

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA Y CONFIABILIDAD OPERATIVA EN LA PRODUCCIÓN DE GASES DEL AIRE*

*Daniel Eduardo Parodi¹
Eduardo Luis Corra²
Manuel De Luca³*

Resumo

Para acompañar el plan de aumento de producción de slabs de Siderar, fue necesario proyectar una nueva unidad separadora de aire para incrementar la generación de oxígeno, nitrógeno y argón. La premisa que direccionó este proyecto fue la integración y sinergia de la nueva unidad con el sistema de la Central Termoeléctrica y Altos Hornos, con el objetivo de salvar condicionamientos, obtener beneficios energéticos y aumentar la confiabilidad operativa. Como resultados de esta línea de trabajo se espera: Optimizar el aprovechamiento de gases de proceso, mejorando así el balance energético y la ecuación económica en la producción de los gases industriales; Mejorar el aspecto ambiental disminuyendo el quemado de gases en antorcha, reduciendo el consumo de combustibles fósiles y la compra de energía eléctrica; y aumentar la confiabilidad en el suministro de gases y del sistema de aire soplado a Altos Hornos.

Palavras-chave: Generación gases del aire; Aprovechamiento gases de proceso; Aire soplado altos hornos.

ENERGETIC OPTIMIZATION AND OPERATIONAL RELIABILITY IN AIR GASES PRODUCTION

Abstract

In order to accompany the plan to increase the production of slabs of Siderar, it was necessary to project a new air separation unit to generate more oxygen, nitrogen and argon. The fundamental premise of this project was the integration and synergy of the new unit with the Power Plant and Blast Furnace, in order to save constraints, obtain energetic benefits and increase operational reliability. As a result of this line of work, it is expected: Optimize the use of process gases, improving the energy balance and the economic equation in the production of industrial gases; Improve the environmental aspect decreasing gas burning torch, reducing the consumption of fossil fuels and electricity purchase; and increase the reliability of gas supply system and air blown to Blast Furnace.

Keywords: Generation of air gases; Process gas utilization; Air blown blast furnace.

¹ *Project Manager, Ingeniero Mecánico, Ternium Siderar S.A., San Nicolás, Argentina.*

² *Tecnólogo Proyecto Industrial, Ingeniero Electricista, Ternium Siderar S.A., San Nicolás Argentina.*

³ *Project Manager, Ingeniero electricista, Air Liquide S.A., San Nicolás, Argentina.*

1 INTRODUCCION

Ternium Siderar proyectó un “Plan de Ampliación” de su Planta Siderúrgica Integrada de San Nicolás Argentina, para incrementar la producción de slabs.

Este plan involucra el aumento en la producción de la planta de Coque, Altos Hornos, Convertidores y Colada Continua.

La actual planta de generación de gases del aire está en su límite de capacidad, resultando indispensable proyectar el aumento en la generación de aire comprimido, oxígeno, nitrógeno y argón para acompañar el “Plan de Ampliación”.

Situaciones de contorno que direccionaron el proyecto:

- La alternativa de suministrar los gases faltantes mediante la vaporización de líquidos es costosa, de confiabilidad limitada y poco sustentable para futuros crecimientos
- La planta actual no sólo está al límite de su capacidad sino además no posee equipamiento de back up que permita hacer un mantenimiento adecuado
- El sistema eléctrico de Siderar está al límite en su capacidad de generación propia y presenta restricciones para adquirir EE de la red pública
- El aumento en la producción de Coquería y Altos Hornos genera excedentes de gases de proceso no aprovechables en la instalación existente
- Las calderas de Siderar poseen capacidad remanente para generar vapor
- El sistema de aire soplado a Altos Hornos no posee back up caliente para asistirlos en caso de parada intempestiva de los sopladores de aire.

Con este marco técnico el proyecto se diseñó de manera de salvar los condicionamientos y maximizar el aprovechamiento de las potencialidades, con el objetivo de optimizar el balance energético, mejorar el aspecto ambiental y aumentar la confiabilidad operativa del sistema.

La base de la solución fue el aprovechamiento de los gases excedentes para generar vapor en la capacidad ociosa de las calderas para sustituir consumos de energía eléctrica. El proyecto se ejecutó conjuntamente con la empresa Air Liquide que posee el contrato de suministro de gases del aire a Siderar.

