OFICINA DE PARTES 1 FIA
RECEPCIONADO
15 ABR 2016
Fecha .....
Hora 13:30
Nº Ingreso 28604

FIA
Ministerio de Agricultura
Gobierno de Chile

Informe de Seguimiento técnico Nº 05 y Final

Poligeneración solar en la industria del vino: *Aplicaciones en calor de procesos y refrigeración para reducción de huella de carbono*

PYT-2013-0021 P690

Período comprendido desde el 30 de Abril de 2015

hasta el 31 de marzo de 2016

Instrucciones:

- La información presentada en el informe técnico debe estar directamente vinculada a la información presentada en el informe financiero, y ser totalmente consistente con ella.
- El informe debe incluir en los Anexo los cuadros, gráficos, fotografías y diapositivas, publicaciones, material de difusión, material audiovisual y otros materiales que apoyen o complementen la información y análisis presentados en el texto central.
- Todas las secciones del informe deben ser contestadas.
- Evite repetir información en las distintas secciones
- Utilice caracteres tipo Arial, tamaño 11, y utilice los espacios asignados para ello.
- Los informes deben ser presentados en versión digital y en papel (dos copias), en la fecha indicada como plazo de entrega en el contrato firmado con el postulante y/o Entidad Responsable.
- FIA se preocupa por el medio ambiente, si le es posible, por favor imprima a doble cara.

Contenido

1. Antecedentes 3
2. Costos 3
3. Resumen del Período 4
4. Objetivos Específicos 4
5. Resultados 6
6. Actividades 7
7. Hitos Críticos 10
8. Cambios en el entorno 10
9. Difusión 11
10. Auto Evaluación 12
11. Conclusión 14
12. Anexos 15

1. Antecedentes

1.1. Antecedentes Generales:

Nombre Ejecutor:	DICTUC S.A.
Nombre(s) Asociado(s):	Universidad Diego Portales, Universidad de Talca, Vinícola Miguel Torres S.A.
Coordinador del Proyecto:	Rodrigo Escobar Moragas
Regiones de ejecución:	Metropolitana (XIII) y del Maule (VII)
Fecha de inicio iniciativa:	01 de Mayo de 2013
Fecha término Iniciativa:	31 de Marzo de 2016
Tipo Convenio FIA:	Proyectos de Innovación
Objetivo General:	Diseñar y caracterizar un sistema de poligeneración escalable que permita a las empresas vitivinícolas aumentar su independencia energética y disminuir la huella de carbono asociada a sus procesos de producción de vino, para luego transferir la tecnología a la industria mediante servicios de consultoría y suministro de energía en modalidad ESCO.

2. Costos

2.1. Costo general:

Costo total de la Iniciativa			
Aporte FIA			
Aporte Contraparte	Pecuniario		
	No Pecuniario		
	Total Contraparte		

2.2. Ejecución presupuestaria a la fecha:

Acumulados a la Fecha		Monto ($)
Aportes FIA	Suma cuotas programadas	
	Suma cuotas pagadas	
	Suma gasto programado	
	Suma gasto real	
Aportes Contraparte	Gasto programado	
	Gasto real	
	Gasto pecuniario programado	
	Gasto pecuniario real	

3. Resumen del Período

Durante el período de ejecución que cubre el presente informe se realizaron las actividades de operación y análisis de rendimiento del sistema de Poligeneración solar para generar los resultados de publicaciones científicas. Lo anterior permitió finalizar con éxito el proyecto y realizar dos seminarios de difusión en Curicó y Santiago donde se presentaron los principales resultados del proyecto.

En esta etapa final del proyecto se pudo determinar que la operación a nivel industrial del sistema se dificulta debido a las condiciones dinámicas de operación de la planta de producción de vino, donde los principales parámetros de funcionamiento, que inicialmente fueron informados como constantes, resultaron ser variables y no son siempre informados a Dictuc con anticipación. Esto trajo como consecuencia múltiples demoras en las pruebas y por lo tanto en la caracterización del sistema bajo régimen de operación industrial.

A pesar de lo anterior se logró recopilar datos suficientes para caracterizar el funcionamiento del sistema en días claros, parciales, y nublados. Con los datos recopilados es posible establecer estrategias de operación para suministro de calor y frío al proceso, determinar la producción anual de energía, los ahorros de electricidad y combustibles, la reducción de huella de carbono, y realizar el análisis de factibilidad económica del sistema.

Se determinó

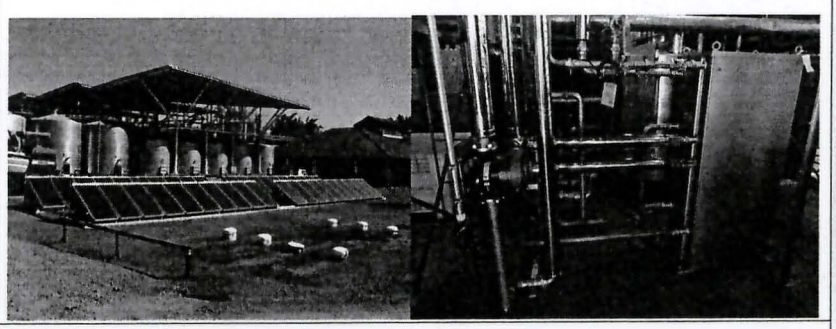
4. Objetivos Específicos (OE)

4.1. Porcentaje de Avance:

Nº OE	Descripción OE	% de avance
1	Determinar las demandas de frio y calor de la viña en formato horario y promedio mensual mediante la realización de una auditoría energética.	100%
2	Determinar el potencial local para utilización de energía renovable en planta Curicó de Viña Miguel Torres, considerando recurso Solar y disponibilidad de Biomasa	100%
3	Diseñar un sistema híbrido de poligeneración solar para suministro de energía al proceso vitivinícola según las demandas encontradas en el punto 1	100%
4	Evaluar el desempeño del sistema mediante simulación y optimización de su operación considerando los datos colectados en los objetivos 1 y 2.	100%
5	Implementar el sistema piloto diseñado a escala reducida: construirlo y ponerlo en funcionamiento aportando energía renovable al proceso de vinificación.	100%
6	**Evaluar la producción energética y la reducción de huella de carbono asociada al funcionamiento del sistema** mediante la operación y monitoreamiento del sistema piloto bajo un régimen de operación industrial.	100%
7	Generar una solución implementada para ser transferida a la industria como servicio bajo un modelo de negocios de consultoría o ESCO.	80%
V	Determinar la viabilidad económica del servicio y encontrar el modelo de	90%

	negocio más adecuado para transferir conocimiento y tecnología a la industria, mediante un análisis que determine rentabilidad para empresa y clientes con antecedentes de mercado reales.	
D	Informar a la comunidad (científica, universitaria, autoridad regional, vitivinícola) acerca del proyecto, y los beneficios que se obtienen de la aplicación de energía solar al sector vitivinícola.	100%
AM	Validar las hipótesis de mercado mediante una revisión detallada de la localización de viñas en el país para determinar el porcentaje total que pueda beneficiarse de los productos y servicios desarrollados en el proyecto.	50%

4.2. Descripción de estado de avance del período (Máx. 70 palabras por objetivo)

Nº OE	Descripción del Avance del Período
3	El sistema híbrido de Poligeneración fue diseñado y consta de los siguientes subsistemas: campo solar de 80m2; chiller de absorción Yazaki de 17.5 kW; calderas de biomasa y gas (preexistentes en Viña Miguel Torres), estanques de alta, media, y baja temperatura. El sistema opera generando calor en la caldera y campo solar, que alimentan al chiller para producir frío. La combinación de fuente de calor y demanda de calor/frío determina el modo de operación del sistema diferenciando las condiciones de recurso disponible y demanda en verano e invierno.
4	Se implementaron dos modelos de simulación donde se integran los principales componentes del sistema de poligeneración y cuyos resultados de desempeño del sistema de absorción fueron validados comparando con datos reportados en el catálogo de Yazaki. Los modelos de simulación permiten predecir el comportamiento dinámico del sistema y fueron utilizados para el diseño conceptual de la solución que finalmente fue implementada en la viña.
5	El sistema fue diseñado por DICTUC/UDP, la ingeniería y construcción fue realizada por el contratista eSolar integrando soluciones tecnológicas Bosch, Grunfos, y de desarrollo propio. La puesta en marcha permitió asegurar el funcionamiento de cada subsistema y su adecuada integración al proceso. Se muestran una vista general del campo solar integrado en el terreno de la viña, y del chiller integrado a la sala de máquinas del proceso. 
D	No se realizaron actividades de difusión en el periodo cubierto por el presente informe.

5. Resultados Específicos (RE)

Nº OE	Nº RE	Resultado Esperado (RE)	Indicador de Resultados (IR)			Valor Actual	
			Indicador (cuantificable)	Línea base (situación sin proyecto)	Meta proyecto	Resultado	% Avance
	7	Dimensionamiento secador de biomasa	Capacidad de secado (kg/hr)	Desconocido	No aplica meta	Aún no realizado	0%
	8	Diseño e implementación del sistema de control integrado.	Sistema de control	Desconocido	No aplica meta	Se determinó la estrategia de control para el campo solar relativa a las diferencias de temperatura. Se estableció la estrategia de control para el chiller. **Se diseñó e implementó la estrategia de control para integración de ambos al proceso existente. La estrategia se demostró incorrecta al producirse una falla en el sistema causada por operación negligente. Debe replantearse la estrategia de control.**	**66%**
2							
	V	Análisis de viabilidad económica inicial	Viabilidad Económica inicial	No se ha determinado la viabilidad económica – indicador base "0"	La viabilidad económica se cuantificará mediante el análisis de rentabilidad para los clientes mediante indicadores VAN y TIR, además de ahorro anual esperado en el consumo de energía y valorización de la reducción de huella de carbono alcanzada.	No se ha realizado aún debido al retraso en la ejecución del proyecto.	~~0~~100%

5.1. Descripción del avance del período (describa sólo aquellos que han tenido actividad durante el período)

Nº RE	Descripción Avance	Problemas y Desviaciones	Repercusiones	Acciones Correctivas
8	Para el sistema de control integrado se han establecido e implementado las estrategias de control del chiller y del campo solar. **Falta aún el sistema de control para integración del sistema al proceso de MT ya que el sistema implementado permite la operación automática bajo supervisión humana para evitar sobrecalentamientos del campo solar. Esta situación generó una falla y por lo tanto obliga a modificar el sistema de control para eliminar la necesidad de supervisión del estado del campo solar.**	Una falla en la alimentación eléctrica de la Viña en enero detuvo las bombas del sistema lo que provocó un sobrecalentamiento del campo solar. Esto ocasionó además una falla en el chiller de absorción. Ambas fallas fueron resueltas y el sistema volvió a finales de marzo a la condición de operación previa a la falla. Se produjo también una intervención no autorizada por parte de personas desconocidas que rompieron un visor de caudal del campo solar produciendo daño adicional y fugas del fluido de trabajo. Esto también fue reparado.	**La operación del sistema será semiautomática durante el periodo de monitoreo hasta que se cuente con datos suficientes para establecer una estrategia de control válida. En la situación actual se están estudiando dos estrategias de control distintas para que la operación del sistema no requiera de mínima supervisión humana.**	En proceso, con dos soluciones distintas siendo estudiadas y probadas en el sistema.

6. Actividades

6.1. Cuantificación del avance. Cuantifique el avance para todos los resultados esperados:

Nº OE	Nº RE	Actividades	Programado		Real		% Avance
			Inicio	Término	Inicio	Término	
3	8	**21-** Evaluación de las diferentes estrategias de control, comúnmente utilizadas en refrigeradores de absorción					50%
3	8	**22-** Definir el modo acoplamiento de los sistemas de control y el almacenamiento de datos					50%
3	8	**23-** Optimizar el sistema de control para obtener tiempos de respuesta que garanticen el suministro de energía					0%
4	9	**24-** Construir un programa de simulación del sistema completamente integrado, sobre una	01/10/2013	31/10/2013	01/09/2013	31/10/2013	100%

		plataforma especializada					
4	9	**25-** Simular la operación del sistema en régimen permanente (según condiciones de diseño)	01/10/2013	31/10/2013	15/08/2013	15/11/2013	100%
4	9	**26-** Simular la operación del sistema en régimen transiente utilizando datos meteorológicos reales	01/10/2013	31/10/2013	23/09/2013	15/11/2013	100%
5	10	Cotización y adquisición de los equipos	Diciembre 2013	Enero 2014	Agosto 2014	Septiembre 2014	100%
5	10	Instalación e integración de los sistemas	Enero 2014	Marzo 2014	Agosto 2014	Octubre 2014	100%
5	10	**Capacitación: Aunque se realizó la capacitación según lo planificado la realidad indica que el personal de la Viña no adquirió el conocimiento y habilidades necesarias para operar el sistema. Una vez que se resuelva la implementación del sistema de control automático sin intervención humana será necesario realizar una capacitación adicional para asegurarse que esta vez el personal de la viña no provocará fallas adicionales en el sistema.**	Diciembre 2013	Abril 2014	Octubre 2014	Noviembre 2014	**100% en cuanto a lo planificado inicialmente.** **50% en relación a la realidad del aprendizaje del personal de la Viña.**
6	11	Pruebas de inicio	Marzo 2014	Marzo 2014	Octubre	Octubre 2014	100%
6	11	Pruebas de respuesta en régimen transiente	Marzo 2014	Marzo 2014	Octubre	Octubre 2014	100%
6	11	Evaluación del sistema de adquisición de datos	Marzo 2014	Marzo 2014	Octubre	Octubre 2014	100%
D	D	Seminario Técnico 1	Septiembre 2013	Septiembre 2013	Septiembre 2014	Septiembre 2014	100%
D	D	Inauguración	Diciembre 2013	Diciembre 2013	Octubre 2014	Octubre 2014	100%

6.2. Descripción del avance del período (describa sólo aquellos que han tenido actividad durante el período)

Actividad	Descripción Avance	Problemas y Desviaciones	Repercusiones	Acciones Correctivas
Pruebas y puesta en marcha – recuperación de fallas	**Una vez que se detectaron las fallas causadas por operación negligente se procedió a poner en marcha el sistema nuevamente. Para esto ee realizaron pruebas de presión, estanqueidad, y funcionamiento. Todos los componentes operan según lo esperado y se puso en marcha el sistema de manera provisoria por segunda vez. El sistema se pondrá en marcha en régimen industrial una vez que se implemente la nueva estrategia de control.**	Fallas del sistema anteriormente explicadas.	Retraso adicional de 3 meses y necesidad de implementar una nueva estrategia de control.	Se detuvo la operación del sistema y se decidió que la operación estará a cargo de la Universidad deTalca y no de VMT, hasta que se compruebe que el sistema de control opera satisfactoriamente y que el personal de VMT se encuentra debidamente capacitado.

7. Hitos Críticos

7.1. Indique el grado de cumplimiento de los hitos críticos fijados:

Nº RE	Hitos críticos	Fecha Programado	% Avance a la fecha	Fecha Real Cumplimiento
1 a 4	**Factibilidad técnica y económica**	01/08/2013	50%	31/11/2015
5,6,7	**Diseño y dimensionamiento del sistema**	01/10/2013	100%	15/07/2014
V,12,13	**Evaluación de desempeño**	01/05/2014	0%	31/11/2015

7.2. Describa el grado de cumplimiento y posibles desviaciones (máx. 200 palabras).

En el contexto general de las actividades propuestas el avance del proyecto presentaba un retraso aproximado de 3 meses, y debido a las fallas descritas el retraso acumulado alcanza ahora 6 meses.

Las fases preliminares de estimación de demanda (eléctrica y térmica) ya se completaron y se tiene el análisis de recurso solar completo. El análisis de biomasa está completo, lo mismo que el procedimiento de simulación, y la cotización, selección y adquisición de los equipos. La fase de construcción se terminó con éxito, la puesta en marcha fue exitosa, y el proyecto se encontraba listo para pasar a la fase de operación en régimen industrial cuando ocurrió la falla descrita por operación negligente del sistema. En la situación actual se trabaja para implementar un sistema de control que permita evitar fallas similares en el futuro.

El retraso acumulado en el proyecto requiere que la fecha de término se aplace hasta el 31 de diciembre de 2015, lo que permitirá terminar la implementación de las nuevas estrategias de control y finalizar los análisis que dependen de los datos generados durante la operación del sistema.

8. Cambios en el entorno

8.1. Tecnológico

El entorno tecnológico se mantiene inalterado: el proyecto sigue siendo innovador y pionero en Chile, y en el contexto internacional también se posiciona como una iniciativa innovadora. No han aparecido innovaciones relevantes u otros antecedentes que permitan plantear un cambio en el entorno que pueda restarle validez al proyecto. Por el contrario, el éxito del proyecto permite proyectar un aumento en el uso de las tecnologías de poligeneración en Chile.

8.2. Mercado

La situación de mercado también se mantiene inalterada.

8.3. Otros

No existen cambios en las leyes y/o normativas vinculadas al presente proyecto

9. Difusión

9.1. Describa las actividades de difusión programadas para el próximo período.

Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	N° participantes	Perfil de los participantes	Medio de Invitación
Por determinar – septiembre 2015	UTalca sede Curicó	Seminario internacional	Sobre 60	Académicos, estudiantes universitarios, escolares, industriales.	Difusión en la región del Maule por medio de Posters informativos e invitaciones personales.

9.2. Describa las actividades de difusión realizadas durante el período:

Fecha	Lugar	Tipo de Actividad	N° participantes	Perfil de los participantes	Medio de Invitación
Ninguna					

*Debe adjuntar en anexos material de difusión generado y listas de participantes

10. Auto Evaluación

10.1. ¿Considera que su proyecto logrará insertar en el mercado el bien o servicio o mejorar la competitividad? Explique (máx. 80 palabras)

Efectivamente consideramos que le proyecto es de gran interés para la industria del vino y que el potencial para introducirlo en el mercado es grande. El análisis de recurso solar indica que es factible alcanzar las fracciones solares (aporte solar sobre demanda total) previstas y que por lo tanto el sistema debería operar según lo inicialmente estimado y la disponibilidad de biomasa es amplia lo que permitiría eliminar la compra de pellets para la caldera de biomasa existente. Esto requiere un secador de biomasa que aún no ha sido analizado.

Lo anterior permite mejorar la competitividad de la viña al mejorar la competitividad del vino producido debido a su menor huella de carbono y posicionamiento sustentable; la competitividad del servicio ofrecido no ha sido determinada pero se estima que será al menos tan interesante para otras viñas como lo ha sido para Miguel Torres, sobre todo en regiones con mejor recurso solar que permitan menores inversiones en campo solar.

La falla producida en el sistema puede considerarse como un aspecto negativo. Aunque efectivamente ha producido un retraso adicional de aproximadamente tres meses en la ejecución del proyecto, ha puesto en evidencia la necesidad de adaptar las condiciones de operación y control del sistema a la realidad técnica de la Viña donde no existe personal calificado que permanentemente pueda supervisar el comportamiento del sistema. Esto plantea una oportunidad de modificar el sistema de control para que la operación sea, además de automática, más segura que antes al eliminar la posibilidad de fallas debido a operación sin supervisión.

10.2. ¿Cómo evalúa los resultados obtenidos en función del objetivo general del proyecto? (máx. 80 palabras)

Los resultados obtenidos hasta ahora son satisfactorios excepto por el retraso y permiten avanzar en las etapas posteriores a la construcción y evaluación del sistema. La falla producida se transforma en una oportunidad de mejora.

La construcción del sistema ha sido positiva, y la selección del sitio para montar el campo solar es altamente atractiva ya que se ve desde la ruta 5 generando un impacto de marketing mayor.

