



TESIS DE MAESTRIA
POTENCIAL AHORRO ENERGETICO EN LA INDUSTRIA SIDERURGICA
MUNDIAL

por

Ignacio Camauer

Ingeniero Electrónico

2006 Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Presentado a la Escuela de Posgrado del ITBA y de la EOI de España
en cumplimiento parcial
de los requerimientos para la obtención del título de

Magister en Dirección Estratégica y Tecnológica (Argentina)
Master Executive en Dirección Estratégica y Tecnológica (España)

En el Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Agosto 2012

Firma del Autor _____

Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Fecha (día, mes y año)

Certificado por _____

Ing. Mariana Cal

Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Tutor de la Tesis

Aceptado por _____

Diego Luzuriaga Director del Programa

Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Miembros del Jurado:

Agradecimientos:

Esta tesis culmina el camino recorrido durante 2 años y medio con el fin de obtener mi título de maestría.

Fue grande el esfuerzo por mí realizado para obtener este título pero igual de grande e incondicional fue el soporte de mi esposa, María Paz y de mi hijo Santiago, a quienes les agradezco enormemente por haberme acompañado en esta etapa de mi vida.

Confidencialidad

Debido a que parte de la información utilizada en esta tesis ha sido tomada de estudios realizados por la empresa Schneider Electric en una empresa siderúrgica Argentina, el contenido de toda la tesis debe ser considerado como CONFIDENCIAL.

Esta tesis no puede ser utilizada como base para otras tesis, ni reproducida bajo ningún concepto sin autorización previa, por escrito, del autor.

Índice general

Capítulo 1.	Introducción.....	1
1.1.	Hipótesis.....	1
1.2.	Objetivos.....	1
Capítulo 2.	Contexto	2
2.1.	Cambio climático.....	2
2.1.1.	Definición	2
2.1.2.	Causas del cambio climático	2
2.1.3.	Impacto en el cambio climático.....	4
2.1.4.	Predicciones sobre el futuro e impacto de los cambios.....	5
2.1.5.	Resumen	6
2.2.	Consumo de energía global	7
2.2.1.	Evolución de consumos y nivel de consumo actual	7
2.2.2.	Evolución del consumo de energías renovables	7
2.3.	Evolución de precios de las energías.....	11
2.4.	La sustentabilidad y los shareholders	13
2.5.	Resumen	14
Capítulo 3.	Industria Siderúrgica.....	16
3.1.	Consumo energético por sectores e industrias.....	16
3.2.	Impacto de la industria siderúrgica.....	17
3.3.	Mayores productores de acero y emisiones de CO ₂	18
3.4.	Consumo específico para producir acero por país y la Best Practice.....	19
3.5.	Simulación de impacto en el consumo energético de replicar las Best Practices en otros países.....	21
3.6.	Resumen	23
Capítulo 4.	Proceso Siderúrgico	24
4.1.	Descripción del proceso siderúrgico.....	24
4.2.	Distribución de consumos	26
4.3.	Efectos del proceso productivo en China	26
4.4.	Efectos del proceso productivo en Japón	28
4.5.	Resumen	30
Capítulo 5.	Soluciones de ahorro de energía.....	31
5.1.	Soluciones de ahorro de energía en BF+BOF	31

5.1.1.	Top-pressure Recovery Turbine (TRT).....	31
5.1.2.	Coke Dry Quenching (CDQ).....	33
5.1.3.	Pulverized Coal Injection (PCI)	34
5.2.	Soluciones de ahorro de energía en EAF	36
5.2.1.	Optimización del consumo energético del EAF utilizando modelos alineales	36
5.2.2.	Soluciones de control avanzado de la empresa Tenova	37
5.3.	Soluciones de ahorro de energía en servicios comunes.....	37
5.3.1.	Utilización de variadores de velocidad en bombas y ventiladores centrífugos	38
5.3.2.	Evitar dilución de gases de combustión	41
5.3.3.	Optimización de la combustión en hornos y calderas	42
5.4.	Resumen	44
Capítulo 6.	Conclusiones.....	45
	Bibliografía:.....	46

Índice de Figuras:

Figura 1.	Concentración de gases en la atmósfera en los últimos 10.000 años	2
Figura 2.	Componentes del forzamiento radiactivo	3
Figura 3.	Cambio de temperatura, del nivel del mar y de la cubierta de nieve en el Hemisferio Norte	4
Figura 4.	Cambio anual medio de la temperatura respecto del período 1980-1999 (°C)	5
Figura 5.	Generación primaria de energía mundial [Mtoe]	7
Figura 6.	Predicción de consumo de energía hasta el año 2100	8
Figura 7.	Consumo Primario de Energía, %de Renovables y emisiones de CO ₂ en 2100	9
Figura 8.	Consumo de energía Primario y emisiones de CO ₂ bajo diferentes escenarios	10
Figura 9.	Precio Spot de Petróleo crudo [USD/barril]	11
Figura 10.	Costo de importación de carbón (steam coal) [USD/ton].....	11
Figura 11.	Precio de importación de Gas Natural [USD/MBtu].....	12
Figura 12.	Huella de carbono en ticket de supermercado E.Leclerc.....	13
Figura 13.	Distribución de consumos energéticos por tipo de usuario.	16
Figura 14.	Mayores productores de acero, 2009 [millones de toneladas].....	18
Figura 15.	Uso de energía y emisiones de CO ₂ del sector siderúrgico en 5 países en vías de desarrollo, 1995.....	18
Figura 16.	Esquema del proceso siderúrgico	24
Figura 17.	% de EAF en la Producción total de acero en China y USA y valores promedio mundiales	27
Figura 18.	Mejoras implementadas en Japón para reducir el consumo energético..	28
Figura 19.	Mayores medidas de ahorro de energía en plantas japonesas	29
Figura 20.	Sistema TRT húmedo	31
Figura 21.	Sistema TRT seco.....	31
Figura 22.	Proceso CDQ	33
Figura 23.	Esquema de un sistema PCI	34
Figura 24.	Consumo de coke, PC y cantidad de BF equipados con PCI en Japón. .	35
Figura 25.	Reducción del consumo específico utilizando en un EAF utilizando modelos alineales.....	36

Figura 26.	Potencia consumida por un ventilador mediante distintos tipo de control 39
Figura 27.	Potencia consumida por un ventilador mediante distintos tipo de control 40
Figura 28.	Esquema de horno con temperatura de gases 42

Índice de Tablas:

Tabla 1.	Consumo por tipo de industria y Energía como costo de producción.....	17
Tabla 2.	Consumo primario de energía [GJ/ton] USA y China, 2006.....	19
Tabla 3.	Plantas de mayor producción de acero en India y consumo específico.....	20
Tabla 4.	Consumo específico por país para producir acero.....	20
Tabla 5.	Consumo energético de la industria siderúrgica por país, Top5 productores, Resto del mundo y Mundo completo 2009.....	21
Tabla 6.	Consumo energético de la industria siderúrgica por país, Top5 productores, Resto del mundo y Mundo completo 2009 utilizando Best Practices.....	22
Tabla 7.	Potencial Ahorro Energético replicando Best Practices en los Top5 productores de acero.....	22
Tabla 8.	Consumos de energía en los diferentes sectores del proceso siderúrgico (valores promedio entre paréntesis).....	26
Tabla 9.	Valores óptimos típicos de Exceso de Aire y O ₂	43

Capítulo 1. Introducción

1.1. Hipótesis

Esta tesis busca sacar a la luz los potenciales ahorros de energía que existen en la industria metalúrgica considerando la “Eficiencia Energética” como driver para lograr los mismos.

Se buscará argumentar que los consumos energéticos más importantes (Carbón, Gas y Electricidad) pueden ser reducidos aproximadamente un 15% utilizando nuevos conceptos de ingeniería y nuevas tecnologías de control en procesos y en los servicios auxiliares de planta.

1.2. Objetivos

Serán objetivos principales del trabajo:

- Analizar el proceso productivo de una planta metalúrgica identificando distribución de consumos y potenciales ahorros en dichos sectores.
- Descubrir las “Best Practices” en el sector para poder obtener el Indicador de Performance (KPI) óptimo (Toneladas producidas / KWh consumido)

Serán objetivos generales:

- Determinar, a nivel mundial, el nivel de energía que consume este tipo de industria.
- Identificar que proporción del consumo energético mundial representa el sector metalúrgico
- Evaluar el impacto de este consumo energético en las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero)
- Estimar el Retorno de Inversión de proyectos de ahorro de energía para entender si los valores son atractivos para los empresarios del sector.

Capítulo 2. Contexto

2.1. Cambio climático

2.1.1. Definición

Para nuestro análisis tomaremos la definición del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sobre cambio climático:

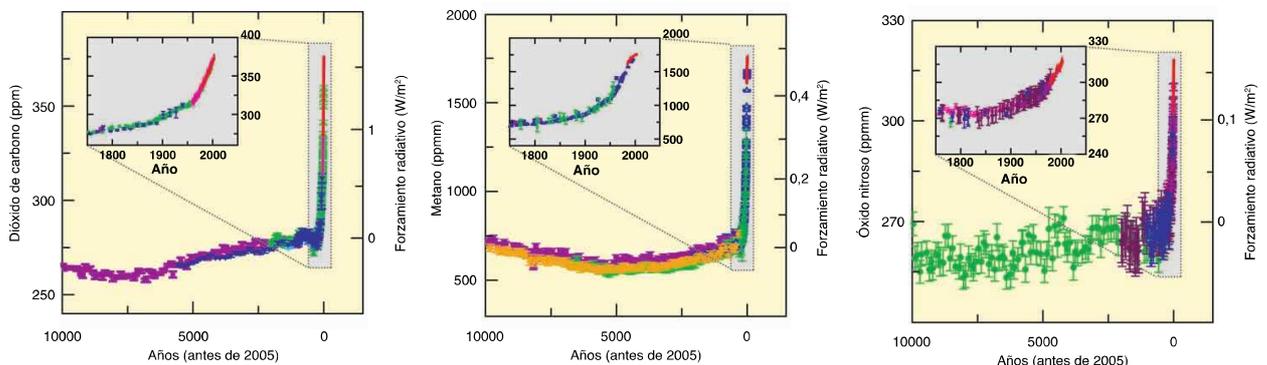
“Cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos mas largos. Denota todo tipo de cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana”

2.1.2. Causas del cambio climático

En la actualidad, estudios científicos identifican a la emisión de GEI (Gases de Efecto Invernadero) como una de las mayores causas del cambio climático¹.

Diferentes actividades realizadas por los seres humanos generan GEI de larga permanencia (CO₂, CH₄, N₂O y Halocarbonos) y se han detectado elevados crecimientos de dichos gases en la atmósfera luego de la Revolución Industrial.

Figura 1. Concentración de gases en la atmósfera en los últimos 10.000 años²



¹ Ver referencia [1] de la Bibliografía

² Ver referencia [1] de la Bibliografía

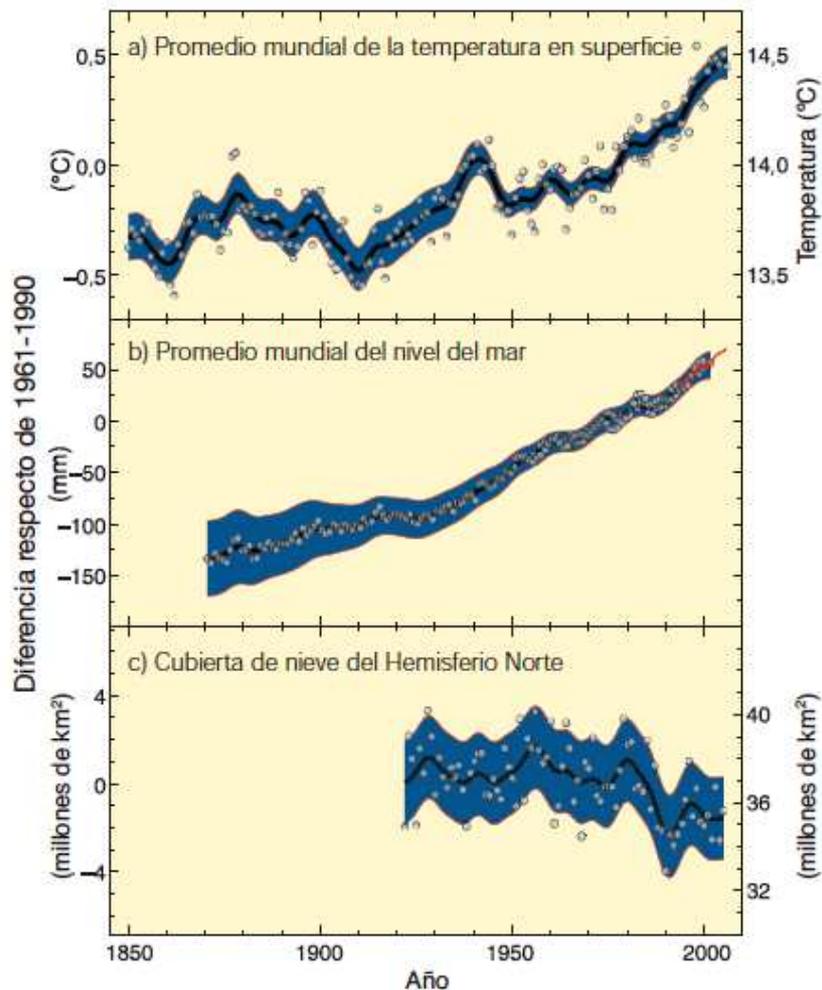
2.1.3. Impacto en el cambio climático

Los grandes niveles de emisiones de GEI han hecho que luego de la Revolución Industrial cambie poco a poco el clima terrestre.