2 INSTALACIONES Y PROCEDIMIENTOS

2.1 Planta Actual de Generación de Gases del Aire

La planta de gases industriales ha tenido sucesivas ampliaciones acompañando las etapas de crecimiento de Siderar, llegando a la configuración actual que permite suministrar:

- Oxígeno: 1.880 tn/día
- Nitrógeno: 900 tn/día
- Argón: 18 tn/día
- Aire comprimido para red de planta: 23.000 Nm³/h



Fig.1 Evolución crecimiento de planta de gases del aire

La tecnología de la planta actual parte de la compresión del aire a 5 kg/cm² con compresores eléctricos y produce los gases a baja presión, siendo necesario comprimirlos a las distintas presiones de utilización. Además de haber llegado a su límite en capacidad de producción, ya no dispone de equipos de backup, complicando los mantenimientos mayores y afectando la confiabilidad operativa con riesgo de interrupciones de alto impacto productivo.

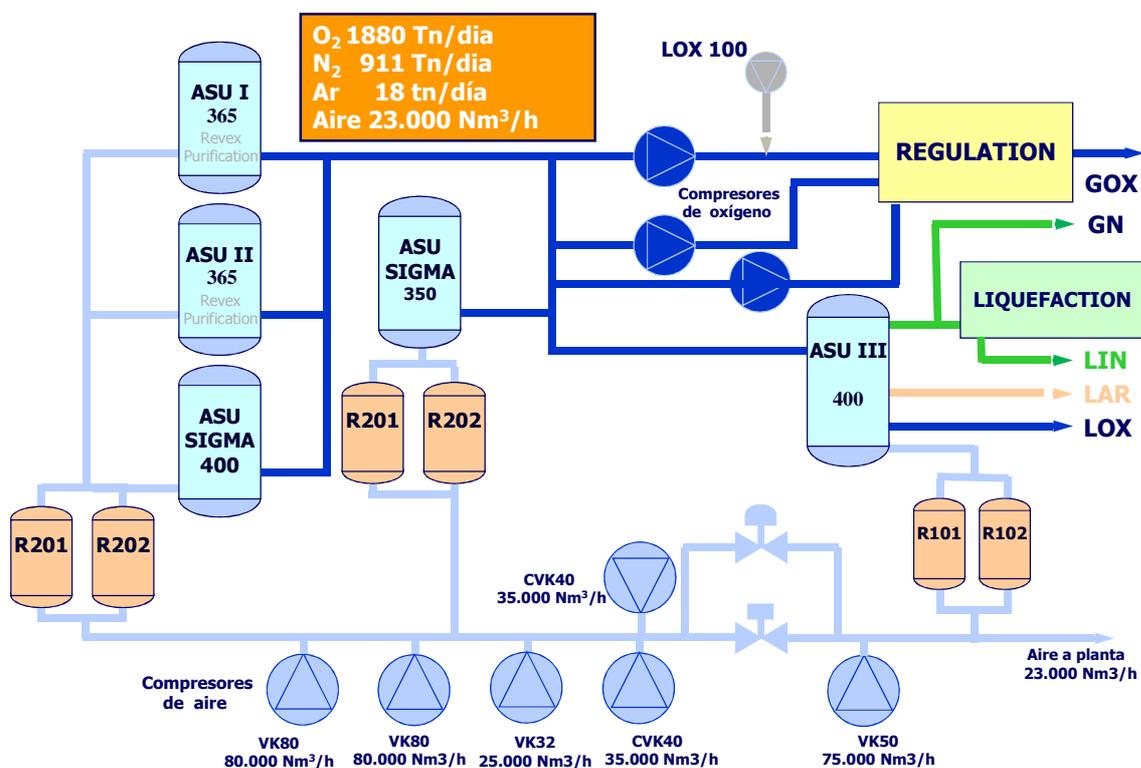


Fig.2 Esquema actual de la planta sustentada en compresores eléctricos

2.2 Requerimientos Futuros de Gases del Aire

Siderar tiene un plan de ampliación en curso que llevará la producción de Slabs de los actuales 2,8 millones de tn/año a 3,5 en una primera etapa y 4,0 MMtn/año en un paso posterior. Este plan involucra como inversiones principales:

- la ampliación de Coquería y su planta de Subproductos
- el incremento en la producción de los Altos Hornos
- aumento de producción en Convertidores y la instalación de una segunda máquina de Colada Continua de planchones.

