USD 411.13 en los 6 meses de monitoreo (Guzmán Hernández, Araya Rodríguez, Castro Badilla y Obando Ulloa, 2016).

En la búsqueda de implementar tecnologías, que contribuyan a la mitigación del cambio climático y reduzcan el consumo de electricidad y combustibles fósiles, Zamorano ha implementado proyectos de generación fotovoltaica, biogás y calentamiento solar de agua. El dimensionamiento para esta última tecnología se fundamentó en el estudio realizado por Tapia (2012), en donde se plantearon cuatro escenarios de integración para la planta de lácteos, proyectando la reducción en el consumo de diésel, gases de efecto invernadero y ahorro por la compra de combustible.

Para la obtención de los escenarios de integración, Tapia (2012) monitoreó el consumo de agua caliente en la Planta de Lácteos por 30 días, recolectando datos de caudal, horas pico de operación de la caldera, temperatura del agua, tiempo de uso promedio y presión de vapor. Los resultados reportan que la demanda de agua caliente de la planta es de 273,723 L/mes, de los cuales 178,234 L/mes son utilizados para procesos como la pasteurización y elaboración de quesos y 95,489 L/mes son para saneamiento. Las estrategias planteadas contemplaron la implementación de pistolas de agua industriales, sistema de colectores solares y combinación de las anteriores. El escenario de interés para este estudio es el sistema de colectores solares, el cual sule de agua caliente la planta para procesos de lavado y a la caldera para las operaciones unitarias de la planta. Con este planteamiento, el consumo de combustible se reduce en un 50% y se tiene un ahorro de USD 26,034 al año (Tapia, 2012).

En el año 2016, el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), por medio del proyecto Acelerando las Inversiones en Energías Renovable en Centroamérica y Panamá (ARECA), realizó la donación de USD 69,979 para la instalación de un sistema solar térmico en la Planta de Lácteos de Zamorano. Se estimó que con la implementación de este proyecto cada año se reducirán las emisiones por consumo de combustible en 108.10 tCO₂ eq y se obtendrá un ahorro anual de diésel de USD 25,370 (BCIE, 2017).

La instalación y puesta en marcha de este sistema se llevó a cabo en mayo de 2017, sin embargo, no se cuenta con datos asociados a su monitoreo y desempeño. El propósito de

este estudio es verificar las proyecciones de desempeño del escenario energético planteado en el 2012, y los beneficios derivados de la puesta en marcha del sistema en la planta de Lácteos de Zamorano.

Los objetivos del estudio fueron:

- Validar los datos reportados en el estudio de prefactibilidad realizado para el diseño del sistema de colectores solares.
- Evaluar el desempeño del sistema de calentamiento de agua frente al escenario descrito en la propuesta de implementación y puesta en marcha del proyecto.
- Desarrollar el análisis financiero asociado a los escenarios de integración del sistema como fuente de energía térmica para la planta de lácteos.

2. METODOLOGÍA

Descripción del sitio de estudio.

El estudio se realizó en la planta de lácteos, ubicada en el parque industrial de la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Esta unidad productiva procesa alrededor 5,000 litros de leche diarios y cuenta con operaciones unitarias como descremado, pasteurización, procesamiento de quesos. El sistema instalado para calentamiento solar de agua cuenta con 60 colectores solares, 2 acumuladores de agua caliente, 2 bombas y accesorios (tanques de expansión, válvulas de seguridad, tuberías aisladas). Los colectores son de placa plana con una eficiencia de conversión de energía solar a térmica de 73% y se encuentran dotados de un sistema de bombeo para el ingreso de agua.

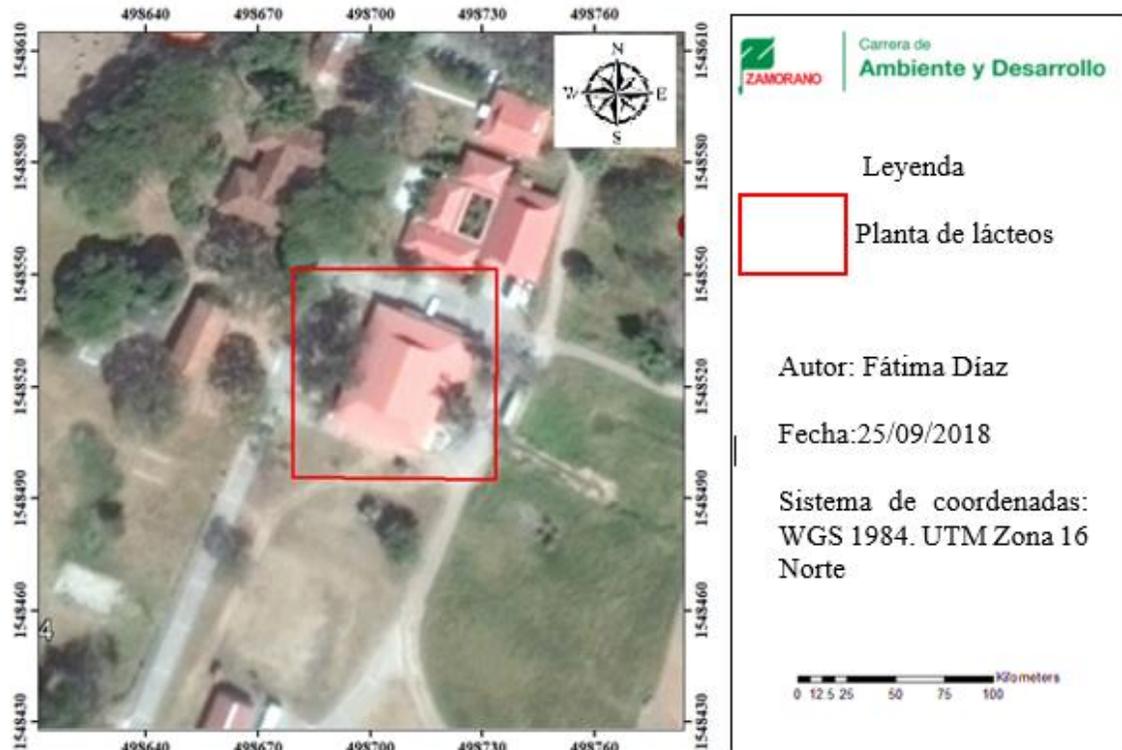


Figura 1. Mapa de ubicación de la planta de lácteos de Zamorano.