Algunas consecuencias del cambio climático⁵:

- Aumento del promedio de la temperatura del aire y del océano
- Fusión generalizada de nieves y hielos
- Aumento del promedio mundial del nivel del mar

Figura 3. Cambio de temperatura, del nivel del mar y de la cubierta de nieve en el Hemisferio Norte⁶



⁵ Ver referencia [1] de la Bibliografía

⁶ Ver referencia [1] de la Bibliografía

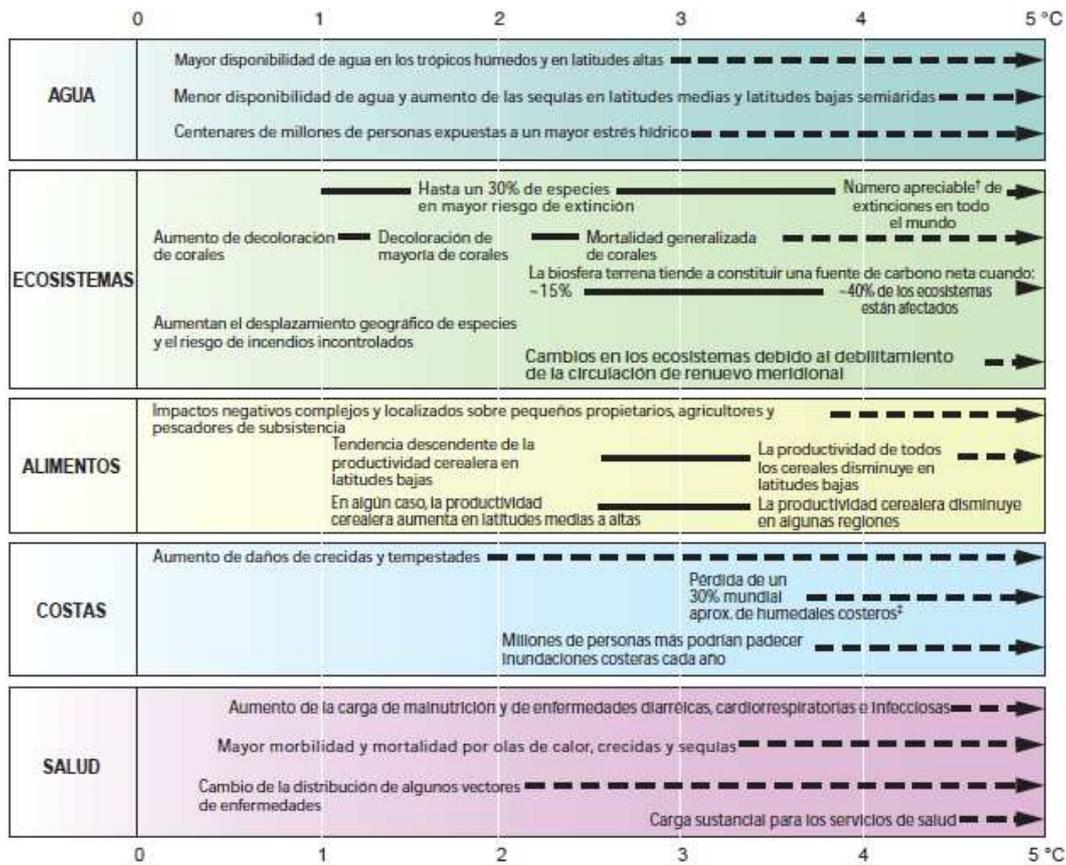
2.1.4. Predicciones sobre el futuro e impacto de los cambios

Tanto el agua como los ecosistemas, la producción de alimentos y la salud de las personas se verán afectadas si no se evita que la temperatura de la tierra siga aumentando.

De seguir aumentando la temperatura, esto impactará en forma directa en la producción de alimentos, especies con más probabilidades de extinción, cantidad de personas que sufren inundaciones anualmente, incremento de personas con malnutrición, etc.

A continuación se muestra un gráfico que detalla el impacto asociado al aumento de la temperatura promedio de la tierra.⁷

Figura 4. Cambio anual medio de la temperatura respecto del período 1980-1999 (°C)⁸



⁷ Ver referencia [1] de la Bibliografía

⁸ Ver referencia [1] de la Bibliografía

Según el IPCC:

- En algunos países de África se espera que para el 2020 los cultivos que utilizan como riego el agua de lluvia puedan reducirse hasta un 50%.
- En Asia, el cambio climático se intensificará debido al gran crecimiento urbanístico, industrial, etc. Asimismo, se verán amenazadas las zonas costeras por el aumento de las inundaciones marinas.
- En Australia y Nueva Zelanda las proyecciones indican que para el 2020 habrá una pérdida considerable de biodiversidad en algunas zonas. Para 2030 debido al aumento de sequías e incendios disminuirá la producción agrícola en el sur y este de Australia.
- En Europa se espera que se incremente el riesgo de inundaciones en las regiones interiores, costeras y mayor erosión. En las zonas montañosas, para el 2080, disminuirá el nivel de nieve y podrían perderse hasta un 60% de las especies, en algunas zonas. En el sur de Europa se agravarían las altas temperaturas y sequías, se reduciría la disponibilidad de agua, y la producción de cultivos.
- En América Latina, el aumento de la temperatura generaría, para mediados de siglo, que los bosques tropicales se transformen en sabanas en el Amazonia. La productividad de los cultivos en general disminuirá, aumentando la cantidad de personas con hambre.
- En América del Norte, se reducirán los bancos de nieve en las montañas occidentales. Aumentarán las olas de calor; el rendimiento de cultivos se verá mejorado en algunas regiones durante los primeros decenios y empeorado en otras.

2.1.5. Resumen

En el mundo se está observando, con estudios científicos que lo demuestran, que el cambio climático afecta tanto a la calidad de vida y seguridad de los seres humanos como al ecosistema global.

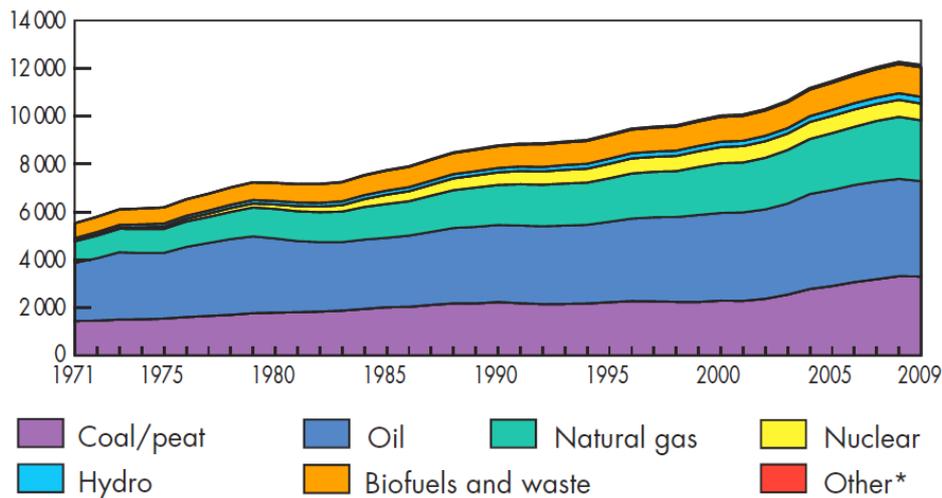
Las emisiones de CO₂, generadas por el uso de combustibles fósiles, son responsables de gran parte de estos cambios y de no hacer algo al respecto la situación será peor en pocos años generando cambios irreversibles en nuestro planeta.

2.2. Consumo de energía global

2.2.1. Evolución de consumos y nivel de consumo actual

El consumo de energía mundial ha crecido aceleradamente en las últimas décadas aproximadamente unos 168Mtoe por año, alcanzando un valor de 12.150Mtoe⁹ en 2009¹⁰. Este valor duplica y mas el consumo del año 1971.

Figura 5. Generación primaria de energía mundial [Mtoe]¹¹



Con el fin de dar una equivalencia para los no entendidos en variables energéticas, 12.150Mtoe sería el equivalente al consumo de unas 39.251 millones de casas en Argentina durante un año (considerando un promedio de 300KWh por mes en una casa Argentina).

2.2.2. Evolución del consumo de energías renovables

Si analizamos la distribución de combustibles consumidos vemos no sólo la gran predominancia de combustibles fósiles sino también el lento crecimiento del uso de energías renovables.

En el año 1973, el uso de energías renovables representaba un 12,5% del consumo energético mundial alcanzando un valor de 13,3% en el año 2009.¹²¹³

⁹ Mtoe: Million Tonnes of Oil Equivalent

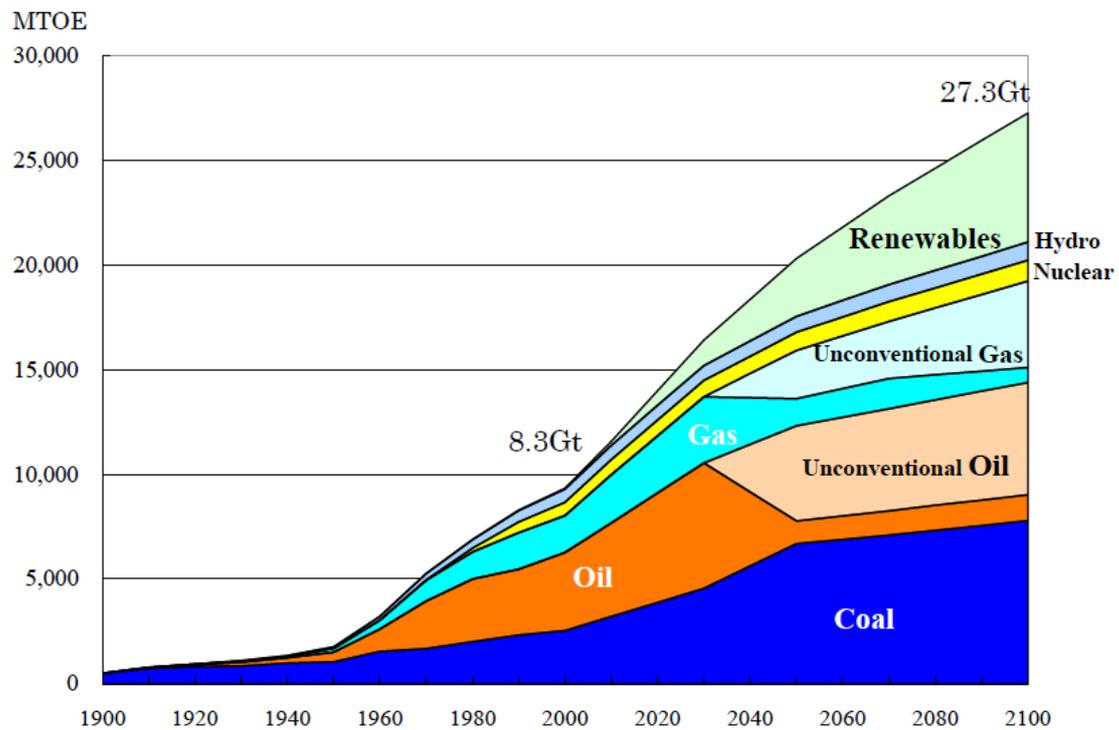
¹⁰ Ver referencia [2] de la Bibliografía

¹¹ Ver referencia [2] de la Bibliografía

La razón por la cual no ha crecido fuertemente la generación de energías renovables es que el nivel de inversión necesario para generar energía es muy elevado y esto llevaría a largos periodos de Retorno de Inversión para las empresas generadoras. Dado que en la actualidad la generación de energía utilizando combustibles fósiles es relativamente baja, las empresas generadoras optan por esta alternativa.

Un estudio realizado por el Institute of Energy Economics¹⁴ muestra la siguiente predicción de consumos para el año 2100.

Figura 6. Predicción de consumo de energía hasta el año 2100¹⁵



De este gráfico se desprende que el cambio de pendiente de crecimiento de energías renovables ocurrirá cuando tanto el gas como el petróleo escaseen y deban extraerse petróleo y gas no convencional.

¹² Se consideró al peat (turba) como combustible fósil. El IPCC también lo considera así dado que su regeneración oscila entre 1000 y 5000 años.

¹³ Se consideró a la energía hidráulica como energía renovable.

¹⁴ Ver referencia [3] de la Bibliografía.

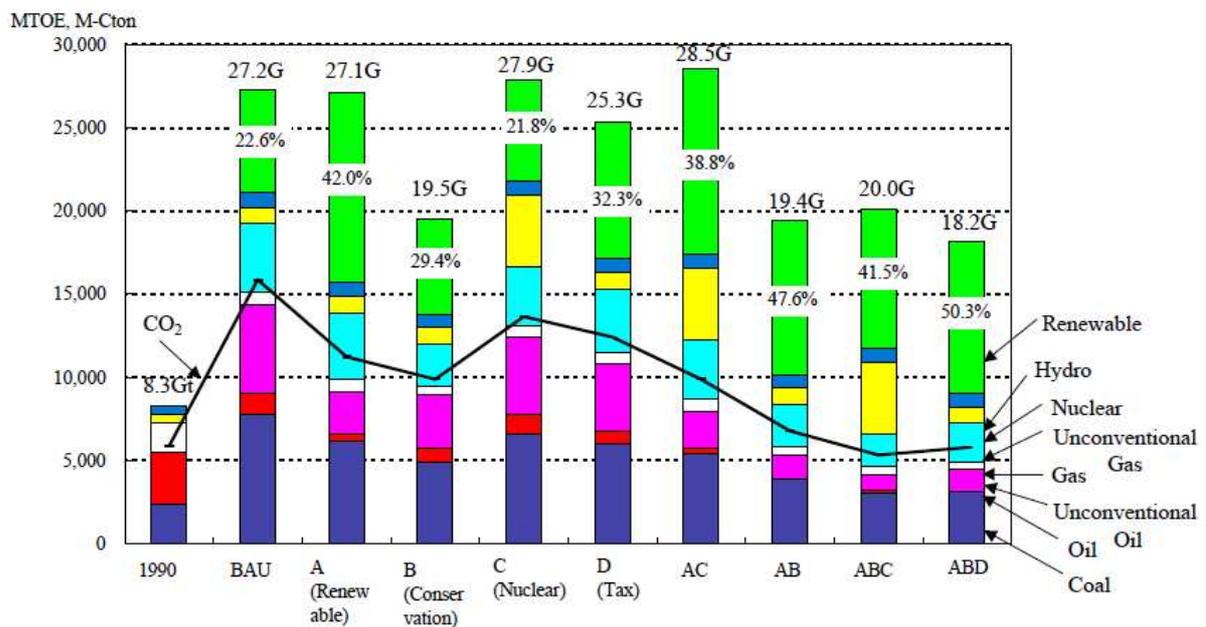
¹⁵ Ver referencia [3] de la Bibliografía.