Para acompañar este crecimiento resulta indispensable ampliar la planta de separación de gases. Las capacidades requeridas para 3,5 MMtn/año son:

REQUERIMIENTO	PRODUCCION SLABS		Adicionales Nueva Planta
	2,8 MMtn/año	3,5 MMtn/año	
Oxígeno	1.880 TPD	2.200 TPD	790 TPD
Nitrogeno	900 TPD	1100 TPD	900 TPD
Argon	18 TPD	27 TPD	20 TPD
Aire comprimido	23.000 Nm3/h	45.000 Nm3/h	28.000 Nm3/h

Esta ampliación se proyectó de un modo no convencional, buscando la mayor integración con el sistema de gases de proceso, la central de generación de energía y el sistema de aire soplado a Altos Hornos. Veremos a continuación características básicas de los sistemas involucrados.

2.3 Configuración de la Central Termoeléctrica/Servicios de Energía

La Central Termoeléctrica administra la producción de vapor, energía eléctrica, aire soplado a Altos Hornos y distribución de gases de proceso.

2.3.1 Sistema de vapor

Tiene 4 calderas que en conjunto alcanzan una capacidad total de producción de 660 tn/h. El sistema se completa con 240 tn/h adicionales provenientes de una turbina de gas y su caldera de recuperación. **Actualmente las calderas tienen capacidad remanente para producir 250 tn/h.**

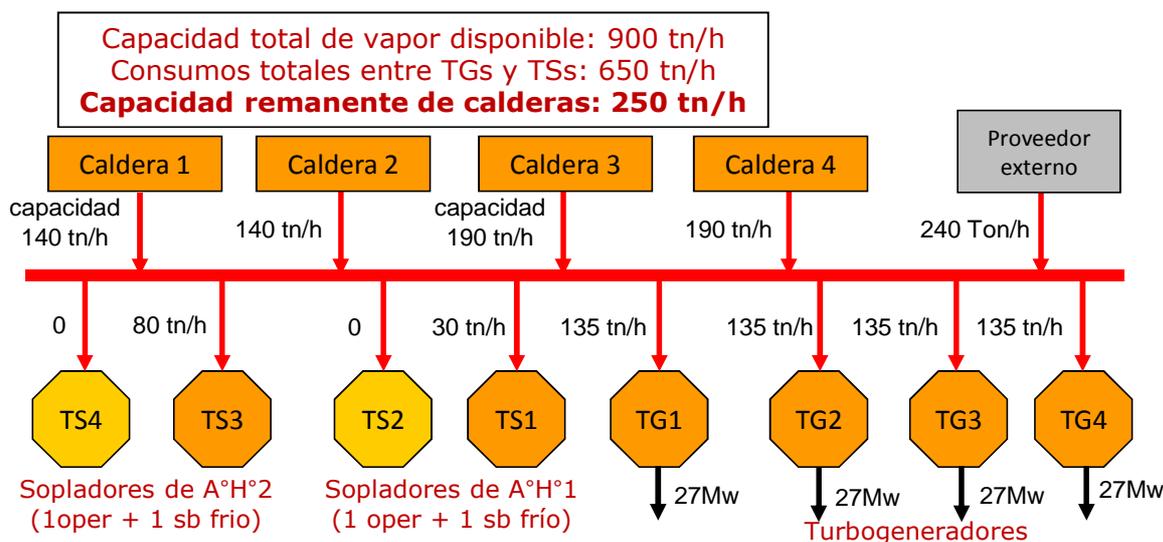


Fig.3 Esquema generación y consumos de vapor

2.3.2 Generación de energía eléctrica

La generación propia consta de 4 turbogeneradores alimentados desde la red de vapor, que generan en su conjunto 108 MW. Los consumos eléctricos de planta se complementan con la compra de aprox 50 MW adicionales. Este último valor está limitado por restricciones técnicas tanto de las estaciones transformadoras de Siderar como de la red pública. **Consiguientemente el crecimiento vía energía eléctrica es una restricción para el proyecto y una estrategia compleja y costosa.**

2.3.3 Aire soplado a altos hornos

Cada horno cuenta con dos turbosopladores uno en operación y el otro en stand by. Por ser accionados con turbina de vapor, el stand by requiere aprox 4 horas para entrar en operación, por lo tanto sólo es útil para cambios programados de máquina pero no son respuesta inmediata ante una parada intempestiva del equipo que está en servicio, con los consiguientes riesgos para el sostenimiento de la carga de los Altos Hornos.

