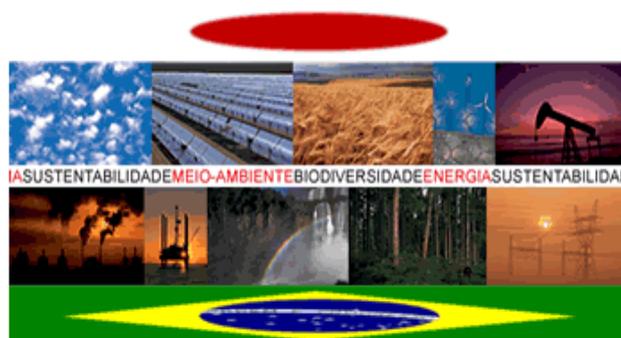


III WORKSHOP BRASIL-JAPÃO em ENERGIA, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Com a finalidade de desenvolver tecnologias para satisfazer necessidades imediatas na área de energia, sustentabilidade e meio-ambiente, como o tratamento de efluentes, reuso de resíduos sólidos, combustíveis alternativos e qualidade do ar, este Workshop abre possibilidades interessantes para empresas japonesas e brasileiras, universidades e centros de pesquisas estarem discutindo os temas propostos, propiciando a oportunidades de troca de experiências, a possibilidade de fomentar a realização de novas atividades conjuntas que possam propiciar a integração e desenvolvimento, tanto do Brasil como do Japão, bem como, uma oportunidade para fomentar a realização de novas iniciativas conjuntas para o desenvolvimento de projetos que possam ser benéficos para ambos os países.



Uso Racional e Econômico da Energia dentro de uma Indústria Metalúrgica:
Oportunidade de troca de eletricidade para gás natural

Autores:

Geraldo Francisco Burani (burani@iee.usp.br)

Cidar Ramon Oliva Rocha

Paulo Helio Kanayama (paulo.kanayama@poli.usp.br)

Miguel Edgar Morales Udaeta (udaeta@pea.usp.br)

Octavio Ferreira Affonso (Octavio@pea.usp.br)

Escola Politécnica da USP(EPUSP) e
Instituto de Eletrotécnica e Energia da USP (IEE-USP)

Resumo

O objetivo deste trabalho é apresentar um diagnóstico inicial acerca do uso econômico e eficiente do insumo energético em indústrias metalúrgicas que utilizam fornos elétricos. A partir dos fundamentos da gestão energética moderna e caracterização energética da indústria, avalia-se o consumo de eletricidade para apresentar as facilidades na troca de energético para gás natural e os métodos modernos de combustão completa com oxigênio do ar.

Através de cálculos, levando-se em conta as características de produção de uma indústria metalúrgica real, calculou-se o dimensionamento de fornos a gás natural para substituir os fornos elétricos existentes, com margem de crescimento na demanda. Conclui-se no trabalho que a possibilidade é real, mesmo porque poderia se utilizar os métodos modernos de co-geração para um aproveitamento completo do gás que implicaria um investimento adicional para produzir eletricidade através de uma turbina de vapor.

1. Introdução

A eficiência energética pode ser apresentada como a relação entre a energia consumida e o volume de produção. Assim, a eficiência energética é tanto melhor quanto menor for a quantidade de energia necessária para a produção de determinado produto.

Este trabalho tem como objetivo analisar a eficiência energética de uma indústria metalúrgica real, tendo como principais análises:

1. Gestão energética e estado da Indústria.
2. Gerenciamento da energia e ampliação da indústria.
3. Troca de energético, da eletricidade para Gás Natural.
4. Introdução da auto-produção e/ou de co-geração de energia

2. Gestão energética e caracterização da indústria

A indústria metalúrgica utilizada no estudo localiza-se no interior do estado de São Paulo que utiliza a eletricidade como fonte energética para a fundição de ferro gusa e sucata de ferro.