Funcionamiento del sistema de colectores solares.

Los colectores están conectados en serie, para un total de 15 circuitos de cuatro unidades cada uno. La bomba impulsa hacia los colectores la circulación del agua utilizada para el circuito de calentamiento. El agua de este circuito ingresa al intercambiador de calor y a la serpentina utilizada para la transferencia de calor en dos tanques acumuladores de agua caliente. Luego del proceso de transferencia, el agua retorna a los colectores solares.

El agua fría es bombeada al tanque acumulador de calor y por contacto con el circuito proveniente de los colectores se verifica el incremento de su temperatura. Al calentarse el agua dentro de los tanques su densidad disminuye lo que propicia que ascienda a las capas superiores del tanque y posteriormente se dirige a la caldera con una temperatura alrededor de 55 – 70 °C (Figura 2).

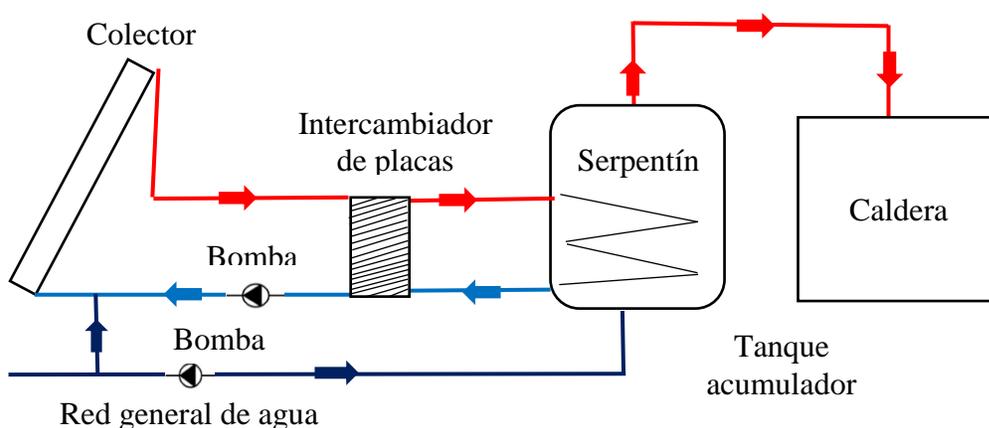


Figura 2. Configuración del sistema de colectores de la planta según BCIE (2016).

Validación de datos reportados en estudio de prefactibilidad.

Para este estudio se revisaron los datos monitoreados para el desarrollo del estudio de prefactibilidad y estas mismas variables se monitorearon durante los meses de junio y julio de 2018. A partir de los datos recolectados se construyó un cuadro comparativo incluyendo los datos obtenidos en el estudio del 2012 para, verificando la existencia de cambios entre los estudios. Se estima que existirán variaciones en los datos, particularmente asociadas al consumo de agua caliente y demanda de combustible, producto de cambios implementados en la operación de la planta y variaciones en el volumen de leche procesada.

Demanda de agua caliente. Los datos de demanda de agua caliente de la planta se recolectaron durante tres semanas. Se realizó aforos en las llaves que utilizan agua caliente para proceso de lavado, registrando el volumen mediante una probeta y un balde. El agua caliente en la planta se obtiene al combinar una corriente de vapor con el agua fresca. Para el aforo de esta mezcla, se recolectó el volumen en un balde y registró el tiempo que esa actividad requirió. El volumen recolectado se midió utilizando una probeta de 1,000 mL. Seguidamente se registró la temperatura utilizando un termómetro infrarrojo marca EXTECH modelo IR Thermometer. Se realizaron tres mediciones de cada punto registrando

el volumen y la temperatura para tener como resultado un promedio. El caudal de agua caliente se calculó mediante la ecuación 1:

$$Q = V / T \quad [1]$$

Q = Caudal (m^3)

V = Volumen (L)

T = Tiempo (s)

Para el cálculo de demanda de agua caliente en la planta, se verificó los puntos en donde se necesita agua caliente para lavado. La planta cuenta con cinco llaves que proveen una mezcla de vapor con agua fresca que se utiliza para lavado. Por lo tanto, durante tres semanas se verificó el uso de estas llaves para lavado en la jornada de trabajo de la planta. Registré el tiempo de lavado y para el cálculo del volumen de agua consumido se calculó mediante la ecuación 2:

$$VAC = Q \times Tp \quad [2]$$

VAC = Volumen de agua consumido (m^3)

Q = Caudal (m^3)

Tp = Tiempo promedio de uso diario (s)

El proceso de lavado de maquinaria como los tanques de almacenaje de leche, pasteurizador continuo, pasteurizador por tانتاس, tanque pulmón y envasadora se hace con la máquina Cleaning In Place (CIP). Esta máquina utiliza 200 L de agua caliente a 84 °C por ciclo de operación. Se monitoreó las veces que se utiliza el CIP al día en la planta. La información recopilada se analizó mediante la construcción de una tabla resumen que incluya las diferentes operaciones que demandan agua caliente en la planta.