Dado que el costo de extraer y refinar este tipo de combustibles será elevado, la generación utilizando alternativas renovables será más tentadora.

Este estudio no sólo muestra la proyección de consumos que habría si no se tomaran iniciativas para reducir los mismos sino que contempla varios escenarios futuros con el fin de simular el consumo y emisiones de CO₂ futuras.

El siguiente gráfico muestra diferentes escenarios y combinaciones de los mismos:

Figura 7. Consumo Primario de Energía, % de Renovables y emisiones de CO₂ en 2100¹⁶



BAU: Es la proyección de consumos de energía base.

A: Aceleración del uso de energías renovables

B: Impulsar soluciones de eficiencia energética

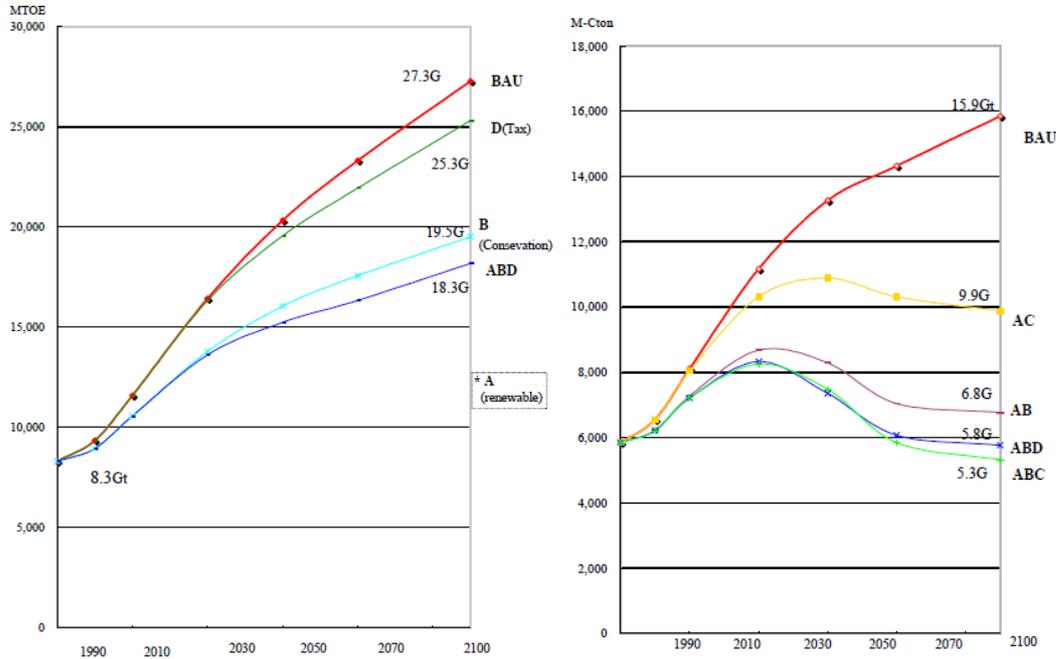
C: Uso masivo de energía nuclear

D: Promoción mundial de los bonos de carbono

La simulación en el tiempo muestra lo siguiente:

¹⁶ Ver referencia [3] de la Bibliografía.

Figura 8. Consumo de energía Primario y emisiones de CO2 bajo diferentes escenarios¹⁷



Si analizamos los diferentes escenarios, vemos que con el solo hecho de utilizar energías renovables, no alcanza para reducir las emisiones de CO2 en forma considerable.

Es fundamental el uso de medidas de conservación de energía (soluciones de Eficiencia Energética) para lograr este objetivo.

En esta tesis buscaremos mostrar las soluciones de eficiencia energética que pueden utilizarse en la industria siderúrgica con el fin de alcanzar este objetivo.

¹⁷ Ver referencia [3] de la Bibliografía.

2.3. Evolución de precios de las energías

Durante las últimas décadas, el precio de las diferentes combustibles ha aumentado notablemente.¹⁸ En el caso del petróleo, el valor se ha multiplicado aproximadamente 6 veces.

A continuación se muestra la evolución de precios de diferentes combustibles:

Figura 9. Precio Spot de Petróleo crudo [USD/barril]¹⁹

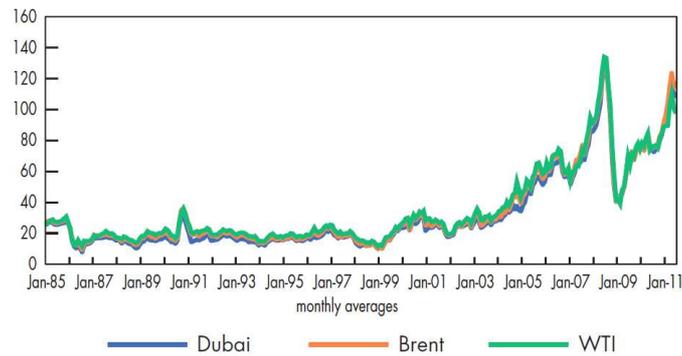
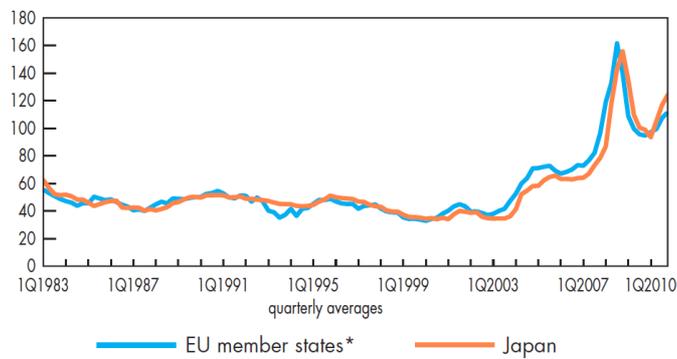


Figura 10. Costo de importación de carbón (steam coal) [USD/ton]²⁰

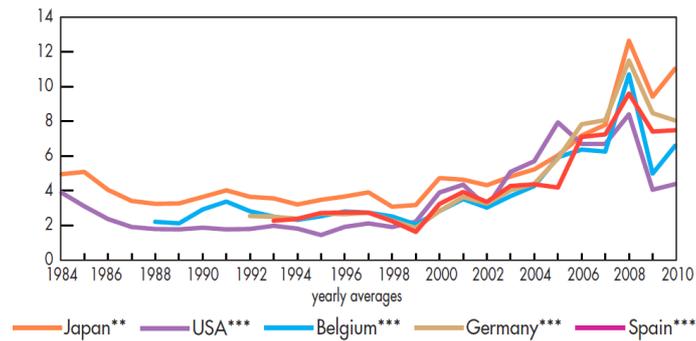


¹⁸ Ver referencia [2] de la Bibliografía.

¹⁹ Ver referencia [2] de la Bibliografía.

²⁰ Ver referencia [2] de la Bibliografía.

Figura 11. Precio de importación de Gas Natural [USD/MBtu]²¹



Si consideramos la alta demanda de energía vista en el capítulo anterior, es entendible que los precios de las mismas hayan aumentado. Lo que puede apreciarse analizando el consumo de energía y la evolución de los precios es la gran elasticidad de estos últimos dado que si tomamos como año base 1990, podemos ver que el consumo energético aumentó un 50% aproximadamente y los precios de las diferentes energías crecieron muy por encima (en el caso del petróleo este valor se multiplica prácticamente por 5 ó 6).

Aún cuando la información mostrada por la International Energy Agency muestra valores reales de los precios de la energía, estos valores no contemplan la tasa de inflación de los diferentes países como para saber si relativamente el costo de la energía ha aumentado o no.

Según la CIA (Central Intelligence Agency)²², el valor medio de inflación es de 2,5% para países desarrollados y de 5,6% para países en vías de desarrollo.

Considerando el valor promedio de los países desarrollados (para comparar con las Figuras 9, 10 y 11) podríamos esperar un crecimiento del 63,8% luego de 20 años en el aumento de precios.

Dados los distintos precios de energía mostrados previamente crecen por encima de esta tasa, podemos concluir que el aumento de precios es real y con una tendencia al alza.

Nota: Dado que hemos analizado un estudio²³ realizado sobre los precios de energía eléctrica en Europa donde se indica que, considerando los valores inflacionarios, su

²¹ Ver referencia [2] de la Bibliografía.

²² Ver referencia [4] de la Bibliografía

valor en 2005 era un 15% menor al valor del año 1995, creemos que este tema ameritaría un estudio más profundo que podría ser utilizado para desarrollar otra tesis.

2.4. La sustentabilidad y los shareholders

Los problemas generados por el calentamiento global impactan sobre la población mundial y se observa durante los últimos años un cambio en la conducta de las personas.

Actualmente, es cada vez más fuerte la presión sobre las empresas para producir sus productos de manera más limpia y verde. Los consumidores no sólo buscan productos con altos niveles de calidad sino que cada vez más se interiorizan sobre el impacto generado por dichos productos en el medio ambiente.

Ya es común ver electrodomésticos que indican su nivel de eficiencia y la tendencia es a que los fabricantes tengan que indicar la cantidad de Kg de CO₂ emitido al ambiente por el producto que han fabricado (denominado huella de carbono).

En Francia, ya puede verse en algunos supermercados, que se le indica al comprador la huella de carbono de los productos que ha comprado.

Figura 12. Huella de carbono en ticket de supermercado E.Leclerc²⁴



Con el fin de analizar el impacto que puede tener el uso de políticas de sustentabilidad en una empresa, resaltaremos algunos resultados de estudios realizados por diferentes

²³ Ver referencia [5] de la Bibliografía.

²⁴ Ver referencia [6] de la Bibliografía.

consultoras, compilados por un estudio²⁵ realizado por Strandberg Consulting, sobre las ventajas de incluir la sustentabilidad como valor estratégico de una empresa:

- Empresas que no se enfocan sólo en los shareholders sino en los stakeholders han obtenido ganancias 4 veces mayores.
- Durante un período de 5 años, las empresas que estuvieron dentro del Dow Jones Groups Sustainability Index se desempeñaron un 36,1% mejor que las que estaban en el índice tradicional Dow Jones Group Index.
- 83% de los empleados en los países G7 indican que las políticas de RSE (Responsabilidad Social Empresaria) de su empresa aumenta su lealtad hacia la misma.
- 40% de los egresados de MBAs indican que son extremadamente o muy importantes las políticas de RSE de las empresas cuando buscan un trabajo.
- 8 de cada 10 canadienses están dispuestos a pagar más por un producto si saben que el mismo fue realizado por una empresa responsable con el medioambiente y la sociedad.
- 9 de cada 10 shareholders canadienses quieren que los gerenciadore de fondos consideren la performance medioambiental y social de una empresa a la hora de valuarla.

2.5. Resumen

Habiendo dado un marco de contexto, podemos apreciar que la sustentabilidad y la Eficiencia Energética, como pieza clave para alcanzarla, deberán ser objetivos primordiales de las empresas que quieran sobrevivir en las próximas décadas.

Dada la necesidad de optimizar los recursos de nuestro planeta y frenar el daño que se está generando al medioambiente, las personas están cambiando la forma en la que miran al mundo y la forma en la que toman decisiones. Están cambiando sus hábitos de compra, la forma en la que eligen una empresa en donde les gustaría trabajar y esto obligará a las empresas a cambiar sus políticas de gestión hacia focos más sustentables para poder no perder a sus clientes, captar a los empleados más talentosos y poder retenerlos.

²⁵ Ver referencia [7] de la Bibliografía.

Adicionalmente, según puede verse en las tendencias, los precios de las diferentes energías seguirán creciendo impactando directamente en los costos de las empresas. En aquellas industrias donde el costo de la energía sea representativo, la Eficiencia Energética no sólo será una buena opción del punto de vista estratégico para mantener fieles a clientes y empleados sino que será una decisión clave que permitirá que una empresa siga siendo o no competitiva.

Qué hace falta entonces para virar el rumbo de las empresas hacia la Eficiencia Energética?

En la actualidad, dadas las turbulencias económicas mundiales que estamos viviendo, muchas empresas priorizan los beneficios a corto plazo en vez de invertir en el largo plazo con una visión más sustentable.

Buscaremos sobre el final de esta tesis, demostrar que muchas de las mejoras que permiten reducir el consumo energético en la industria siderúrgica tienen valores de ROI menores a los 4 años, valor que motivará a los empresarios del sector a implementarlas aun en situaciones de relativa incertidumbre económica como la que encontramos en la actualidad en los distintos países del mundo.