La modificación del sistema de control permitirá ofrecer un producto más atractivo a Viñas adicionales ya que se elimina la posibilidad de fallas similares a la ocurrida.

10.3. ¿Cómo evalúa el grado de cumplimiento de las actividades programadas? (máx. 80 palabras)

El grado de cumplimiento es deficiente si se tiene en cuenta la programación original, lo que ya ha sido explicado en secciones anteriores. Durante esta etapa de la ejecución se produjeron retrasos adicionales debido a una falla en el sistema.

A pesar de los retrasos el proyecto se encuentra bajo control avanzando en paralelo en las actividades programadas, y se espera que al ser puesto en marcha con el nuevo sistema de control modificado las siguientes etapas de monitoreamiento y cálculo de variables relacionadas con la factibilidad económica y las emisiones permitirán establecer la escalabilidad del piloto y así obtener mayores beneficios.

10.4. ¿Cómo ha sido la participación de los asociados? (máx. 80 palabras)

Los asociados han participado según lo propuesto con la excepción de Viña Miguel Torres.

La Utalca realizó la auditoría energética y determinación de potencial de biomasa; el avance en ambas tareas es completo. También colaboró activamente en la organización de seminarios de difusión.

La UDP participó en el diseño y dimensionamiento mediante simulación computacional,

colaborando también en el monitoreo del sistema, en la simulación de su comportamiento anual, y en el análisis económico y de escalamiento.

Miguel Torres ha participado poniendo a disposición datos y facilitando el acceso al proceso productivo. La disposición del personal involucrado ha sido menos que óptima. Durante 2015 se produjo una falla causada por no seguir las instrucciones dadas en la capacitación, y luego de eso el sistema ha operado únicamente en las ocasiones en que personal de Dictuc ha podido viajar a Curicó. A esto se suma que en reiteradas oportunidades la información entregada por la Viña a DICTUC ha sido incompleta y contradictoria, lo que perjudicó la etapa de diseño del sistema. También ha resultado difícil adaptar el sistema a las condiciones reales de operación de la planta, que son variables y muy distintas a lo inicialmente informado. También ocurren muchos cambios que no se informan a DICTUC, por lo que en más de una oportunidad los viajes a Curicó han resultado del todo inútiles al estar operando la planta en condiciones significativamente diferentes a lo establecido inicialmente.

Viña Miguel Torres a la fecha de término del proyecto sigue desconociendo el contrato firmado con DICTUC y se niega a cumplir con los aportes comprometidos.

Hasta ahora se han recibido sólo el 50% de los aportes comprometidos por la viña lo que

11. Conclusión

11.1. Concluya y explique la situación actual de la iniciativa, considerando amenazas u oportunidades (máx. 230 palabras).

El proyecto se inició con una demora de tres meses con respecto a lo presupuestado. Esto se debió al retraso en recibir los aportes de FIA y al retraso en elaborar los contratos entre las partes. Durante la etapa informada se produjo un retraso adicional de tres meses debido a una falla en la operación del sistema, que obliga a modificar la estrategia de control del sistema para implementar un sistema que además de automático sea capaz de evitar repeticiones de la falla ocurrida. No obstante lo anterior, el nivel de avance es satisfactorio, habiéndose completado la auditoría energética, evaluación de recurso renovable, el diseño del sistema, la adquisición de los equipos, la construcción del sistema y su puesta en marcha.

Los contextos técnico y de mercado se mantienen inalterados, por lo que las suposiciones iniciales y análisis previo realizado se mantienen también sin modificación. Esto significa que la oportunidad de mercado identificada es aún explotable, y que el proyecto permitirá generar los beneficios propuestos tanto para el consumidor (Miguel Torres, mejora en la sostenibilidad de sus productos y menor costo de consumo energético) como para los oferentes (Dictuc y las universidades, que desarrollarán capacidades para ofrecer servicios a la industria del vino en general).

Los pasos siguientes serán proseguir con las actividades de difusión, poner en marcha el sistema en régimen industrial con el sistema de control modificado para evitar fallas, y monitorear su operación. Luego de eso se evaluará su desempeño y los beneficios adicionales como reducción de emisiones.

Se estima que –excepto el retraso- el proyecto se encuentra bien encaminado, y que además, podrá ser replicado en otras viñas y escalado a nivel de producción industrial considerando el énfasis en el uso de energía renovable que se ha puesto desde varias agencias de gobierno.

12. Anexos

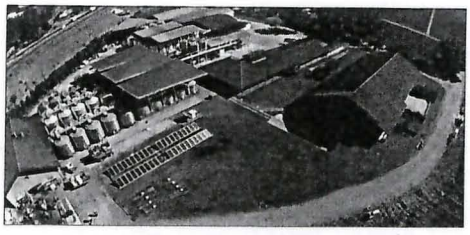
1. Artículo publicado en journal científico "Renewable Energy" (Claudio Tenreiro).

2. Artículo publicado en Congreso Mundial de Energía Solar (ISES SWC 2015). (Escobar y Cardemil).

3. Presentaciones realizadas en los seminarios de cierre (Curicó y Santiago).

Proyecto FIA PYT-2013-0021

Poligeneración Solar en la Industria del vino: aplicaciones en calor industrial y refrigeración para reducción de huella de carbono.

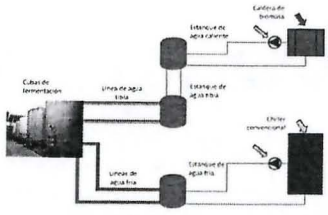


1

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Proceso Actual

- Produce calor en una caldera de biomasa (pellets) o GN
- Utiliza chiller convencional eléctrico



Tres niveles de Temperatura: 80-30-5 °C
Operación estacional.
Pellets adquiridos en el mercado.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

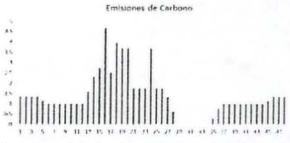
Contenidos

- Contexto en la industria del vino
- Objetivos, hipótesis y metodología
- Instituciones participantes
- Hitos relevantes y difusión.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Demanda y huella de Carbono

- Demanda estacional de calor y frío.
- Emisiones CO2 en el proceso desde consumo eléctrico y combustible que se suman a la "huella base" referidas a la operación general de la viña.



Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Introducción

- La industria vitivinícola chilena es reconocida mundialmente: sexto mayor productor y cuarto exportador a nivel mundial (OIV 2015) - 1,3 millones de m3 incremento de un 30% con respecto al 2014.
- Las viñas necesitan mantenerse a la vanguardia tecnológica y de impacto ambiental (huella de carbono) para mantener y/o mejorar su competitividad en los mercados internacionales.
- Algunas viñas han introducido tecnologías solares de forma pasiva (calefaccionar ambientes o iluminar) y activa (suministro de energía térmica y eléctrica).
- Desde 2011 se identificaron 293 viñedos donde se utiliza energía solar: 92% de los proyectos en Estados Unidos y Europa, 89% de los viñedos utilizan tecnología fotovoltaica, 6% de sistemas solares térmicos para agua caliente.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Objetivos

- **General:** Reducir la huella de carbono de industria Vitivinícola mediante la incorporación de energía renovable.
- **Específicos:**
  - Auditoría energética: perfiles de demanda.
  - Evaluación de variabilidad en el recurso solar.
  - Diseñar, construir, caracterizar un sistema de poligeneración.
  - Analizar escalamiento y reducción de huella CO2.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Definición y Estado del arte

- **Poligeneración solar:** Producción simultánea de calor solar y frío usando un campo de colectores para alimentar un chiller de absorción.
- ***No existen precedentes*** en la literatura ni en la industria que combinen el uso de ***poligeneración solar y biomasa*** para suministrar energía ***según demanda*** a un proceso de vinificación.
- Tecnologías maduras (campo solar, chiller) no representadas en Chile (ref. absorción) y sin referencias (***integración calor/frío solar/bio***) mundiales.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Metodología y actividades

- Estudio de demanda energética en proceso planta N°1 Viña M.T.
- Evaluación recurso solar en sitio.
- Estimación de potencial energético biomasa de descarte.
- Diseño del sistema de poligeneración.
- Construcción, puesta en marcha y operación.
- Modelos de simulación dinámica y validación.
- Escalamiento, análisis económico, y huella de carbono.

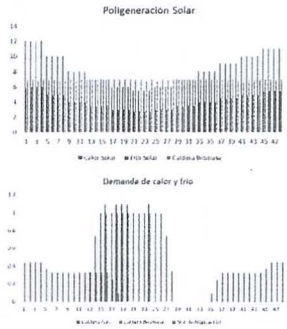
Resultados

- Análisis energético Viña → (posibles recomendaciones eficiencia energética).
- Sistema Piloto Poligeneración.
- Análisis de escalamiento.
- Publicaciones científicas (3): Caracterización de biomasa (Renewable Energy), modelos y validación con piloto (Solar Energy), economía y huella de carbono del sistema escalado (Clean Production). En journals y congresos.
- Divulgación local (Maule), nacional, e internacional.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Adaptación a demanda

- Aporte solar y biomasa combinado puede satisfacer demanda de calor y frio mediante combinación de ***caldera, campo solar y chiller.***
- Demandas de calor y frío en ***desfase*** con disponibilidad de recurso.
- Integración solar basada en ***criterios de eficiencia estacional*** considerando 1ª y 2ª leyes Termodinámica.
  - Estanque alta T en verano
  - Estanque media T en invierno
- Escalamiento requiere ***análisis termodinámico y económico.***



Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Componentes de investigación

- Determinar el contenido energético de la biomasa de descarte: por cepas y distribución geográfica (biomasa, renovables).
- Diseño de sistema y modelo de producción con modos invierno y verano para adaptarse a la demanda (solar, integración de procesos, ingeniería térmica).
- Demostración de concepto y análisis termoeconómico.
- Huella de Carbono.

Desafíos Tecnológicos

- Integración al sistema: control de campo solar y caldera de acuerdo a demanda de calor/frío y curva característica del chiller, incluyendo bombas programables.
- Gestión de ciclo diario y demandas estacionales: escalamiento y optimización de área, volumen estanques, potencia chiller, potencia caldera.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Hipótesis

- El aporte solar permite producir calor y frío simultáneamente mediante un campo solar y un chiller de absorción.
- La huella de carbono de la planta se reduce al incorporar renovables: biomasa y solar.
- El uso de estanques de almacenamiento permite gestionar el aporte de calor y frío desde solar y biomasa adaptándose a la demanda con mayor eficiencia que en el proceso actual al incorporar modos de operación verano e invierno.
- El contenido energético de la biomasa de descarte y el volumen de desechos producidos permite reemplazar el consumo de GN y pellets.
- El escalamiento a nivel industrial puede ser factible técnica y económicamente para reemplazar una fracción elevada de consumo energético y reducir huella de carbono.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Resultados Producción Científica

- Análisis energético Viña → (posibles recomendaciones eficiencia energética)
- Sistema Piloto Poligeneración
- Análisis de escalamiento
- Publicaciones científicas (3): Caracterización de biomasa (Renewable Energy), modelos y validación con piloto (Solar Energy), economía y huella de carbono del sistema escalado (Clean Production)

Resultados Formación de Capacidades

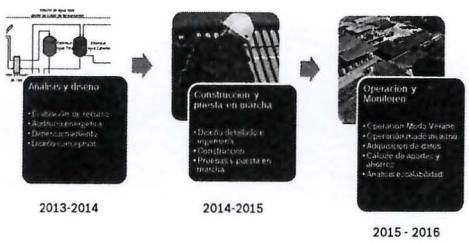
- 2 Tesis de Magister, 1 tesis de Doctorado
- 5 investigadores sistema/proceso, 3 investigadores biomasa
- O&M sistema poligeneración: equipo investigador y personal Viña

Impacto en el proceso productivo

- Modelo de simulación: producción limpia en el vino.
- Evaluación de contribución renovable desde 0 (actual) a 100%
- Fracción solar esperada para el piloto: menor que 5%

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Fases del Proyecto



udp FACULTAD DE INGENIERÍA · Fraunhofer CHILE · esolar

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Apariciones en medios

- Noticias acerca del proyecto y la ceremonia de inauguración fue publicada en los sitios web de las instituciones participantes y en otros medios:

- MT, DICTUC, FIA, IngUC, UDP, UTalca, revista Electricidad, El Cachapoal, La Prensa, otros.

udp FACULTAD DE INGENIERÍA · Fraunhofer CHILE · esolar

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Modelo de Organización

Aportes en efectivo: $(150 + 55) M
Aportes valorizados: $ 54 M
Total: $259 M

udp FACULTAD DE INGENIERÍA · Fraunhofer CHILE · esolar

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Desarrollo del Seminario

- Alan Pino (Rodrigo Escobar): Evaluación de recurso solar en la Región del Maule.
- Claudio Tenreiro: Potencial de Biomasa y Análisis Térmico en Cubas y Cava.
- Rodrigo Escobar: Sistema de Poligeneración Solar.
- José Miguel Cardemil: Resultados y Evaluación de Desempeño.

17 udp FACULTAD DE INGENIERÍA · Fraunhofer CHILE · esolar

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Equipo Científico y Técnico

Coordinador: Rodrigo Escobar, Ing. Mecánico, PhD. **DICTUC/PUC.** Energía Solar, Sistemas Térmicos

Investigadores:
- José M. Cardemil, Ing. Industrial, PhD. **UDP.** Integración Energética, Fermentación, Refrigeración
- Claudio Tenreiro, Lic. Física, PhD, **UTalca.** Sistemas Térmicos, Energía, Biomasa.
- Alan Pino, MSc. FCR-CSET
- Cristián Cortés, MSc. FCR-CSET.

Ingenieros de Apoyo:
- Iván Muñoz, Felipe Cortés. FCR-CSET.
- David Olave, UTalca.

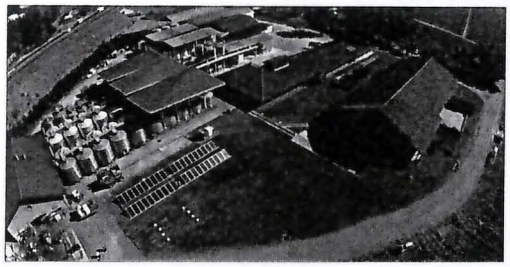
udp FACULTAD DE INGENIERÍA · Fraunhofer CHILE · esolar

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Proyecto FIA PYT-2013-0021

18 udp FACULTAD DE INGENIERÍA · Fraunhofer CHILE · esolar

Sistema Piloto de Poligeneración Solar



1

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Potencial de Biomasa
Huella de Carbono
Neutra

- Determinar la aptitud de la biomasa leñosa procedente de podas de las variedades de uva más comunes en la producción del vino chileno con el fin de darle un uso energético

Comparación no sólo sobre qué material tiene una mayor aptitud energética, sino también sobre la aptitud ambiental de esta biomasa leñosa con respecto al biocombustible sólido más usado en este momento para esto fines que es el pellet de pino

---

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Contenidos

Harald Fernandez-Puratich/Diógenes Hernández/Claudio Tenreiro

- Potencial para utilización de biomasa como combustible sustentable
  - Potencial y huella de carbono
- Eficiencia energética en estructuras
  - Bodegas
  - Sistema de planta de procesamiento
- Resultados

Renewable Energy 83 (2015) 1260 - 1267

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Selección de variedades y plantas

- Cabernet Sauvignon, Carmenere, Pinot, Sauvignon Blanc, Chardonnay.
- Cultivos coetáneos de aproximadamente 30 años de edad.
- Se seleccionaron 5 plantas representativas por variedad de las cuales se extrajeron por planta tres 3 ramas igualmente representativas de al menos 10 cm de longitud cada una y 1 cm de grosor en su base.

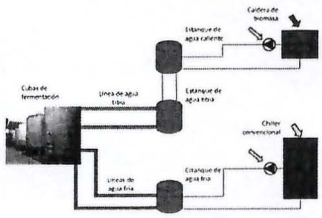
- Se pretende conocer el poder calorífico y porcentaje de cenizas

---

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Proceso Actual

- Produce calor en una caldera de biomasa (pellets) o GN
- Utiliza chiller convencional eléctrico



Tres niveles de Temperatura: 80-30-5 °C

Operación estacional

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Normas

UNE- EN 14918 EX Biocombustibles sólidos. Determinación del poder calorífico.
UNE-CENT/TS 14961 EX Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles.
UNE-CENT/TS 15234 EX Biocombustibles sólidos. Aseguramiento de la calidad del combustible.
UNE-CEN/TS 14775 EX Biocombustibles Sólidos. Método para la determinación del contenido de ceniza.

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material.

Para la cuantificación del potencial energético de la biomasa es necesario transformar los Kg/árbol a MJ/árbol, lo que se logra al determinar el Poder Calorífico Inferior (PCI) promedio de la especie. Por lo tanto, basta con multiplicar los Kg/árbol por el PCI obteniéndose los MJ/árbol, posteriormente, y conociendo el número de árboles por hectárea, se consiguen los MJ/ha

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Resultados

Variedades	Humedad (%)	Densidad Básica (Kg.m-3)
Sauvignon Blanc	52,9	446
Pinot	48,8	522
Cabernet Sauvignon	48,9	513
Chardonnay	56,5	436
Carmenere	60,3	411
Promedio	53,5	466
Desviación estándar	4,971	49,2
Coef de Variación (%)	9,3	10,6

- Contenido de Humedad relativamente uniformes
- Primera medición de densidad básica. Resulta bastante uniforme.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Resumen

Propiedades del análisis	Unid.	Material	
		Biomasa de Variedades	Pellets comerciales
Propiedades físicas			
Humedad	(%)	53,5	<20%
Densidad	Kg/m³	466	750
Propiedades energéticas			
Cenizas	(%)	4,4	<1%
PCS	MJ/kg	17,8	18,5

Si bien el poder calorífico de la astilla (17,8 MJ/Kg), pese a ser menor que en pellets (18,5 MJ/Kg) está dentro de lo indicado por la norma europea, que señala como valor mínimo 16,2 MJ/Kg.