Demanda de combustible. Se realizó una recopilación histórica de los datos de consumo de diésel, para ello se solicitó a la unidad de compras de Zamorano los registros de suministro de diésel en el periodo de 2012 - 2017, para identificar cambios en la dinámica de consumo de combustible. La información se presentó en gráficos de barras. Se realizó el cálculo de indicadores de eficiencia energética, tomado en cuenta los galones de diésel consumidos al año y los litros de leche procesados para identificar diferencias en el consumo de diésel en los años de 2015 – 2017. Para el cálculo se utilizó la ecuación 3:

$$EF = CE / P \quad [3]$$

EF = Eficiencia energética (Gal diésel / año / L de leche / año)

CE = Consumo energético (Gal de diésel / año)

P = Producción (L de leche / año)

Por otra parte, se cuantificó el volumen de diésel requerido diariamente para el desarrollo de las operaciones unitarias en la planta, mediante el registro del volumen inicial y final del tanque de diésel localizado en la parte posterior de la planta. La medición se realizó diariamente por espacio de tres semanas, obteniendo el primer dato al inicio de la jornada (4:30 a.m.) y la otra medición al cierre luego de apagar la caldera (4:30 p.m.). Al comprobar que no existían cambios en estos valores, el registro de consumo se completó con mediciones del volumen al cierre de la jornada. Esta información se presentó en gráficos de barras. Para el cálculo de consumo diario se utilizó la ecuación 4:

$$\text{Consumo de diésel diario (Gal)} = \text{Volumen inicial (Gal)} - \text{Volumen final (Gal)} \quad [4]$$

Demanda térmica de la planta. Se monitoreó los procesos durante tres semanas en donde se recolectaron datos de la cantidad de leche procesada por operación unitaria, se utilizó la ecuación 5 para determinar la demanda térmica:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad [5]$$

Q = Calor (kJ)

m = masa (kg)

C_p = Calor específico de la leche (J/kg K)

ΔT = Cambio de temperatura de la leche (°C)

La demanda térmica del agua caliente se calculó de la misma forma con base en los resultados del volumen promedio de agua utilizada al día. La información anterior se presenta en tablas. El cálculo de energía suministrada por el combustible se realizó mediante las mediciones diarias de consumo de este recurso. Con esta información se desarrolló un balance de energía y para el cálculo se la energía se utilizó la ecuación 6:

$$Q = m \times C_e \quad [6]$$

Q = calor (kJ)

m = masa (kg)

C_e = poder calorífico de diésel (kcal/kg)

La información anterior se requiere en la cuantificación de la energía térmica que provee el combustible a la planta y la proporción de esta que se transfiere como calor en las diferentes operaciones unitarias de la planta. El balance energético permite cuantificar las pérdidas de energía térmica suplida por la caldera. Esta información se organizó en una tabla resumen incluyendo las demandas térmicas de todos los procesos de la planta. A partir de estos datos, se estimó los galones de diésel que se pueden ahorrar luego de integrar el sistema de colectores como dotación de agua caliente para sanitización.

Evaluación del desempeño del sistema de calentamiento de agua.

Se construyó un cuadro comparativo con el desempeño proyectado por BCIE (2016) y Tapia (2012). Las variables que se incluyeron fueron: porcentaje de ahorro de diésel y ahorro en la compra de diésel en un año y la forma de integración de los colectores solares. Estos datos se compararon frente al funcionamiento actual de los colectores.

Desempeño del sistema. Con la información de consumo de combustible de la unidad de compras de Zamorano se calculó la reducción de este recurso en la planta, durante el periodo de mayo 2017 – mayo 2018, que corresponde al primer año de operación del sistema. Para ello se comparó con el periodo mayo 2016 – mayo 2017, la información se presenta en gráficas de barras y en tablas. Se utilizó la eficiencia energética como indicador de desempeño. El indicador se calculó mediante la ecuación 3.

Análisis financiero asociado a los escenarios de integración.

Se presentó el flujo de caja que se realizó en el estudio de prefactibilidad por el BCIE, (2016) y el flujo de caja realizado por Tapia, (2012). Para ambos análisis se actualizaron los valores de los indicadores financieros para poder compararlos. Se realizaron dos flujos de caja: el primero integrando el escenario de Tapia, (2012) con las variables nuevas que se midieron en junio y julio de 2018 y el segundo flujo de caja simulando los ahorros que el sistema trae consigo si se implementa como un sistema de dotación de agua caliente para la planta. Los indicadores financieros que se utilizaron fueron: Valor Actual Neto (VAN), ecuación 7, Tasa Interna de Retorno (TIR) y Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI). En la ecuación 7, 8 y 9 se muestra el cálculo de los indicadores que se realizaron en hojas de Excel.

