

OPORTUNIDAD DE COGENERACIÓN EN LA INDUSTRIA CERÁMICA DE BRASIL – ESTUDIO DE CASO CON SECADO DE ARCILLAS POR VÍA SECA PARA BALDOSAS CERÁMICAS

⁽¹⁾ L. Soto Messias, ⁽²⁾ J. F. Marciano Motta, ⁽³⁾ H. Barreto Brito

⁽¹⁾ FIGENER Engenheiros Associados S.A.

⁽²⁾ IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

⁽³⁾ COMGAS – Companhia de Gás de São Paulo.

RESUMEN

En este trabajo se consideraron dos alternativas (generador turbo y motor) usando gas natural como aplicación de Cogeneración Termoeléctrica (CHP) en comparación con un calentador de aire convencional en un proceso de secado artificial para la materia prima mediante un proceso vía seca para baldosas.

Al considerar el proceso de secado y su influencia en la materia prima, los estudios y ensayos llevados a cabo en los laboratorios con muestras de arcilla se centraron en investigar la temperatura más adecuada de los gases de secado y el tipo de secadero a usar con el fin de mantener las mejores propiedades en la arcilla tras el proceso de secado.

Al considerar unas cuantas aplicaciones de CHP en la industria del sector cerámico en Brasil, el estudio ha demostrado la viabilidad de las oportunidades de cogeneración como una forma eficiente de usar el gas natural para complementar a la energía hidroeléctrica para atender al incremento de la demanda de energía eléctrica en el país, en contraste con las plantas eléctricas centrales.

Ambos aspectos suponen una visión innovadora de las industrias en los clústeres cerámicos más importantes en las Américas, que alcanzan una producción de 300 millones de metros cuadrados anuales.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El escenario energético en Brasil.

En Brasil, más del 80% de la capacidad de energía eléctrica ya instalada en el país se genera por medio de la energía hidráulica. En estos últimos años el proceso de aumento de la capacidad de generación, reduciendo la dependencia del país de la energía hidráulica, comenzó con la introducción de subastas en línea para que se pudieran generar y proveer nuevas capacidades en un plazo de tres a cinco años, lo que excluye nuevos proyectos de energía hidráulica.

Una tecnología de cogeneración de potencia eléctrica y calor (CHP) - es decir, generando a la vez electricidad y calor - resulta una de las formas más sencillas de usar el combustible primario de forma eficiente, y de reducir las emisiones de CO₂. Debido a que el suministro de calor a grandes distancias es algo complejo, la cogeneración a menudo da como resultado soluciones de energía repartidas, sin embargo, también se pueden operar pequeñas plantas distribuidas a lo largo de un área de grandes dimensiones como proveedores de energía de pico, estabilizando de esta forma la red de suministro.

Según BERG y NOGUEIRA (1996), la viabilidad de CHP en Brasil tiene alguna variabilidad, en función de la legislación específica y de los costes energéticos relativos, lo cual constituye una cierta dificultad en cuanto a la expansión deseada.

En el pasado, ha habido algunas dificultades para garantizar el suministro de gas; sin embargo, esta situación está cambiando rápidamente, con la puesta en marcha de mecanismos que puedan garantizar el suministro rápido y seguro del gas a las industrias basándose en políticas energéticas.

Sin embargo, hasta ahora, sólo hay unas cuantas aplicaciones de CHP en Brasil. La última de ellas es una instalación basada en turbinas de gas natural (ISO 4.500 kWe) en la empresa PAMESA. La planta industrial está ubicada en la Región Norte en una ciudad de Cabo de Santo Agostinho cercana al área metropolitana de Recife. Es una aplicación convencional del esquema CHP en Atomizador, y exporta parte de la energía producida a la red.

2. LAS INDUSTRIAS CERÁMICAS EN BRASIL

A pesar de la crisis económica internacional de 2008, la producción de baldosas en Brasil alcanzó la cifra de 713 millones de metros cuadrados dándole al país el estatus de segundo productor a nivel internacional. Para el año 2009 se prevé una misma producción, con una previsión de crecimiento de más del 5% para el año que viene, debido a la expansión de la demanda interna. El proceso de producción es de dos tipos: en seco y en húmedo, de acuerdo con los medios de molturación de la materia prima: procesos en seco y en húmedo.

El polo de fabricación cerámica de Santa Gertrudes, localizado en el Estado de São Paulo (figura 1), al sudeste de Brasil, produce más de 300 millones de metros cuadrados de baldosa anuales en, aproximadamente, 40 unidades de fabricación.