En cuanto a la astilla de las viñas no cumplen la norma de < 1,5 % de cenizas lo que significa un mayor mantenimiento de calderas, el porcentaje promedio de cenizas de 4,4% permite obtener un subproducto como un fertilizante rico en minerales (SiO_2 y CaO y en menor medida oxidos de Mg, Al, K, y P), (stanislav et. Al 2014), que al ser incorporado al suelo mejoran sus propiedades (Ram 2014), de manera más rápida que si es triturada, como se hace actualmente. Entregando de esta forma otros beneficios económicos al disminuir los costos en fertilización

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Resultados Poder Calorífico

Variedades	PCS (MJ/Kg)	PCI (MJ/Kg)
Sauvignon Blanc	18,7	17,3
Pinot	16,5	15,1
Cabernet Sauvignon	17,6	16,2
Chardonnay	17,6	16,2
Carmenere	18,7	17,3
Promedio	17,8	16,5
Desviación estándar	0,920	0,920
Coef de Variación (%)	5,2	5,2

se aprecia que la variedad Sauvignon Blanc y Carmenere poseen el mayor PCS con 18,7 MJ/Kg, seguido por Cabernet Sauvignon y Chardonnay con 17,6 MJ/Kg y finalmente Pinot con 16,5 MJ/Kg. De esta manera, llega a existir una diferencia de 2,2 MJ/Kg entre variedades lo que puede significar una importante diferencia en el potencial energético que presenta una variedad con respecto a otra en una misma superficie (hectárea). Esta diferencia puede significar el uso o no de una variedad para su uso energético.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Factor económico

Astilla de vid			Pellets		
Consumo de combustible (l)	Precio del Diésel (US$)	Gasto anual (US$)	Consumo de pellets (t)	Precio de Pellets (US$/Kg)	Gasto anual (US$)
459	1,3	597	133	0,3	38.000

TCO2 fijados

Variedades	TCO_2 eq/m³	TCO_2 eq/t
Sauvignon Blanc	0,818	0,365
Pinot	0,958	0,500
Cabernet Sauvignon	0,941	0,483
Chardonnay	0,800	0,349
Carmenere	0,754	0,310
Promedio	0,854	0,401
Desviación estándar	0,090	0,085
Coef de Variación (%)	10,6	21,5

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Cenizas

Variedades	Cenizas (%)
Sauvignon Blanc	2,9
Pinot	4,4
Cabernet Sauvignon	4,4
Chardonnay	4,8
Carmenere	5,5
Promedio	4,4
Desviación estándar	0,951
Coef de Variación (%)	21,6

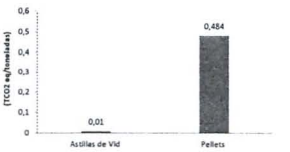
- el promedio general de cenizas es de 4,4%, siendo Sauvignon Blanc la variedad que menos cenizas presenta con 2,9% y la que más cenizas presenta es Carmenere con 5,5%
- El contenido energético de la biomasa de descarte y el volumen de desechos producidos permite reemplazar el consumo de GN y pellets.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Huella de Carbono

Tabla 7: Emisiones de CO2 según producto		
Material	TCO2 eq/toneladas	TCO2 eq totales
Astillas de Vid	0,010	1,183
Pellets	0,484	64,372

- Cabe destacar que el proceso de astillado de la biomasa podada ya se encuentra incorporado en la huella de carbono de la viña, ya que para evitar la acumulación de combustible con el consiguiente riesgo de producir incendios agroforestales este material actualmente es astillado y luego esparcido en el suelo para su incorporación en este. Por lo que, en este caso, sólo se considera como emisión el transporte dentro del predio desde las zonas cultivadas al sector donde se encuentran emplazadas las calderas



Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Eficiencia Energética en instalaciones

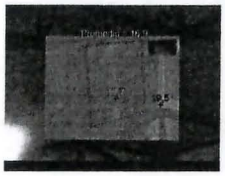
María Luisa Del Campo/Claudio Tenreiro

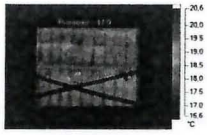
Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Tabla 9: Cuadro comparative de los resultados obtenidos del análisis de la envolvente de la cuba.

	área (m2)	% respecto del total	U actual (W/m2 K)	U simulado (W/m2 K)	% reducción	impacto en función del total
Techo	900	36%	5,02	1,27	75%	27%
Muro	1554	62%	1,53	0,78	49%	30%
Puertas	72	3%	1,80	0,70	61%	2%
Total	2526					

Sistema Piloto de Poligeneración Solar



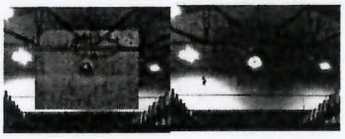


Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Circulación de Aire

Aire caliente/humedad

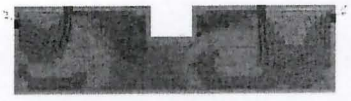
Sistema Piloto de Poligeneración Solar



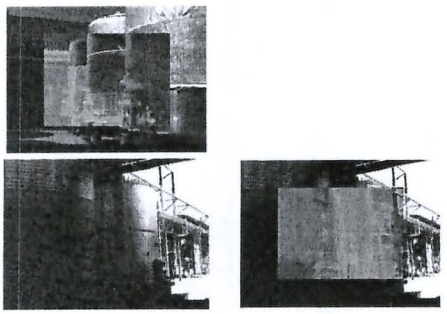
Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Velocidad de aire interior.

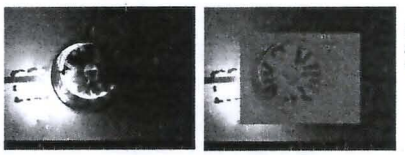
Temperatura interior resultante.



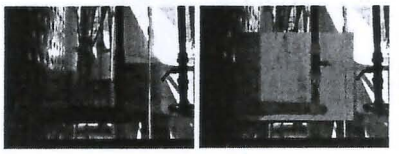
Sistema Piloto de Poligeneración Solar



Sistema Piloto de Poligeneración Solar

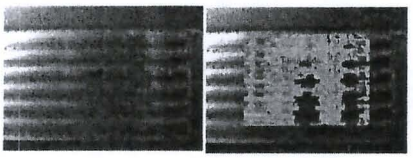


En el techo hay 5 grados más por la mayor exposición al sol.



Las tuberías de agua fría presentan condensación, no están aisladas y presentan una temperatura exterior de 8.1° C

Sistema Piloto de Poligeneración Solar



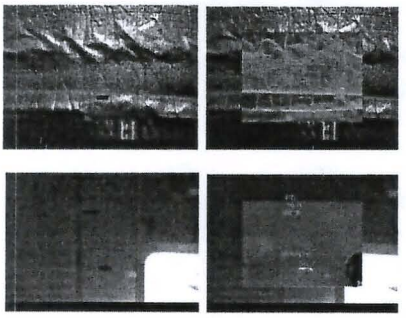
Se puede apreciar que la temperatura superficial exterior de esta cuba es casi la misma que la temperatura interior de su contenido (19,6° v/s 19°C), mientras que la temperatura ambiental es de 24° C. Esto significa que hay una transferencia de calor traducida en pérdida importante de energía.
Junto con esto, se observa condensación en la superficie de esta.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Considerando que los parámetros tomados a las superficies de la tubería y cubas, así como a la temperatura ambiental exterior presente en el momento de la evaluación, son valores promedio de un día típico de verano, las pérdidas térmicas asociadas a una cuba refrigerada a 19° C se traduce en 757 W. Suponiendo el uso de petróleo para refrigerar, a un valor de 79 $/kWh, 10 horas diarias en que la temperatura ambiental exterior promedio supera los 19° C (momento en el cual será necesario el uso de energía), entonces durante la temporada de calor (4 meses) las pérdidas monetarias por concepto de pérdidas térmicas por cuba será de $ 71.761 pesos

El comportamiento energético que presentarían los elementos con aislante térmico incorporado, es de un 89% menor que para el caso SIN aislación. Tomando de base los mismos supuestos de valor de energía, y cantidad de horas de funcionamiento del equipo de refrigeración, las pérdidas en el consumo por cuba esperadas bajan a $ 8.215 pesos.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar



Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Se concluye que la efectividad del aislante en las cubas es importante, y genera un efecto reductor en las pérdidas energéticas en forma considerable. Dado que el material de los elementos evaluados tiene propiedades de ser un muy buen conductor de calor, y posee una baja emisividad, posibilitan que se logre un importante impacto al aplicar una baja cantidad de aislación térmica, combinada con una alta resistencia a la convección y radiación.
Se recomienda no despreciar el efecto en las pérdidas que tienen el techo y fondo de la cuba en el total de las pérdidas térmicas. En su conjunto completan la mitad de las pérdidas del elemento

CENTER FOR SOLAR ENERGY TECHNOLOGIES

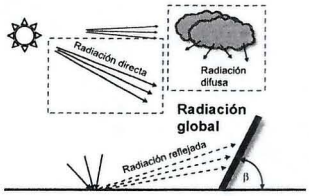
Evaluación de recurso solar en la región del Maule

Alan Pino, Cristián Cortés, Marcelo Salgado
Fraunhofer Chile Research

Rodrigo Escobar
Pontificia Universidad Católica de Chile

23 de marzo de 2016

Radiación solar



Irradiación Directa Normal (DNI)

Irradiación Difusa horizontal (DiffHI)

Irradiación Global horizontal (GHI)

$$GHI = DNI \cdot \cos(Z) + DifHI$$

PV y SST: Global en plano del colector

Concentración: Directa Normal (DNI)

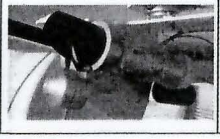
Contenidos

- Fundamentos de radiación solar
- Instrumentos de medición
- La red de estaciones de la Región del Maule
- Características de la radiación medida en las estaciones
- Modelación Satelital de la Región completa
- Comparación con Chile y el mundo

Instrumentación

Global Horizontal
Medida por un piranómetro horizontal

Directa Normal
Medida por un pirhelíómetro (NIP) montado en un seguidor solar *(tracker)*



Difusa Horizontal
Medida por un piranómetro bajo una bola de sombreamiento

Global, directa y difusa

Medida por un radiómetro con banda rotatoria de sombreamiento (RSI: *Rotating Shadowband Irradiometer*)

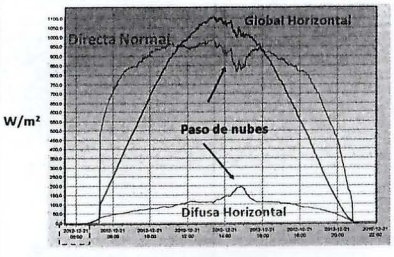
Irradiance Inc.

Medida por un radiómetro sombreado internamente (SPN1)

delta-t.co.uk/

Fundamentos de la Radiación solar e instrumentos de medición

Radiómetros de termopila

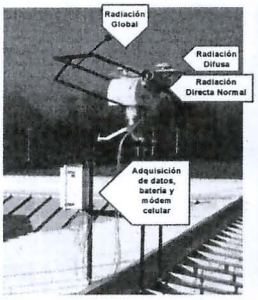


Velocidad: 1 – 5 segundos
Precisión: ±2% a ±5% (subhorario)

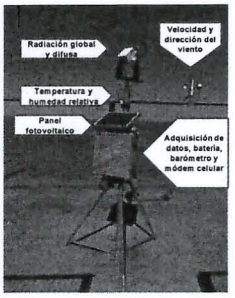
Red de estaciones de medición

Estaciones en el Maule

Estaciones solarimétricas



Sun Tracker: Curicó y Talca

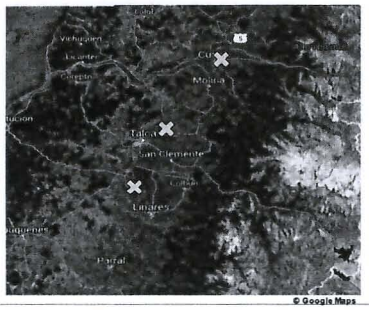


RSI: Marimaura

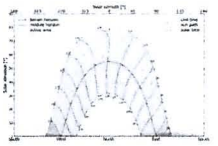
Características de la Radiación medida

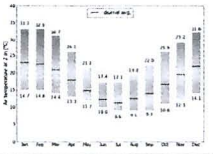
Ubicación de estaciones solarimétricas de DICTUC/PUC

- Campus Curicó
  Universidad de Talca
  Facultad de Ingeniería
  Sun Tracker
- Campus Talca
  Universidad de Talca
  Intituto de Matemática y Física
  Sun Tracker
- Fundo Marimaura
  Marimaura
  Rotating Shadowband Irradiometer
  (hasta septiembre 2013)



Sitio de Interés: Planta Miguel Torres

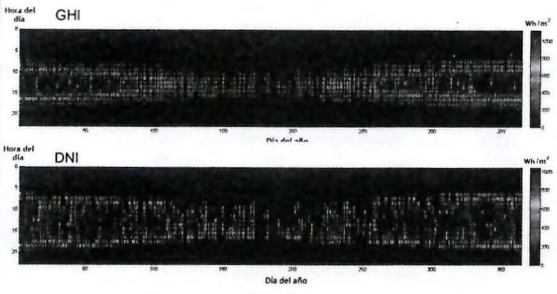




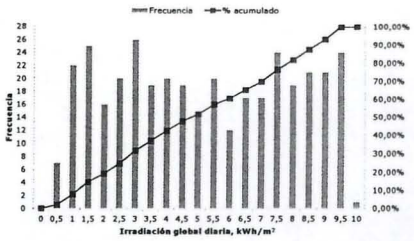
- La estación Curicó se ubica a menos de 1 km de la planta Miguel Torres donde se instalará el sistema de poligeneración solar.
- El sitio tiene las características de clima mediterráneo con inviernos fríos y lluviosos.
- El horizonte no influye en la cantidad de energía que se colecta.

Mediciones en Curicó

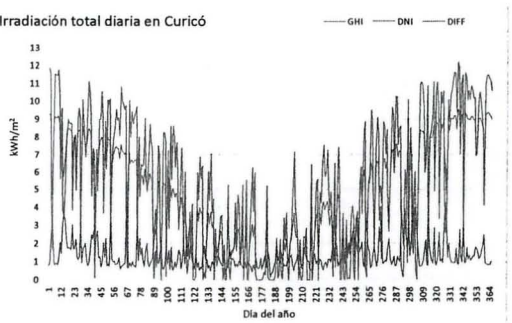
- Irradiancia horaria en Curicó
  - Valores de irradiación altos durante meses de verano.
  - Presencia de nubosidad en meses de invierno
- Total anual medido: **GHI 1791 kWh/m², DNI 1952 kWh/m², DIFF 494 kWh/m²**



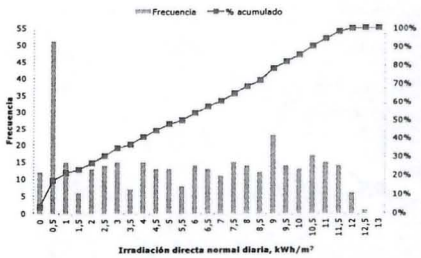
Irradiación Global Diaria en Curicó



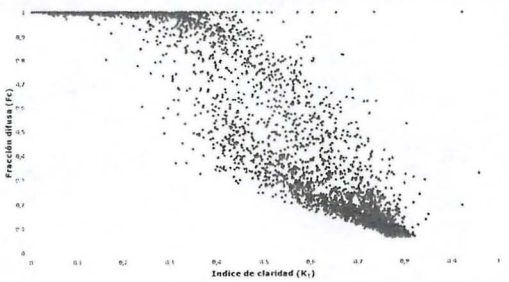
Irradiación total diaria en Curicó



Irradiación Directa Normal Diaria en Curicó

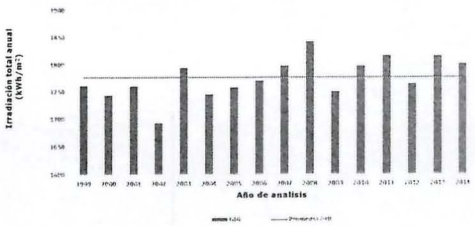


Fracción difusa e Índice de claridad en Curicó



El análisis de fracción difusa nos indica la normalidad de los datos; todos son físicamente posibles y aprueban los algoritmos de control de calidad.

Variabilidad interanual GHI en Curicó



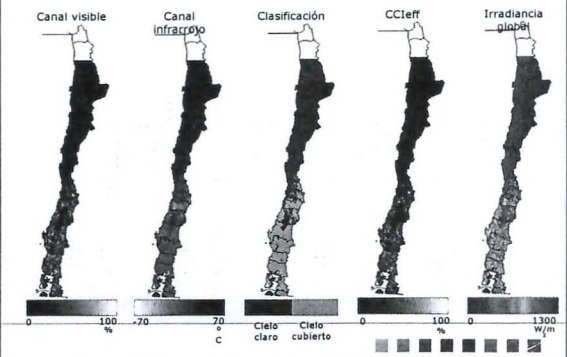
La variabilidad internanual es pequeña pero importante, con diferencias de hasta un 10% entre los años máximo y mínimo.

Estimación Satelital de la radiación solar

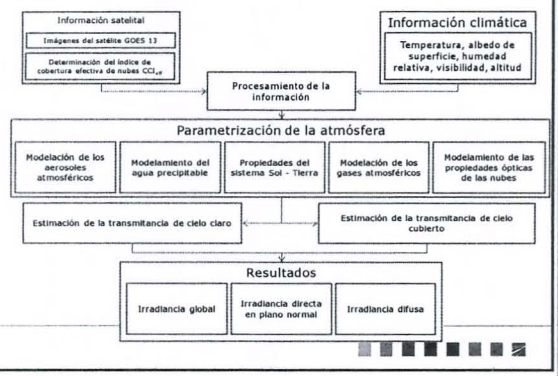
Atlas Solar de Chile 2013

Fraunhofer CHILE · TALCA · udp FACULTAD DE INGENIERIA

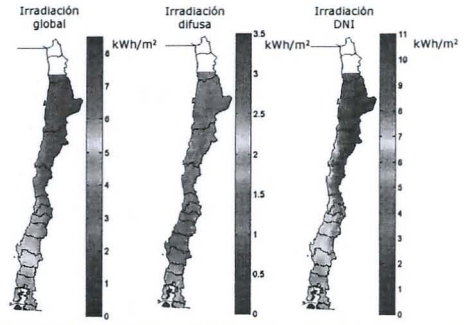
Resultado general



Chile-SR

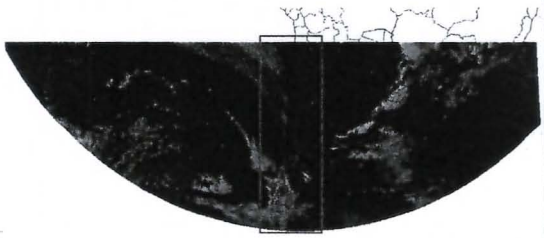


Promedios Anuales

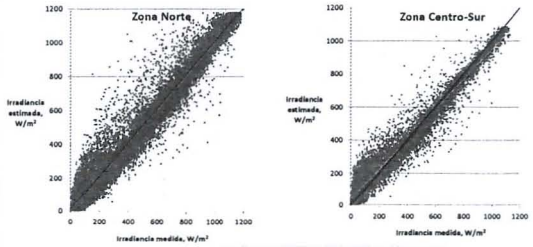


Imágenes satelitales

- Se reciben en la DMC y se envían a la PUC las imágenes GOES 13 y 14 de canal visible (I) e infrarrojo (IR, IV).



Comparación con resultados de Chile-SR



	MBE, kWh/m²	rMBE, %	RMSE, kWh/m²	rRMSE, %
Energía Total Diaria	-0,13	-2,1	0,57	8,9

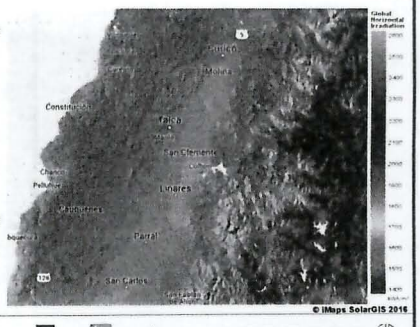
Fraunhofer CHILE · TALCA · udp FACULTAD DE INGENIERIA

Recurso solar en la Región del Maule

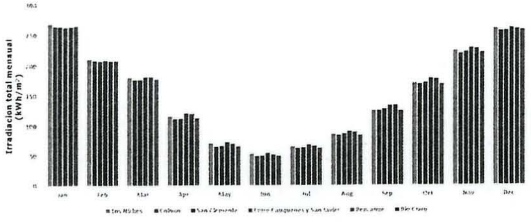
Comparación con Chile y el mundo

Niveles de irradiación anual GHI en la Región del Maule

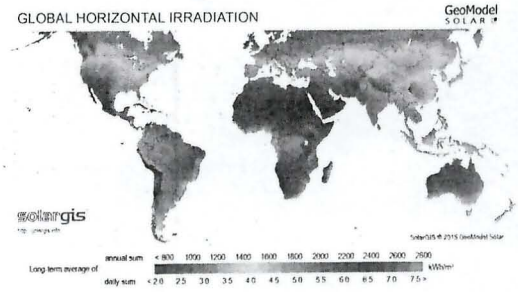
- En el valle central de la región del Maule se alcanzan valores anuales de GHI tan altos como 1850 kWh/m²
- Estos niveles de irradiación son similares a los que se encuentran en el sur de Europa, en donde hay un alto desarrollo de aplicaciones solares residenciales y para la industria.