Ecuaciones:

$$VAN = -I_0 + (F_1 / (1 + k) + (F_2 / (1 + k)^2 \dots + (F_n / (1 + k)^n) \quad [7]$$

VAN = Valor actual neto (%)

I = Inversión (dólares)

F = Flujo de dinero (dólares)

k = Rendimiento mínimo aceptable (dólares)

$$TIR = - 1[FC / (1 + i)^n] \quad [8]$$

TIR = Tasa interna de retorno (%)

FC = Flujo de caja (dólares)

i = tasa de interés (%)

n = años

$$PRI = I / F \quad [9]$$

PRI = Periodo de recuperación de la inversión

I = Inversión inicial (dólares)

F = Flujo neto de efectivo anual (dólares)

Los supuestos que se tomaron en cuenta fueron: En ambos escenarios se plateó que el ahorro del consumo de diésel se midió en los meses de junio y julio (variables: consumo de diésel, demanda de agua caliente y demanda térmica de la planta) del presente año, diferente a Tapia, (2012) ya que su análisis se basa en el mes de abril del 2012. El horizonte de los análisis financieros fue de 10 años debido a que Tapia, (2012) y BCIE, (2016) tienen el mismo horizonte. La tasa de descuento es de 0% ya que es una donación y así se hizo en los estudios de prefactibilidad. Para la actualización de los valores se utilizó una tasa de 2.27%, esto se realizó con la devaluación porcentual de la moneda nacional (Lempira) en el periodo 2012 – 2018.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Validación de datos reportados en estudio de prefactibilidad.

Demanda de agua caliente. Se recolectaron datos de consumo de agua caliente durante tres semanas y se graficó el escenario con mayor demanda. La Figura 3 muestra los caudales promedio diario con las temperaturas promedio en una semana. Esto es solo para lavado con agua caliente no se tomó en cuenta las máquinas que utilizan vapor para el lavado.

El día martes cuenta con el mayor consumo de agua caliente (3.8 m^3), ya que ese día se pasteuriza la leche para crema ácida y para homogenizar la leche se utiliza una mezcladora la cual posteriormente de su uso es lavada con agua caliente. El día con menor consumo, es el domingo, registro un promedio de 1.1 m^3 debido a que el domingo la única actividad que se hace en la planta es el descremado y recibo de leche, el agua caliente que se utiliza es para el lavado de la tina de descremado.

Durante una jornada de trabajo, la actividad de sanitización que representa el mayor consumo es el lavado de la tina de descremado con 1.12 m^3 por día, esto es en parte debido a que el caudal de la llave en el área de recepción es el mayor que en las otras llaves (Figura 3). El consumo promedio de agua caliente según Tapia, (2012) es de 3.1 m^3 y el aumento de esta variable puede ser consecuencia del incremento en el volumen de leche procesado.

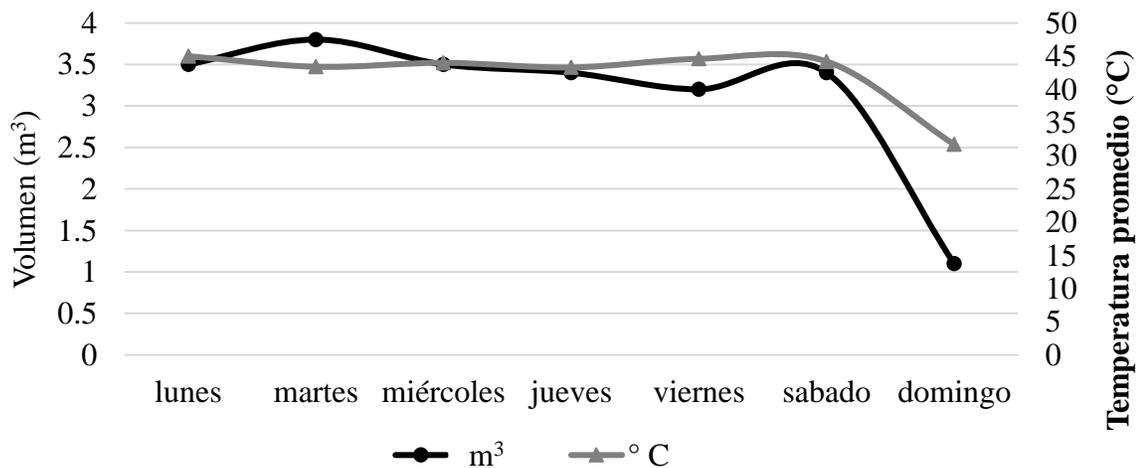


Figura 3. Demanda promedio de agua caliente para procesos de lavado.

Demanda de combustible.

En la Figura 4, se observa que el mayor consumo de combustible en la planta fue en el año 2014 y el menor consumo fue en el año 2017. Uno de los factores que pudo contribuir a esta reducción fue la introducción de la máquina CIP, que cuenta con un sistema de transferencia de calor más eficiente y facilita el lavado de maquinaria con menor volumen de agua a mayor temperatura. Los indicadores de eficiencia energética muestran que existe una relación entre el consumo de diésel y los litros de leche procesados, por lo que la interpretación de reducción en el consumo de combustible no puede analizarse de forma separada a la producción de la planta.