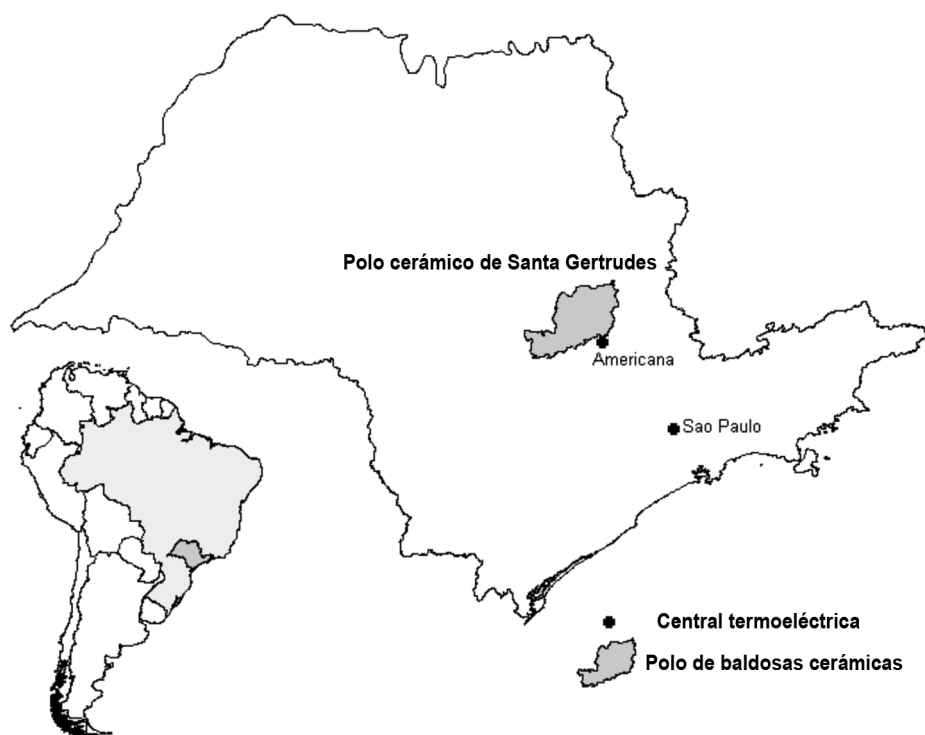


Figura 1. Localización geográfica de Santa Gertrudes.

Las principales características de las baldosas producidas en Santa Gertrudes son las del proceso en seco: el soporte cerámico tiene un color rojizo, una absorción de agua de entre el 6 y el 10% (tipo BIIb) y una superficie esmaltada. La fabricación a través del proceso en seco se hace por medio de una única materia prima (la arcilla), usada en la composición del soporte. Este material procede de las rocas arcillosas de la cuenca del río Paraná, una cuenca sedimentaria intracratónica del Fanerozoico, que abarca una superficie de 1.100.000 kilómetros cuadrados en el sur del Brasil, y 100.000 kilómetros cuadrados tanto en Uruguay, como en Paraguay y en Argentina. En la región del polo de Santa Gertrudes, las rocas arcillosas usadas como materia prima en la fabricación de soportes para baldosas se encuentran en la Formación Pérmica de Corumbataí (Pc). Se trata de una capa poco profunda de hasta unos 130 metros de espesor de sedimento marino rojizo que contiene arcillitas, limolita, pizarra, y arenisca fina. Los minerales principales en estas rocas arcillosas son la illita, con cantidades pequeñas de esmectita y caolinita; y cuarzo, feldespato, hematita e hidróxidos de hierro. Los óxidos principales presentes en la composición y sus composiciones químicas aproximadas son: SiO_2 (67%), Al_2O_3 (15%), Fe_2O_3 (5%), K_2O (3-4%), Na_2O (0.5%) y CaO (0,5%).

La minería se lleva a cabo mediante métodos de explotación al aire libre tradicionales que incluyen las fases típicas de desbroce de la vegetación (campos de caña de azúcar) y arranque, seguido de voladura o raspado (dependiendo de la

duresa de la roca), usando bancos simples o múltiples. El mineral, en forma de piedras o guijarros, se carga en camiones y se transporta como producción en bruto hasta acopios de meteorización en el exterior, o bien a una trituradora primaria, para ser llevado a continuación a terrazas en el exterior para su mezclado, reducción del tamaño de grano, homogeneización y secado al sol.