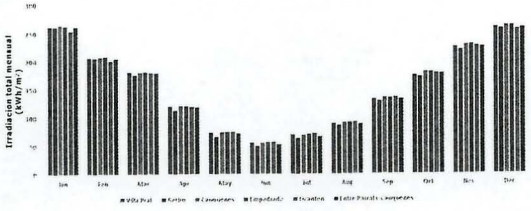
Radiación global mensual en 6 localidades - Maule



Total Anual de Radiación - GHI



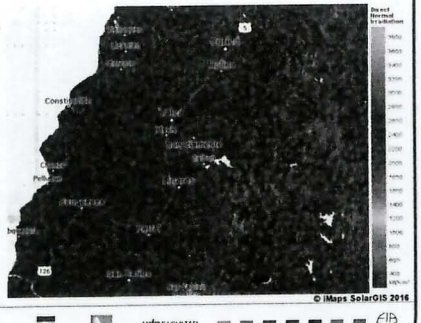
Radiación global mensual en 6 localidades - Maule



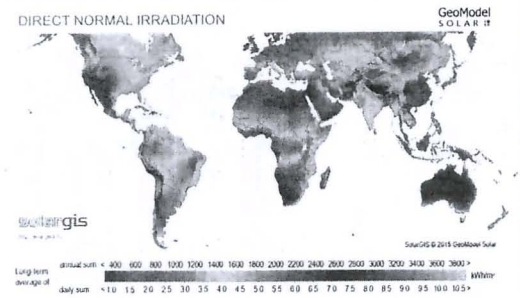
En total son 12 comunidades

Niveles de irradiación anual DNI en la Región del Maule

- En el valle central de la región del Maule se alcanzan valores anuales de DNI tan altos como 2300 kWh/m²
- Se abre la posibilidad de ocupar tecnología de concentración solar, para procesos industriales.



Total Anual de Radiación - DNI



Fraunhofer CHILE · TALCA · udp FACULTAD DE INGENIERÍA

Conclusiones

- Se realizó una campaña de medición de recurso solar en tres ubicaciones dentro de la Región del Maule.
- Se analizaron datos satelitales de larga data (20 años) comerciales (GeoModel Solar) y académicos (Chile-SR, 3 años).
- La Región del Maule goza de un recurso solar alto en términos de total anual que muestra una gran variabilidad diaria durante el año completo.
- El total anual de GHI habilita la utilización de todo tipo de tecnologías de captación solar tanto térmica como eléctrica.
- El total anual de DNI se encuentra en el umbral límite inferior para utilización de sistemas de concentración solar de potencia, habilitando el uso de calor solar para procesos industriales.
- La Región del Maule tiene mejor recurso solar que muchos países donde la energía solar es utilizada a gran escala.

Fraunhofer CHILE · TALCA · udp FACULTAD DE INGENIERÍA

Gracias por su atención

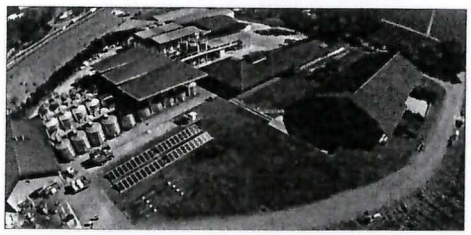
Alan Pino
Investigador Concentración y Calor Solar
Center for Solar Energy Technologies
Fraunhofer Chile Research

www.fraunhofer.cl

Fraunhofer CHILE · TALCA · udp FACULTAD DE INGENIERÍA

Proyecto FIA PYT-2013-0021

Poligeneración Solar en la Industria del vino: aplicaciones en refrigeración y reducción de huella de carbono.



1

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Contenidos

- Proceso de producción de vino
- Demanda de energía en Viña Miguel Torres
- El sistema de poligeneración solar
- Integración al proceso de la viña

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Introducción

- La industria del vino en Chile es reconocida mundialmente:
  - Por calidad del vino y volume de producción anual
  - Chile es el 6to productor y 4to exportador mundial
- Las viñas pueden realizar I+D+i para mantenerse como líderes en la utilización de tecnologías sustentables:
  - Reducir la huella de carbon asociada a sus procesos
  - Reducir el consumo y costo de la energía utilizada
- Varias viñas chilenas han adoptado alguna solución basada en energías sustentables...Miguel Torres es pionero en la utilización del concepto de *Poligeneración solar.*

3

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Proceso de vinificación

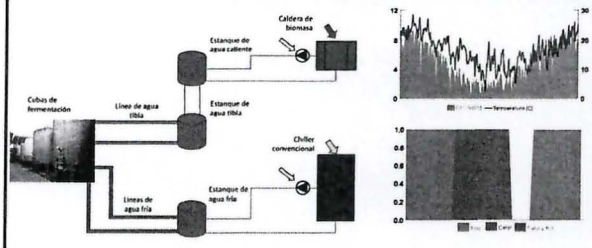
Fermentación	Maceración
• El vino adquiere sabor y aroma • Proceso anaeróbico y exotérmico • Rango óptimo: 15 a 30°C • Al final del verano (March to April)	• El vino adquiere su pigmentación y características • Rango óptimo: 25 a 30°C • Durante el invierno

Enfriadores mecánicos (compresión) | Refrigerador de absorción | Caldera (gas, biomasa)

4

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Sistema actual y demanda de energía



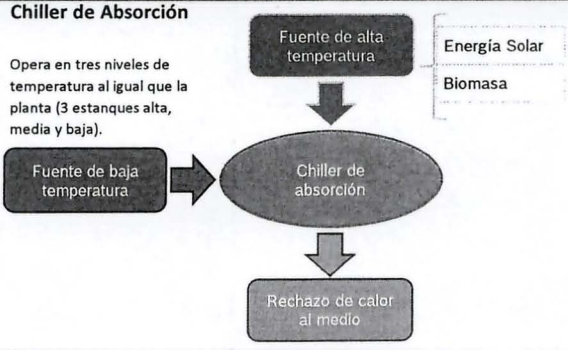
La disponibilidad estacional de energía solar está en desfase con la demanda de calor y frío.

5

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Chiller de Absorción

Opera en tres niveles de temperatura al igual que la planta (3 estanques alta, media y baja).

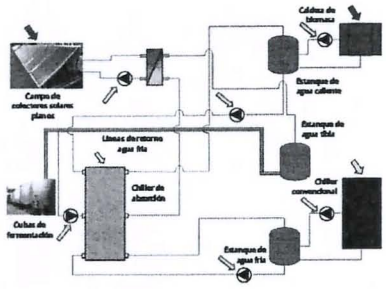


6

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Sistema propuesto

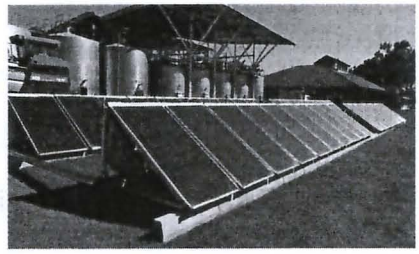
- Reemplazo de combustible por biomasa y calor solar.
- Reemplazo de electricidad por frio solar.
- Reducción de emisiones equivalente.



Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Campo Solar

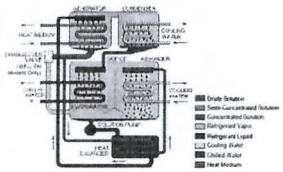
40 colectores Bosch FCC-1S para un área total de 80 m2.
Potencia nominal del sistema 53 kW permite generar el calor necesario en invierno.

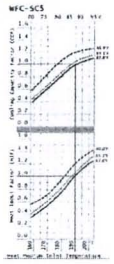


Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Funcionamiento Chiller de absorción

- **Chiller:** Recibe agua caliente y produce flujos de agua tibia y agua fría.



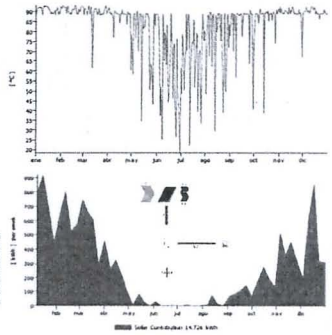


- **Operación:** Automática por temperatura con control de bombas. Produce agua fría si el flujo de agua caliente se encuentra dentro del rango de operación.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Desempeño anual

- Se dimensiona en 4 baterías paralelas para asegurar el flujo de calor requerido por el chiller en meses de menor radiación.
- Temperatura objetivo de 90 C determina el flujo en el campo solar → menor eficiencia por pérdidas térmicas.



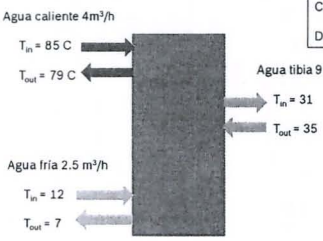
1	Irradiación a la superficie colector	139 MWh
1.1	Pérdidas ópticas del colector	43 MWh
1.2	Pérdidas térmicas del colector	67 MWh
2	Energía del campo de colectores	18.054 kWh
2.5	Pérdidas de tubería al interior	2.342 kWh
2.6	Pérdidas de tubería al exterior	1.986 kWh
2.7	Circuito colector hacia proceso industrial	14.726 kWh

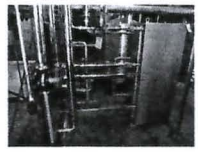
Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Balance de energía

- En el punto de operación nominal:

Aporte calor:	30 kW
Capacidad de enfriamiento:	15 kW
Disipación de calor:	45 kW

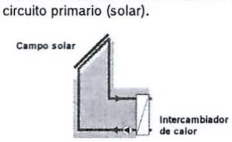


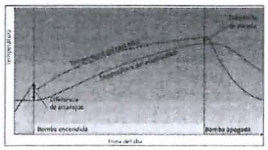


Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Funcionamiento de Campo Solar

- **Control diferencial:** Diferencia de T entre campo solar y salida del IC activa bomba de circuito primario (solar).

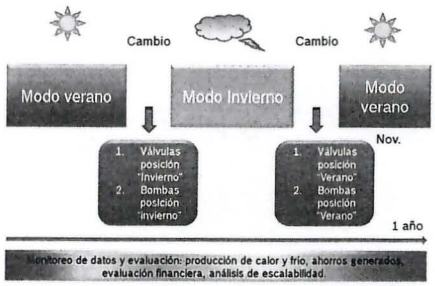




- **Riesgos:** Exceso de P y T, fugas y degradación de mezcla agua/glicol.
  - Bomba activa: Debe asegurarse la disipación de calor a estanque para prevenir aumento excesivo de T.
  - Bomba inactiva: Cubrir colectores solares.
- Si el campo solar se opera dentro de los límites establecidos no causa problemas.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

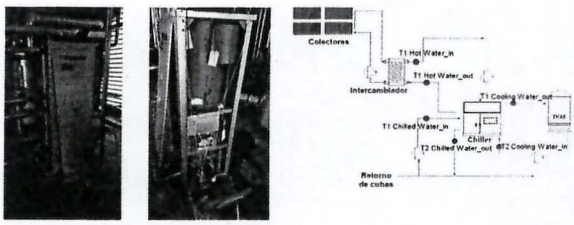
Ciclo anual de operación



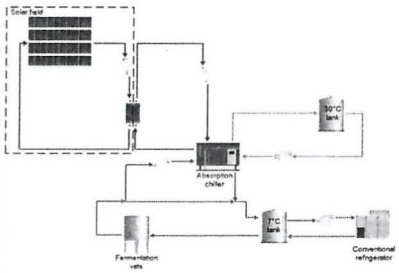
Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Monitoreo de Chiller

- Mediciones directas en Chiller y bombas.
- Mediciones adicionales en tuberías de agua (3 temperaturas).



Sistema Piloto de Poligeneración Solar



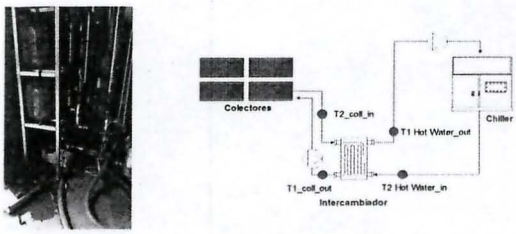
Modo Verano: Campo solar entrega calor a chiller directamente, el que produce agua fría hacia el estanque de baja T – evitando parcialmente consumo refrigeración y de combustible.

14

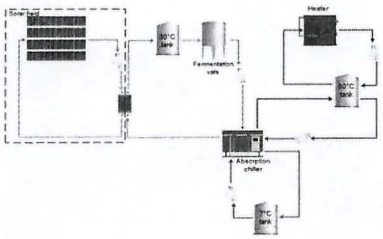
Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Monitoreo del intercambiador de calor

- Mediciones directas en bombas.
- Mediciones adicionales en el intercambiador.



Sistema Piloto de Poligeneración Solar

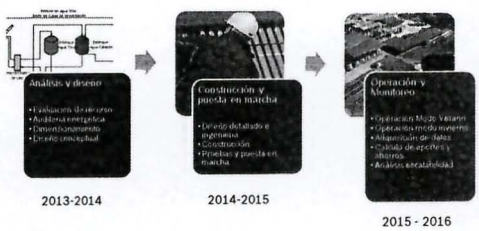


Modo invierno: Campo solar entrega calor a estanque de media T evitando parcialmente consumo de gas/biomasa. Chiller es activado por agua del estanque alta T.

15

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Fases del Proyecto



Conclusiones

- La demanda térmica del proceso es estacional y se encuentra en desfase con la disponibilidad de recurso solar.
- El concepto de poligeneración solar permite satisfacer demanda de calor y frío simultáneamente durante todo el año.
- El sistema de estanques opera a tres niveles de temperatura facilitando la integración del sistema al proceso.
- El sistema se dimensiona en torno a un chiller de pequeño tamaño (17.5 kW) con un campo solar de 80 m2 y potencia nominal 53 kW.
- La operación se realiza en dos modos (invierno y verano) aumentando la eficiencia del aporte solar y generando ahorros de electricidad y combustible.

Sistema Piloto de Poligeneración Solar

Proyecto FIA PYT-2013-0021

Seminario Tecnológico:
Poligeneración Solar en la Industria del Vino

Resultados de operación y Evaluación Económica

Clare Murray, Iván Muñoz, Felipe Cortés: Fraunhofer CSET
José Miguel Cardemil, Gonzalo Quiñones: Universidad Diego Portales

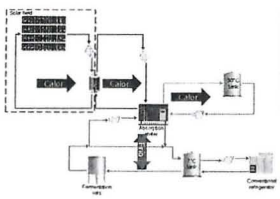
Curicó, 23 de marzo de 2016

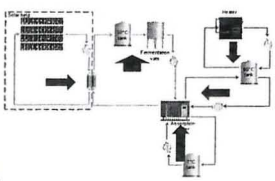
Agenda

- Operación
  - Sistema de monitoreo
  - Integración
  - Resultados de la operación
- Evaluación de desempeño
  - Simulación
  - Validación
  - Resultados
- Evaluación Económica
  - Resultados
  - Escalabilidad
- Conclusiones

Sistema de Poligeneración solar

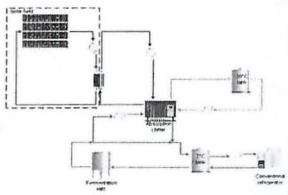
- Modo Verano
- Modo Invierno





Operación: Integración al proceso

- Modo Verano
  - Limitaciones
    - Temperatura de retorno
    - Inestabilidad
    - Rechazo de calor
    - Nivel de fluido en los estanques
    - Esquema de operación de la planta
    - de frío actual
  - Operación automática
    - Monitoreo continuo
    - Control de parámetros físicos
    - Días de no operación
- Modo invierno:
  - Alto potencial
  - Inestabilidad en las temperaturas de retorno, pone en riego la integridad de la máquina

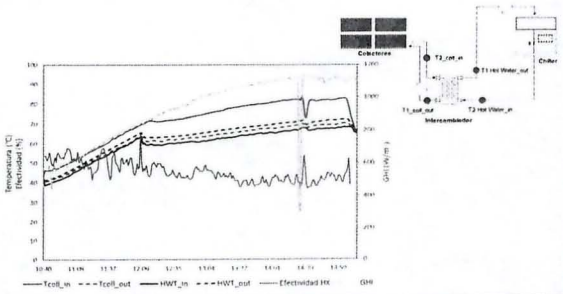


Operación: Sistema de monitoreo

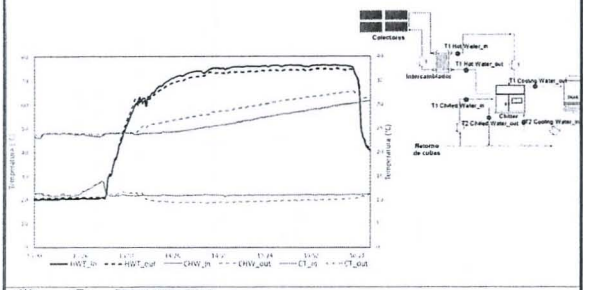
- Bombas
  - Monofásicas ~150W
  - Controlador integrado en la caja de control
  - Panel de control con una pantalla TFT
  - Sensor de presión y de temperatura incorporado
  - La velocidad controlada mediante un convertidor de frecuencia integrada
  - FLOWADAPT y FLOWLIMIT (reducción a través de válvulas integradas)
  - CIM/CIU 200 Modbus RTU: Conexión: RS-485, 3-cables
- Sensores
  - Temperatura
    Omega (SA2F-RTD-3-1000-B-120)
    Resistencia: 100 W, Clase "B" Din Platinum
    Rango: -50 a 200 °C
- Chiller
  - Capacidad de Refrigeración 17,5kW
  - Consumo eléctrico 40W
- Adquisición de datos
  - Campbell CR1000: ±0.12% en lecturas de -25° a 50°C
- Sistema de control Solar
  - Bombas operan cuando ΔT > 7 °C
  - No operan cuando ΔT < 2 °C

BOSCH FCC-15	80 colectores
	77,6 m²
Superficie exterior	2.09 m²
Superficie absorbedor	1.94 m²
τ_α	0,756
a_1	4.052 W/m²K
a_2	0.0138 W/m²K
Presión máxima de operación	10 bar
Temperatura de estagnación	163.79 °C
Flujo nominal	50 l/h

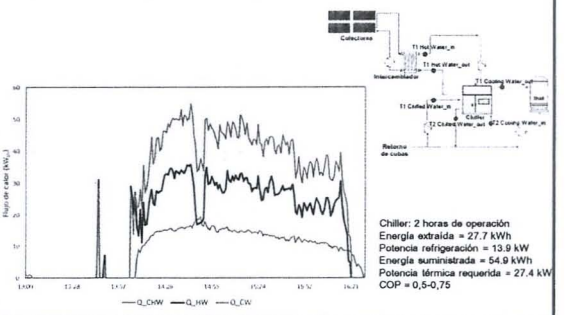
Resultados de Operación: Campo Solar



Resultados de Operación: Máquina de absorción

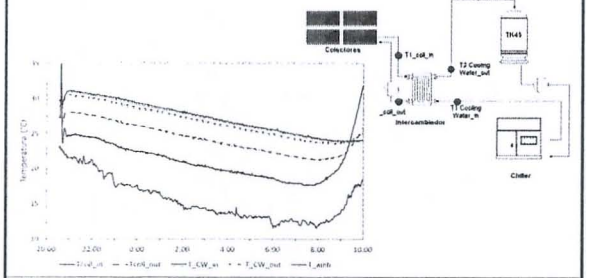


Operación: Flujos de energía



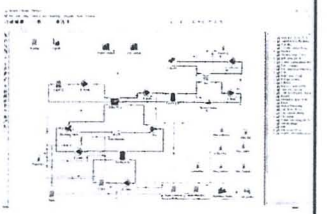
Chiller: 2 horas de operación
Energía extraída = 27.7 kWh
Potencia refrigeración = 13.9 kW
Energía suministrada = 54.9 kWh
Potencia térmica requerida = 27.4 kW
COP = 0,5-0,75