Capítulo 3. Industria Siderúrgica

En este capítulo se busca sacar a la luz el impacto que tiene la industria siderúrgica en el consumo energético a nivel mundial.

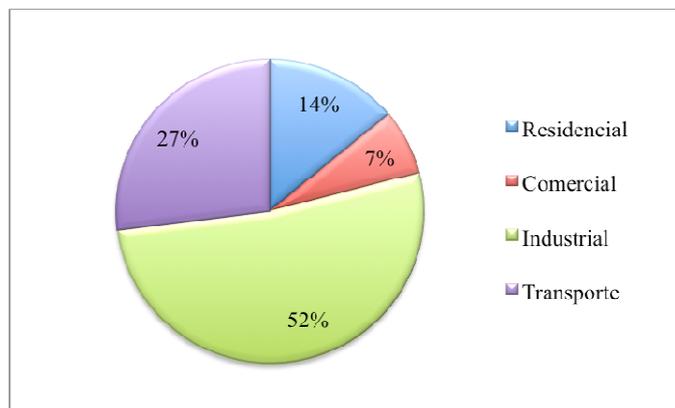
Se buscará también indicar en qué países se encuentran los mayores niveles de producción, sus consumo específicos y estimar un potencial ahorro en la industria replicando los consumos del país con el consumo específico menor.

Finalmente, se analizará en cuánto impacta el costo de energía en el costo total de producción con el fin de analizar si sería tentador en esta industria invertir en mejoras de Eficiencia Energética.

3.1. Consumo energético por sectores e industrias.

En la actualidad, el sector Industrial representa un 52% del consumo energético mundial²⁶, repartiéndose el resto entre el sector Domiciliario, Comercial y Transporte.

Figura 13. Distribución de consumos energéticos por tipo de usuario.²⁷



Las proyecciones indican que hasta el año 2035, el consumo energético en el sector Industrial crecerá a razón de 1,5% anual, en el sector Residencial 1,1%, en el sector Comercial 1,5% y en el sector de Transporte 1,4%. Esto indica que el sector Industrial

²⁶ Ver referencia [8] de la Bibliografía.

²⁷ Gráfico de elaboración propia según datos tomados de la referencia [8] de la Bibliografía.

seguirá siendo el mayor consumidor de energía a nivel mundial por las próximas décadas.

3.2. Impacto de la industria siderúrgica

Si ahora hacemos un análisis del sector industrial, podemos observar que 5 sectores representan poco más del 60% del consumo total de energía siendo la industria siderúrgica el segundo mayor consumidor de energía²⁸.

Tabla 1. Consumo por tipo de industria y Energía como costo de producción.²⁹

Industria	Consumo energético industrial [%]	Energía como costo de producción [%]
Químicos (mayormente industria petroquímica)	33%	60%
Hierro y acero (industria siderúrgica)	14%	15%
Minerales no metálicos (cemento, vidrio, ladrillos y cerámicos)	7%	20-40%
Pulpa y Papel	4%	-
Metales no ferrosos (aluminio, cobre, plomo y zinc)	3%	30%

Aún cuando puede verse que de las industrias mencionadas, la industria siderúrgica es en la que menos impacta el costo energético como costo de producción, el mismo igualmente es elevado, alcanzando un valor de 15%.

Si pensamos en ahorros potenciales del 15%, esto ayudaría a reducir los costos productivos un 2,2%. Dichos ahorros podrían simplemente incrementar el EBIT de las empresas o ser utilizados para reinversiones de capital disminuyendo el nivel de pasivos.

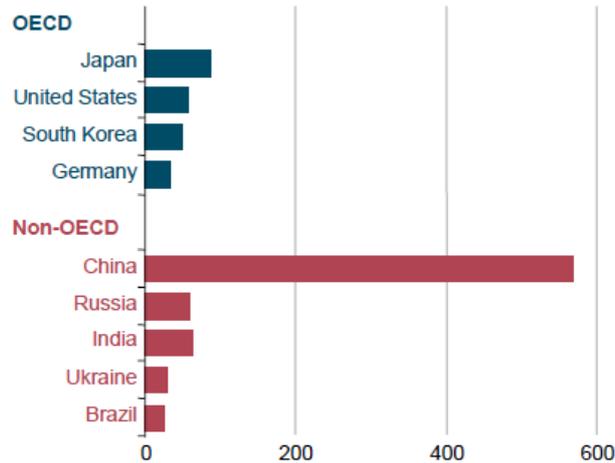
²⁸ Ver referencia [8] de la Bibliografía.

²⁹ Tabla de elaboración propia según datos tomados de la referencia [8] de la Bibliografía.

3.3. Mayores productores de acero y emisiones de CO₂

En la actualidad, el país con mayor nivel de producción de acero es China, superando la producción de la suma de los 7 países que le siguen en nivel de producción.³⁰

Figura 14. Mayores productores de acero, 2009 [millones de toneladas]³¹



Un estudio realizado por Berkley Lab³² sobre la industria siderúrgica revela adicionalmente que la producción de acero en China tiene un alto impacto en las emisiones de CO₂ totales del país, alcanzando un valor del 12%.

Figura 15. Uso de energía y emisiones de CO₂ del sector siderúrgico en 5 países en vías de desarrollo, 1995.³³

Country	Primary energy use (PJ)	Primary energy intensity (GJ/t)	Carbon dioxide emissions (MtC)	Share of total country carbon dioxide emissions (%)
Brazil	578	23.1	9.1	13
China	3576	36.7	104.0	12
India	775	37.3	20.4	8
Mexico	274	22.6	5.1	6
South Africa	387	44.4	9.6	12

³⁰ Ver referencia [8] de la Bibliografía.

³¹ Ver referencia [8] de la Bibliografía.

³² Ver referencia [9] de la Bibliografía.

³³ Ver referencia [9] de la Bibliografía.

Puede observarse, también, en esta tabla que los dos mayores productores de acero (No OECD), India y China, tenían valores de producción muy ineficientes desde el punto de vista energético, alcanzando valores de 37,3 y 36,7 GJ/ton respectivamente (comparado con un valor de 19,5 GJ/ton en el año 1995 en Japón).

3.4. Consumo específico para producir acero por país y la Best Practice

Tomando como KPI Best Practice un consumo de 19,5GJ/ton o 4,6GCal/ton³⁴, su equivalente en otras unidades, podemos ver que existe un alto potencial en países como India y China para mejorar su rendimiento energético.

A continuación se muestran los consumos específicos de los 5 mayores productores antes mencionados: China, Japón, Estados Unidos, India y Rusia.

Un estudio mas reciente desarrollado por Berkley Lab³⁵ en el que se compara el consumo de energía para producir acero en China y USA indica que China ha mejorado su rendimiento alcanzando un valor de 26,3 GJ/ton pero aun tiene camino por recorrer si lo comparamos con el consumo de 19,5GJ/ton de Japón que tomaremos como Best Practice.

Por otro lado, el consumo específico de Estados Unidos es muy próximo al nivel de Best Practice como se muestra a continuación.

Tabla 2. Consumo primario de energía [GJ/ton] USA y China, 2006³⁶

Country	Final Energy Intensity		Primary Energy Intensity*	
	GJ/t	kgce/t	GJ/t	kgce/t
U.S.	14.90	508.69	19.98	681.68
China	23.11	788.53	26.30	897.29

Si analizamos las plantas de producción de la India³⁷ (año 2010), podemos ver que su rendimiento es menor al de China. En promedio las plantas consumen unos 6,5-

³⁴ Ver referencias [9] de la Bibliografía.

³⁵ Ver referencia [11] de la Bibliografía.

³⁶ Tabla adaptada de fuente [11] de la Bibliografía.

7Gcal/ton (28,2 GJ/ton). Se aprecia una gran disminución con respecto al año 2005 cuyo valor era 37,3GJ/ton).

Tabla 3. Plantas de mayor producción de acero en India y consumo específico³⁸

Crude Steel	
Company	08-09 (Gcal/tcs)
BSP	6.50
DSP	6.50
RSP	7.09
BSL	6.73
ISP	8.27
SAIL	6.74
Tata Steel	6.59
RINL	6.77
ESSAR	5.81
ISPAT	5.21
JSW	6.70
Total	6.50-7.00

Si finalmente analizamos el consumo específico de Rusia para producir acero, podemos observar que en el año 2005 se produjeron 66,1 toneladas³⁹ y se consumieron aproximadamente 36,1 MTOE⁴⁰. Esto equivaldría a 22,86 GJ/ton.

La siguiente tabla resume los consumos específicos de los 5 mayores productores de acero (2009).

Tabla 4. Consumo específico por país para producir acero.⁴²

País	Consumo específico [GJ/ton]
India	28,2
China	26,3
Brasil	23,1
Rusia	22,86
USA	19,98
Japón	19,5

³⁷ Ver referencia [10] de la Bibliografía.

³⁸ Ver referencia [10] de la Bibliografía.

³⁹ Ver referencia [13] de la Bibliografía.

⁴⁰ Ver referencia [12] de la Bibliografía.

⁴¹ MTOE: Million Tons of Oil Equivalent

⁴² Tabla de elaboración propia resumiendo datos ya presentados en este capítulo.

3.5. Simulación de impacto en el consumo energético de replicar las Best Practices en otros países

Si suponemos que los Top5 productores produjeran acero con un consumo específico igual al de Japón, ¿qué impacto tendría en el consumo energético del sector?

Tabla 5. Consumo energético de la industria siderúrgica por país, Top5 productores, Resto del mundo y Mundo completo 2009⁴³

Ranking Producción	País	Consumo Específico de Energía [GJ/ton]	Producción anual [Million Metric Ton]	Consumo Total de Energía [PJ]
3	India	28,20	62,8	1.771
1	China	26,30	567,8	14.933
4	Russia	22,86	60,0	1.372
5	USA	19,98	58,2	1.163
2	Japón	19,50	87,5	1.706
	Top 5	25,04	836,3	20.945
	RoWorld	23,37	390,2	9.118
	World	24,51	1.226,5	30.063

Para calcular el consumo del resto del mundo (RoWorld), se ha supuesto un consumo específico igual al promedio de los Top5.

⁴³ Tabla de elaboración propia. Niveles de producción ver referencia [13] de la Bibliografía. Consumo específico ver Tabla 4.

Tabla 6. Consumo energético de la industria siderúrgica por país, Top5 productores, Resto del mundo y Mundo completo 2009 utilizando Best Practices⁴⁴

Ranking Producción	País	Consumo Específico de Energía [GJ/ton]	Producción anual [Million Metric Ton]	Consumo Total de Energía [PJ]
3	India	19,50	62,8	1.225
1	China	19,50	567,8	11.072
4	Russia	19,50	60,0	1.170
5	USA	19,50	58,2	1.135
2	Japón	19,50	87,5	1.706
	Top 5	19,50	836,3	16.308
	RoWorld	23,37	390,2	9.118
	World	20,73	1.226,5	25.426

En esta simulación se supuso que los países RoWorld mantienen su consumo específico y sólo los Top5 optimizan este indicador.

Los resultados de la simulación se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 7. Potencial Ahorro Energético replicando Best Practices en los Top5 productores de acero⁴⁵

Ahorros Energéticos	%
En la Industria Siderúrgica	15,4%
En la Industria Completa	1,8%
En el Consumo Mundial	0,9%

Esto, en un principio, validaría nuestra hipótesis de un potencial ahorro de energía del 15%.

Para terminar de validarlo es necesario entender cómo Japón y USA lograron niveles de consumo específico tan bajo y si sería replicable en países como China que tienen un consumo específico muy elevado.

⁴⁴ Tabla de elaboración propia. Niveles de producción ver referencia [13] de la Bibliografía. Consumo específico ver Tabla 4 (Japón)

⁴⁵ Tabla de elaboración propia tomando datos de Tabla 5 y Tabla 6.

3.6. Resumen

La industria siderúrgica representa aproximadamente un 7,28% del consumo energético mundial, estando muy concentrada su producción en China (>45% y si se incluye India >50%).

Considerando este alto nivel de concentración y adicionalmente que tanto China como India tienen un consumo específico muy alto para producir acero, podemos concluir que existen buenas oportunidades de ahorro de energía, siendo en un principio mayores al 15%.