Sin embargo, los trabajos en el exterior para el secado generan una gran cantidad de polvo que se libera a la atmósfera y hacia las alcantarillas, perjudicando tanto el aire como la calidad del agua. Para reducir esta contaminación, la agencia medioambiental local ha establecido toda una serie de restricciones para este método de secado.

En una búsqueda de alternativas técnicas y medioambientales, el estudio llevado a cabo y presentado aquí trata de una aplicación CHP para el secado de la arcilla en un ambiente interior en vez de hacerlo al aire libre. Esta aplicación CHP no es usual, y su resultado aún es objeto de análisis.

Las objetivos principales de este estudio han sido:

- Investigar en el laboratorio los límites de temperatura para el proceso de secado artificial para salvaguardar las propiedades de la arcilla, sobre todo las relacionadas con la plasticidad y la resistencia mecánica en crudo;
- Sobre la base de los trabajos llevados a cabo en el laboratorio, diseñar un secadero convencional y conjugado y alternativas CHP, para una planta típica cerámica, teniendo en cuenta los aspectos locales y los costes energéticos relacionados;
- Estimar los costes implicados en el nuevo proceso de secado de arcilla en relación con este método, y sus efectos sobre los impactos medioambientales; y
- Facilitar una base para la evaluación gubernamental, como por ejemplo las ventajas y desventajas de la generación de energía eléctrica CHP in situ en comparación con la generación fuera del sitio usando gas natural.

3. CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES EN EL SECADO NATURAL

El proceso actual de secado de arcilla en Santa Gertrudes se muestra de forma simplificada en el diagrama de flujo de la figura 2. A pesar de que se usa el sol como fuente principal de energía, se consume mucho gasóleo para los trabajos en terraza abierta y en el proceso de transporte. Los movimientos intensivos de materia prima en estas operaciones implican costes elevados, y una contaminación del aire y del agua en las inmediaciones de los sitios en los que se opera.

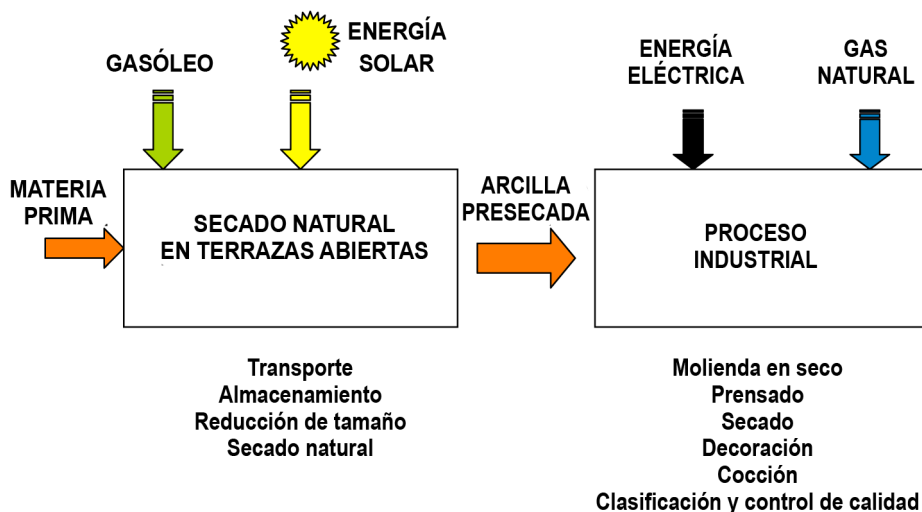


Figura 2. Diagrama de flujo de la situación actual.

4. LAS ALTERNATIVAS DE SECADO FORZADO

Para intentar remplazar el secado natural, algunas industrias han adoptado un sistema de secado convencional. En los dos casos analizados, se usaron dos tipos de secaderos rotatorios en los que se introduce el agente de secado a una temperatura entre 300°C y 400 °C. En ambos casos, se han podido observar algunos cambios en las propiedades de la arcilla. Por tanto, la solución que han adoptado los productores ha sido aplicar un límite del 50% de esta arcilla secada de forma artificial en la composición total de la arcilla.

En este estudio, se han llevado a cabo numerosos ensayos de laboratorio para investigar el comportamiento de la arcilla bajo temperaturas de secado distintas para definir la temperatura máxima sin pérdidas de plasticidad significativas. Como ejemplo, la figura 3 muestra una disminución de la resistencia mecánica del soporte cerámico secado a temperaturas superiores, de dos muestras de arcilla en la región de Santa Gertrudes.