Test: Disipación Nocturna



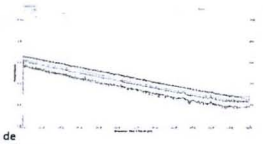
Evaluación de Desempeño

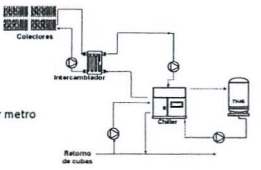
- Modelo de simulación
  - TRNSYS
  - Máquina de absorción
    - Data Sheet
    - Software termodinámico
  - Sistema de control
  - Simulación con datos meteorológicos validados por mediciones terrestres
  - Simulación en régimen transiente
    - Flujos de energía
    - Términos de acumulación



Evaluación de Desempeño

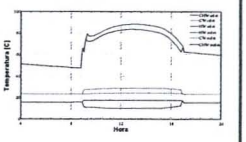
- Validación
  - Operación del sistema
    - Chiller
      - Data sheet
      - Ajustes a través de un programa de simulación termodinámica
    - Bombas
      - Consumo eléctrico
    - Pérdidas térmicas en piping
      - Disipación nocturna
      - Coeficiente total de pérdidas por metro lineal

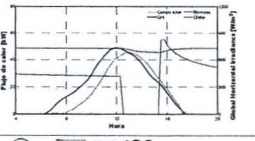


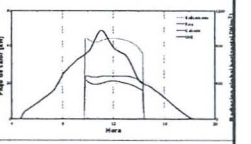


Evaluación de Desempeño: Resultados

- Demanda energética constante
  - Variaciones horarias en el largo plazo
- Energía
  - Evaluación del sistema en base anual
- Entre 6 y 10 horas de funcionamiento diario
  - Radiación solar
  - Modo híbrido -> 24horas

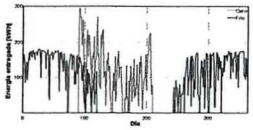


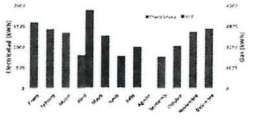




Evaluación de Desempeño: Resultados

- Los ahorros de energía dependen de la disponibilidad de radicón solar:
  - Alcanzan un 1500 kWh/mes en Diciembre y Enero
  - Decrecen hasta la mitad (750kWh/mes) en meses como Abril y Septiembre
- Modo verano
  - Potencial interesante
  - Limitaciones de horas de operación, producto del límite termodinámico en la temperatura del refrigerador de absorción
- Modo invierno
  - Gran potencial para suministrar hasta el 100% de la demanda energética
  - Posibles aumentos en la temperatura ponen en riesgo la integridad de la máquina de absorción
  - Suministro de calor solo solar



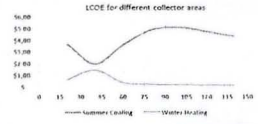


Evaluación económica

Item		Precio
Pellets de pino	$/kWh	31
Electricidad	$/kWh	44.6
GLP	$/kWh	58.6

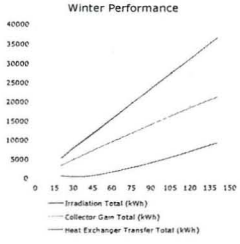
- Sistema Piloto
  - Costos sobredimensionados en equipos de alta precisión
  - Subsidio del estado de 70% del costo del proyecto
- Período de evaluación
  - 20 años
- PayBack acorde a las instalaciones solares.
  - Industria?

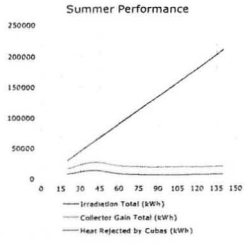
		Caldera de gas	Caldera de biomasa	
	Item	GLP	Pino	Viñ
Costos de inversión	Refrigerador por absorción	$ 31,097,964	$ 31,097,964	$ 31,097,964
	Campo Solar	$ 23,139,366	$ 23,139,366	$ 23,139,366
	Caldera de biomasa	$ 0	$ 20,012,939	$ 20,012,939
	Total	$ 54,237,330	$ 74,250,269	$ 74,250,269
Costo de operación anual	Electricidad	$ 184,623	$ 184,623	$ 184,623
	Combustible	$ 6,112,839	$ 2,993,359	$ 0
	Mantenimiento	$ 542,372	$ 742,503	$ 742,503
	Total por año	$ 6,839,835	$ 3,920,485	$ 927,126
Ahorro generativo	Electricidad	$ 279,814	$ 279,814	$ 279,814
	Combustible	$ 10,571,481	$ 10,571,481	$ 10,571,481
	Total por año	$ 10,851,294	$ 10,851,294	$ 10,851,294
Evaluación	VAN	-$ 425,247	$ 20,065,167	$ 56,878,398
	TIR	4%	8%	13%
	Periodo de retorno (años)	-	12.15	7.07



$$LCOE = \frac{Valor\ presente\ de\ los\ costos\ totales}{Energía\ suministrada\ en\ el\ ciclo\ de\ vida}$$

Dimensión del Campo Solar





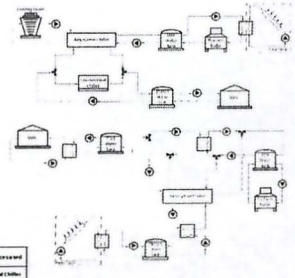
Evaluación Económica: Escalabilidad

- Simulación con TRNSYS
  - Torre de refrigeración
  - Caldera de Biomasa
  - Máquina de Absorción
    - Thermax

$$C_Y = C_W \left(\frac{X_Y}{X_W}\right)^{\alpha}$$

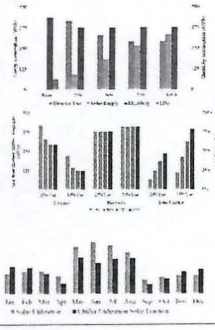
Parametero	Valor
Biomass	0.004 $/kWh
Electricity	0.042 $/kWh
LPG	0.075 $/kWh
Absorption Chiller	$222,000
Biomass Boiler	$42,000
Solar Field	212 $/m²
Cooling Tower	$39,000

Season	Months	Process	Set Point Temperature	Hourly Heat Demand	Current device used
Summer	Sept - Apr	Fermentation	8°C	200 kWh	Conventional Chiller
Winter	May - Aug	Maceration	30°C	175 kWh	LPG Boilers

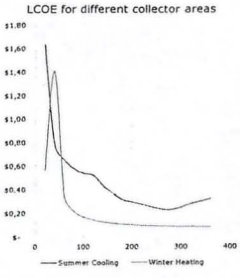


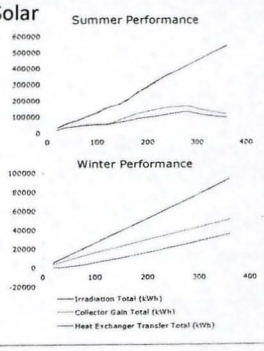
Evaluación Económica: Escalabilidad

- La energía solar suministrada al sistema aumenta (linealmente con el área de colección), reduciendo la dependencia de la biomasa
- La reducción en biomasa es no linear, debido a las pérdidas e ineficiencias incurridas
- Debido a la gran demanda de biomasa que sería necesaria en el verano, dos opciones de operación fueron analizadas
  - Utilizar la máquina de absorción para suministrar 24hr de operación
  - Restringir la operación a las horas laborales (5 AM-7PM)
- Los mejores resultados se observan para campos solares cercanos a 300m²
- Pay Back: entre 4-6 años, dependiendo de la utilización de biomasa



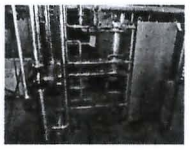
Sistema Final: Invierno – Solo Solar





Conclusiones

- Fue desarrollado un sistema de suministro combinado de calor y frio
- Funcionamiento en modo automático
  - Requiere de monitoreo constante
    - Estacionalidad y desbalances en la demanda
    - Problemas de integración
    - Sistema de control industrial sin un lógica programable
- El beneficio económico puede alcanzar al 10% anual de ahorro en:
  - Electricidad
  - Combustible
- Retorno de la inversión 7 años o menor
- Mejores resultados cuando la biomasa de la propia viña es utilizada



Conclusiones

- Resultados económicos son interesantes
  - Retorno de la inversión apropiado para proyectos energéticos
  - Oportunidad para ESCOs
- Elevado potencial para integrar biomasa u otras fuentes térmicas
- Se hace necesario implementar medidas de eficiencia energética, para reducir el consumo
- Caracterización de estacionalidad
  - Mediciones
  - Monitoreo
  - Integración

Seminario Tecnológico:
Poligeneración Solar en la Industria del Vino

Muchas Gracias!!!

Clare Murray, Iván Muñoz, Felipe Cortés: Fraunhofer CSET
José Miguel Cardemil, Gonzalo Quiñones: Universidad Diego Portales

Curico, 23 de marzo de 2016

Renewable Energy 83 (2015) 1260–1267

Contents lists available at ScienceDirect

Renewable Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene

Analysis of energetic performance of vine biomass residues as an alternative fuel for Chilean wine industry

Harald Fernández-Puratich [a, *], Diógenes Hernández [b], Claudio Tenreiro [c]

[a] Department of Industrial Technologies, Faculty of Engineering, University of Talca, Mailbox 747, Talca, Chile
[b] Institute of Chemistry of Natural Resources, University of Talca, Talca, Chile
[c] Faculty of Engineering, University of Talca, Talca, Chile

ARTICLE INFO

Article history:
Received 26 June 2014
Received in revised form
28 May 2015
Accepted 4 June 2015
Available online 23 June 2015

Keywords:
Vineyards
Chip
Pruning
Energy
Pellets

ABSTRACT

The chip pruning of five different vine-producing wines was physically characterized, and its energetic value was analyzed (calorific value and ashes content principally). The material with a better energy performance was established. TCO2 emissions of this wood biomass were compared with the pine pellet, which is the most currently used solid biofuel in this industry. In both cases, the material obtaining process was studied, along with the fuel production and transport required measured in TCO_2 emitted per tons.

This process was done in order to replace the pellets used in the boilers of the vineyards for the chip pruning of the studied vines. The use of chips as solid biofuel inside the vineyard produces a lower TCO_2 emissions than the use of pellets (0.01 and 0.484 TCO_2, respectively) because less energy is needed for its production and transportation. This resulted in a decrease in the carbon footprint of the analyzed vineyard. The cost of using this chip instead of the pellets inside the vineyard was also calculated, with an annual savings in vineyard fuel requirements of US$ 23,142 from not purchasing pellets while the annual savings of using ashes instead of industrial fertilizer (CaO) is US$ 450.

© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

The quality of Chilean wine is recognized worldwide, with a wine production in 2012 of 12.5 Mhl (20% more than in the previous year), which places Chile as the country that is the fifth largest wine exporter, even ahead of Argentina and Australia [24]. As an industry that needs to stay at the forefront of green technologies, increasing energy efficiency and reducing carbon footprint will have to be a priority in order to maintain and/or improve the competitiveness of the industry [4].

An improvement can be made through the efficient handling of vineyard pruning residues. The residues can be used as wood biomass to produce energy, achieving energy self-sufficiency for the vineyards. The wine industry produces huge amounts of residues every year. For example Marculescu y Ciuta [19]; estimate that for every kilogram of grape processed for wine, more than 20% is residue.

The current use of the wood residues produced by the annual pruning activity is generally eliminated through crushing in the vineyard and then spread along the soil, in order to reduce erosion and recycle nutrients that can be incorporated in the soil [2,14]. However, this process has an additional management cost.

Despite the fact that a low cost biomass resource exists in their own vineyards that can meet the same goals as pellets or be used as a supplement, hundreds of tons of pellets are used to supply Chilean wine industry boilers [21].

Hence, the main objective of this research is to establish the characteristics of the wood biomass that comes from pruning the most common varieties of grapes in Chilean wine production, with the aim of giving it an energetic purpose by using it for the boilers of this industry. For this reason, the material with a better energy performance was established. From an environmental perspective, the tons of CO2 emissions and ash percentage of this wood biomass were also taken into account, making a comparison with the most currently used solid biofuel in this industry, which is the pine pellet. This means an increase or a decrease in the carbon footprint of the analyzed vineyard.

It is important to emphasize that the pruning and chipping process of the vineyards is completed every year for the reasons

http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.008
0960-1481/© 2015 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Table of Acronyms

AEN/CTN AENOR	European Norm
UNE-EN or EN	European Norm
UNE-CENT/TS	European Technical Specifications
GCV	Gross Calorific Value
EN	European Norm
NCV	Net Calorific Value
CV	Calorific Value
HP	Horse Power
TCO_2	Tons CO_2
MC	Moisture Content

that were explained before, so they are incorporated in its current carbon footprint. Therefore, fuel chipping and pruning emission will not be taken into account in this research. Thus, it is of paramount importance to know the energetic efficiency of utilizing this already crushed material, instead of the pellets currently being used.

In order to achieve this goal, the research has three specific objectives: i) to establish the physical and energetic characteristics of the wood biomass of each vine variety; ii) to compare the energetic performance of the wood biomass of each vine variety with commercial pellets; and iii) to establish a comparison between the tons of CO_2 emitted in the chip production process (per variety) and the amounts produced with commercial pellets.

2. Methodology

2.1. Studied area

Samples were collected from land belonging to the Miguel Torres Vineyard, which is located in the town of Curicó, in the Maule Region of Chile (Fig. 1).

This property has a total area of 57.7 ha and is located at an altitude of about 210 m a.s.l. The region has a temperate-warm climate with a dry season of 4–5 months.

2.2. Sampling variety selection

After the identification of the most representative vine varieties of the Chilean wine industry, the following varieties were selected for this research [16,6,7]: Cabernet Sauvignon, Carmenere, Pinot, Sauvignon Blanc, and Chardonnay.

Sampling was carried out in coetaneous crops of about 30 years old. The following parameters were documented in the field for each crop: variety, age and type of irrigation.

Three plots were randomly selected per variety with a minimum size of 0.25 ha. Inside the plots, five representative individual varieties were selected. The mean values and the standard deviation were calculated for each variety.

2.3. Sample plants selected

For the sampling procedure, following the methodology defined by Fernandez-Puratich et al. [9] to fruit trees, 30 plants inside the plots were selected at random per variety. Then, three representative branches of each plant of at least 10 cm in length and 1 cm in diameter at the base of the branch were measured and extracted.

2.4. Physical characterization of the chips

The basic density, which is the relation between the mass in the anhydrous state and the volume with a moisture content greater than or equal to 30% (saturation degree of the fiber), and the moisture content according to Kollmann [15] were determined. For this purpose, the green weight of each sample was established and then dried in an oven at a temperature of 103 ± 2 °C until constant weight, determining the anhydrous weight of the material. The determination of the volume was done based on the Archimedes Principle following the methodology defined by Olesen [25].

2.5. Energetic characterization of the chips

The chips of the varieties under study were characterized in order to establish their ability as solid biofuel. The energetic characterization was determined in a material dried to 0% moisture. This process was done in order to determine the calorific value and ash percentage.

Currently, standards related to solid biofuels have been

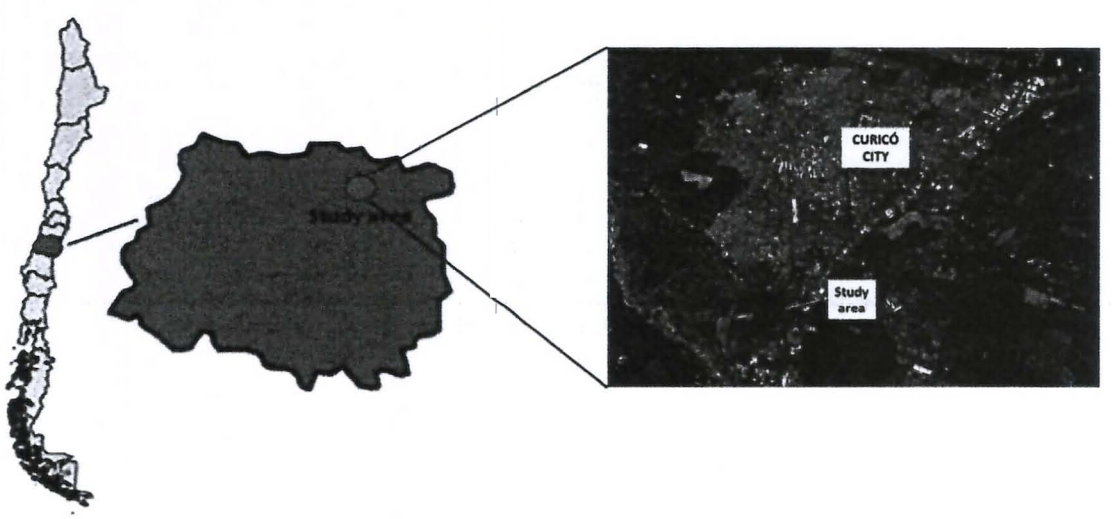


Fig. 1. Study area.

developed by the AEN/CTN 164 [13] and the ones that were used in this research were the following:

1. UNE-CEN/TS 14918 EX Solid Biofuels. Determination of the calorific value.
2. UNE-CEN/TS 14961 EX Solid Biofuels. Fuel specification and types.
3. UNE-CEN/TS 15234 EX Solid Biofuels. Quality assurance of the fuel.
4. UNE-CEN/TS 14775 EX Solid Biofuels. Method for determining the ash content.

2.5.1. Calorific value

The calorific value is defined as the heat released per kilogram of fuel in complete combustion at a normal atmospheric pressure and temperature [15,22], and the method applied was based on standard EN 14918. In order to establish the Gross Calorific Value (GCV), the samples must be conditioned at a temperature of 23 ± 2 °C and 50 ± 5% moisture until constant weight. Afterwards, the samples were burned under standardized conditions in a colorimeter. The Net Calorific Value (NCV) was calculated according to standard EN 14918 in a dry and ash-free base.

To carry out the tests, the samples needed to be transformed into sawdust or fragments smaller than 5 mm using a chipper and then a refiner mill.

2.5.2. Ashes

The percentage of ashes indicates the amount of non-combustible solid matter per kilogram of material. In thermal processes where biomass is used, including combustion, it is important to know the percentage of ash contained in the biomass since this can cause deterioration of equipment in some processes due to slag formation [30,27].

The material (sawdust) was arranged in the same way it was done for the CV (calorific value) and the method applied was based on the standard EN 14775.

A small amount of the sample was weighed in a scale accurate to 0.0001 g, and then it was dried. After that, it was incinerated to 550 ± 10 °C in a muffle furnace (with a maximum temperature of 1100 °C).

After a period of time, the sample was conditioned at room temperature and then was reweighed. The process had to be repeated until a constant weight was achieved. The ash content was calculated as the amount of ash in the initial dried sample, expressed in percentage.