Os dados de consumo de energia, medidos no período de 15/04/05 a 18/05/05 são:

- Consumo de energia elétrica na Ponta (17h30 às 20h30) = 95,157 MWh
- Consumo de energia elétrica na Fora da Ponta = 953,283 MWh

Portanto:

Consumo mensal = aproximadamente 1000 MWh mês

A demanda contratada, junto à concessionária é de 1.800 kW. Segundo informações da indústria, estima-se que a demanda é distribuída em aproximadamente 1.200 kW para consumo nos fornos elétricos e de 400 a 600 kW para demais cargas.

A tarifa da concessionária sendo praticada é a horo-sazonal verde. Há que se ressaltar que o valor da tarifa de consumo de energia no horário de ponta no segmento horo-sazonal verde é aproximadamente 10 vezes maior que o preço fora do horário de ponta. Por este motivo a indústria gerava energia elétrica no horário de ponta com um gerador diesel, cujo custo médio de geração é de aproximadamente R\$ 300/MWh, aproximadamente 30% da tarifa cobrada pela concessionária no horário entre 17h30 e 20h30.

Após negociação com a concessionária, a indústria passou a receber desconto na tarifa no horário da ponta e por isso o gerador diesel foi desativado. O desconto concedido foi de aproximadamente 10 vezes para 2 vezes a tarifa fora da ponta.

Se considerarmos 18% de ICMS, o gasto mensal é de cerca de R\$ 194 mil, que nos dá um custo aproximado de R\$ 194/MWh.

Pela análise das faturas de energia elétrica, praticamente não há multas por consumo excessivo de reativos. A planta industrial conta com bancos de capacitores que estão bem dimensionados para os níveis de produção atuais.

3. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PELOS TRANSFORMADORES

Atualmente, a empresa possui instalados 5 transformadores de grande porte (Tab. 1). Os transformadores utilizam cerca de 5% de sua capacidade para consumo próprio. Mesmo sem carga, há consumo de energia devido às perdas joule (calor) e para manter os circuitos magnetizados e prontos para utilização.

O consumo de energia mensal, com todos os transformadores energizados foi estimado em 162 MWh, que representa cerca de 16,2% da energia consumida por toda planta. O gasto financeiro, somente para manter os transformadores energizados, mesmo que não haja produção, é de aproximadamente R\$ 31,5 mil / mês.

Pode-se dizer que os transformadores contribuem com cerca de 225 KW na demanda total da planta. A capacidade total de transformação instalada está sobre dimensionada. Há um total de 4.500 KVA para uma demanda máxima de 1.800 KW. No caso de maior utilização com uma produção intensiva, e se considerarmos um fator de potência de 0,9 e folga de 50% de fator de demanda, uma capacidade de transformação de 3.000 KVA seria suficiente.

Caso a capacidade de transformação da planta fosse de 3.000 KVA, a contribuição na demanda seria de 150 KW e o gasto com energização de transformadores seria de aproximadamente R\$ 20,9 mil, cerca de R\$ 10 mil mensal a menos. Há que se lembrar também que o baixo carregamento dos transformadores abaixa o fator de potência da instalação como um todo. Então um alívio na capacidade de transformação, certamente diminuiria a necessidade de bancos de capacitores também.

4. Gerenciamento da energia e ampliação da indústria

O regime de funcionamento normal da planta está dimensionado para funcionar com 4 fornos elétricos:

- 1 forno elétrico de 400 KW para à fusão de 530 Kg/h.
- 1 forno elétrico de 450 KW para à fusão de 530 Kg/h.
- 1 forno elétrico de 500 KW para à fusão de 700 Kg/h
- 1 forno elétrico de 750 Kw para à fusão de 1000 Kg/h (desativado).
- 1 forno elétrico de 1250 KW para à fusão de 1600 kg/h .(sendo instalado)

Um dos fornos de 750 KW foi desativado e em seu lugar estava sendo instalado um com maior capacidade, de 1.250 KW.

De acordo com as curvas de carga analisadas no período específico de 14/04 a 15/05/05, a demanda contratada de 1.800 KW chegou a ser ultrapassada em alguns períodos. Porém, em outros períodos a média de demanda chega ao máximo de 1.500 KW.