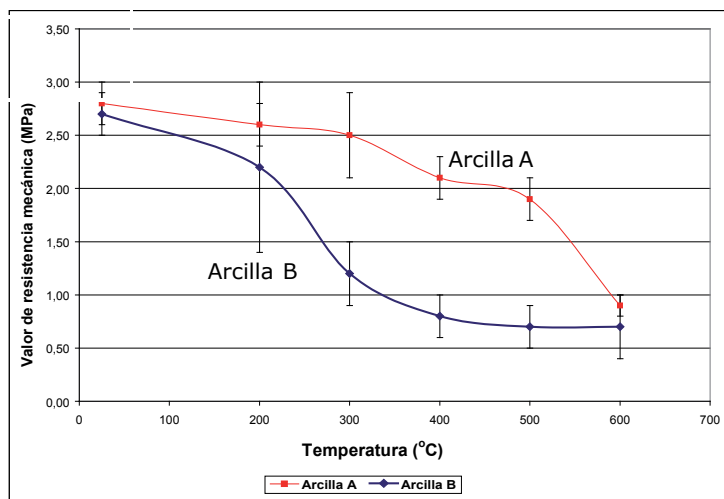


Figura 3. Resistencia mecánica en función de la temperatura del aire de secado para distintas arcillas.

El valor de resistencia ha sido uno de los parámetros más importantes considerados a la hora de realizar una evaluación de la mejor temperatura de secado. Se estableció una temperatura algo por debajo de los 250°C para proporcionar una cierta eficacia al proceso y para conservar las características peculiares de la arcilla en la fase de prensado en seco. Teniendo en cuenta estos resultados, el proceso de secado debe de realizarse a una baja temperatura y con un tiempo de permanencia corto, en la que la aplicación del secadero de tipo cámara “secadero rápido” (figura 4) debería de presentar un rendimiento mejor que el secadero rotatorio de tipo convencional.

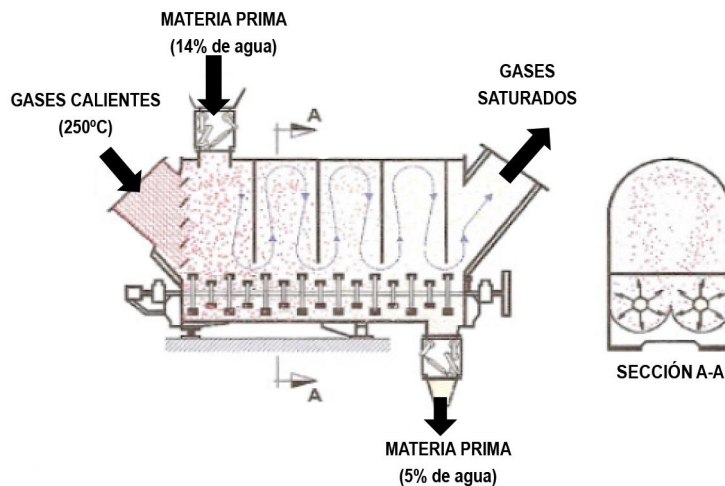


Figura 4. El “Secadero Rápido”.

En este estudio, se han utilizado dos unidades de “secadero rápido” para realizar la instalación típica, como ejemplo, para una producción de 1,65 millones de metros cuadrados de baldosas al mes.

5. SISTEMAS DE SECADO CONVENCIONALES

Para estudiar una aplicación para un caso típico, se han considerado los siguientes parámetros con la finalidad de especificar la capacidad de procesamiento para la planta de presecado: 59 metros cuadrados de baldosa/t de arcilla; 550.000 metros cuadrados/mes; producción de arcilla seca: 31,25 t/h (capacidad nominal: 40 t/h).

A pesar de los distintos tipos de arcilla en la región, se adoptaron los siguientes valores para realizar el mejor cálculo posible: contenido de agua en una arcilla natural: 15%; agua en una arcilla secada: 5%, que da como resultado 4000 kg/h de caudal de agua evaporada. Considerando un 81% de rendimiento termodinámico de secado, y un consumo específico de energía de: 1000 a 1200 Kcal/kg de agua evaporada, que es típica de secaderos a una temperatura de aire de 250 oC, da como resultado una capacidad calorífica máxima de 4,8 Gcal/h (5,58 MW), y un caudal de 63.000 kg/h de gases de secado.

Como referencia para comparativas, se ha considerado un sistema de secado convencional usando un horno (cámara de combustión) para producir gases calientes por cocción directa con gas natural tal y como se ilustra en la figura 5. En este caso, la capacidad nominal del horno es de 7,63 MW.