2.6. Analysis of the chip versus commercial pellets

With the aim of determining the degree of energetic performance of the wood biomass per grape variety versus the pine pellets currently marketed in the country, the characteristics of both materials were compared and analyzed. For the pine pellets, the research was based on the characteristics indicated by the manufacturer.

2.7. Vineyard carbon sink and ash content as environmental parameters

CO_2 sequestered by the biomass of the different varieties of vines will be determined by the following formula developed by Oliver [26].

$$CO2\ seq. = V*D*MC*\ 3.67 \quad (1)$$

where CO_2 seq. are the tons of CO_2 sequestered, V is the volume (m^{-3}), D is the density of the wood, MC is the moisture content and the constant 3.67 corresponds to the amount of C in the CO_2 molecule.

The volume (V) was determined by weighing the samples (Kg) and wood density (kg m^{-3}) of each variety.

The species with the greatest environmental value was also established regarding its potential to mitigate the environmental impact caused by an intensive agriculture such as vine growing. For this, the potential impact that produces the highest or lowest amount of ashes according to each variety of vines was analyzed. In this way, it was determined that the variety that has, as its most important parameter, the highest rates of CO_2 sequestered and a high production of ash is the one that contributes the most with the mitigation of environmental impact.

2.8. Determination of the TCO_2 emitted by vine chip and pellets

This section aims at determining the suitability of the use of pellets regarding the TCO2 emissions compared with the use of the chips of the different vine varieties that are being analyzed. It is important to establish the importance of this comparison due to the relevance of the carbon footprint in the wine industry.

In this way, in general, the large wine producing companies determine their carbon footprint which includes the pruning and later chipping of the material for its incorporation into the soil, so the analysis of the TCO_2 emissions aims at transportation of the biomass from where the vineyards are located to the boilers area which is located inside the same premises.

For the transportation of vine chips that are taken to the boiler area, a tractor was used with 90 HP and a load capacity of seven tons. It will be assumed that the average time of the complete cycle of 2 h (loading, round trip and unloading) including downtime is equal to approximately 34 h of work. Thus, it is assumed that the downtimes in which the tractor is not working are 25%, and the effective hours of work are 25.5 h in the collection of biomass.

To establish the TCO_2 emitted by the tractor that collects the pruned biomass inside the property, first, the amount of kg of CO_2 produced per 1 L of diesel needs to be determined, as follows:

$$\text{Diesel } C_{12}H_{23}: \quad 4(C_{12}H_{23})n + 71\ O_2 \rightarrow 48\ CO_2 + 46\ H_2O + \text{energy}$$

4 mol $C_{12}H_{23}$ (167.3121 g/mol) → 48 mol CO_2 (44 g/mol)
= 4 * 167.3 = 669.25 g
= 48 * 44 = 2112 g
= 1000/669.25*2112 = 3155.77 g
1 kg of Diesel produces 3.16 kg of CO_2
Diesel density = 0.832
1 L of Diesel produces 2.63 kg of CO_2.

However, due to the limited information available on the amount of TCO_2 emissions issued during the life cycle of the pine pellets that supply the vineyard that is being studied (material collection in the forest, manufacturing and transportation), we will use the bibliographic data of the Magelli et al. [18] article detailing the amount of TCO_2 emitted in the harvesting of raw material used for pellet production, its manufacturing process, and transportation which reaches about 0.484 tons of CO_2 equivalent per each ton of pellet put in port for its exportation.

Table 1
Physical and energetic characterization of the chip of each vines variety.

Variety	Moisture (%)	Basic density (kg m^{-3})
Sauvignon blanc	52.9	446
Pinot	48.8	522
Cabernet sauvignon	48.9	513
Chardonnay	56.5	436
Carmenere	60.3	411
Average	**53.5**	**466**
Standard deviation	4.971	49.2
Coeff. of variation (%)	9.3	10.6

Table 2
Determination of the GCV and NCV of the wood according to the vine variety.

Varieties	GCV ($MJKg^{-1}$)	NCV ($MJKg^{-1}$)
Sauvignon blanc	18.7	17.3
Pinot	16.5	15.1
Cabernet sauvignon	17.6	16.2
Chardonnay	17.6	16.2
Carmenere	18.7	17.3
Average	**17.8**	**16.5**
Standard deviation	0.920	0.920
Coeff. of variation (%)	5.2	5.2

Table 3
Determination of percentage of wood ash according to vine variety.

Varieties	Ashes (%)
Sauvignon blanc	2.9
Pinot	4.4
Cabernet sauvignon	4.4
Chardonnay	4.8
Carmenere	5.5
Average	**4.4**
Standard deviation	0.951
Coeff. of variation (%)	21.6

In this way, we will be able to assess which material is better for the company regarding its carbon footprint.

3. Results

3.1. Physical characterization of wood per variety

Physical characterization involves the descriptive statistics of branches, expressed in percentage.

3.1.1. Moisture

In Table 1, it can be observed that, in general, the moisture of the samples that had been just cut from the different vine varieties was relatively uniform.

Table 4
Summary of characteristics of vine chip versus pine pellets.

Analysis properties	Unit	Material	
		Biomass from variety of vines	Commercial wood pellets
Physical properties			
Mositure	(%)	53.5	<20%
Basic density	Kg m^{-3}	466	750
Energy properties			
Ashes	(%)	4.4	<1%
GCV	$MJKg^{-1}$	17.8	18.5

Table 5
Tons of CO_2 sequestered per vine variety.

Varieties	TCO_2 sequestered m^{-3}	TCO_2 sequestered t^{-1}
Sauvignon blanc	0.818	0.365
Pinot	0.958	0.500
Cabernet sauvignon	0.941	0.483
Chardonnay	0.800	0.349
Carmenere	0.754	0.310
Average	**0.854**	**0.401**
Standard deviation	0.090	0.085
Coeff. of variation (%)	10.6	21.5

In the total sample, an average of 53.3% moisture was obtained. For each variety, the differences in moisture content of the wood are low, with a minimum value of 48.8% for Pinot and a maximum value of 60.3% for Carmenere, having a coefficient of variation (CV) of 9.3%.

3.1.2. Density

Table 1 shows that the basic average density is 466 kg m^{-3}, with the variety of Pinot being the one that has the greatest density with 522 kg m^{-3} and the variety of Carmenere the one that has the lowest density with 411 kg m^{-3}.

3.2. Energetic characterization of wood per variety

The energetic characterization of the biomass involves the determination of the GCV and NCV ($MJKg^{-1}$) and the percentage of ashes in branches with a diameter greater than 1.0 cm. The energetic characterization was determined in chips of different vine varieties in a dry matter at 0% moisture.

3.2.1. Calorific value

In Table 2, it can be seen that the varieties of Sauvignon Blanc and Carmenere have the higher GCV with 18.7 $MJKg^{-1}$ followed by Cabernet Sauvignon and Chardonnay with 17.6 $MJKg^{-1}$ and, finally, Pinot with 16.5 $MJKg^{-1}$.

3.2.2. Percentage of ashes

The values in Table 3 show that the overall average of ashes is 4.4%, with Sauvignon Blanc being the variety that comes with less ash, with 2.9%, and Carmenere the variety that comes with the most ash, with 5.5%.

3.3. Material analysis versus pellets

The table below summarizes the characteristics of the wood of the different vine varieties that were analyzed versus the pellets that are used in the wine industry, both in order to be energetically used and to know possible uses of obtained wastes (Table 4).

Despite being lower than in the pellets (18.5 $MJKg^{-1}$average), the calorific value of the chip (17.8 $MJKg^{-1}$), is within the

Table 6
Description of the parameters from an environmental perspective.

Varieties	TCO_2 sequestered t^{-1}	Ashes (kg ha^{-1})
Sauvignon blanc	0.365	60.9
Pinot	0.500	92.4
Cabernet sauvignon	0.483	92.4
Chardonnay	0.349	100.8
Carmenere	0.310	115.5
Average	**0.401**	**92.4**
Standard deviation	0.085	17.9
Coeff. of variation (%)	21.5	19.3

Table 7
Cycle description of the use of pruning biomass in a vineyard.

Type of tractor	Loading capacity (t)	Total area (ha)	Biomass extracted (t ha^{-1})	Number of trips	Hours per trip	Total hours of work
90 HP	7	57.7	2.1	17	2.0	34

Table 8
TCO_2 emissions in vine chip production.

Type of tractor	Fuel consumption (l hr^{-1})	Effective hours of work	Total consumption (l)	Emission factor (kg CO_2)	Total emissions TCO_2	Emission of TCO_2 (t of chips)$^{-1}$
90 HP	18	25.5	459	2.63	1.21	**0.01**

Table 9
CO_2 emissions by product.

Material	TCO_2 t^{-1}	TCO_2 total
Chip of vine	0.010	1.183
Pellets	0.484	64.372

indications of the European norm EN 14961-2 establishing a minimum value of 16.3 $MJKg^{-1}$.

3.4. Carbon sink and ashes content from an environmental perspective

The following Table shows the amount of CO_2 sequestered per variety for m^3 and for a ton of wood (Table 5).

This Table shows that on average the sinks fix approximately 0.401 TCO_2 sequestered T^{-1} of wood, with Carmenere as the variety with less CO_2 sequestered with 0.310 TCO_2 sequestered t^{-1} of wood and the variety with more CO_2 sequestered is Pinot, with 0.500 TCO_2 sequestered t^{-1} of wood (Table 6).

Pinot and Cabernet Sauvignon are the varieties that sequester more CO_2, and even though they are not the ones that produce the largest amount of ash, they produce a significant amount of it. In ashes, Sauvignon Blanc is the lower producer with 60.9 kg ha^{-1} and Carmenere is the variety with more of ashes with 115.5 kg t^{-1}. The average of ashes is 92.4 kg t^{-1} which is a similar amount of CaO used per hectare (7.8 US$ ha^{-1}) in the vineyard, and is 57.7 ha of vineyards. This represents an annual savings in the purchase of fertilizer of US$ 450.

3.5. CO_2 emissions in production and use of pellets versus vine chips

The amount of biomass extracted from the pruning was determined (2.1 t ha-1). A tractor was used which has the capacity to collect the biomass of 3.3 ha per trip. The tractor needs to make at least 17 trips in total (round trip) to pick up the entire load (Tables 7 and 8).

As noted in the methodology, 1 L of diesel produces 2.63 Kg of CO_2. Taking into account a 90 HP tractor that consumes 18 l h^{-1} and a load capacity of 7000 Kg, the total consumption of the activity is 459 l which, multiplied by the emission factor pointed out in the methodology (2.63 Kg of CO_2), gives all the emissions produced by the tractor within the 57.7 ha cultivated. In the task of moving the raw material from the vineyards to the boiler area, the total emissions are 1.21 TCO_2, which when divided by the total tons of pruning biomass, obtains tractor emissions of 0.01 TCO_2 per ton of chip. Table 9 and Fig. 2 compare the emissions and differences produced by product.

3.6. Cost of the energy produced by using vine chips versus pellets

Regarding the economic factors, Table 10 shows a comparison between the amounts of money spent to collect chips and the current expenditure of the vineyard when buying pellets.

According to Table 10, if the vineyard decides to use its woody biomass, it would only have fuel expenses for the tractor that will collect the raw material, with approximately US$ 597 as the total cost of this process. However, the pellet in the market is worth US$ 0.29 per kg and as the needs of the vineyard are at least 133 tons of pellets per year for correct operation of its boilers, they have an annual cost of US$ 38,570 in pellets versus the total cost of US$ 597 when using the woody biomass from pruning the vineyard itself.

4. Discussion

4.1. Physical characterization of wood per variety

4.1.1. Moisture

In Table 1, it can be observed that, in general, the MC of the samples that have been just cut from the different varieties of analyzed vines was relatively uniform.

These values shown in Table 1 match with the ones obtained by Mendívil et al. [20]; for other varieties, Mendívil et al. [20] point out that the MC changes are in a range of 48.3%–55.5%. However Spinelli et al. [32]; note that in their results the moisture content of the biomass obtained from pruning the varieties of vines studied varied between 40.0% and 45.0%. These differences could be explained because the samples were collected in different seasons (in the last case in January and February and the samples of this research were collected in August) and in different geographic areas, therefore, the MC of the biomass changes [1]. In addition, according to Heinrich [11], the MC of freshly cut wood varies

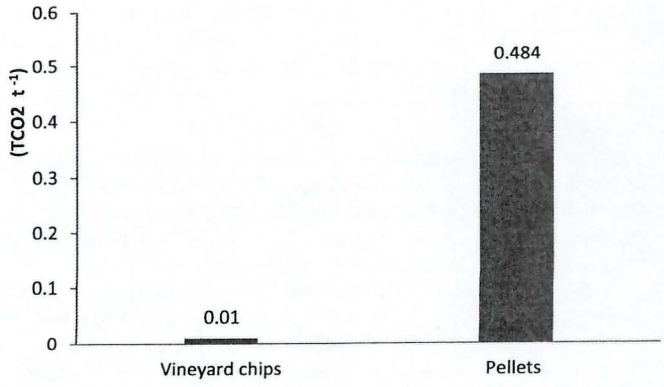


Fig. 2. Difference of TCO_2 emissions by product.

Table 10
Comparison of annual costs when using vine chips versus pellets.

Chip of vines			Pellets		
Fuel consumption (l)	Diesel pricing (US$)	Annual expenditure (US$)	Pellets consumption (t)	Pellets price (US$ Kg^{-1})	Annual expenditure (US$)
459	1.3	**597**	133	0.29	**38570**

between 40% and 50%, so the figures obtained are normal for wood biomass.

We must point out that Mendívil et al. [20] note that the moisture content for the pruned vine shoots is not affected by the planting pattern or by the age of the varieties of vines that are being studied.

The moisture contents obtained are greater than the 25% commercially admitted as woody dry material. However, this MC corresponds to pieces of freshly cut branches. Therefore, in order to be transformed into solid biofuel they must go through at least one chipping process and this can reduce the moisture around 10% [8]. Then they must be air-dried. According to Spinelli et al. [32], the waiting time is four months in order to approach the required moisture values for optimal burning.

4.1.2. Density

Table 1 shows that the basic densities of freshly cut samples are fairly uniform, and that there are no large variations in this regard per variety, since its coefficient of variation is 10.5%, which is considered a low figure.

It is important to note that these values appear to be unpublished, since there are no previous scientific works on obtaining the average values in the basic density of these varieties and there are almost no studies about other varieties. However Ntalos and Grigoriou [23], conducted assessments of density of the vine wood where, although the studied varieties were different, they are also producing wine varieties, obtaining a basic average density of 642 kg m^{-3}. This is a higher value than the average of the wood in this research, which could be caused by the difference in varieties and the fact of being in different site conditions.

4.2. Energetic characterization of wood per variety

4.2.1. Calorific value

In Table 2, the difference of 2.2 MJ kg^{-1} between Carmenere and Pinot, among the varieties, means that there is a big difference in the energetic potential of one variety with regard to another in the same surface (hectare). This difference may determine the use of one variety for energetic use.

The average values obtained for the CGV match those obtained by García et al. [10] who obtained an average of 17.8 MJ kg^{-1}, which is within the range of values obtained by Bilandzija et al. [5] Spinelli et al. [32] and Mendívil et al. [20] going from 17.1 to 19.2 MJ kg^{-1}. In the bibliography it was only possible to find the GCV.

4.2.2. Percentage of ashes

Some authors have conducted research of ash pruning residues in other varieties, so the values are considered as overall results. Still, García et al. [10] Spinelli et al. [32]; and Mendívil et al. [20] obtained average values ranging from 2.4% to 5.3%, which are values that match with the ones registered in this research.

While the figures coincide with the bibliography, there is a difference among the varieties of up to 2.6%, which is solely due to the fact that each one has different characteristics in the wood, as the samples are uniform in climate, time of year, soil type, part of the plant and the presence of additional contaminants such as dirt and sand that contribute to increase the ash content [3,29]. In order to avoid an increase in the percentage of ash, it is recommended that in the stage of delivery of raw material in plant, the transported biomass meets minimum requirements that ensure adequate moisture when delivered and also includes equipment that allows weighing the supplied fuel [12].

4.3. Material analysis versus pellets

The summary table below assesses the characteristics of the wood of the different vine varieties that were analyzed versus the pellets that are used in the wine industry, both in order to be energetically used and to know possible uses of the obtained wastes.

According to the results obtained in Table 4, we can say that pellets are energetically more suitable than the use of chips of the different vine varieties. However, the moisture in the chips can be reduced with air drying for four months until obtaining values close to 25% although even values with just less than 35% moisture will not hinder combustion [17,32].

The calorific value of the chip (17.8 $MJkg^{-1}$) is within that indicated in rule EN 14961-2 which establishes a minimum value of 16.3 $MJkg^{-1}$, despite being less than that in pellets (18.5 $MJKg^{-1}$average).

4.4. Carbon sink and ashes content from environmental perspective

A key global environmental parameter is the CO_2 sequestered by forests and forest plantations. While woodlands are larger than a growing vine, it is interesting to determine how many tons of CO_2 are sequestered per cubic meter and ton biomass due to the extensive surface of the vineyard in Chile, with 129,000 ha [31].

The difference of CO_2 sequestered t-1 of wood in the varieties could be less noticeable or more noticeable depending on the cultivated surface per variety. It must be noted that the importance from the environmental perspective of knowing this parameter is in the future, it could play an important role when making the decision of establishing or not certain vine crops according to their capacity to sequester CO_2.

The same situation can happen with the percentage of ash. Although it is one of the most crucial factors in an energetic characterization, it is even more important when proposing to use this waste as an alternative byproduct to fertilize agriculture soils. As for chip vines that do not meet the rule of <1.5% ash, there is more maintenance of boilers. The average percentage of ash of 4.4% allows to get a byproduct such as fertilizer rich in minerals (CaO principally, SiO_2 and to a lesser extent Mg, Al, K, y P oxides) [33], which when incorporated into the soil improves its properties [28] faster than if it is crushed in the manner done nowadays. In this way, other economic benefits are given by reducing the fertilization costs, and when a vineyard produces its own fertilizer this could be helpful to reduce the carbon footprint. However, the vineyard produces an average of 92.4 t ha^{-1} of ashes that, when multiplied by 57.7 ha of the vineyard, the annual savings in this fertilizer is only US$ 450.

Thus, under this scenario, comparing CO_2 sequestered t-1 and

the percentage of ash could help to determine which variety contributes in the best way to the mitigation of the environmental impact generated by intensive agriculture.

In this way, from the viewpoint already pointed out, if it comes to selecting the two varieties that are friendlier with the environment, and taking into account the CO_2 sequestered t^{-1}as the main parameter, it can be said that the trend indicates that Pinot and Cabernet Sauvignon are the varieties that will help the most with the mitigation of environmental impact in this vineyard.

4.5. CO_2 emissions in production and use of pellets versus vine chips

In this research, the estimation of TCO_2 emissions for both chips and pellets focus on the collection of material, manufacturing and transportation.

Table 9 and Fig. 2 compare the emissions produced by the vineyard when incorporating the chips coming from pruning the vines to the wine production cycle as fuel self-sufficiency for its boilers with the emissions produced in the collection of the material, manufacturing (including chipping of the material) and transportation of pellets according to Magelli et al. [18].

Note that the chipping process of the pruned biomass is already incorporated in the carbon footprint of the vineyard. In order to prevent the accumulation of fuel with the risk of producing agroforestry fires, this material is currently chipped and then spread in the soil for its incorporation. However, in this particular vineyard, the chipped biomass is not spread uniformly over the ground because it is an activity that is done manually. This could decrease the positive effects in the ecological role it could play the chips in this crop (decreased soil erosion, retention of soil moisture, or maintaining biological activity).