Com o aumento da carga instalada, deve-se fazer um estudo de sensibilidade para calcular se é melhor aumentar o valor da demanda contratada ou manter o nível atual e suportar as eventuais ultrapassagens de demanda.

Pela análise das curvas de carga, percebe-se que o regime de produção é contínuo. Quatro ou três fornos elétricos funcionam em rodízio em processo contínuo, enquanto um forno esquenta e funde o metal, outro despeja o ferro fundido para realizar o colado do metal nos moldes de areia, outro já começa a funcionar.

Atualmente, o gerenciamento da energia é parcialmente automatizado. A Yadoya conta com controlador de demanda para evitar a ultrapassagem da demanda contratada de 1.800 kW. Um alarme sonoro faz com que algum forno seja desligado pelos funcionários quando o alarme soa.

Existem no mercado gerenciadores de energia mais sofisticados que permitem monitorar o consumo de energia de cada carga em tempo real, que aumentariam a confiabilidade quanto à ultrapassagem de demanda. Um sistema completo de gerenciamento de energia instalado em uma indústria do porte da Yadoya custaria por volta de R\$ 500 mil.

5. Troca de energético, da eletricidade para Gás Natural

As reservas de gás natural contêm uma mistura de hidrocarbonetos leves sendo composto na sua maior parte pelo metano (CH₄), e outros em pequena escala denominados de líquidos do gás natural. Este recurso se localiza no subsolo da terra e é procedente da decomposição da matéria orgânica espalhada entre os extratos rochosos. Tal e como é extraído das jazidas, o gás natural é um produto incolor e inodoro, não é tóxico e é mais leve que o ar. O gás natural é uma energia não renovável de origem fóssil, com baixíssimos teores de poluentes como o enxofre e a sua combustão é completa, liberando como produtos da mesma o dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água, sendo os dois componentes não tóxicos, o que faz do gás natural uma energia ecológica correta e limpa.

Uma vez extraído do subsolo, o gás natural depois de separados os líquidos na UPGN (Unidade Processadora de Gás Natural), deve ser transportado até as zonas de consumo, que podem estar perto ou bastante distante. O transporte, desde as jazidas até estas zonas, é realizado através de tubulações de grandes diâmetros, denominadas gasodutos. Quando o transporte é feito por mar e não é possível construir gasodutos submarinos, o gás é carregado em navios metaneiros. Nestes casos o gás é liquefeito a 160 graus abaixo de zero reduzindo seu volume 600 vezes para poder ser transportado. No porto receptor, o gás é descarregado em plantas ou terminais de armazenamento e regaseificação.

Nos comércios e nas indústrias o gás natural pode ser usado para qualquer processo de geração de frio ou calor, na co-geração de energia térmica e elétrica, e na geração própria de eletricidade. Como combustível, o gás natural é utilizado nos processos e equipamentos industriais que precisam de uma energia limpa, eficaz e altamente confiável, tal com: em cerâmicas, em metalúrgicas, em fabricas de vidro, fornos em geral, fundições, tratamentos térmicos, etc.

Outra aplicação de grande atualidade e com grande futuro é a co-geração. A co-geração com gás natural produz em conjunto energia elétrica (ou mecânica) e calor útil para

fábricas, centros de saúde e hotéis, assim como grandes complexos urbanísticos. O gás natural é também utilizado em grande escala na geração de eletricidade nas centrais térmicas convencionais ou de ciclo combinado.

Cabe destacar que a rodada 7 de licitações da ANP (para áreas de exploração petrolífera), prevista para outubro de 2005, será totalmente dedicada ao Gás Natural, isso por recomendação do CNPE (Conselho Nacional de Política Energética) e decisão do governo. Recentemente (2005) o Brasil decidiu que cerca de 50% da oferta futura de GN (cerca de 100 milhões de metros cúbicos por dia em 2010) será dedicada a geração elétrica. Isso de fato garante um mercado secundário bem abastecido, principalmente a pequena indústria e comércio (fonte: plano de negócios 2006 – 2010 da Petrobras).