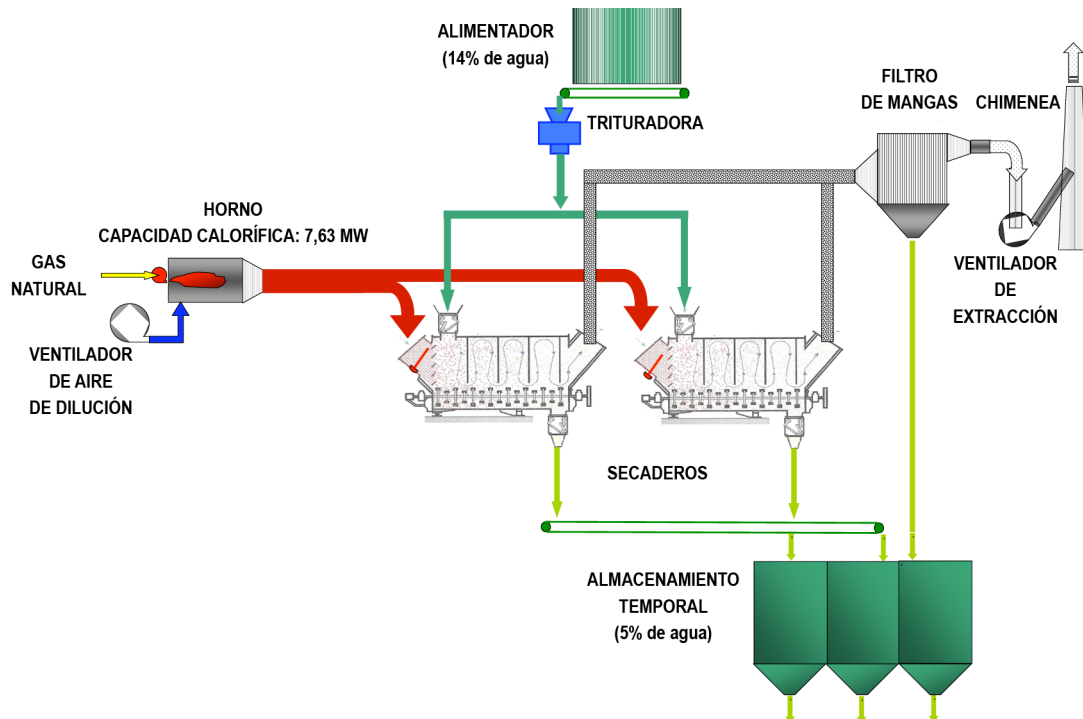


Figura 5. Sistema convencional para el secado forzado.

6. ESQUEMAS PARA LA APLICACIÓN CHP

En el diagrama de flujo de la figura 6 se considera que el CHP suministra las demandas de energía eléctrica y térmica para el secado de arcilla de forma forzada en ambientes cerrados; parte de la energía eléctrica se exportará a las instalaciones industriales, en algunos casos situadas cerca, o se enviarán a una red eléctrica. Dependiendo de la opción, motores o turbinas, el excedente de energía debería de exportarse a la red de suministro externa.

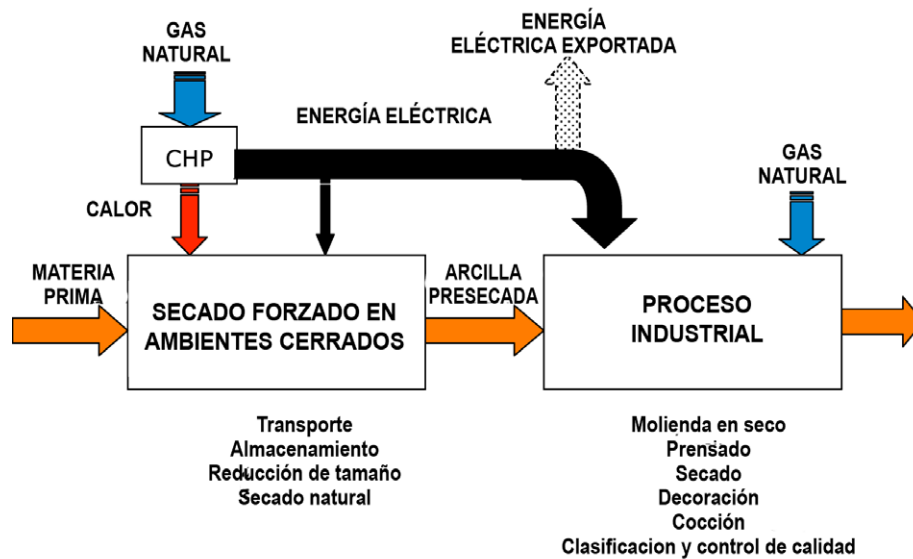


Figura 6. Diagrama de flujo simplificado de la alternativa CHP.