Therefore, in this case the transportation inside the property from the cultivated areas to the boiler areas is only considered as emission.

Even though the pellet manufacturing process is also included in the carbon footprint of the vineyard, what this research wants to show is that by using biomass from the vineyard, the carbon footprint could decrease since, unlike pellets, biomass does not need large expenditures of energy for harvesting, production and transportation.

Thus Magelli et al. [18], note that in British Columbia (Canada), 0.484 TCO_2 eqt^{-1} is emitted in the pellet manufacturing process, from the material pick up until it is put in port for exportation, and this figure is the one that has been taken as reference, since the amount of TCO_2 emitted per lifecycle of pellet consumed by the vineyard and the country is unknown.

4.6. Cost of the energy produced from using vine chips versus pellets

We should note that the vineyard currently uses a tractor and staff for chipping pruning waste and to scatter them on the ground. Then, according to the information provided by the vineyard, variables such as labor, machinery, and others, would practically not change if these variables (costs) are redirected to the collection of the raw material for energy purposes.

Regarding the economic factors, Table 10 shows a comparison between the amounts of money spent to collect chips and the current expenditure of the vineyard when buying pellets.

While it is true that per production volume of biomass coming from pruning activities in its premises in this vineyard cannot replace the biofule by 100%, it can however replace about 60% of the fuel requirements of the vineyard which means an annual savings of US$ 23,142 in purchasing pellets (including the transportation cost of the vine chip).

5. Conclusions

The different physical and energetic characteristics among the vine varieties can be crucial when developing good energetic and environmental management, which can affect the administration of resources within the vineyard itself.

While the pine pellets have a better energetic performance than the vine chips studied, the pellets consume more energy in its production, and, therefore, add a higher carbon footprint to the vineyard than when using the biomass produced on the premises.

In addition, the high percentage of ashes in chips can be an opportunity to use it as soil fertilizer (CaO) because its production practically covers 100% of demand in this vineyard. However, the annual savings in this fertilizer is poor.

Using vine chips can greatly reduce the dependence on external fuel suppliers and fertilizers.

Therefore, use of vine biomass residues in wine industry is a viable alternative option in terms of economy as well as energy.

Acknowledgments

We would like to thank the Miguel Torres Vineyard for their collaboration in the development of this research in their vineyards.

References

[1] R. Albin, R. Jaramillo, Observaciones sobre el contenido de humedad en madera industrial astillable de pinus radiata (D.Don), Bosque 3 (2) (1980) 101–114.
[2] B. Badalíková, J. Červinka, Effect of ploughing-down of grapevine chips on soil structure when using special agricultural machinery, Acta Univ. Agric. Silvic. Mendel. Brun. 60 (2012) 9–14.
[3] G.M. Bárcenas-Pazos, R. Ríos-Villa, J.R. Aguirre-Rivera, B.I. Juárez-Flores, J.A. Honorato, Composición química y densidad básica relativa de la madera de dos especies arbustivas de encino blanco en la Sierra de Álvarez, México, Madera Bosques 14 (3) (2008) 81–94.
[4] G. Berndes, M. Hoogwijk, R. van den Broek, The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies, Biomass Bioenergy 2003 (25) (2003) 1–28.
[5] N. Bilandzija, N. Voca, T. Kricka, A. Matin, V. Jurisic, Energy potential of fruit tree pruned biomass in Croatia, Agric. Res. 10 (2) (2012) 292–298.
[6] Jr. Couyoumdjian, Vinos en chile desde la independencia hasta el fin de la Belle Époque, Historia 39 (1) (2006) 23–64.
[7] J. Del Pozo, Historia del Vino Chileno, Ed. Universitaria, Santiago de Chile, 2004, p. 317.
[8] H. Fernández-Puratich, Valorización integral de la biomasa leñosa agroforestal a lo largo del gradiente altitudinal bajo condiciones mediterráneas, Doctoral thesis, Universitat Politècnica de València, Spain, 2013, p. 354.
[9] H. Fernández-Puratich, J.V. Oliver, D. Alfonso, E. Peñalvo, Quantification of potential lignocellulosic biomass in fruit trees grown in Mediterranean regions, BioResources 8 (1) (2013) 88–103.
[10] R. García, C. Pizarro, A.G. Lavín, J.L. Bueno, Characterization of Spanish biomass wastes for energy use, Bioresour. Technol. 103 (2012) 249–258.
[11] I. Heinrich, H.W. Gärtner, M. Monbaron, Tension wood formed in *Fagus sylvatica* and *Alnus glutinosa* after simulated mass movement events, IAWA J. 28 (1) (2007) 39–48.
[12] IDAE, Guía Técnica de Instalaciones de Biomasa Térmica en Edificios, Instituto para la diversificación y ahorro de energía. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio de España, 2009, p. 88.
[13] L. Jiménez, L. Sánchez, Consideraciones sobre el aprovechamiento de la biomasa forestal con fines energéticos, según el nuevo decreto 661/2007 por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen general, Rev. Técnica del Medioambiente 120 (2007) 8–12.
[14] C. Jordan, Energetic services of nature that increase agricultural sustainability, Environ. Challenges Solutions 1 (2013) 83–113.
[15] F. Kollmann, Tecnologie des Holzesund der Holzwerkstoffe: mit 1194 Abbildungenim Text und 6 Tafeln', Springer, Berlín, Germany, 1959, p. 676.
[16] P. Lacoste, J.A. Yuri, M. Aranda, A. Castro, K. Quinteros, M. Solar, N. Soto, J. Gaete, J. Rivas, Grape varieties in Chile and Argentina (1550-1850). Genealogy of torrontés, Mundo Agrar. 10 (20) (2010) 1–36.
[17] I. López, Evolución de pilas de astilla forestal bajo dos coberturas diferentes al aire libre: experiencia en alp, CIDEU 5 (2008) 85–95.
[18] F. Magelli, K. Boucher, H.T. Bi, S. Melin, A. Bonoli, An environmental impact assessment of exported wood pellets from Canada to Europe, Biomass & Bioenergy 33 (3) (2009) 434–441.

[19] C. Marculescu, S. Ciuta, Wine industry waste thermal processing for derived fuel properties improvement, Renew. Energy 57 (2013) 645–652.
[20] M.A. Mendívil, P. Muñoz, M.P. Morales, M.C. Juárez, E. García-Escudero, Chemical characterization of pruned vine shoots from La Rioja (Spain) for obtaining solid bio-fuels, J. Renew. Sustain. Energy 5 (3) (2013) 1–13.
[21] Ministerio de Medio Ambiente de Chile, Plan de Descontamicación Atmosférica del Valle Central, Consejo Superior de Ministros, 2013, p. 23.
[22] J.G. Moglia, A.M. Giménez, S. Bravo, Tomo II Macroscopia de Madera: Orientada a los Estudiantes de Carpintería, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2007, p. 57.
[23] G.A. Ntalos, A.H. Grigoriou, Characterization and utilisation of vine prunings as a wood substitute for particleboard production, Industrial Crops Prod. 16 (2002) 59–68.
[24] OIV, Stadistical Report on World Vitiviniculture, Ed. International Organization of Vine and Wine, Paris, 2013, p. 28.
[25] P.O. Olesen, The Water Displacement Method, The Royal Veterinary and Agricultural University of Copenhague, 1971, p. 18.
[26] J.V. Oliver-Villanueva, Apuntes de Tecnología de las Industrias Forestales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2013, p. 866.
[27] M. Pronobis, Evaluation of the influence of biomass co-combustion on boiler furnace slagging by means of fusibility correlations, Biomass Bioenergy 28 (4) (2005) 375–383.
[28] L. Ram, R. Masto, Fly ash for soil amelioration: a review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments, Earth-Science Rev. 128 (2014) 52–74.
[29] V. Vassilev Stanislav, D. Baxter, L.K. Andersen, C.G. Vassileva, An overview of the chemical composition of biomass, Fuel 89 (5) (2010) 913–933.
[30] R. Saidur, E.A. Abdelaziz, A. Demirbas, M.S. Hossain, S. Mekhilef, A review on biomass as a fuel for boilers, Renew. Sustain. Energy Rev. 15 (5) (2011) 2262–2289.
[31] SNA, Chile agrícola: Una Mirada de la Agricultura Por Regiones, Ed. Sociedad Nacional de Agricultura, Santiago de Chile, 2013, p. 16.
[32] R. Spinelli, C. Nati, L. Pari, E. Mescalchin, N. Magagnotti, Determining the biomass fuel potential of vineyard pruning residues, Appl. Energy 89 (2012) 374–379.
[33] V. Stanislav, D. Baxter, C. Vassileva, An overview of the behaviour of biomass during combustion: part II. Ash fusion and ash formation mechanisms of biomass types, Fuel 2014 (117) (2014) 152–183.

Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Energy Procedia 00 (2015) 000–000

Energy Procedia

www.elsevier.com/locate/procedia

SHC 2015, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry

Solar assisted absorption machine for the fermentation cooling and maceration heating processes in the winemaking industry

Clare Murray[a], Gonzalo Quiñones[a,b], Felipe Cortés[a], Rodrigo Escobar[c] and José M. Cardemil[b]*

[a]*Fraunhofer Chile Research, center for Solar Energy Technologies, Santiago Chile*
[b]*School of Industrial Engineering, Universidad Diego Portales, Santiago Chile*
[c]*Department of Mechanical and Metallurgical Engineering, Pontificia Universidad Católica de Chile, , Santiago, Chile*

Abstract

Two of the key processes in winemaking are alcoholic fermentation and must maceration, both of which have a high demand of energy. Fermentation is an anaerobic process carried out by the metabolic action of a microorganism. During this process the temperature has an important effect on the fermentation kinetics [1, 2]. As the fermentation is exothermic, most of the wineries use a cooling system composed of mechanical refrigeration cycles and cooling towers in order to control the process temperature. After the fermentation, the must is macerated at temperatures close to 30°C, during which the phenolic materials (e.g. tanins and coloring agents) are leached and balanced. The aim of this study is to assess the thermal performance of a novel system composed of an absorption machine driven by solar and biomass energy sources, thus investigating the behavior of the system in an industrial winemaking process. This system consists of a lithium bromide absorption machine, a solar thermal collector field and a biomass water heater. The system operates in different modes during summer and winter seasons, taking advantage of the seasonality of both the solar resource availability and the heating and cooling demands of the processes. The results indicate that the proposed system is able to supply 25% of the cooling demand during the summer and between 30 to 50% of the heating demand during the winter.

© 2015 The Authors. Published by Elsevier Ltd.
Peer-review by the scientific conference committee of SHC 2015 under responsibility of PSE AG.

Keywords: Winemaking industry, Solar process heat, Solar cooling

1876-6102 © 2015 The Authors. Published by Elsevier Ltd.
Peer-review by the scientific conference committee of SHC 2015 under responsibility of PSE AG.

Nomenclature

E	Total energy
C	Purchase cost of an equipment
X	Size of the equipment
α	Scaling exponent
Subscript	
$abs, chilled$	Chilled water stream from absorption chiller
$abs, cool$	Cool water stream from absorption chiller
$coll$	Solar field
$solar$	The sun
$supply$	Supplied by the system
$supply, hot$	Supplied by the system of the absorption chiller
y, w	Equipment item

1. Introduction

Alcoholic fermentation is one of the key processes in winemaking. It is a metabolic process whereby yeast cells convert the sugar present in the grapes into ethanol, organic acids and CO_2. The process occurs in the absence of oxygen, and the yeast cells are submitted to several stresses from different environmental factors, which can significantly affect the quality of the final product [3,4]. For instance, the operating conditions of physico-chemical factors such as the temperature in the vats, are controlled during the fermentation process [5]. The temperatures applied in the fermentation in winemaking varies typically from 15°C for white wines to more than 25°C for red wines [6]. The fermentation is an exothermic process, therefore the temperature of the wine increases, so in order to keep the temperature at the aforementioned values wineries commonly use a conventional refrigeration system during the summer. These systems allow the temperature level of the fermentation vats to be kept within a range that enables the metabolic action of the yeast.

After the fermentation process, the must is kept warm at around 30°C for several days in a process called maceration. In this process, most of the phenolic components are leached and balanced. Maceration commonly occurs during the winter, and so a heating system helps keep the vats at the required temperature. These water heaters are commonly driven by liquefied petroleum gas (LPG). Considering the heavy dependence of the Chilean electricity grid on fossil fuels, the use of electricity results in a significant carbon footprint for each bottle of wine [7]. In addition, as Chile has limited fossil resources, the use of LPG is associated with high operation costs. For similar reasons, several wineries in Europe have implemented absorption chillers in their production process, which allows the use of residual heat sources to drive the absorption machine and reduce the electricity consumption. This scheme has also been used in the sugarcane industry for the same purposes (controlling the temperature of the fermentation process) [8]. The aim of this study is to assess the performance of an integrated system for combined generation of heat and cooling for these processes, by harnessing the solar resource available in central Chile and the biomass self-generated by the vineyard. The annual global solar irradiation in the winemaking region of Chile is approximately 2000 kWh/m^2, according to the measurements and estimations reported in literature [9]. This level of global irradiation allows for effective utilization of solar thermal technologies. Therefore, in this study, we present the results of simulations of the operation of an absorption chiller powered by a solar thermal collector field and a biomass boiler. A transient simulation were developed in TRNSYS software to assess the performance of the system, considering the actual meteorological data of a region in central Chile where several wineries are located. The area of the solar thermal collector field has been varied in a range between 250 and 1000 m^2 and these results have been compared to the base case of the existing infrastructure. The solar collector field consists of flat plate collectors, selected for their suitability in supplying heat within the required low temperature ranges.

2. System Description

The system proposed was designed to supply 25% of the summer peak cooling demand corresponding to 880 kW. A Lithium-Bromide absorption machine is considered, coupled with a field of solar thermal collectors, where the area of the solar field is varied in order to evaluate the effect of the scale on system´s performance. The model includes a biomass burner, a cooling tower and a conventional refrigeration system to provide the remaining demand (considering the existing facilities generally present in the industry). The system includes three storage tanks to supply heat or cold to the vats according to the season and the stage of fermentation or maceration process.

The system was simulated in two different operation modes, according to the heating and cooling demands of the plant. In the summer mode shown in Fig. 1. Summer mode, the solar field and biomass burner directly supply the required thermal energy to drive the absorption machine, while the chilling effect is used for reducing the temperature of the water returning from the fermentation vats. The cooling water for the absorption chiller circulates in a cooling tower releasing the heat to the environment.

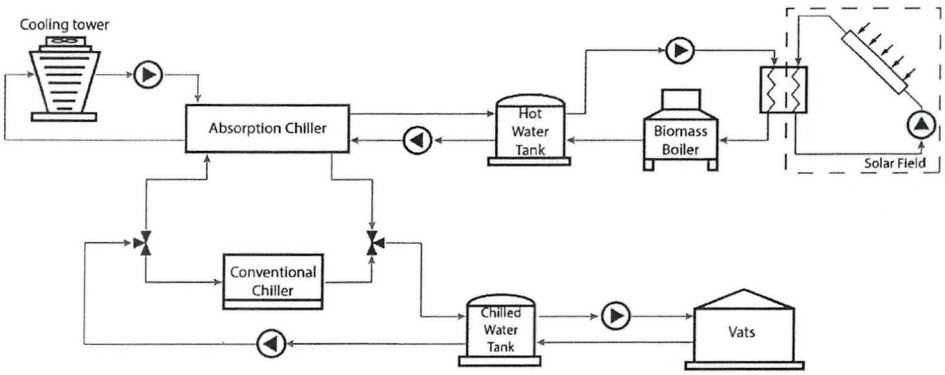


Fig. 1. Summer mode

The second operation mode shown in Fig. 2 corresponds to winter season, where the solar resource available is considerably reduced. The heat driving the absorption chiller comes from the high temperature tank, heated by the biomass water heater. During this operation mode, the maceration process requires heat at 30°C, which is provided by the cooling water stream from the absorption machine. In this configuration, the solar thermal collectors operate as a low temperature heat source in order to deliver heat to the chilled water stream. In addition, during the night time the hot water tank delivers heat directly into the medium temperature tank, in order to maintain the operation of the system.

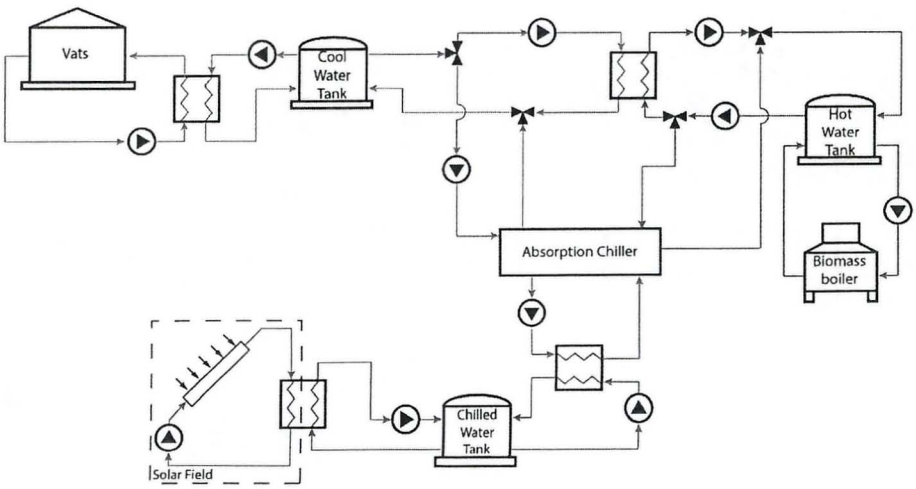


Fig. 2. Winter Mode

3. Methodology

The present study is based on a winery located in Curicó, Chile. The vineyard has been the focus of an energy audit process and a pilot plant based on a similar concept is present on site as detailed in [10]. The climate data has been taken from this site, and the TMY considered in the simulation was provided by GeoModel-Solar [11], where the year totals are 1791 kWh/m^2 for GHI and 1952 kWh/m^2 for DNI.

The simulations were carried out using TRNSYS a transient system simulation program [12] where the system was modelled using dedicated mathematical models and TRNSYS components (Type). The TRNSYS program is based on the methodology developed by the Solar Energy Laboratory at the University of Wisconsin-Madison [13]. In addition, the parametric analysis was programmed using a Python code [14], to call TRNSYS and assess the system performance with different collector areas.

This study presents an evaluation of the scaling up of the system proposed in [10]; the parametric analysis evaluates the performance of the system in both summer and winter for different collector areas. The economic analysis assesses the benefits in terms of energy and cost savings by the implementation of the proposed system compared to the base case.

3.1. Baseline Demand

The baseline values for cooling during the summer and heating during winter have been determined from energy audits, and compared to theoretical values. The plant operation schedule varies from one year to other depending on the weather conditions. However, for sake of simplicity, the present study considered the following schedule

Table 1. Baseline parameters from the winery.

Season	Months	Process	Set Point Temperature	Hourly Heat Demand	Current devices used
Summer	Sept – Apr	Fermentation	8°C	-200 kWh	Conventional Chiller
Winter	May – Aug	Maceration	30°C	175 kWh	LPG Boilers

The heating and cooling demand is 24 hours a day 7 days a week during the required months; however the use of the biomass boiler is limited to working hours at the wineries between 5am to 7pm daily.

3.2. Simulation Parameters

The following inputs were used for the TRNSYS simulation. The inputs for the absorption chiller were based off the nominal values from technical data for the Thermax Vapour Absorption Chiller 5G 2A C and were used with the TRNSYS type 107 with the performance matrix obtained from the study in [10].The solar collectors are Bosch FCC-1S flat plate collectors. The cooling tower was modelled based on an evapco 559kW machine. The conventional chiller is an 800kW model manufactured by Carrier with a COP of 2.81. The storage tanks have volumes of 60, 20 and 30 m^3 for the hot, cool and chilled water tanks respectively.