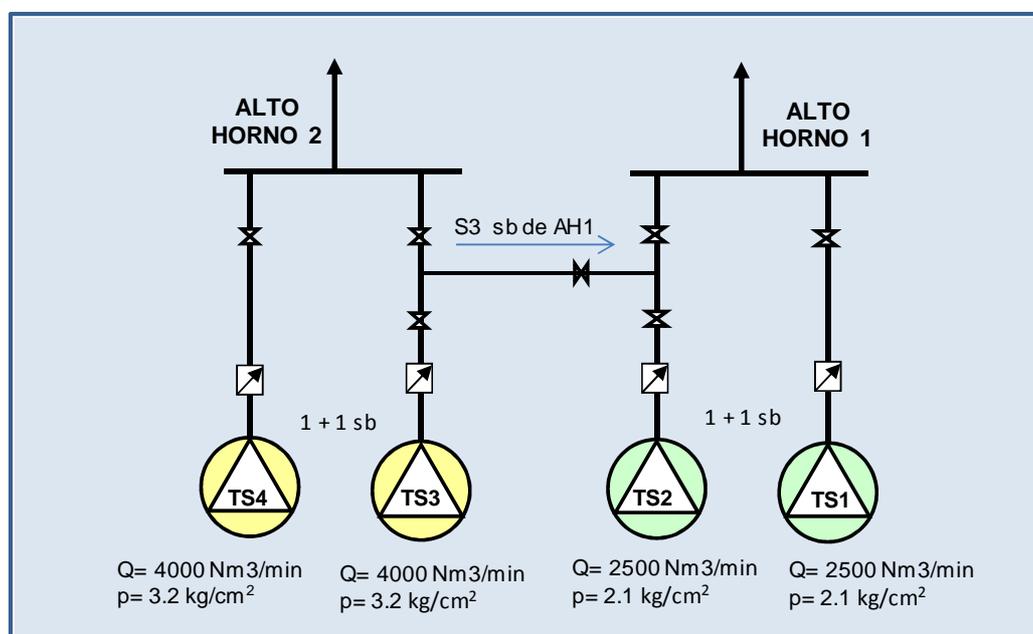


Fig.4 Esquema actual de generación de aire soplado a Altos Hornos

2.3.4 Sistema de gases de proceso

Con la producción actual, el sistema de gases de proceso está equilibrado. La totalidad de los gases generados son consumidos en las distintas instalaciones de planta, reduciéndose el excedente sólo al venteo mínimo técnico.

Con el aumento de producción de coquería y Altos Hornos producto del plan de ampliación, la mayor cantidad de gases generados no tienen posibilidades de ser utilizados en las instalaciones disponibles, traduciéndose en un venteo equivalente a 13 MW.