En la figura 7 el sistema considera tres motores recíprocos con potencia nominal (cada uno de 2 MWe) suficiente para suministrar gases calientes a dos secaderos. Los gases emitidos deben de ser también diluidos con aire fresco para controlar la temperatura de secado a 250 °C en la entrada de los secaderos.

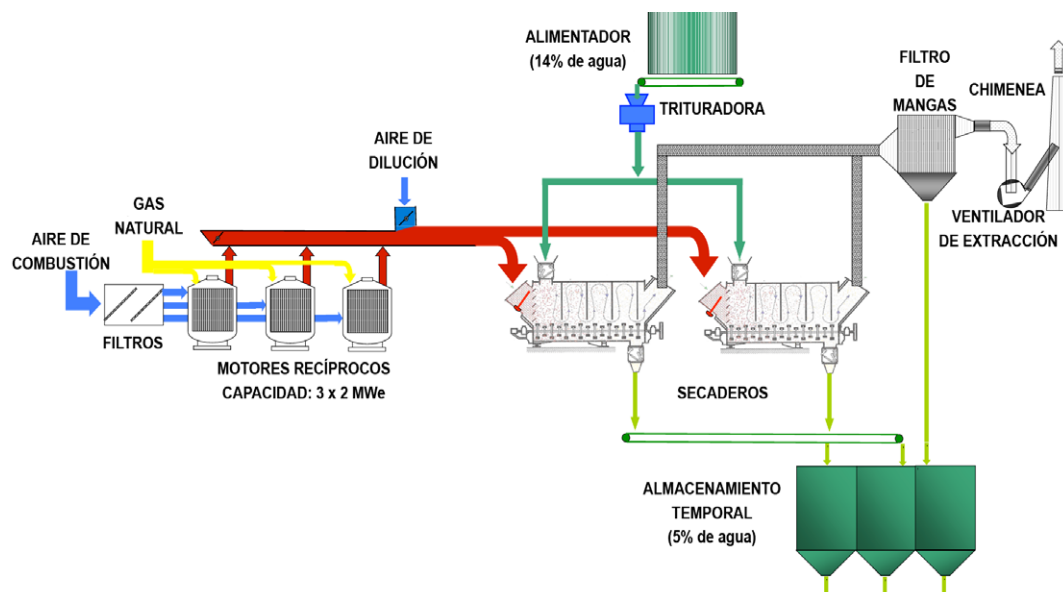


Figura 7. Esquema CHP con la utilización de motores.

En la figura 8 el sistema considera un conjunto generador turbo (compresor de aire y turbina), con una potencia nominal de 3 MWe, suficiente para suministrar gases calientes a dos secaderos. Los gases emitidos deben de ser también diluidos con aire fresco para controlar la temperatura de secado especificada.