The system was simulated over an entire year with a time step of 4 minutes.

3.3. Absorption chiller, solar utilization and solar fraction

The performance of the system is evaluated in terms of different figures of merit, depending on the mode of operation, and the source being used.

Table 2. Equipment utilization and solar fraction.

	Summer Mode	Winter Mode
Solar Fraction	$\frac{E_{coll}}{E_{supply,hot}}$	-
Solar Utilization	$\frac{E_{coll}}{E_{solar}}$	
Absorption chiller utilization	$\frac{E_{abs,chilled}}{E_{supply}}$	$\frac{E_{abs,cool}}{E_{supply}}$

3.4. In summer, the solar fraction represents the portion of solar energy provided to the hot stream of the absorption chiller, which is supplemented by heat from the biomass boiler. The absorption chiller utilization refers to the cooling provided by the absorption chiller as opposed to that from the conventional chiller. In winter, the absorption chiller runs only when there is heat provided from solar energy so the solar fraction can be represented by the absorption chiller utilization, compared to the heat provided from the biomass boiler. In both seasons the solar utilization refers to the collector output divided by the solar irradiation incident on the collectors. Economic analysis

An economic analysis was carried out to determine the economic feasibility of the integration. The costs of electricity, LPG and the biomass boiler were determined from energy audits and from local data from an actual winery. The cost of the biomass was estimated to reflect the processing and storing of the self-produced biomass, and consequently has a very low cost when compared to the alternative pellet biomass available. The component costs such as the absorption chiller and solar field were obtained on the research developed by Zeiler [15].The cooling tower investment cost was obtained from the supplier EVAPCO. These prices were scaled up with the equation proposed by Bejan [16] as follows:

$$C_Y = C_W \left(\frac{X_Y}{X_W}\right)^{\alpha} \tag{1}$$

The main economic parameters used in this research are shown in Table 3.

Table 3. Economic parameters

Parameters	Value
Biomass	0.004 $/kWh
Electricity	0.062 $/kWh
LPG	0.075 $/kWh
Absorption Chiller	$222,000
Biomass Boiler	$42,000
Solar Field	212 $/m^2
Cooling Tower	$39,000

The conventional chiller is not included on the investment costs, as it is already part of the existing heating and cooling system.

4. Analysis of Results

The system has been analyzed considering a base case and four different collector areas for both the summer and winter configurations. These results have been used to determine the savings in electricity and fuel that are achievable annually. The following results show a breakdown of the energy use in summer and winter, and the consequent system performance over the year.

4.1. Summer Performance

The incorporation of the absorption chiller during the summer, reduces the load on the conventional chiller, thus replacing a portion of the electricity consumption with solar and biomass energy. The solar energy heats the hot stream of the chiller, with the biomass boiler meeting the remaining demand. Fig. 3 shows the changes in energy use for the base case compared with the four different collector areas.

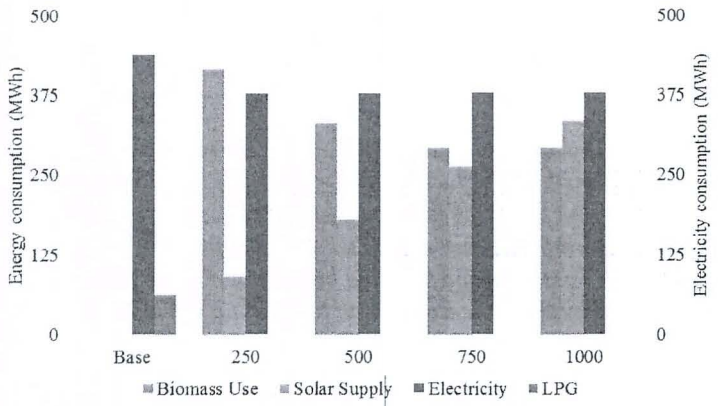


Fig. 3. Solar, biomass and electricity use in summer for the base case and different collector field areas

The solar energy provided to the system shows a relatively linear increase with collector field area. This is reflected in the solar fraction, which represents the use of solar energy in supplying the hot water demand of the absorption chiller.

Fig. 3 additionally shows the increasing collector area increases the solar energy and reduces the dependence of the system on biomass. The reduction in biomass is not linear however, and begins to plateau for larger collector areas. This reflects the increased temperatures of the system and subsequent increase in losses.

The heat demand in the base case is independent of the cooling system. This demand reflects the losses from the hot water tank that is used for other heating purposes within the winery. These additional demands have not been incorporated in the simulation explicitly, however the LPG necessary to make up the losses from this tank have also been incorporated into the base case to provide a more realistic comparison case.

The reduction in electricity is not as significant as predicted, as the increase in system components particularly the pumps increase the auxiliary electricity demand. Fig. 4 shows that the auxiliary electricity use almost doubles when the absorption chiller and solar field are incorporated. The electricity consumption for differing solar fields remains relatively constant, with variation due only to the increased pumping requirement for the larger collector field.

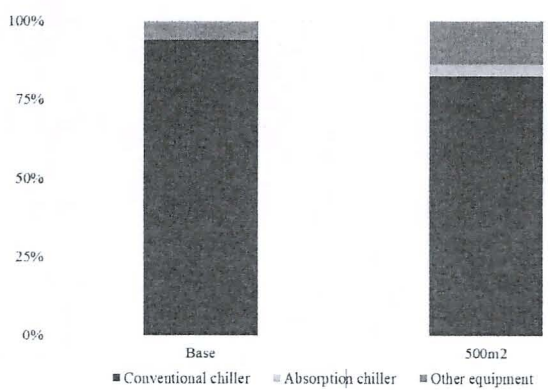


Fig. 4. Electricity Use in summer configuration.

Due to the high demand of biomass required in summer to supply the absorption chiller at the required temperature, two different options were considered for the use of the absorption chiller. The first was the use of the absorption chiller 24 hours a day, to provide 25% of the cooling demand via this means. The second was to use the absorption chiller only when the biomass boiler was in operation and supplemented by solar energy, during the working hours of the plant between 5am and 7pm, which reduces the utilization to 15% overall. This decision changes the demand for biomass and the solar fraction of the system significantly, as shown in Fig. 5.

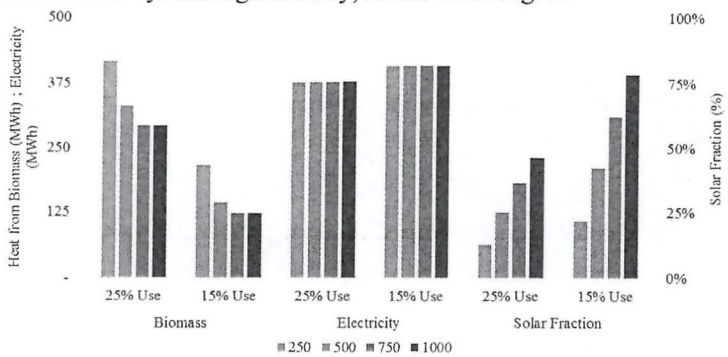


Fig. 5. Comparison of 15% and 25% usage of the absorption chiller.

The decision for the operation of the chiller depends on the ratio of cost of biomass to the electricity price. As the biomass is available very cheaply, running the absorption chiller for longer hours is viable, and has been incorporated as the preferred operating condition.

4.2. Winter Performance

The absorption chiller is used in winter to provide heat to the maceration process replacing a portion of the heat generation from the LPG boiler. The cool stream from the absorption chiller is used as it matches well with the temperature required to heat the vats. The solar collectors are used to heat the chilled water of the absorption chiller. This becomes the primary controller for the absorption chiller, which will only run when the temperature difference in the chilled water stream is sufficient. The biomass boiler provides the heat for the hot water stream.

Overnight, when the biomass boiler is not in operation, the absorption chiller is switched off, and the heat is provided to the vats from a combination of the residual heat in the cool water tank (45°C) heated by the chiller during the day and from the hot water tank (85°C).

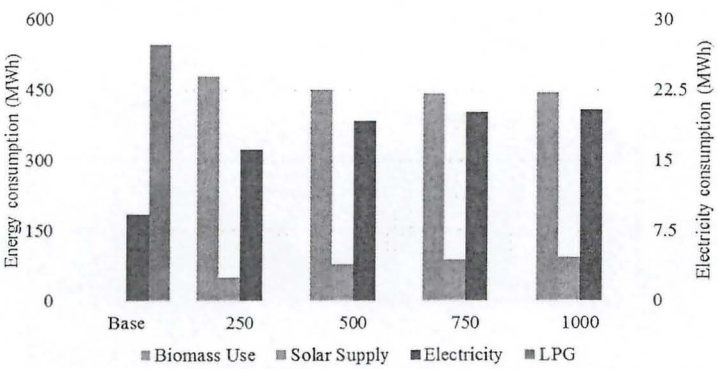


Fig. 6. Winter mode: solar, biomass and electricity use.

As the collector is providing heat to the cold water stream, a collector field above 500 m^2 is sufficient to meet this heat demand for the whole season. This is seen in the results as shown in Fig. 6 as the biomass use and solar are very similar for the collector areas between 500 and 1000 m^2 indicating similar chiller usage. The electricity use of the

system compared to the base case reflects the increased demand from the pumps and chiller, and increases with the collector area pump demand.

The use of the solar heat to heat the chilled water flow was selected for two reasons:

- Optimum use of solar energy, as the very low temperature of this stream means that despite the decrease irradiation during winter, heat can still be provided easily
- The absorption chiller oversupplies heat to the process, so incorporating additional solar energy in this stream is unnecessary.

However, as the results have shown, with the large collector fields are over-sized for this demand. Additional configurations could be considered for the winter months to determine the optimum use of the system components.

4.3. Annual Performance

Overall the annual results show a reduction in biomass and electricity demand compared to the base case, with the exception of the biomass for a 250 m^2 collector as shown in Fig. 7.

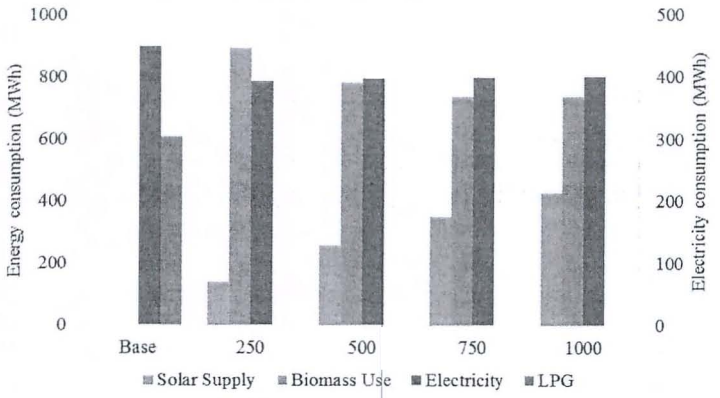


Fig. 7. Annual system performance.

The performance can be evaluated by considering the minimum use of both biomass and electricity. There is only a slight difference in these values for collector fields above 500m^2, therefore for these configurations it is expected that a collector area between 500 and 750 m^2 will yield the best results.

For a collector area of 500 m^2 the solar utilization and the solar fraction over the year was analyzed.

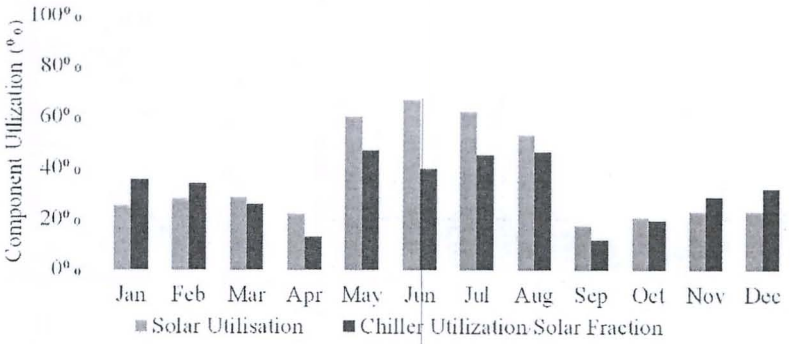


Fig. 8. Monthly performance of solar and chiller utilisation and solar fraction for 500m^2

Fig. 8 shows the performance of the collectors and of the system for the 500 m^2 collector area over the year. During summer, the peak in solar fraction is seen in the months of January and February with the peak in the solar irradiation. For the four months of the winter mode, the chiller utilization reflects the solar fraction, as the chiller is only on when the solar field provides sufficient heat. The solar utilization in this period is also significantly higher than the summer

months. This reflects the setup configuration of the system, as the inlet temperature is very low, which allows for larger gains to be achieved, compared with the summer configuration, where the inlet temperature is approximately 80°C, so high irradiation is required to achieve a temperature increase.

5. Economic evaluation

An economic analysis was performed based on the results of the simulations. The economic analysis incorporates a comparison of the investment costs, operation costs and energy savings, to determine a net present value, internal rate of return and payback period for each collector area. The results are summarized in Table 4. These are based on the following project economic parameters:

1. Project time frame: 20 years
2. Discount rate: 5%

The main investment costs comprise the absorption chiller, solar field, biomass boiler and cooling tower. The electricity consumption is reduced with the incorporation of solar energy, due to the substitution of the use of the conventional chiller, although an additional demand is incurred from the pumps. The incorporation of the absorption chiller increases the demand for heat however this is reduced with increasing solar collector field area. The total energy savings reach an optimum with a collection area of 500 m^2 due to the low incremental gains of the solar collectors with higher collector areas during the winter time.

Table 4. Annual economic results from the absorption chiller integration.

	Parameters	Base	250 m^2	500 m^2	750 m^2	1000 m^2
Investment costs	Absorption chiller		$ 221,979	$ 221,979	$ 221,979	$ 221,979
	Solar field		$ 53,000	$ 106,000	$ 159,000	$ 212,000
	Biomass boiler		42,000	42,000	42,000	42,000
	Cooling tower		$ 39,087	$ 39,087	$ 39,087	$ 39,087
	Total		$ 356,066	$ 409,066	$ 462,066	$ 515,066
Annual operation costs	Electricity	$ 28,030	$ 24,544	$ 24,777	$ 24,874	$ 24,931
	Fuel	$ 38,941	$ 4,006	$ 3,493	$ 3,297	$ 2,299
	Maintenance		$ 3,561	$ 4,091	$ 4,621	$ 5,151
	Total per year	$ 66,970	$ 32,110	$ 32,361	$ 32,792	$ 33,380
Annual operation cost savings compared to base case	Electricity		$ 3,486	$ 3,253	$ 3,156	$ 3,099
	Fuel		$ 34,935	$ 36,447	$ 35,643	$ 35,642
	Total saving per year		$ 34,860	$ 34,609	$ 34,178	$ 33,590
Evaluation	Net Present Value		$ 78,370	$ 22,243	-$ 36,127	-$ 96,458
	Internal rate of return		7%	6%	4%	3%
	Payback period (years)		10	12	14	15

The economic peak in this analysis is achieved for the smallest collector area considered, 250m^3, due to the lowest capital cost. The savings from the system are generally not sufficient to provide a quick return on investment and a payback period of at least 10 years is expected. The use of the larger collector areas is not very effective in winter, so perhaps an alternative configuration would see an improved result with lower dependence on electricity to drive down the prices.

6. Conclusions

The incorporation of a solar driven absorption chiller into a winery to meet both cooling and heating demands shows great potential. There is an opportunity to cut the use of electricity in summer by the replacement of the

conventional chiller with an absorption chiller. This increases the heat demand in this period, however this can be met by incorporating a solar field and biomass boiler to reduce the carbon dioxide emissions of the plant. Similarly in winter, the absorption chiller can be used to meet the heating demand driven again by the solar field and biomass boiler. However as the heating demands for winter are lower than the cooling demands of summer, the sizing of the chiller and collector area need to be carefully considered to determine the optimal configuration for the annual performance.

There is further potential to optimise the configuration of this system. Currently the sizing of the absorption chiller is based on meeting 25% of the summer load. The opportunity to meet a greater portion of this with a larger chiller should be investigated. Consequently the sizing of the collector field to meet a greater energy demand could be optimised as well. Furthermore, incorporation of waste products rather than pellets as a source of fuel for the winery could also realise an improved economic result.

Acknowledgements

The authors are thankful to the Chilean Foundation for Agricultural Innovation (FIA), which sponsors this research under the project grant PYT 2013-0021.

References

[1] Phisalaphong M, Srirattana N, Tanthapanichakoon W. Mathematical modeling to investigate temperature effect on kinetic parameters of ethanol fermentation. Biochemical Engineering Journal. 2006 Feb;28(1):36–43.
[2] Malherbe S, Fromion V, Hilgert N, Sablayrolles J-M. Modeling the effects of assimilable nitrogen and temperature on fermentation kinetics in enological conditions. Biotechnology and bioengineering. 2004 May 5;86(3):261–72.
[3] Masneuf-Pomarède I, Mansour C, Murat ML, Tominaga T, Dubourdieu D. Influence of fermentation temperature on volatile thiols concentrations in Sauvignon blanc wines. International Journal of Food Microbiology. 2006;108:385–90.
[4] Prusina T, Herja. Influence of Fermentation Temperature on the Quality of " Žilavka " Wines. Agriculturae Conspectus Scientificus. 2008;73(2):127–30.
[5] Torija MJ, Beltran G, Novo M, Poblet M, Guillamón JM, Mas A, et al. Effects of fermentation temperature and Saccharomyces species on the cell fatty acid composition and presence of volatile compounds in wine. International Journal of Food Microbiology. 2003;85:127–36.
[6] Sablayrolles JM. Control of alcoholic fermentation in winemaking: Current situation and prospect. Food Research International. 2009 May;42(4):418–24.
[7] Quezada R, Hsieh T, Valderrama JO. Determination of the Carbon Footprint using the Method Composed of Financial Accounts (MC3) for a Wine Company in Chile. Informacion Tecnologica. 2013;24(4):3–14.
[8] Magazoni F, Monteiro JB, Cardemil JM, Colle S. Cooling of Ethanol Fermentation Process Using Absorption Chillers. International Journal of Thermodynamics. 2010;13(3):111–8.
[9] Escobar R, Pino A, Cortés C, Bueno E, Ramos F, Cardemil JM. Solar energy resource assessment in Chile: Satellite estimation and ground station measurements. Renewable Energy. 2015;71(2014):324–32.
[10] Cardemil JM, Escobar R, Quiñones G, Cortés C, Pino A, Häberle A, Tenreiro C. Combined Generation of Heat and Cooling for a Winemaking Process Using a Solar-Assisted Absorption Chiller. Solar World Congress Proceedings. 2015.
[11] GeoModel-Solar, 2015. SolarGIS climData ©. Bratislava, Slovakia.
[12] TRNSYS, 2012. Transient System Simulation program TRNSYS.
[13] McMahan A., Klein SA., Reindl DT. A Finite-Time Thermodynamic Framework for Optimizing Solar-Thermal Power Plants. J. Sol. Energy Eng. 2007; 129, 355. doi:10.1115/1.2769689
[14] Python Software Foundation. Python Language Reference, version 2.7. Available athttp://www.python.org
[15] Zeiler M, Podesser E, Dermouz H, Enzinger P, Gunczy S, Lauer M, Padinger R, Wenzel A. Sustainable energy supply of an Austrian winery based on solar and biomass driven micro CHCP.
[16] Bejan A, Tsatsaronis G, Moran M. Thermal Design & Optimization. John Wiley & Sons. 1996.