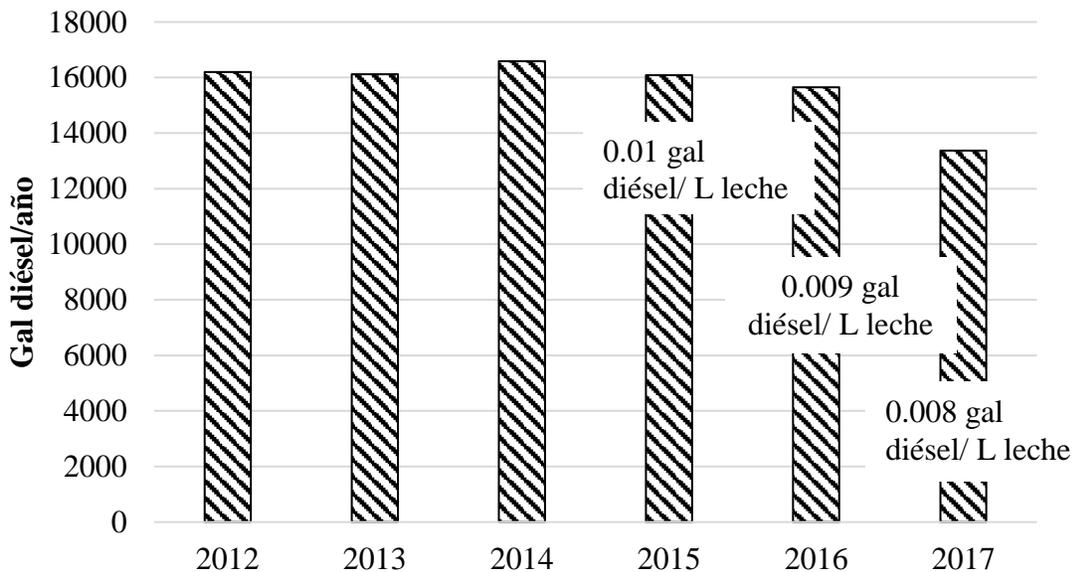


Figura 4. Consumo de combustible de la planta de lácteos en el periodo 2012 – 2017.

En la Figura 5 se muestra el consumo promedio de diésel en tres semanas. El consumo máximo registrado es de 52.3 galones y corresponde al día lunes, ya que ese día se verifican las operaciones de pasteurización y descremado para la leche que ingreso a la planta el domingo y lunes. El menor consumo es el domingo con 18 galones ya que ese día solo se descrema leche. Los días martes, miércoles y jueves baja el consumo de diésel, pero el día viernes aumenta, esto se debe a que el día viernes la planta tiene demanda mayores pedidos de leche, por lo tanto, hay más pasteurización de leche.

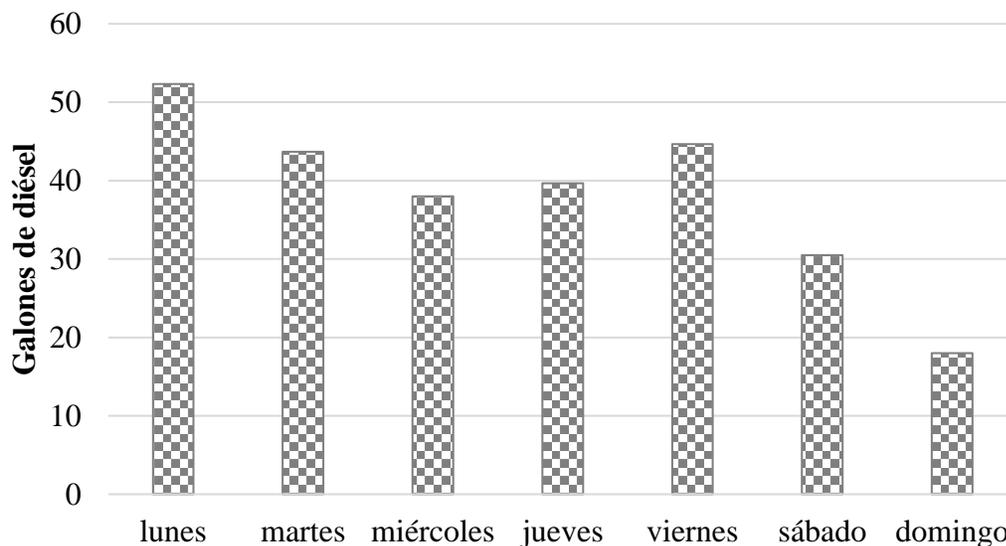


Figura 5. Consumo de diésel semanal.

Según Tapia, (2012) el consumo de combustible en la planta fue de 12,000 galones/año, pero según los datos históricos proporcionados por la unidad de compras de Zamorano el consumo de combustible para el año 2012 fue de 15,700 galones al año. Solamente en el año 2015 se reportó un consumo de combustible de 12,390 galones. Luego de analizar los datos históricos comprendidos entre 2012 - 2017 se obtuvo que el consumo de diésel oscila entre 10,000 – 16,620 galones/año. El BCIE, (2016) en su reporte del proyecto muestra la misma cantidad de combustible proyectada por Tapia (2012).

Demanda térmica de la planta.

El Cuadro 1 muestra la demanda de calor expresado en kJ por los procesos productivos de la planta y procesos de lavado que requieren vapor. La operación unitaria que demanda más calor es la pasteurización con un total de 1,124.88 MJ y el proceso con menor demanda es el cuajo de para queso cabaña con una demanda de 81.34 MJ. En total la demanda térmica de la planta para procesos productivos es de 2,194.30 MJ.

Cuadro 1. Demanda térmica por operaciones unitarias de la planta.

Proceso	Demanda térmica (MJ)
Cuajo de queso (para queso con chile y Zamorella)	552.19
Pasteurizador por tantas de leche con chocolate	308.40
Pasteurizadora continua HTST	816.47
Tina de descremado	517.22

Para el lavado del pasteurizador de leche con chocolate y la tina de descremado, los equipos se llenan con agua fresca que posteriormente calientan con aplicación directa de vapor. El CIP se utiliza en la sanitización de cuatro máquinas por ciclo, requiriendo 200 litros de agua a 84 °C. Para el lavado de equipos con manguera se utiliza la mezcla de vapor con agua fresca proveniente de las cinco llaves de la planta y esta actividad de lavado es la que demanda más energía. El total de energía requerida en la planta para procesos de lavado es de 745.93 MJ en el día de mayor consumo de diésel, es decir el día lunes (Cuadro 2).

Cuadro 2. Demanda térmica para procesos de lavado.