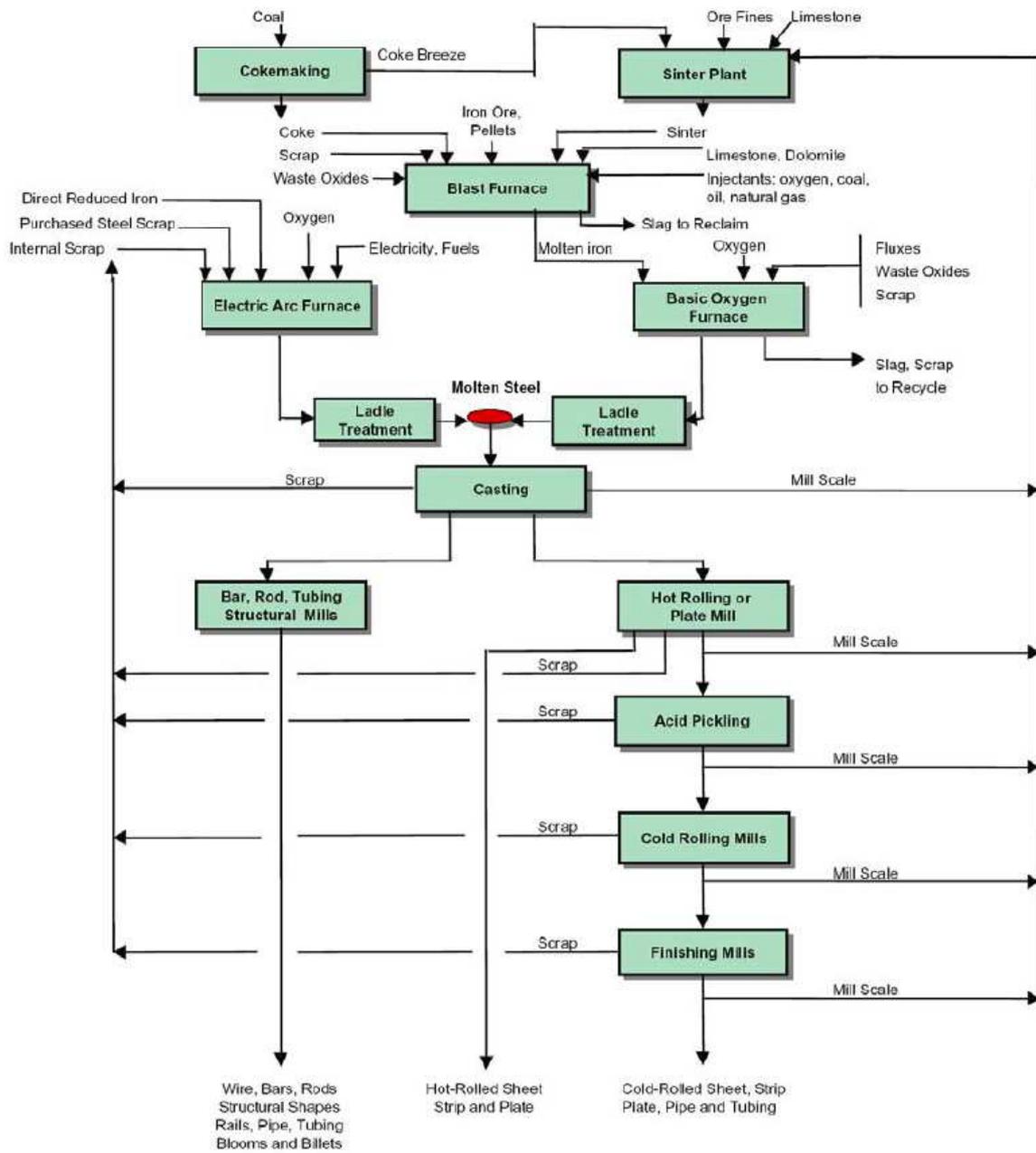
En el próximo capítulo buscaremos analizar las tecnologías de proceso utilizadas en Japón, USA y China con el fin de comprender si las Best Practices pueden ser copiadas y si las mismas son económicamente viables.

Capítulo 4. Proceso Siderúrgico

4.1. Descripción del proceso siderúrgico

A continuación se muestra una imagen del proceso siderúrgico:

Figura 16. Esquema del proceso siderúrgico⁴⁶



⁴⁶ Ver referencia [14] de la Bibliografía.

En el mismo puede verse que existen dos formas de producir acero:

1. Mediante un alto horno (blast furnace - BF) y un horno básico al oxígeno (basic oxygen furnace – BOF).
2. Mediante un horno de arco eléctrico (electric arc furnace – EAF).

Para producir acero, un BF puede alimentarse de Mineral de Hierro (Iron Ore), Sinter⁴⁷, Pelets⁴⁸ y pequeñas cantidades de Chatarra (Scrap). El combustible utilizado en estos hornos, para fundir el hierro es gas de coke y el producto del BF es arrabio (pig iron) cuyo contenido de Carbono es aproximadamente 3-4%.

Una vez obtenido el arrabio, el mismo es convertido en acero líquido en el BOF donde su contenido de carbono se reduce a valores inferiores al 1%.

Por otro lado, los EAF producen acero líquido tomando como materia prima principalmente chatarra y algunos sustitutos como por ej. hierro esponja (DRI⁴⁹) y arrabio. En el EAF la chatarra se funde utilizando arcos eléctricos.

Dado que el EAF utiliza chatarra como materia prima, no puede ser utilizado para generar aceros de altos niveles de pureza.

Una vez que el acero se encuentra fundido, el mismo es moldeado mediante un método de colada continua (continuous casting) donde es moldeado en forma de tochos o planchones. Luego, mediante algún proceso de laminación se generan distintos espesores del producto necesario final necesario.

El producto final puede ser: alambión (rods), barras (bars), caños (pipes), planchones de acero (strip sheet), etc.

⁴⁷ Partículas cocidas al horno que se juntan en trozos de aproximadamente una pulgada. Se utilizan normalmente para el polvo de mineral de hierro que se recoge de los altos hornos. Ver referencia [16] de la Bibliografía

⁴⁸ En un tambor de bolas, con partículas de mineral de hierro o caliza se forman pequeñas bolas y se endurecen mediante calor. Ver referencia [16] de la Bibliografía

⁴⁹ Mineral de hierro procesado que es lo suficientemente rico en hierro para utilizarlo como sustituto de la chatarra en acería en hornos eléctricos. Ver referencia [16] de la Bibliografía

4.2. Distribución de consumos

La siguiente tabla detalla los consumos energéticos (electricidad y fuel) en las distintas etapas del proceso de generación de acero.

Tabla 8. Consumos de energía en los diferentes sectores del proceso siderúrgico (valores promedio entre paréntesis)⁵⁰

	Fuel (MBtu/ton product)	Electricity (final) (kWh/ton product)	Primary (net) (MBtu/ton product)
Sinter	1.4 - 1.6 (1.4)	28-20 (26)	1.4 - 1.6 (1.6)
Coke	2.8 - 3.0 (2.8)	33- 38 (36)	3.1 - 4.4
Hot stove	1.4 - 1.7(1.5)	-	1.4 - 1.7 (1.5)
Blast Furnace	9.9 - 10.4 (10.0)	-	9.9 - 10.4 (10.0)
BOF	0.7 - 1.0 (0.8)	13-38 (23)	0.06 - 0.5 (0.3)
EAF	0.2 - 0.8 (0.4)	304 - 525 (401)	3.2 - 5.2 (3.9)
Continuous Casting	0.02 - 0.06 (0.04)	5.4 – 13 (8)	0.10 – 0.15 (0.12)
Reheating furnace	0.7 - 1.4 (1.1)	2 - 10 (6)	0.7 - 1.4 (1.1)
Hot strip mill	0.01	90-152 (121)	0.6 - 1.2 (0.8)

Como puede apreciarse en esta tabla, la producción de acero mediante BF+BOF (10,3 MBtu/ton) consume altísimos niveles de energía comparados con la generación mediante EAF (3,9 MBtu/ton).

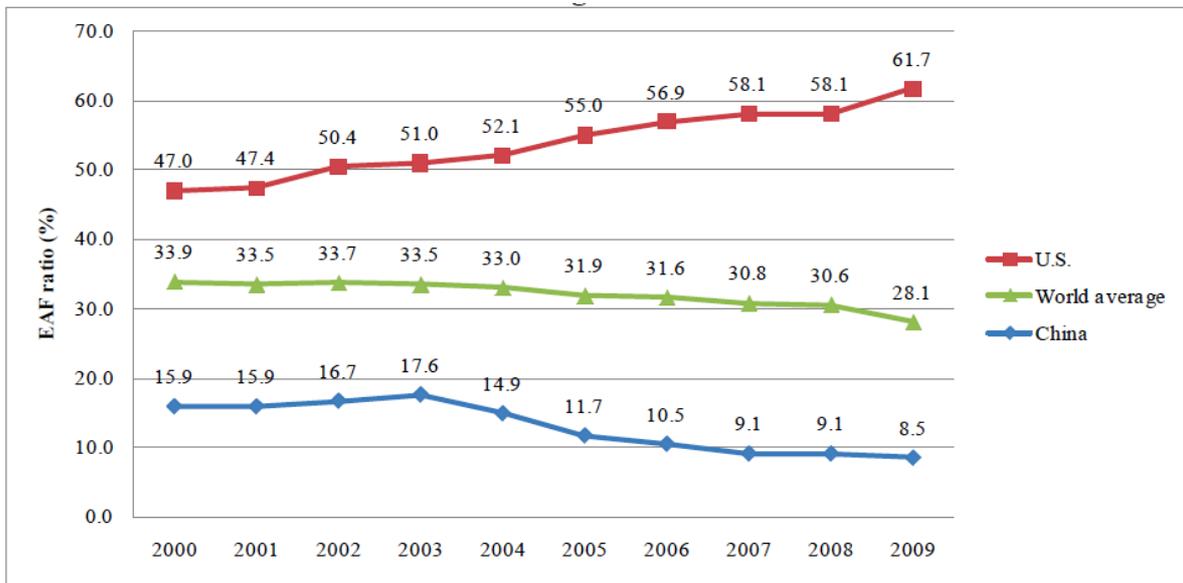
Cómo se verá a continuación, esto explica en gran medida por qué China tiene un consumo específico de energía tan alto para producir acero.

4.3. Efectos del proceso productivo en China

En el año 2009, la producción de acero en China utilizando EAF era sólo del 8,5% del total mientras que en USA era del 61,7%. Esto es uno de los motivos que conlleva a que su consumo específico comparado contra USA sea muy elevado.

⁵⁰ Ver referencia [14] de la Bibliografía

Figura 17. % de EAF en la Producción total de acero en China y USA y valores promedio mundiales⁵¹



Aún cuando las plantas de EAF son menos costosas tanto en inversión de capital como en costos operativos, China sigue fabricando plantas de BF+BOF. Algunos motivos son⁵²:

- No tienen asegurado un mayor y constante nivel de entrega de chatarra (aún siendo el 2do mayor importador de chatarra del mundo).
- Limitación en la generación de energía eléctrica para abastecer los EAF.

Estos mismos motivos hacen que en India sea muy complejo aumentar la proporción de producción utilizando EAF. El valor en 1994 era de 26%.⁵³

Un hallazgo interesante de un estudio realizado por Berkeley Lab⁵⁴ revela que:

- En 2006, el consumo específico de energía primaria en China fue de 26,3GJ/ton y el de USA fue de 19,98GJ/ton.
- Para el mismo año, la proporción de EAF en USA era de 56,9% y en China del 10,5%.

⁵¹ Ver referencia [11] de la Bibliografía

⁵² Ver referencia [15] de la Bibliografía

⁵³ Ver referencia [17] de la Bibliografía.

⁵⁴ Ver referencia [11] de la Bibliografía

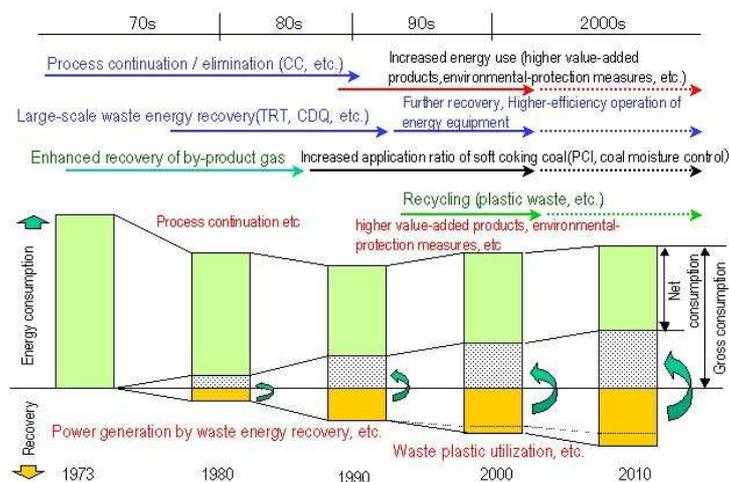
- Si se calcula el consumo específico primario de energía de USA utilizando la proporción de utilización de EAF de China, su consumo sería de 26,08 GJ/ton.
- Si se calcula el consumo específico primario de energía de China utilizando la proporción de utilización de EAF de USA, su consumo sería de 22,8 GJ/ton.

Esto muestra en cierta forma, la influencia en el consumo específico que tiene el uso del EAF.

4.4. Efectos del proceso productivo en Japón

Aún cuando el consumo específico de Japón es muy bajo, el 78% de la producción de acero se realiza mediante BF+BOF.⁵⁵ En el artículo publicado por “The Japan Iron and Steel Federation”⁵⁶ se comentan algunas de las prácticas realizadas por Japón durante las últimas décadas que lograron optimizar sus consumos, aún utilizando BF+BOF como método para producir acero.