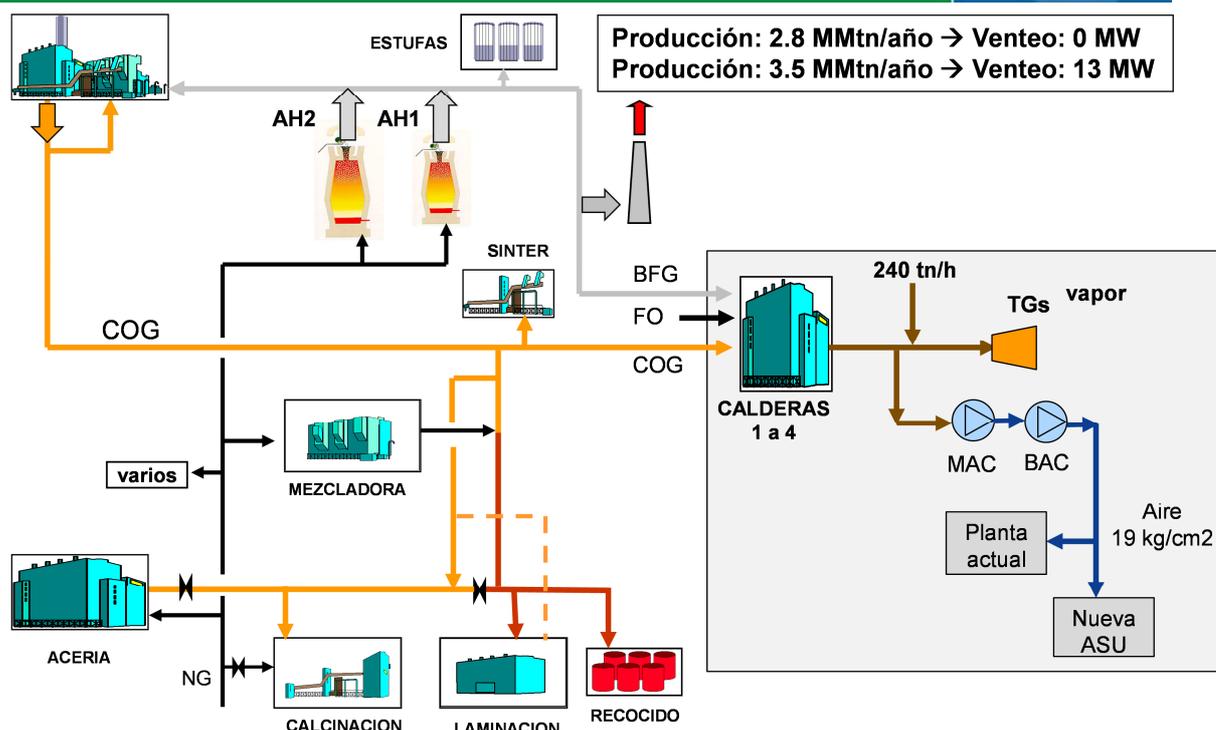


Fig.5 Sistema de gases de proceso

2.4 Configuración de la Solución

Teniendo en cuenta:

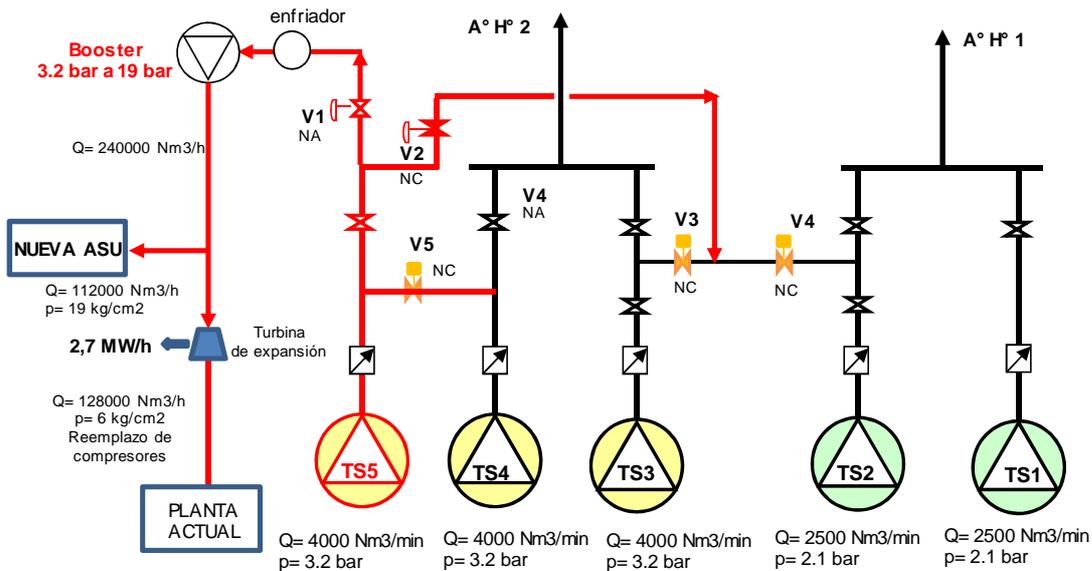
- las limitaciones para crecer en la generación de gases del aire por la vía eléctrica
- la disponibilidad de excedentes en gases de proceso
- la capacidad remanente de las calderas para producir vapor

Se optó por la siguiente solución técnica:

Comprimir el aire para la planta de destilación con compresores motorizados con turbinas de vapor en lugar de compresores eléctricos. La compresión por vía eléctrica consumiría 15 MW. El remplazo por vapor generado en la capacidad remanente de calderas, permite el aprovechamiento de los 13 MW equivalentes de gases de proceso excedentes.