Procesos de lavado	Demanda térmica (MJ)
Lavado de equipos con manguera	307.87
Lavado de pasteurizador por tandas de leche con chocolate	98.75
Lavado de tina de descremado	207.52
CIP	131.79

En Cuadro 3 muestra el porcentaje de energía utilizado para las operaciones unitarias y lavado de la planta. En total, la planta solo utiliza 40% de la energía ofertada por el diésel a la caldera. Las pérdidas de energía se encuentran asociadas a la suma de diferentes factores como, la eficiencia de los equipos utilizados en las operaciones unitarias, falta de aislamiento térmico en tuberías, descarte de los condensados de la caldera y expulsión de vapor fuera del circuito de transferencia de calor de la planta entre otros. Además, la caldera permanece encendida aproximadamente 10 horas al día aun cuando no se requiera vapor en toda la jornada de trabajo. Al reemplazar la metodología para obtener agua caliente al interior de la planta, se puede realizar la planificación de actividades que requieren vapor para optimizar la energía térmica que el diésel provee y los horarios de operación de la caldera.

Cuadro 3. Energía utilizada para los procesos productivos de la planta.

Demanda de energía (MJ)	Actividad	Ingreso de energía por consumo de diésel (MJ)	% utilizado por actividad
2,940.24	Operaciones unitarias	7,378.52	30
745.936	Lavado		10

En comparación al estudio del 2012, se observa un incremento en el consumo de agua caliente y una reducción del uso de combustible. Se verificó el dato de diésel con a unidad de Compras de Zamorano concluyendo que el consumo real fue de 222 galones superior al reportado durante la prefactibilidad. Sin embargo, la propuesta de dimensionamiento del sistema de colectores solares tiene la capacidad de suplir la demanda de agua caliente, ya que se consideraron factores de seguridad en el diseño. Los estudios de prefactibilidad no muestran una demanda térmica de la planta (Cuadro 4).

Cuadro 4. Variables medidas en el estudio de prefactibilidad frente al estudio de 2018.

Variables	Tapia (2012) y BCIE (2016)	Estudio 2018
Demanda de agua caliente (m ³)	3.10	3.8
Demanda de combustible (galones/mes)	1,000.00	1,222.0
Demanda de térmica de la planta (MJ)	-	2,256.8

Evaluación del desempeño del sistema de calentamiento de agua.

La planta realiza al menos tres compras de combustible al mes. En la Figura 6 se muestra la dinámica de consumo antes y después de la puesta en marcha del sistema de colectores. Se registró una reducción de 530 galones de diésel para el periodo 2017-2018, los cuales representan un 4% de ahorro total anual. Sin embargo, esta información debe ser analizada en conjunto con los litros de leche procesados en ambos periodos para calcular el indicador de eficiencia energética.

Durante el periodo de mayo 2016 – mayo 2017 se procesaron 1,918,025.40 litros y durante el primer año de operación del sistema se reportó un total de 1,876,507.50 litros. El indicador para ambos periodos fue de 0.008 galones de diésel/ litros de leche procesado, esto indica que el sistema no contribuye al incremento de la eficiencia energética de la planta y por lo tanto no se verifica una reducción en el consumo de diésel que derive en ahorros.

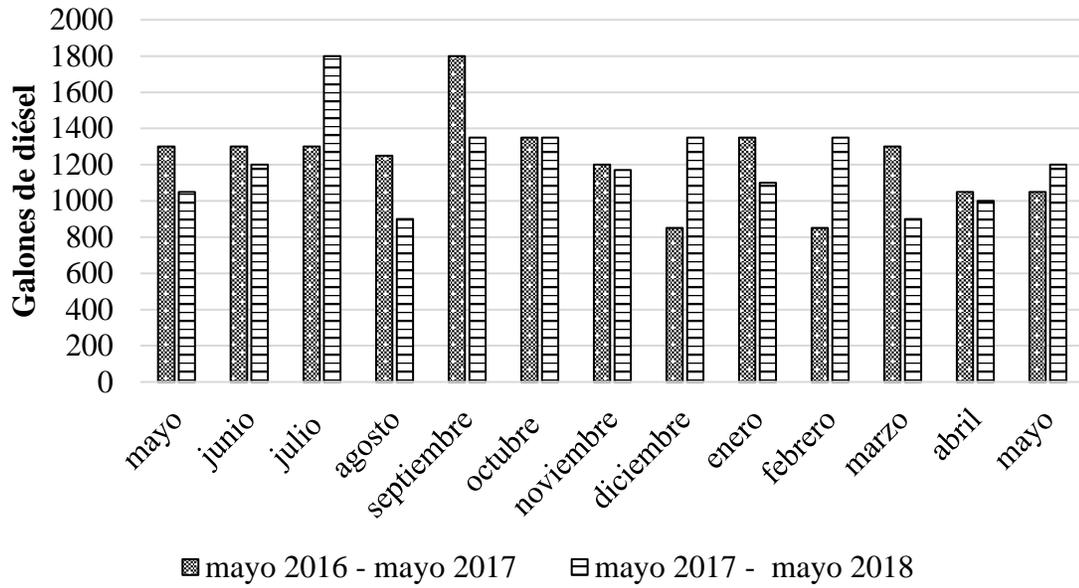


Figura 6. Consumo de combustible de la planta de lácteos.

Para determinar el ahorro de diésel, el BCIE tomó los datos de Tapia (2012) para el dimensionamiento del sistema, pero solamente se integró la sección del diseño correspondiente al precalentamiento de agua para caldera y no como dotación de agua caliente para procesos de lavado. El diseño tiene una capacidad de suplir 8 m^3 de agua entre $50 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$, de los cuales solo se utiliza menos del 35% (3 m^3) para suplir la demanda de la caldera.