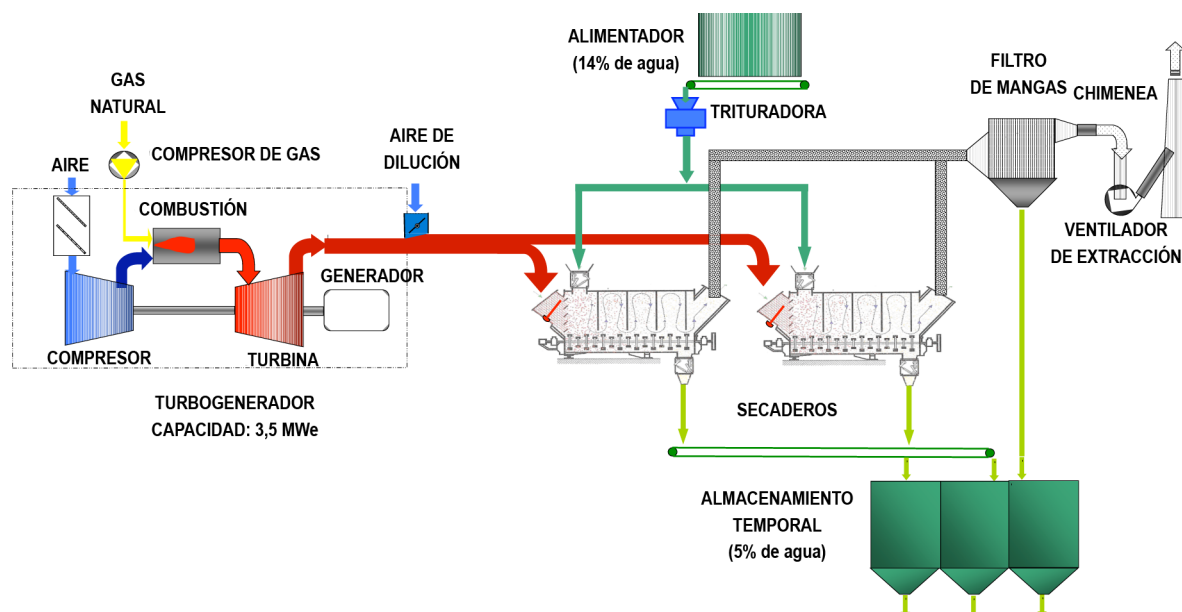


Figura 8. Esquema CHP con la utilización de un generador turbo.

7. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS

El siguiente análisis considera las tres alternativas teniendo en cuenta la relación calor y potencia eléctrica, y los parámetros económicos para la inversión. Para obtener la misma energía térmica, la energía instalada debe de ser muy diferente como resultado de las diferencias relación calor/trabajo existentes entre ambas alternativas CHP. Estas cifras se estiman para una planta típica y para 1.650.000 metros cuadrados al mes.

		HORNO	CHP	
			MOTOR	TURBINA
TOTAL	KW	5.140	10.495	7.915
ENERGÍA TÉRMICA	KW	5.140	5.140	5.140
	%	100	49,0	64,9
ENERGÍA ELÉCTRICA	KW	-	4.078	2.142
	%	-	38,8	27,0
CALOR/TRABAJO	-	-	1,26	2,40

Tabla 1. Relación potencia calorífica y eléctrica.

		SECADO NATURAL	SECADO FORZADO		
			HORNO	CHP	
				MOTOR	TURBINA
Consumo específico de GN.	Nm³/m²	1,00	1,19	1,37	1,28
Liberación de energía total	KW	-	5.396	10.495	7.915
Energía térmica	KW	-	5.140	5.140	5.140
Energía eléctrica	KW	-	-	4.078	2.142
Demanda eléctrica	KW	2.842	3.197	-	1.054
Economía	US\$/año	-	346.542	3.600.770	1.233.025
Inversión	US\$	-	1.975.512	4.962.653	4.564.780
Tasa de amortización interna	%	-	15,53	72,54	26,19

Producción: 1.650.000 m²/mes.

Gas natural = 0,4098 US\$/Nm³ (normal); 0,3774 US\$/Nm³ (sólo para cogeneración); electricidad = 5,14 US\$/KW; 0,1249 US\$/KWh.

Tabla 2. Análisis económico.

8. EL IMPACTO DE CHP EN DISTINTOS ESCENARIOS

En la actualidad, existen algunas limitaciones en los sistemas de distribución eléctrica cerca de Santa Gertrudes. Hay una expectativa de crecimiento económico que incrementará rápidamente el mercado interno de baldosas, presionado sobre la demanda de gas natural. De todas formas, también hay expectativas en torno a un incremento substancial de la producción de gas cerca de la zona costera. Teniendo en cuenta la necesidad de complementar la generación de energía basada en la producción hidroeléctrica con el gas natural, para atender la demanda de energía, es muy importante tener en cuenta las aplicaciones CHP.

Basándonos sólo en las cifras de Santa Gertrudes, y considerando un incremento de la producción que se estima en 378 millones de metros cuadrados de baldosas al año, se presentan algunos valores del gas natural y del consumo de energía eléctrica en las tablas 3 y 4, que contemplan distintas situaciones: la presente (secado natural), horno (secado forzado convencional) y ambas alternativas de CHP (motor y turbina).

Con un motor alternativo, el valor negativo representa la posibilidad de exportar a la red eléctrica externa del Estado de São Paulo. Las opciones de turbina representan una reducción del 63% de la demanda de energía eléctrica de la red.