La tecnología elegida para la ASU, requiere aire a 19 kg/cm². Esta compresión se realiza con dos turbosopladores en serie. El primero (MAC) comprime a 3,5 kg/cm², y el segundo compresor (BAC) toma el aire a esta presión y lo eleva a los 19 kg/cm² requeridos. Una particularidad buscada en esta configuración, es que la primera etapa de compresión se realiza con un turbosoplador de iguales prestaciones, en caudal y presión, que la del A°H°2 y superior a la del A°H°1. Este compresor (MAC) se interconecta con el sistema de aire soplado a altos hornos y mediante la conmutación de válvulas permite que en caso de producirse una parada intempestiva del soplador de cualquiera de los dos hornos, el MAC pasa a suministrarles aire evitando daños sobre los mismos.

Para esta operación de emergencia se han instalado válvulas de accionamiento rápido que permiten la conmutación en 10 segundos con el objetivo de evitar la caída de la carga. La interconexión permite además que los turbosopladores ya existentes de los Altos Hornos puedan utilizarse como reserva de la primera etapa de la ASU, mejorando consecuentemente la confiabilidad global del sistema.



El aire requerido para generar las 790 tn/día de oxígeno es 112.000 Nm³/h. La capacidad de MAC y BAC es 240.000 Nm³/h, quedando una disponibilidad remanente de aire de 128.000 Nm³/h. Este se enviará a la planta existente permitiendo parar compresores eléctricos, sustituyendo aprox 10 MW de EE. La reducción de presión de 19 kg/cm² a 5 kg/cm² para alimentar la planta actual se realiza en una turbina de expansión que permite generar 2,7 MW de EE.



Fig.7 Esquema aire comprimido situación actual – Producción de O₂: 1.880 Tn/día

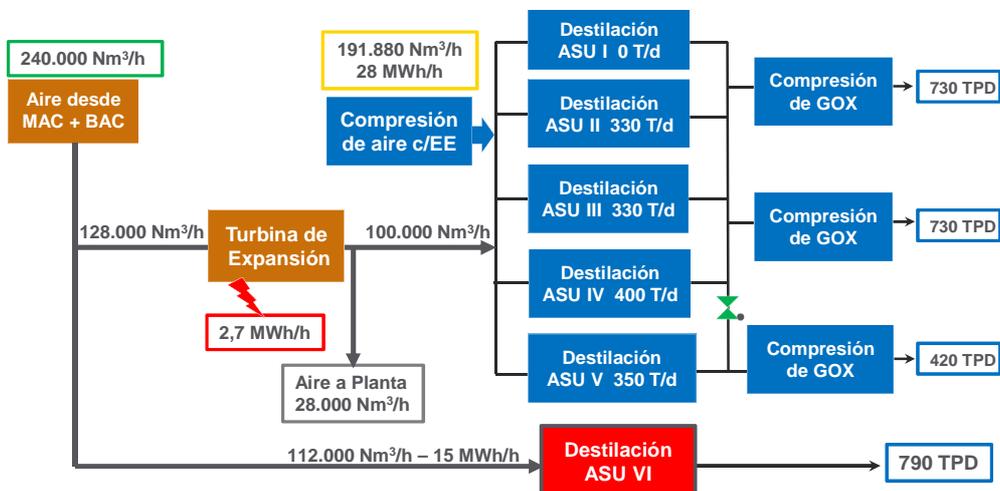


Fig.8 Esquema aire comprimido con nueva planta – Producción de O₂: 2.200 Tn/día

3 RESULTADOS ESPERADOS

La obra está en ejecución y se prevé la puesta en marcha para el último cuartil del año 2015, esperando obtener los siguientes resultados (evaluados para una producción de 3,5 MMtn/año):

3.1 Disminución del Consumo Eléctrico

La solución planteada utilizando vapor permite disminuir los requerimientos sobre un sistema eléctrico saturado y con altas restricciones para el crecimiento, en los valores indicados en tabla.