O gás natural é consumido em vários países há mais de 50 anos e cerca de 95% de quase todo o gás canalizado do mundo corresponde a gás natural. Este tipo de gás é a fonte de energia mais limpa que existe, uma vez que não produz resíduos em sua combustão e não polui o meio ambiente. É altamente valorizado em consequência da progressiva conscientização mundial da relação entre energia e meio ambiente.

O gás natural é uma energia que:

- Utiliza-se tal como é extraída da natureza, chegando as instalações do cliente sem nenhuma transformação.
- Permite resolver todas as necessidades energéticas modernas. Em consequência das grandes reservas existentes, possibilita seu desenvolvimento e expansão em diversos campos.
- Dispõe de alto poder calorífico.
- Não é tóxico, pela sua própria composição.
- Preserva o meio ambiente, pois a sua combustão não produz fumaça nem emissões nocivas, ajudando a reduzir a poluição do ambiente urbano.
- É versátil, com muitas aplicações como a lavagem e secagem de roupas, de louças, em ar condicionado, em veículos, na geração de energia elétrica, além das utilizações tradicionais.
- Ao ser queimado minimiza os efeitos na mudança climática já que o metano, se lançado ao ar, tem um efeito estufa 23 vezes maior que o CO₂ (que é resultado da queima do metano).

7. Combustão

A importância da combustão deriva de sua característica de reação exotérmica, que depois de iniciada se mantém a uma taxa elevada. Com isso, propicia a formação de uma “diferença de potencial” térmico, originando processos termodinâmicos. Além disso, como um processo termoquímico, é essencial para uma série de processos em escala industrial como metalúrgicas, e domiciliar como a cocção e o aquecimento de água. Na figura 1 pode ser visto o processo genérico de combustão de um gás.

Trata-se de uma reação de oxidação que pode ser expressa genericamente por:

Combustível(GN) + Comburente(O₂ do Ar) => Produtos + Calor

Onde: Combustíveis: em geral hidrocarbonetos (C_xH_y); Comburente: Ar e Produtos: água e óxidos (geralmente de carbono).

A combustão é uma reação química em que um oxidante reage rapidamente com um combustível para liberar a energia armazenada como energia térmica, geralmente em forma de gases de alta temperatura. Pequenas quantidades de energia eletromagnética (luz), de energia elétrica (íons e elétrons livres) e de energia mecânica (ruído) também são produzidas durante a combustão. Exceto em aplicações especiais, o oxidante é oxigênio do ar.

Os combustíveis convencionais (hidrocarbonetos) contêm basicamente hidrogênio e carbono, na forma elementar ou de compostos. Sua combustão completa produz principalmente dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O). Entretanto, pequenas quantidades de monóxido de carbono (CO) e de componentes parcialmente reagidos (aerossóis gasosos, líquidos ou sólidos) podem ocorrer. A maioria dos combustíveis convencionais contém também pequenas quantidades de enxofre (que são oxidadas a dióxido de enxofre SO₂ ou trióxido de enxofre SO₃ durante a combustão), além de substâncias não combustíveis tais como matéria mineralizada (cinza), água, e gases inertes. No caso específico do CH₄ (gás natural), a combustão resulta em CO₂ e H₂O (água) e óxidos de nitrogênio em mínimas quantidades dependendo da qualidade da combustão (em altíssimas temperaturas).

A taxa da combustão é determinada pelo tipo de combustível e depende:

- da taxa da reação química do combustível com o oxigênio do ar,
- da taxa em que o oxigênio é fornecido ao combustível (mistura do ar e do combustível),
- da temperatura na região da combustão.

A taxa de transferência de calor entre meios é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre eles. Reduzindo a introdução de ar de combustão ao mínimo necessário é possível incrementar a diferença de temperatura entre os gases de exaustão e o fluido ou sólido que deve ser aquecido alcançando temperaturas de até 20000C em alguns casos.

A energia radiante é muito mais efetiva em transferir calor do que as demais porque deriva da própria chama e está diretamente relacionada com a sua temperatura. A taxa de queima na combustão é extremamente sensível à temperatura. Se essa aumenta em 10%, a taxa de combustão mais do que dobra. Todavia, também cresce a produção de NO_x. Na Fig. 4 se observa o sistema de queima para o gás.