Por otra parte, el descarte de condensados es una variable que afecta directamente la eficiencia energética del circuito de transferencia de calor, ya que, el sistema de colectores entrega agua a una temperatura inferior a la de salida de los condensados. Según Calle y Pozo, (2016) con la recuperación de condensados se obtiene un ahorro en la compra de combustible fósil entre un 10 – 20%. Adicionalmente, la caldera permanece encendida alrededor de 10 horas al día aún y cuando no se requiera vapor para el desarrollo de las operaciones unitarias.

Un galón de diésel aporta 56.18 MJ de energía térmica a la planta. Para la actividad de sanitización se requiere 647.19 MJ, por lo tanto, si el sistema se implementa como dotación de agua caliente se estima un ahorro 11.52 galones de diésel al día, considerando el escenario de mayor consumo de diésel registrado en los días lunes. Este valor representa un ahorro de 22% de consumo de diésel por día.

Análisis financiero de acuerdo a los escenarios de integración.

Cuadro 5 muestra la comparación de los indicadores financieros para la propuesta de implementación de Tapia (2012) y BCIE (2016), con los valores actualizados, existe una diferencia entre ambas propuestas. Esto se debe a que el sistema no se implementó conforme a lo descrito por Tapia (2012), que contempló su implementación para la dotación de agua caliente requerida en la sanitización y alimentación de la caldera. El proyecto desarrollado por el BCIE (2016), solamente integró el sistema como precalentamiento de agua para alimentación de caldera.

El estudio de 2018 muestra que el VAN y TIR son negativos ya que el sistema no ha reducido la cantidad de diésel que se calculó en el estudio de prefactibilidad. Además, el PRI es de 68 años, lo cual indica que no es una inversión rentable. Con el escenario de la integración de agua potable, se obtiene beneficios positivos en los indicadores financieros, por lo tanto, para que los valores sean positivos en el estudio de 2018 se debe de integrar el sistema en un 100%. Aunque en el escenario de integración de agua caliente, el sistema está integrado en su totalidad, de acuerdo a los indicadores financieros proyectados en los estudios de prefactibilidad, este no logra alcanzar los ahorros proyectados.

Cuadro 5. Indicadores financieros de la implementación del sistema de colectores.

Descripción	Tapia (2012)	Valores actuales	BCIE (2016)	Valores actuales	2018	Integración agua caliente
Inversión (USD)	74,597	74,597	69,979	69,979	69,979	69,979
Ahorro de combustible por año (USD)	26,034	29,318.51	25,370	25,877.40	1,939.80	16,002.20
VAN	28,690	213,206.1	184,223	178,795	-60,581	80,043
TIR (%)	27	39	34	34	-26	17
PRI (años)	3	3	4	4	68	6

4. CONCLUSIONES

- Se obtuvieron diferencias en el consumo de agua y combustible entre los estudios realizados en 2012 y 2018. Estos se encuentran asociados al cambio en la dinámica e introducción de algunos equipos en la Planta de Lácteos. Sin embargo, los indicadores de consumo de combustible indican el incremento de la eficiencia energética, reflejado en un menor consumo de diésel por cada litro de leche procesado.
- El sistema de colectores solares para calentamiento de agua opera correctamente, entregando agua a la caldera con una temperatura entre 55 y 70 °C. Su impacto en la eficiencia energética de la planta no se verifica debido a una integración parcial en comparación a la propuesta de prefactibilidad y a la no incorporación de los condensados a la caldera.
- El mejor escenario de integración es el reemplazo de la metodología actual de calentamiento de agua por la dotación directa de calentamiento a partir de los colectores. El sistema cubre a totalidad la demanda de agua caliente de la planta.
- Dado que el sistema no se ha implementado en un 100% los indicadores financieros demuestran el comportamiento bajo las condiciones actuales de la implementación. Por lo tanto, todavía genera un espacio para posibles ahorros en el futuro.

5. RECOMENDACIONES

- Integrar los colectores solares para suplir de agua caliente la planta de lácteos para procesos de lavado, así se reducirá el consumo de vapor y de diésel para esta actividad.
- Para que el sistema se desempeñe de forma óptima, se debe organizar las operaciones unitarias para reducir la jornada de operación de la caldera.
- Realizar el retorno de los condensados a la caldera para la reducción del consumo de combustible de diésel de la planta.

6. LITERATURA CITADA

- Agencia Internacional de Energía. (2018). Renewable heat policies Delivering clean heat solutions for the energy transition. [Políticas de energía térmica renovable. Ofreciendo soluciones de energía térmica limpia para la transición energética.
- Banco Centroamericano de Integración Económica, (2017). Banco Centroamericano de Integración Económica. Recuperado de BCIE financia sistema solar térmico para la planta de productos lácteos de Zamorano: [https://www.bcie.org/prensa/noticias/articulo / bcie-financia-sistema-solar-termico-para-la-planta-de-productos-lacteos-de-zamorano/](https://www.bcie.org/prensa/noticias/articulo/bcie-financia-sistema-solar-termico-para-la-planta-de-productos-lacteos-de-zamorano/)
- Banco Centroamericano de Integración Económica. (2016). Informe de perfil de proyecto.
- Calle, G., y Pozo, C. (2016). Producción más Limpia y Eficiencia Energética en una Industria de Lácteos. Revista Técnica Energía, (p12).
- Farjana, S. H., Huda, N., Mahmud, M. P., & Saidur, R. (2017). Solar process heat in industrial systems—A global review [Procesamiento solar de calor en sistemas industriales: una revisión global], *renewable and Sustainable Energy Reviews*
- Guzmán-Hernández, T, Araya-Rodríguez, F, Castro-Badilla, G, Obando-Ulloa, J. (2016). Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética. *Tecnología en Marcha. Encuentro de Investigación y Extensión* 2016. Pp 46-56. DOI: 10.18845/tm.v29i8.2984
- Golato, M. A., Franck Colombres, F. J., Aso, G., Correa, C. A., & Paz, D. (2008). Metodología de cálculo de la eficiencia térmica de generadores de vapor. *Revista industrial y agrícola de Tucumán*, 85(2), 17-31.
- International Renewable Energy Agency. (2015). Solar heat for industrial processes [Calor solar para procesos industriales.]. Recuperado de www.irena.org/Publications
- Patterson, M. G. (1996). What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues [¿Qué es la eficiencia energética: indicadores y temas metodológicos?] *Energy policy*, 24(5), 377-390.
- Quijera, J. A., Alriols, M. G., & Labidi, J. (2011). Integration of a solar thermal system in a dairy process [Integración de un sistema térmico solar en un proceso lácteo], *renewable energy*, 36(6), 1843-1853.