Tabla 1- Disminución consumo de energía eléctrica

	DISMINUCIÓN ENERGIA ELÉCTRICA MWH/h		
	SOLUCION ELÉCTRICA	SOLUCION VAPOR	DIFERENCIA
PLANTA ACTUAL	0	-10	10
PLANTA NUEVA	0	-15	15
TURBINA DE EXPANSIÓN	0	-2,7	-2,7
TOTAL	0	-27,7	-27,7

3.2 Ahorro por Utilización de Gases de Proceso

La solución vía vapor permite el aprovechamiento de BFG en un valor medio equivalente de 13 MWh, considerando el ahorro en los 7 meses de verano y 5 meses de invierno.

Tabla 2- Aprovechamiento de BFG en verano e invierno

Balance BFG [Mm ³ /d de GN equiv.]	Verano		Invierno	
Disponibilidad	1787	100%	1693	100%
Consumos	1468	83%	1533	86%
Baterías	264	14%	264	14%
AHS	454	24%	447	24%
CETE (TGs a 110 Mwh)	750	46%	822	48%
Venteo Técnico	71	4%	68	4%
Venteo/disponibilidad	248	13%	93	10%
Máximo BFG en hogar calderas CETE	905		873	
Consumo CETE sin nueva planta O2	750		822	
BFG Aprovechable en calderas	155		51	
	18 Mwh		6 Mwh *	
Máximo consumo Planta O2	26 Mwh		26 Mwh	
BFG Aprovechable en planta	18 Mwh		6 Mwh *	

* Recupero de 6 Mwh en invierno sólo cuando opera GDP. Se consideran 30 días de corte.

3.3 Beneficio Ambiental

Según se observa en tabla 2, la estrategia seguida evita el venteo de gas de Alto Horno en un valor medio a lo largo del año de 110 MNm³/d de Gas Natural equivalente (155 MNm³/día durante los 7 meses de verano y 51 MNm³/día los 5 meses de invierno).

Significa esto una importante contribución en el aspecto ambiental, al evitar el quemado de este gas excedente directamente a la atmósfera. Se reduce además el

consumo equivalente de combustibles fósiles y/o la compra equivalente de energía eléctrica.

3.4 Beneficios Económicos de la Solución Proyectada

En la Tabla 3 se muestra un ejercicio hecho comparando la alternativa de suministrar el oxígeno necesario para una producción de 3,5 MMtn/año de slabs:

- con la planta actual y suplementando el faltante con líquido
- con la planta nueva estrategia vapor

Tabla 3- Beneficio económico para una producción de 3,5 MMtn/año de slabs

		Verano (7 meses)			Invierno (5 meses)			Diferencia Total Año
		Sin Planta Nueva	Con Nueva Planta (1)	Dif.	Sin Planta Nueva	Con Nueva Planta (1)	Dif.	
Consumo O2	t/d	2168	2168		1965	1965		
Venteo	t/d	65	65		59	59		
Demanda O2	t/d	2233	2233	0	2024	2024	0	
Prod. Gaseoso	t/d	1880	2233	353	1880	2024	144	
Líquido	t/d	353		-353	144		-144	
Energía p/O2	Mwh/h	38	22	-16	38	33	-6	
Consumo E.E.	Mwh/h	38	14	-24	38	12	-27	
Consumo Vapor (2)	Mwh/h	0	26	26	0	26	26	
Aprovechamiento BFG	Mwh/h		-18	-18		-5	-5	
Precio O2 (AL)	us\$/t	31	20	-11	19	21	2	
Gaseoso (3)	us\$/t	8,8	9,8	1,0	8,9	9,7	0,8	
Fijo (4)	us\$/t		10,6	10,6		11,7	11,1	
Líquido	us\$/t	146		-146	146		-146	
Costo Total O2	MMus\$/a	29,1	18,0	11,2	16,2	15,4	0,8	
O2 Gaseoso	MMus\$/a	3,4	4,5	-1,1	2,5	2,9	-0,4	
O2 Fijo	MMus\$/a		4,9	-4,9		3,5	-3,5	
O2 Líquido	MMus\$/a	11,0		11,0	3,2		3,2	
Energía (5)	MMus\$/a	14,7	8,6	6,2	10,5	9,0	1,6	
Aire Nueva CCD (6)	MMus\$/a	0,5	0,4	0,1	0,4	0,3	0,1	
Precio Argon (7)	MMus\$/a	1,8	1,5	0,3	1,3	1,1	0,2	
Costo TOTAL	MMus\$/a	31,5	19,9	11,6	17,9	16,7	1,1	

(1) Considera Operación Nueva Planta al 100% (790 t/d) y complementación con Planta vieja.