Figura 18. Mejoras implementadas en Japón para reducir el consumo energético⁵⁷



En general fueron 3 las grandes medidas que redujeron el consumo:

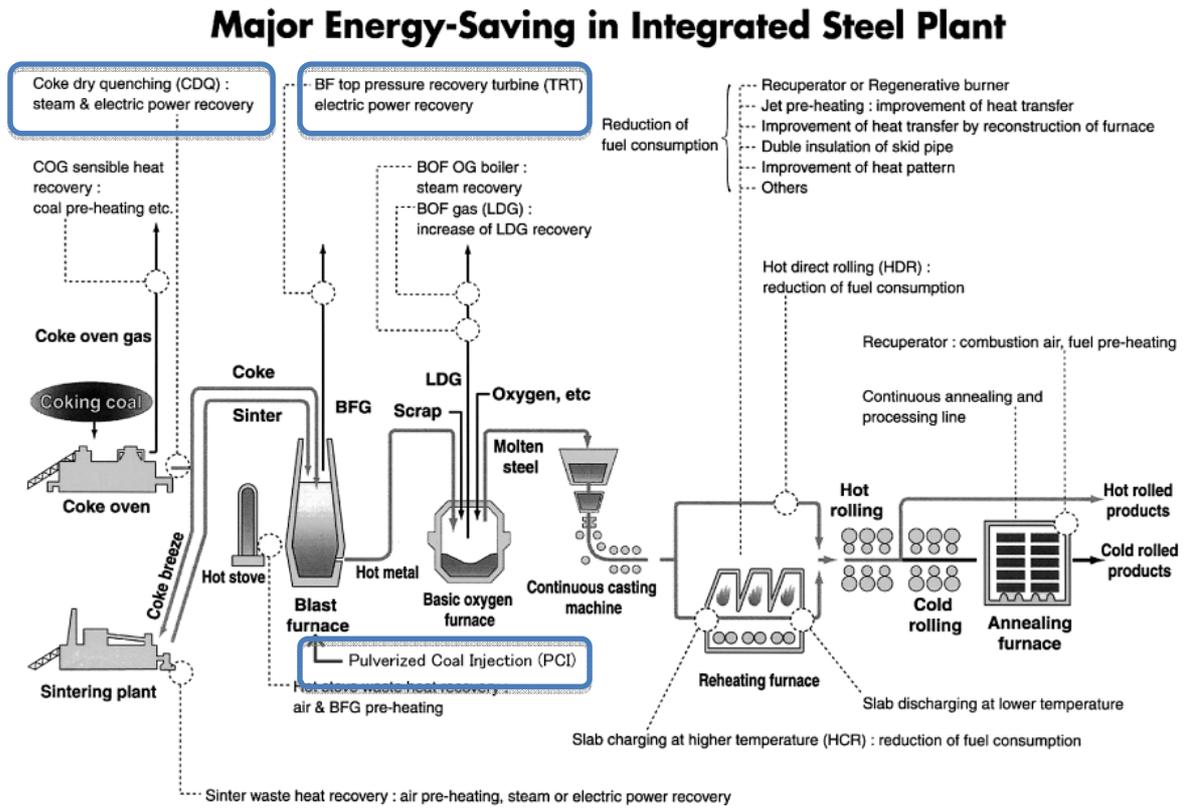
1. Top-pressure Recovery Turbine (TRT): Sistema de recuperación de calor
2. Coke Dry Quenching (CDQ): Sistema de recuperación de calor
3. Pulverized Coal Injection (PCI)

⁵⁵ Ver referencia [8] de la Bibliografía.

⁵⁶ Ver referencia [18] de la Bibliografía.

⁵⁷ Ver referencia [18] de la Bibliografía.

Figura 19. Mayores medidas de ahorro de energía en plantas japonesas⁵⁸



En los próximos capítulos se describirán en detalle estas mejoras, impacto que generan y su viabilidad económica de implementación.

⁵⁸ Ver referencia [18] de la Bibliografía.

4.5. Resumen

Existen dos tipos de proceso para producir acero: BF+BOF y EAF, siendo este último mucho más eficiente desde el punto de vista energético.

- USA tiene un consumo específico bajo dado que utilizan mayormente EAF.
- Japón tiene un consumo específico bajo dado que aunque utiliza mayormente BF+BOF implementó muchas soluciones de eficiencia energética.
- China tiene un consumo específico alto dado que utiliza mayormente BF+BOF y no ha implementado muchas soluciones de eficiencia energética.

Capítulo 5. Soluciones de ahorro de energía

5.1. Soluciones de ahorro de energía en BF+BOF

5.1.1. Top-pressure Recovery Turbine (TRT)

Los altos hornos (Blast Furnace) liberan altos caudales de gases a elevadas temperaturas. Aún cuando los niveles de presión de los gases son bajos puede recuperarse mucha energía.

Estos gases de salida son primero filtrados para remover las partículas de polvo que contienen y luego utilizados para mover una turbina y así generar energía.

Existen dos métodos para remover polvo, uno seco y otro húmedo. Con método seco puede recuperar hasta un 60% más de energía que con el método húmedo ya que el gas pierde menos temperatura cuando se elimina el polvo con el agua.⁵⁹

Figura 20. Sistema TRT húmedo⁶⁰

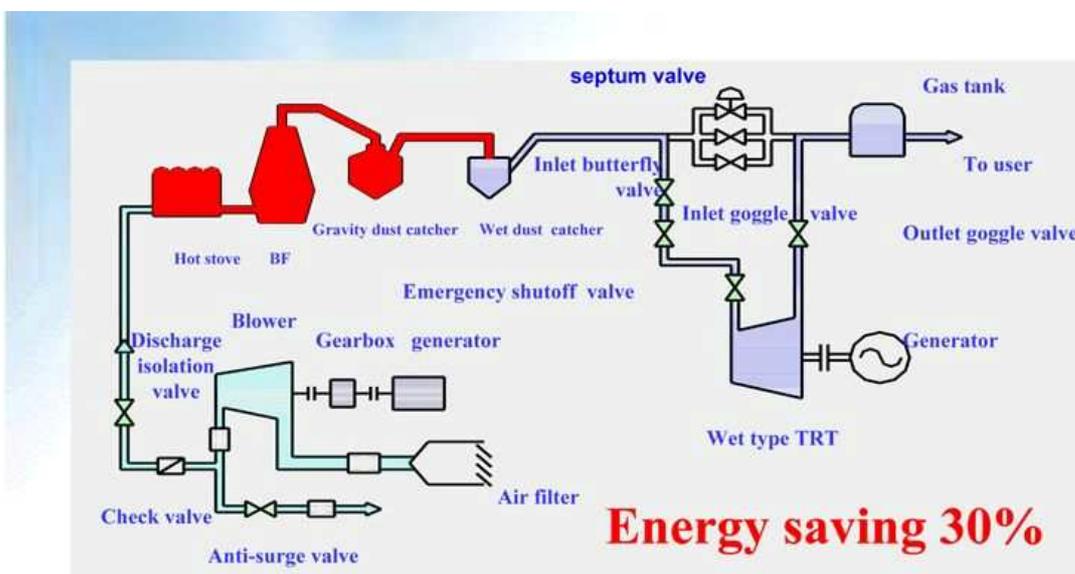
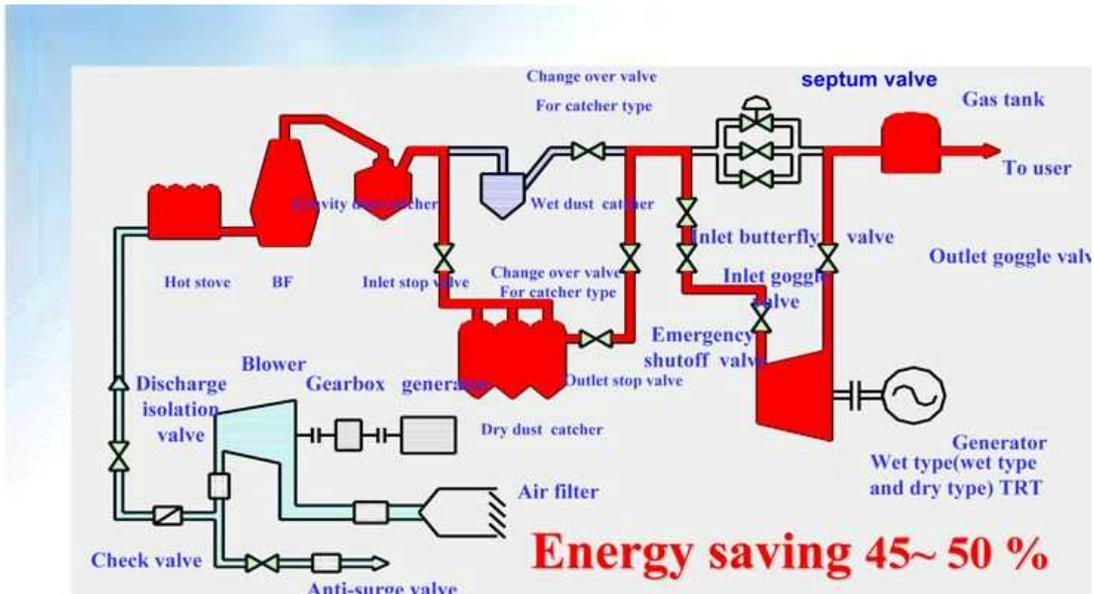


Figura 21. Sistema TRT seco⁶¹

⁵⁹ Ver referencia [19] de la Bibliografía

⁶⁰ Ver referencia [20] de la Bibliografía



Los sistemas de recuperación de calor TRT han sido instalados en el 100% de los BF de Japón antes de 1996.⁶²

Según el proveedor Alyork, un sistema TRT en un BF de 2500m³ generaría aproximadamente una potencia de entre 13.580Kw y 19.206Kw y su retorno de inversión ROI sería entre 1 y 1,5 años.⁶³

Según ECCJ (The Energy Conservation Center of Japan)⁶⁴, un sistema TRT instalado en China en el año 1975 en un BF que producía 3.000 kTon/año, que generaba unos 18.000Kw tuvo un ROI de 1,7 años.

⁶¹ Ver referencia [20] de la Bibliografía

⁶² Ver referencia [18] de la Bibliografía

⁶³ Ver referencia [20] de la Bibliografía

⁶⁴ Ver referencia [21] de la Bibliografía

5.1.2. Coke Dry Quenching (CDQ)

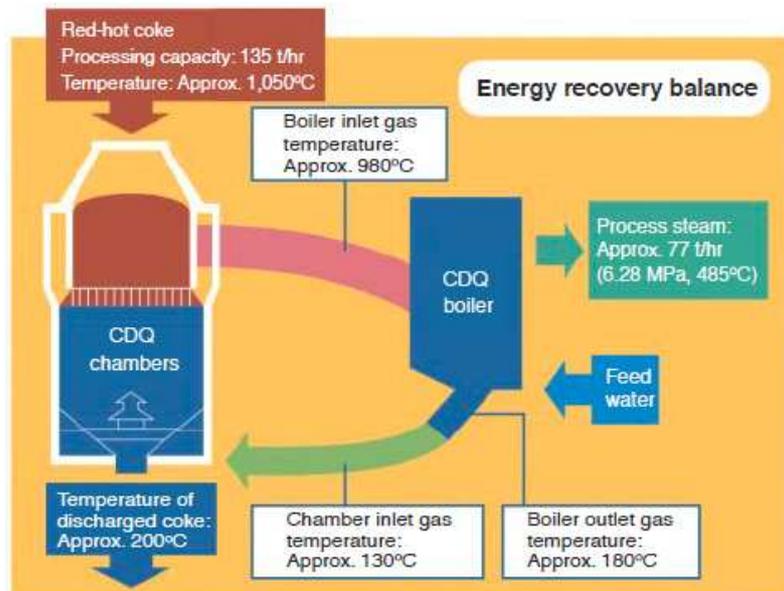
Por lo general, para producir carbón de coke, se introduce carbón bituminoso en un horno sellado, a alta temperatura en ausencia de oxígeno durante 14 a 36 hs. El carbón sólido resultante del proceso es carbón de coke.

Este carbón de coke, sale de la cámara del horno a una temperatura aproximada de 1050°C y es enfriado a unos 200°C utilizando sprays de agua para luego ser almacenado.⁶⁵

El proceso Coke Dry Quenching (CDQ) busca recuperar el calor del carbón de coke para producir vapor y mediante una turbina generar energía.

Dado que aproximadamente el 7-8% consumo de energía de una planta que produce acero se utiliza para producir carbón de coke y que el 45% de este consumo es el calor sensible que contiene el carbón de coke una vez que sale de la cámara del horno, existe un alto ahorro potencial de energía.⁶⁶

Figura 22. Proceso CDQ⁶⁷



⁶⁵ Ver referencia [22] de la Bibliografía

⁶⁶ Ver referencia [21] de la Bibliografía

⁶⁷ Ver referencia [22] de la Bibliografía

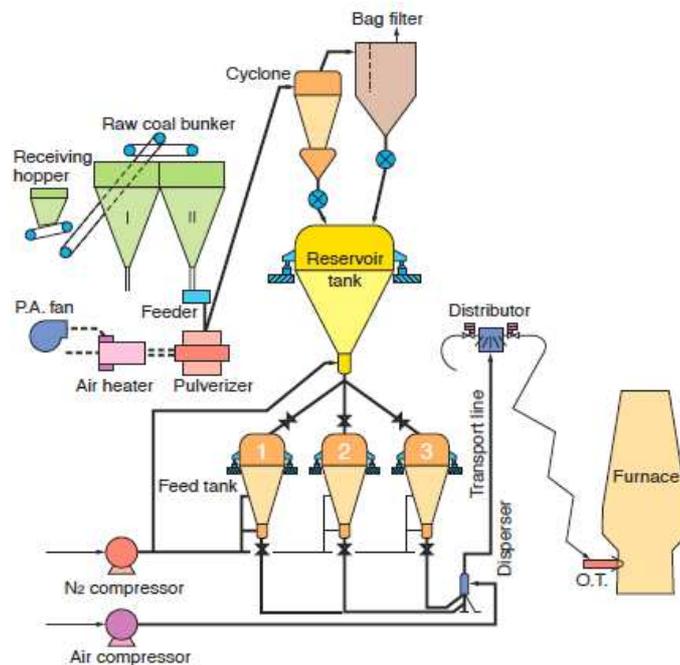
Según un estudio realizado por West Virginia University en el año 1975⁶⁸, un sistema CDQ puede generar ahorros aproximados de 2,5% del consumo de carbón y el ROI varía entre 2 y 3,9 años.

Según ECCJ (The Energy Conservation Center of Japan)⁶⁹, un sistema CDQ instalado en China en el año 2000 en una planta de coke que producía 150 Ton/hr, generaba un ahorro de 2.000Myens/año y tuvo un ROI de 2,9 años.