Sharma, A. K., Sharma, C., Mullick, S. C., & Kandpal, T. C. (2017). Potential of solar industrial process heating in dairy industry in India and consequent carbon mitigation [Potencial del calentamiento del proceso industrial solar en la industria láctea en India y la consiguiente mitigación del carbon]. *Journal of cleaner production*, 140, 714-724.

Tapia, J. G. (2012). Prefactibilidad Técnica y Financiera de un Sistema Solar Térmico en Planta de Lácteos de Zamorano.

7. ANEXOS

Anexo 1. Medición de agua caliente en la planta de lácteos.



Anexo 2. Tanque de diésel ubicado en la parte trasera de la planta de lácteos.



Anexo 3. Flujo de Caja proyectado por BCIE.

Flujo de Efectivo	Años del Proyecto										
	0	1	2	3	6	7	8	11	12	14	15
Ingresos por ahorro en Diesel	25,370	25,370	25,370	25,370	25,370	25,370	25,370	25,370	25,370	25,370	25,370
Mantenimiento y operación	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000	-1,000
Depreciación	-4,209	-4,209	-4,209	-4,209	-4,209	-4,209	-4,209	-4,209	-4,209	-4,209	-4,209
Pago de Intereses	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total Gastos	-5,209	-5,209	-5,209	-5,209	-5,209	-5,209	-5,209	-5,209	-5,209	-5,209	-5,209
Utilidad Antes Impuesto	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162
Impuestos ()											
Utilidad Después de Impuesto	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162	20,162
Depreciación	4,209	4,209	4,209	4,209	4,209	4,209	4,209	4,209	4,209	4,209	4,209
Pago de Capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Valor de Desecho											3,323
Inversión	-69,979										
Flujo de Efectivo	-69,979	24,370	24,370	24,370	24,370	24,370	24,370	24,370	24,370	24,370	27,693
Indicadores Financieros											
Costo de Oportunidad	5%										
Valor Contable de los Ahorros Comb Fósil	368,374										
VA de los Ahorros de Combustible Fósil (5%)	254,202										
Valor Actual Neto del Proyecto	184,223										
TIR	34%										

Anexo 4. Comparación de escenarios de Tapia (2012) E2 escenario de interés.

Descripción	E0	E1	E2	E3
	Actual	MEE	SST	SST+MEE
Volumen de agua por mes (litros)	273,723	251,825	273,723	251,825
Volumen de diesel por año (litros)	45,425	41,791	22,713	20,896
Gasto en combustible por año (\$)	52,068	47,919	26,034	25,075
Ahorro de agua (%)	0	8	0	8
Ahorro en combustible (%)	0	8	50	54
Emisiones de CO2 por año (Tm)	120	107	59	55
Horas pico de uso por mes (Hp)	179	165	90	88
VAN (\$)	0	10,060	28,690	44,579
TIR (%)	0	51	27	28
PRI (años)	0	2	3	3

Anexo 5. Flujo de efectivo con el ahorro de diésel en el primer año de puesta en marcha.

Flujo de Efectivo	Años										
	0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
Ingresos por diésel		1,939.80	1,939.80	1,939.80	1,939.80	1,939.80	1,939.80	1,939.80	1,939.80	1,939.80	1,939.80
Mantenimiento y operación		-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00	-1,000.00
Depreciación		-4,209.00	-4,209.00	-4,209.00	-4,209.00	-4,209.00	-4,209.00	-4,209.00	-4,209.00	-4,209.00	-4,209.00
Ingresos de la planta		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total de gastos		-5,209.00	-5,209.00	-5,209.00	-5,209.00	-5,209.00	-5,209.00	-5,209.00	-5,209.00	-5,209.00	-5,209.00
Utilidad Antes de Impuesto		-3,269.20	-3,269.20	-3,269.20	-3,269.20	-3,269.20	-3,269.20	-3,269.20	-3,269.20	-3,269.20	-3,269.20
Impuestos		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Utilidad Después de Impuesto		20,161.00	20,161.00	20,161.00	20,161.00	20,161.00	20,161.00	20,161.00	20,161.00	20,161.00	20,161.00
Depreciación		4,209.00	4,209.00	4,209.00	4,209.00	4,209.00	4,209.00	4,209.00	4,209.00	4,209.00	4,209.00
Pago de Capital		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor de Desecho											
Inversión		-69,979.00									
Flujo de Efectivo		-69,979.00	939.80	939.80	939.80	939.80	939.80	939.80	939.80	939.80	939.80
Indicadores financieros											
Valor Actual Neto (VAN)		-60,581.00									
TIR		-26%									
		70,918.80									
PRI		75.46158757									
		68 años									