(2) Expresado en Mw equivalente de generación de EE en TG 1 a 4 con vapor propio (4,26 tv/mwh)

(3) Con Nueva Pta se facturan primero 1410 t O2/d de la Planta Vieja y las siguientes 790 t/d de la Nueva Planta

(4) Fijo O2 Nueva Planta: 699 Mus\$/mes

(5) Costo Energía: 75 us\$/Mw (valorizada a costo de compra promedio 2015-2024)

(6) Costo EE para suministro de aire adicional a Nueva CCD; complementario con Nueva Planta O2

(7) Las 9 t/d de Argon de la Nueva Planta a 352 us\$/t entran entre 7,5 y 16,5 t/d desplazando un escalon a 326 us\$/t

3.5 Mejoras en la Confiabilidad

Además de los señalados, la configuración de la nueva Unidad Separadora de Gases del Aire presenta otros beneficios no cuantificables.

3.5.1 Back up caliente para altos hornos

La pérdida repentina del aire soplado puede ser motivo de graves problemas para la seguridad del equipamiento, el negocio y las personas. La falta del sustento de la carga interior del horno puede ocasionar daños que dejen fuera de servicio la instalación por períodos prolongados con los elevados perjuicios por pérdida de producción y altos costos de mantenimiento.

La interconexión planteada del nuevo MAC con el sistema de aire soplado a los Altos Hornos permitirá contar con un respaldo largamente buscado. Esta vinculación física permite que mediante la conmutación de válvulas, se habilite la alimentación del Alto Horno desde el turbosoplador de la ASU, en un tiempo no mayor de 10 segundos, permitiendo recuperar la presión mínima necesaria para soportar la carga. El objetivo principal de esta parte del proyecto es estabilizar el Horno para

lograr una parada segura o el mantenimiento de la operación hasta tanto pueda habilitarse el back-up frío.

3.5.2 Disponibilidad de back-up para los equipos de la planta existente

Back up de aire. Contar en la nueva ASU con excedentes de aire comprimido permitirá sacar de servicio compresores y consecuentemente realizar reparaciones mayores sin afectar la continuidad operativa de la planta.

Back up de compresión de oxígeno. La nueva planta produce oxígeno a alta presión sin necesidad de compresión posterior. Por lo tanto queda una capacidad remanente para comprimir oxígeno en la planta actual, con la posibilidad de sacar equipos para mantenimiento con impacto menor.

Absorción de picos de consumos. La Nueva Planta tiene un exceso de capacidad de O₂, de Argón y de Nitrógeno, que permitirán absorber picos de consumo y aumentos de la demanda.

Minimización de la necesidad de compra de líquidos. Este es un mercado, lead time variable. Por lo tanto independizarse de la provisión externa mejora la confiabilidad del servicio.

Recomposición de stocks de líquido. La Nueva Planta permitirá recomponer rápidamente los stocks de seguridad de O₂, Argón y N₂ que se usarán sólo ante emergencias.

4. CONCLUSION

La solución proyectada y en vías de implementación permite:

- salvar las restricciones técnicas al crecimiento que imponen las limitaciones del sistema eléctrico
- optimizar el aprovechamiento de gases de proceso, mejorando así la ecuación económica en la producción de gases del aire
- mejorar el aspecto ambiental al evitar el quemado a la atmósfera de gases excedentes
- aumentar la confiabilidad del sistema de generación de gases del aire al lograr una configuración que permita disponer de equipamiento de back up
- mejorar la confiabilidad del sistema de aire soplado a Altos Hornos al disponer de un back up caliente con la posibilidad de suministrar aire en forma inmediata.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a los integrantes de la Dirección de Ingeniería y Medio Ambiente, al departamento de Servicios de Energía, a la Gerencia de Ingeniería Industrial y a los distintos sectores de la empresa Air Liquide. Todos aportaron su conocimiento y experiencia para contribuir al desarrollo de un proyecto desafiante en los aspectos técnicos y que se traducirá en importantes beneficios para ambas empresas.