5.1.3. Pulverized Coal Injection (PCI)

Dada la falta de suministro de carbón de coke de alta calidad y el incremento constante de su precio, los fabricantes de acero se vieron obligados a tener que buscar una alternativa al uso de este tipo de carbón.

Figura 23. Esquema de un sistema PCI⁷⁰



⁶⁸ Ver referencia [23] de la Bibliografía

⁶⁹ Ver referencia [21] de la Bibliografía

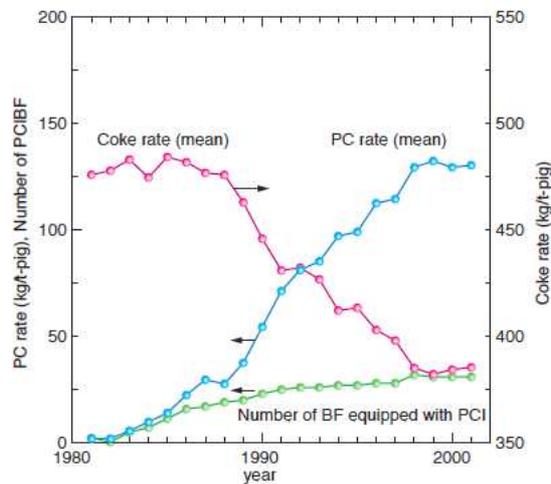
⁷⁰ Ver referencia [22] de la Bibliografía

La inyección de carbón de baja volatilidad pulverizado (low volatile PCI) como combustible auxiliar permite reducir las cantidades de gas de coke inyectadas en el BF. Por lo general, 1 tonelada de LV-PCI reemplaza 1,5 toneladas de coke.⁷¹

Según un artículo reciente del PAY DIRT Mining Magazine⁷², publicado en Octubre del 2011, el precio del LV-PCI oscila entre un 70-80% del precio del carbón de coke.

En Japón, hay una alta tendencia hacia el uso de PCI. Ya en el año 1998 todos los BF utilizaban esta tecnología y hubo una reducción muy importante en el uso de carbón de coke.⁷³

Figura 24. Consumo de coke, PC y cantidad de BF equipados con PCI en Japón.⁷⁴



Según ECCJ (The Energy Conservation Center of Japan)⁷⁵, en un BF con una producción de 3.000Kton/año de arrabio, podrían ahorrarse 600.000Kcal/ton de carbón pulverizado (siendo el consumo de 300.000 ton carbón pulverizado/año). La inversión de un sistema de estos en China rondaría los 3.000 Millones de yens y el ROI sería de 3-4 años.

⁷¹ Ver referencia [24] de la Bibliografía

⁷² Ver referencia [25] de la Bibliografía

⁷³ Ver referencia [22] de la Bibliografía

⁷⁴ Ver referencia [22] de la Bibliografía

⁷⁵ Ver referencia [21] de la Bibliografía

5.2. Soluciones de ahorro de energía en EAF

Ya hemos visto las 3 medidas que mayor ahorro generaron en la industria del acero japonesa donde el uso de la tecnología de producción de acero mediante BF+BOF predomina.

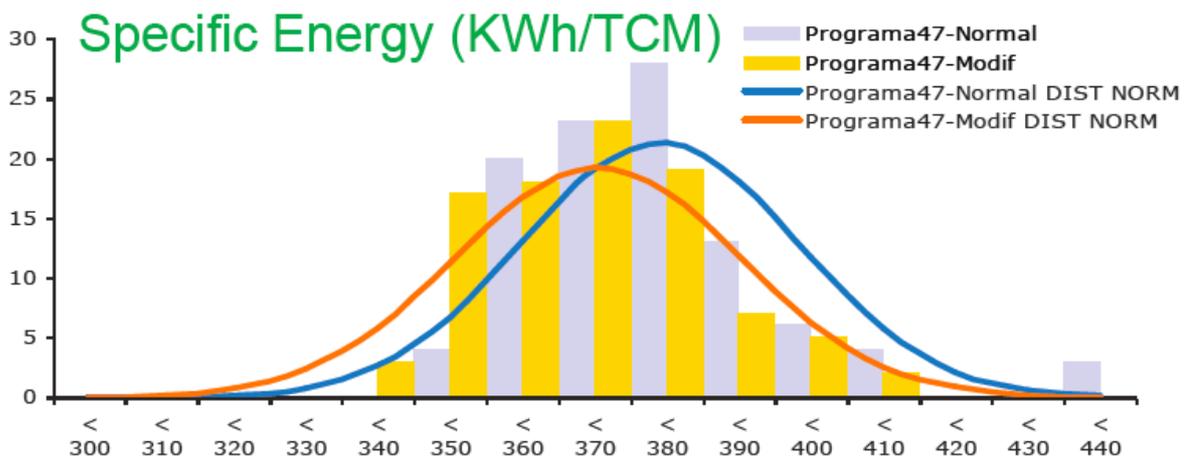
En esta sección buscaremos analizar si en los países que utilizan EAF (por ej. USA) como tecnología para producir acero, existen soluciones modernas para reducir el consumo energético.

Dado que los controles avanzados de los sistemas de arco eléctrico son modernos y todavía no hay soluciones estandarizadas, se mostrarán algunos ejemplos.

5.2.1. Optimización del consumo energético del EAF utilizando modelos alineales

Fernando Martell Chávez, estudiante Ph. D., realizó un estudio sobre cómo mejorar el modelo matemático para controlar la transferencia de energía en los hornos de arco eléctrico.⁷⁶

Figura 25. Reducción del consumo específico utilizando en un EAF utilizando modelos alineales⁷⁷



⁷⁶ Ver referencia [26] de la Bibliografía

⁷⁷ Ver referencia [26] de la Bibliografía

Este sistema de control se probó en Tenaris TAMSA (México), en un EAF de 120MVA. Se verificó que en 95 coladas, se redujo el consumo energético un 2,2% (9,6KWh/ton – 1,4MWh/colada).

Adicionalmente, se pudo verificar que los electrodos sufrían un desgaste inferior utilizando este método de control (8% menos desgaste – reducción de 0,1kg/ton).

5.2.2. *Soluciones de control avanzado de la empresa Tenova*

Según un estudio realizado por Schneider Electric en una gran empresa siderúrgica argentina⁷⁸, a fines del año 2010, el uso de sistemas de control avanzado de la empresa Tenova, en los EAF podría reducir su consumo de energía eléctrica en un 4% (30GWh/año – 2,37MUSD/año). El ROI de realizar esta mejora era de 13 meses.

La tecnología de control avanzado de Tenova recomendadas se basaba en:

- EFSOP® (Expert Furnace System Optimization Process): Sistema de control avanzado que toma mediciones de los gases de combustión en tiempo real con el fin de poder optimizar la energía química y la combustión mediante un lazo cerrado.
- TDR (Digital Electrode Regulation System): Sistema que optimiza la performance del arco manteniendo fija la distancia entre los extremos de los electrodos.
- KT (Koster Technology Injection System): Sistema que permite soplar O₂ y otros elementos, liberando energía química, durante la etapa líquida de la fusión mejorando la homogeneidad del acero.

5.3. **Soluciones de ahorro de energía en servicios comunes**

De estudios de eficiencia energética realizados por Schneider Electric en empresas siderúrgicas, se observa que pueden lograrse ahorros adicionales optimizando los servicios comunes de planta utilizando mejores tecnologías de control y automatizando procesos.

A continuación se mostrarán algunos ejemplos.

⁷⁸ Ver referencia [27] de la Bibliografía

5.3.1. Utilización de variadores de velocidad en bombas y ventiladores centrífugos

En la industria siderúrgica, el uso de bombas y ventiladores es muy intensivo y de aplicaciones variadas como ser:

- Bombas de agua cruda y transporte de agua en el sitio industrial
- Torres de enfriamiento (uso de bombas y ventiladores)
- Ventiladores de combustión y de eyección de gases en hornos/caldera
- Ventiladores para extracción de polvo
- Etc.

Por lo general, es común encontrar niveles de potencia muy elevados en estas aplicaciones, muchas veces alimentados directamente de la red de Media Tensión.

Estudiar el potencial ahorro de energía en estas aplicaciones es importante ya que si analizamos, en un periodo de 20 años, el costo de un sistema de bombeo vemos lo siguiente⁷⁹:

- La inversión en la bomba y su motor representa un 2,5% de los costos
- Mantenimiento representa un 2,5% de los costos
- La energía representa un 95% de los costos.
- Los valores son similares para los sistemas de ventilación.

Históricamente, tanto los sistemas de ventilación como los sistemas de bombeo, utilizaban dampers o válvulas para regular los niveles de caudal. Estos métodos son muy ineficientes desde el punto de vista energético ya que generan una caída de presión en los ductos muy importantes.

Con el fin de hacer una analogía con una aplicación menos técnica, como por ejemplo conducir un automóvil, utilizar este tipo de regulaciones que obstruyen los ductos sería equivalente a manejar un auto con el acelerador pisado al máximo y controlar la velocidad pisando el freno en vez de liberar el acelerador.

La razón por la cual históricamente se controló estos sistemas de esta forma es que en el pasado, los sistemas electrónicos que permiten variar la velocidad de los motores eran

⁷⁹ Ver referencia [28] de la Bibliografía

costos. En la actualidad los costos de estos sistemas han bajado notablemente y como hemos visto anteriormente, en un periodo largo de tiempo, el 95% de los costos son por energía y dados los altos niveles de ahorro que logran estos sistemas, se ve una fuerte tendencia hacia el cambio de control en este tipo de aplicaciones.

Las bombas y ventiladores centrífugos rigen su funcionamiento por las siguientes Leyes de afinidad:

Caudal \approx Velocidad

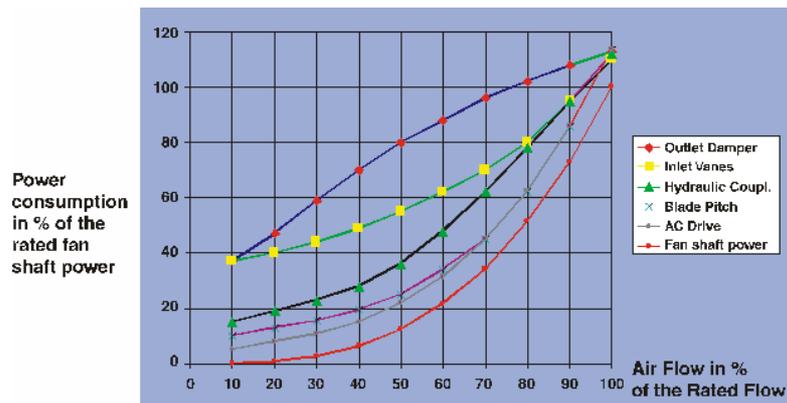
Presión \approx Velocidad²

Potencia \approx Velocidad³

Por este motivo, pueden lograrse grandes ahorros con pequeñas variaciones. Reducir la velocidad de una bomba o ventilador un 10%, generaría aprox. un ahorro del 27% ya que la relación entre el cambio de velocidad y la potencia es al cubo.

A continuación se muestran gráficos que muestran en forma general los ahorros que pueden obtenerse reemplazando el control mediante el uso de una válvula o damper por un variador de velocidad.⁸⁰

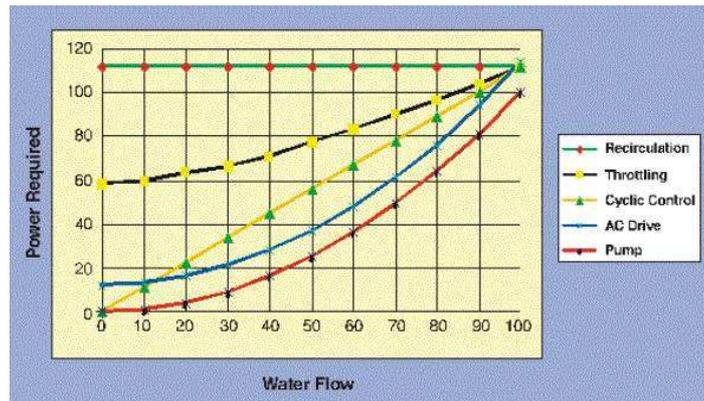
Figura 26. Potencia consumida por un ventilador mediante distintos tipo de control⁸¹



⁸⁰ Ver referencia [29] de la Bibliografía

⁸¹ Ver referencia [29] de la Bibliografía

Figura 27. Potencia consumida por un ventilador mediante distintos tipo de control⁸²



Por citar un ejemplo de las aplicaciones con oportunidad de ser modificadas para utilizar variación de velocidad en el estudio realizado por Schneider Electric en la industria siderúrgica argentina podemos mencionar:

- Ventilador de eyección de gases de horno
- Potencia: 3500HP
- % apertura de damper: 21%
- Ahorro anual [KWh]: 7.904.200
- Ahorro anual [USD]: 626.000
- ROI: 17 meses

⁸² Ver referencia [29] de la Bibliografía

5.3.2. Evitar dilución de gases de combustión

Por lo general, los hornos precalientan el aire de entrada utilizando recuperadores de calor de los gases de combustión del mismo horno, haciendo así más eficiente el mismo. Con el fin de que la temperatura de salida de gases no dañe el recuperador, suele utilizarse un ventilador de dilución que hace ingresar aire a temperatura ambiente para bajar la temperatura de estos gases y así evitar que se dañe el recuperador.

Se han encontrado hornos en los cuales los caudales de aire de los recuperadores eran fijos, sin tener en cuenta la temperatura máxima de operación de los recuperadores y esto hace que la temperatura de gases al ingreso del recuperador sea muy baja.

Por un lado esto maximiza la seguridad del recuperador, evitando llegar a su temperatura máxima de trabajo, pero va en contra de la optimización de energía ya que no permite que el recuperador trabaje a su capacidad máxima.