		SECADO NATURAL	SECADO FORZADO		
			HORNO	CHP	
				MOTORES	TURBINA
Producción anual	10 ⁶ m²	378	378	378	378
Consumo específico	Nm³/m²	1,00	1,19	1,37	1,28
Consumo de gas natural	Nm³/día	1.0035.616	1.233.589	1.420.640	1.325.984
Demanda eléctrica de la red de suministro	MW	54,25	61,03	-17,51 (*1)	20,12

(*1) Energía eléctrica exportada a la red de suministro.

Tabla 3. Previsión de energía para Santa Gertrudes.

La Tabla 4 presenta el consumo total de gas natural en el Estado de São Paulo considerando las tres alternativas para atender a la demanda de energía eléctrica de las industrias del polo de Santa Gertrudes. Para estimar el consumo de gas natural en las plantas de energía centrales se consideran tres alternativas: la energía eléctrica generada en una planta termoeléctrica localizada en Americana muy cerca de Santa Gertrudes (ver la figura 1), alimentada con gasóleo pesado (rendimiento 21%). La segunda situación considera una reconversión en la misma planta alimentada con gas natural (rendimiento = 35%). La tercera considera la demanda de energía eléctrica suministrada por una planta termoeléctrica central localizada en São Paulo, alimentada con gas natural (rendimiento = 55%), a 180 km de distancia de Santa Gertrudes (ver figura 1).

			SECADO NATURAL	SECADO FORZADO		
				HORNO	CHP	
					MOTORES	TURBINA
Demanda eléctrica de la red de suministro		MW	54,25	61,03	-17,51	20,12
AMERICANA (gasóleo) (*1)	Rendim. térmico	%	21			
	Consumo de combustible	Nm³/día	1.605.664	1.874.834	1.236.671	1.537.406
AMERICANA (GN)	Rendim. térmico	%	35	35	35	35
	Consumo de combustible	Nm³/día	1.375.947	1.616.426	1.310.306	1.452.207
S. PAULO	Rendim. térmico	%	55	55	55	55
	Consumo de combustible	Nm³/día	1.252.190	1.477.212	1.350.746	1.406.308

(*1) Consumo equivalente energético gasóleo/GN;

Tabla 4. Consumos totales de gas natural.

Considerando el factor de máximo rendimiento para la generación central, el uso de generación eléctrica local por medio de motores con la alternativa CHP representa un ahorro económico de 126.466 Nm³/día (8,6%) en comparación con la alternativa del un horno convencional.

9. CONCLUSIONES

El polo cerámico de Santa Gertrudes, en el Estado de Sao Paulo, Brasil, produce más de 300 millones de metros cuadrados de baldosas y azulejos, basadas al 100% en una pasta cerámica de arcilla. La arcilla se seca por medio de un proceso natural, bajo el sol, pero esto está trayendo problemas medioambientales debido a la emisión de partículas muy finas a la atmósfera y al agua, además de los costes de equipos y de combustible. Este estudio ha evaluado algunos parámetros técnicos y económicos para introducir métodos de secado artificial, algunos de ellos como proceso innovador para reducir la humedad natural de las arcillas (en torno a un 15% en peso.) y hasta el 5%, para alcanzar las condiciones deseables para la molturación vía seca. La preparación del polvo por vía seca es una solución típica y barata para las baldosas de Santa Gertrudes. Algunas conclusiones importantes son:

- Es posible remplazar el sistema de secado actual natural por un sistema artificial, pero han de observarse algunas precauciones como: la temperatura del agente de secado no debe de exceder 250 oC y se recomienda un ciclo de secado corto;
- Algunas alternativas que combinan procesos y equipamiento son viables desde un punto de vista económico y técnico, pero se podrían apreciar ventajas adicionales con el uso de CHP, sobre todo basados en el motor.
- Del consumo total de energía, la energía eléctrica de una planta de gas natural debería de tener más ventajas en la cogeneración local, como este CHP para el secado de las arcillas, que una planta termoeléctrica centralizada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren agradecer al equipo técnico y de gestión de COMGAS por la publicación de este trabajo, al equipo de investigadores y técnicos de IPT – Instituto de Investigación Tecnológica y a UFSCar – Universidad Federal de São Carlos y al equipo de gestión de las industrias Incefra – Indústria Cerâmica Fragnani Ltda y Cerâmicas Triunfo Ltda por los esfuerzos dedicados a hacer posible este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] BERG, E. A. T.; NOGUEIRA, L. A. H.; Cogeração na Indústria Cerâmica; Cerâmica Industrial, 01, julio/agosto, 1996.
- [2] LORA, E. E. S.; HADDAD, J.; Geração Distribuída – Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais, Editora Interciência, 2006.