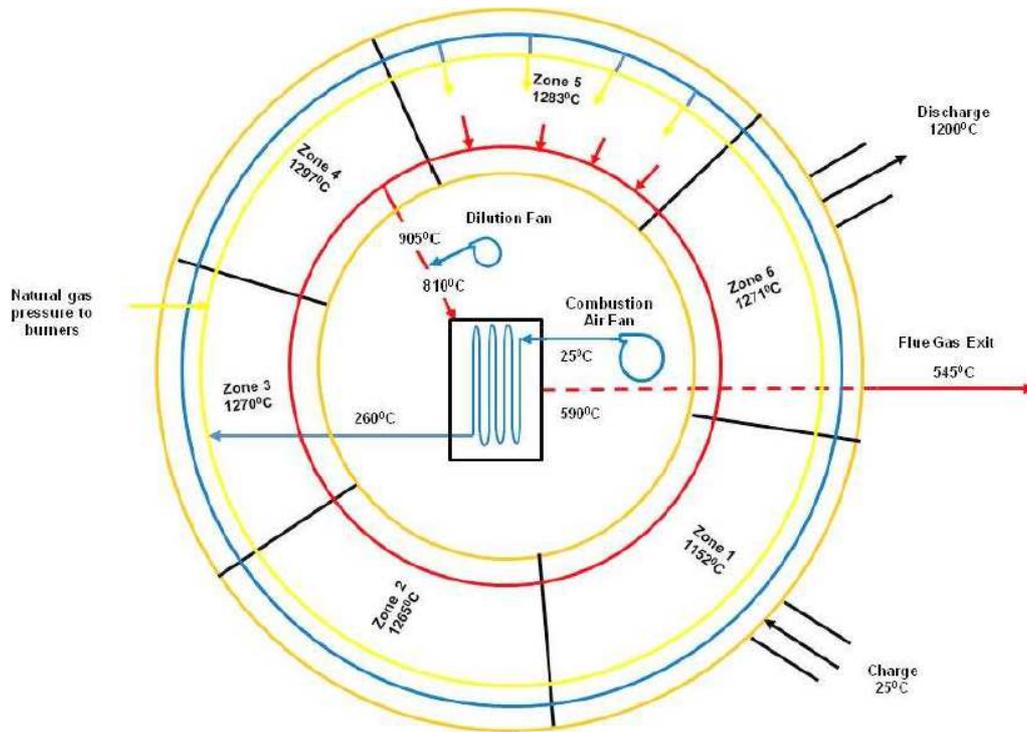
La solución a este problema es un control eficiente y seguro que optimice el consumo de energía del horno.

Por mencionar un caso encontrado en la industria siderúrgica argentina⁸³:

- Temperatura máxima soportada por el recuperador: 1035C
- Temperatura de gases a la salida del horno: 905°C
- Temperatura a la entrada del recuperador: 810°C
- Ahorro anual por evitar la dilución: 720.700Nm³
- Ahorro anual [USD]: 188.050
- ROI: 3 meses

⁸³ Ver referencia [27] de la Bibliografía

Figura 28. Esquema de horno con temperatura de gases⁸⁴



5.3.3. Optimización de la combustión en hornos y calderas

En los mismos estudios realizados por Schneider Electric en la industria siderúrgica⁸⁵ se detectó que en la gran mayoría de los hornos utilizados en planta, el control de la combustión no estaba hecho en forma correcta por falta de correcta instrumentación y automatización.

Con el fin de que la combustión en un horno/caldera esté bien hecha, tiene que haber una mezcla correcta entre combustible y aire. La relación correcta entre los gases está definida según el tipo de combustible.⁸⁶

Con el fin de poder analizar la combustión en un horno/caldera, se mide Temperatura y %O₂ en los gases de salida. Dado que en el aire el %O₂ es 21%, los niveles medidos siempre son inferiores a este valor. En el caso de que la combustión se haya hecho en forma completa, el valor debería ser próximo a 0% (Se evita llegar a 0% para mantener

⁸⁴ Ver referencia [27] de la Bibliografía

⁸⁵ Ver referencia [27] de la Bibliografía

⁸⁶ Ver referencia [30] de la Bibliografía

un margen de seguridad y evitar que pueda quedar combustible sin quemar, lo que generaría CO, monóxido de carbono, que es un gas tóxico).

A continuación se muestran niveles de oxígeno óptimos que debería haber en los gases de combustión según el tipo de combustible utilizado:

Tabla 9. Valores óptimos típicos de Exceso de Aire y O₂⁸⁷

Fuel Type	Firing Method	Optimum Excess Air (%)	Equivalent O ₂ (by Volume)
Natural gas	Natural draft	20-30	4-5
Natural gas	Forced draft	5-10	1-2
Natural gas	Low excess air	.04-0.2	0.1-0.5
Propane	—	5-10	1-2
Coke oven gas	—	5-10	1-2
No. 2 oil	Rotary cup	15-20	3-4
No. 2 oil	Air-atomized	10-15	2-3
No. 2 oil	Steam-atomized	10-15	2-3
No. 6 oil	Steam-atomized	10-15	2-3
Coal	Pulverized	15-20	3-3.5
Coal	Stoker	20-30	3.5-5
Coal	Cyclone	7-15	1.5-3

En hornos/calderas que tienen un alto consumo de combustible, la forma correcta de controlar la combustión sería utilizando analizadores online de gases de combustión en la chimenea de salida y un automatismo que regule el caudal de aire que ingresa a los quemadores con el fin de mantener el nivel de %O₂ en el valor óptimo.

En la práctica, suele ocurrir que no se utiliza este tipo de control y se ajusta un caudal máximo de aire en el quemador. Esto hace que bajo cualquier modo de trabajo, el horno/caldera nunca deje combustible sin quemar, evitando emanaciones de CO pero no maximiza el ahorro de energía.

⁸⁷ Ver referencia [30] de la Bibliografía

Por mencionar un caso encontrado en un horno en la industria siderúrgica argentina⁸⁸:

- Combustible utilizado: Gas Natural
- Eficiencia del horno: 32,36% (@ 7% O₂ medido en gases de salida)
- Eficiencia del horno propuesta: 37,93% (@ 5% O₂ propuesto)
- Ahorro de gas anual: 1.370.200 Nm³
- Ahorro económico anual: 353.900 USD
- ROI: 2 meses

5.4. Resumen

En este capítulo se buscó describir, en un principio, las 3 mayores aplicaciones que le permitieron a la industria siderúrgica japonesa alcanzar el consumo específico más bajo de la industria siderúrgica mundial.

Dado que en Japón la tecnología de producción de acero es mediante BF+BOF, luego se describieron ejemplos de aplicaciones para reducir el consumo energético para las acerías que producen acero mediante EAF.

Finalmente, se mostraron ejemplos de otras medidas de ahorro de energía que pueden ser utilizadas en cualquier proceso de fabricación.

En todos los casos se puede ver que existen altos potenciales de ahorro y que las soluciones son económicamente viables, teniendo un ROI menor a 4 años.

⁸⁸ Ver referencia [27] de la Bibliografía

Capítulo 6. Conclusiones

El cambio climático está afectando al planeta en que vivimos y la causa de este cambio es en gran medida el consumo de energía que utilizamos día a día.

Aún cuando existe en la actualidad tecnología para producir energía en forma más limpia, ésta no es lo suficientemente rentable como para poder abastecer en forma masiva al planeta. Es interesante resaltar que si sólo pensamos en energías renovables, no podríamos reducir las emisiones de CO₂ lo suficiente para reducir el impacto de nuestro consumo de energía.

Debemos obligadamente aprovechar al máximo los beneficios de la Eficiencia Energética para poder alcanzar los objetivos de reducción de emisiones.

La industria siderúrgica es la segunda industria que más consume energía en el mundo y representa aproximadamente un 7,3% del consumo mundial. Dado que cerca de un 45% de la producción de acero del mundo se encuentra en China y su consumo específico de energía por tonelada producida es uno de los más altos, existe un potencial ahorro muy alto.

Según las estimaciones del análisis aquí presentado, existiría un potencial ahorro del 15% (ver Tabla 7) de energía, si sólo 4 de los mayores productores del mundo tuvieran un consumo específico igual al de Japón, quien tiene el valor más bajo.

Dado que muchos otros países, como ser por ej. Argentina, Canadá, México, Indonesia y otros están avanzando con mejoras de Eficiencia Energética para reducir sus consumos, sería de esperar que los ahorros totales de la industria sean aún mayores al 15%, lo cual supondría un ahorro superior al 1% de la energía mundial.

¿Será entonces viable implementar estas mejoras durante los próximos 90 años?

Los consumidores en el mundo están empujando a las empresas para que sean más sustentables, los costos de energía representan un 15% de los totales de producción y van en aumento. Finalmente, la mayoría de las soluciones que deben implementarse tienen un ROI menor a 4 años por lo que creemos que esto acelerará el proceso de cambio y permitirá dejar satisfechos a todos: Planeta, Personas, Comunidades y Empresas.

Bibliografía:

Calentamiento Global:

- [1] CLIMATE CHANGE 2007 SYNTHESIS REPORT, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007

Datos estadísticos sobre consumos y precios de energía a nivel mundial:

- [2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Key World Energy Statistics 2011*, 2011
- [3] THE INSTITUTE OF ENERGY ECONOMICS, *Ultra-Long term Global Energy Supply/Demand Models and Simulation Analysis*, Japan, 2000
- [4] CIA (Central Intelligence Agency): “*Inflation rate (Consumer Prices)*”, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2092.html> (web)
- [5] KEMA CONSULTING, *Review of European Electricity Prices*, 2005
- [8] US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, *International Energy Outlook 2011*, September 2011

Sustentabilidad y Responsabilidad Social Empresaria

- [6] DESIGN 4 SUSTAINABILITY, Developments in Carbon footprinting of productos, http://www.design-4-sustainability.com/case_studies/69-developments-in-carbon-footprinting-of-products (web)
- [7] STANDBERG CONSULTING, *The Business Case for Sustainability*, 2009

Estudios realizados sobre la industria siderúrgica:

- [9] BERKELEY LAB, *Energy use and carbon dioxide emissions from steel production in China*, 2001
- [10] STEEL AUTHORITY OF INDIA LIMITED, *Energy Efficiency & New technology development in Indian Iron & Steel Sector*, 2010, http://www.iea.org/work/2010/india_bee/jain.pdf (web)
- [11] BERKELEY LAB, *A Comparison of Iron and Steel Production Energy Use and Energy Intensity in China and the US*, June 2011

- [12] CENTER FOR ENERGY EFFICIENCY, *Resource of energy efficiency IN RUSSIA - scale, COSTS AND BENEFITS*, 2008
- [13] MESTEEL, Major Steel Producing Countries 2004-2005, http://www.mesteel.com/cgi-bin/w3msql/goto.htm?url=http://www.mesteel.com/info/international_steel_statistics.htm (web)
- [14] BERKELEY LAB, Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the US Iron and Steel Industry - An Energy Star Guide for Energy and Plant Managers, Estados Unidos, 2010
- [15] EQUITY MASTER, Steel: How does your company make it? , <http://www.equitymaster.com/detail.asp?date=12/15/2006&story=3&title=Steel-How-does-your-company-make-it> (web)
- [17] BERKELEY LAB, Indias Iron and Steel Industry - Productivity, Energy Efficiency and Carbon Emissions, 1998
- [18] THE JAPAN IRON AND STEEL FEDERATION, Energy Efficiency in the Japanese Steel Industry, <http://www.jisf.or.jp/en/activity/warm/commit/save.html> (web)

Soluciones de ahorro de energía:

- [19] ENERGY EFFICIENCY TECHNOLOGIES KNOWLEDGE BASE, *Blast furnace top-pressure recovery turbine (TRT)*, <http://62.160.8.20/eetkb/technologies/details.aspx?id=41> (web)
- [20] ALYORK, TRT, http://www.alyork.com/urunkat.asp?urunkat_id=39 (web)
- [21] THE ENERGY CONSERVATION CENTER OF JAPAN, *Basic Survey for Promoting Energy Efficiency in Developing Countries*, 09-Chapter3-Section1-Iron & Steel Industry-Page83-119, 1999.
- [22] JAPAN COAL ENERGY CENTER, *Clean Coal Technologies in Japan*, 3A5.Coke Dry Quenching Technology, 2007
- [23] WEST VIRGINIA UNIVERSITY, *Dry coke quenching, air pollution and energy: A status report*, 1975
- [24] CHINA COAL RESOURCE, *Brief Introduction to Pulverised Coal*, <http://en.sxcoal.com/93/19064/DataShow.html> , (web)

- [25] PAY DIRT Mining Magazine, *Peabody will acquire big Australian coal producer without partner*, <http://paydirtmagazine.com/2011/10/peabody-will-acquire-big-australian-coal-producer-without-partner/>, Oct 2011, (web)
- [26] FERNADO MARTELL CHAVEZ, *Power Input Optimization of Electric Arc Furnaces*, Feb 2011
- [27] SCHNEIDER ELECTRIC, *Energy Assesments Reports*, 2010, (confidencial)
- [28] D.E.T.R., *Energy Savings in Industrial water pumping systems*, 1998
- [29] INVERTER-CHINA, *How is it possible to save your company money, with variable speed drives?*, <http://www.inverter-china.com/blog/catalog.asp?tags=vsds>, 2011, (web)
- [30] WAYNE C. TURNER & STEVE DOTY, *Energy Management Handbook Sixth Edition*, 2007

Otros:

- [16] CAMARA ARGENTINA DEL ACERO, *Glosario de términos siderúrgicos* http://www.cisider.org.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=16&Itemid=44 (web)