Condicionantes do processo - ar de combustão

- Ar primário – provê uma percentagem de ar para a combustão, mas, mais importante, controla a quantidade de combustível que pode ser queimado (ver Fig. 4).
- Ar secundário – aumenta a eficiência da combustão, promovendo a queima completa do combustível (ver Fig. 4). Os “vazamentos” de ar para dentro de câmaras de combustão provocam a diluição da chama e redução da temperatura dos gases de exaustão, reduzindo a eficiência operativa.
- Ar de excesso – ar fornecido à combustão para garantir que cada molécula do combustível seja completamente envolvida por suficiente ar de combustão.
- Ar de diluição – não participa diretamente da combustão e presta-se basicamente a controlar o fluxo da chaminé e para reduzir a probabilidade de que a umidade presente nos gases de exaustão condense nos sistemas de ventilação. Indiretamente influencia o ar de combustão, a segurança e a eficiência.

8. Troca de fornos elétricos por gás natural

Para realizar a analogia entre os fornos elétricos e os fornos a gás se deve ter em conta os seguintes dados:

Um KW de energia elétrica gera 860 Kcal, e em um forno elétrico de fundição o rendimento é dos 60% aproximadamente.

Um metro cúbico de gás natural (COMGAS) gera cerca de 9.000 Kcal. Dependendo da fonte e do processamento esse valor calórico do gás natural pode variar para cima ou para baixo. O rendimento é da ordem de 40%. Quando se utiliza o gás na fundição, temos a vantagem de que há produção de calor residual de 40%, aproximadamente, que é facilmente recuperável para a produção de vapor e/ou outras aplicações. No caso de uma indústria metalúrgica, pode-se aproveitar o calor residual diretamente para realizar o preaquecimento dos fornos, com uma economia da ordem de 10 a 15%.

O investimento para aquisição e instalação de fornos a gás natural foi estimado em R\$ 650 mil, sendo cerca de R\$ 500 mil para aquisição de 4 fornos com capacidade unitária de 1.000 Kg/h de ferro gusa, mais 30% de acréscimo como custo de instalação.

Uma das maiores vantagens da conversão de fornos elétricos para fornos a gás natural é o econômico. O custo de cerca de R\$ 194 mil por mês com energia elétrica pode ser reduzido significativamente. A estimativa é que fornos a gás natural apresentem um gasto mensal da ordem de R\$ 117,7 mil. No caso de ser construído uma rede de distribuição de gás até a planta industrial, o gasto mensal barateia ainda mais, podendo chegar a R\$ 88 mil mensais. No cálculo, dos valores apresentados na tabela 5, foi considerado a utilização de tecnologias modernas de queimadores para combustão completa do gás natural com oxigênio do ar.

9. Características e funcionamento dos fornos a gás natural

A seguir, descreve-se o funcionamento de um forno tipo basculante a gás natural (ver figura 5). Onde o conceito fundamental é o aproveitamento eficiente na combustão do oxigênio diretamente da natureza (o ar contém na sua maior parte O₂),.

Os fornos para fusão de metais funcionam fazendo uma combustão completa entre o ar e o gás natural. A quantidade de ar a ser entregue para os fornos é calculada pela quantidade de gás natural. Mas para garantir uma combustão perfeita e garantir o calor de processo para a fusão do metal, é necessário injetar uma quantidade de ar e gás em excesso, de 5 a 10%. Esse excesso é necessário devido a que o nitrogênio que se encontra misturado com o ar também absorve calor no processo de combustão, provocando uma pequena queda de calor que será compensada com o excesso acima mencionado. Deve ficar claro que esse ar em excesso garante que a combustão seja completa e o calor requerido para a fusão do metal seja sempre constante.

Objetivamente, afirma-se que os fornos de gás natural oferecem baixa manutenção, podendo funcionar ininterruptamente. São de fácil manipulação e controle de operação. Os fornos atuais empregam modernos materiais, de grande qualidade e conceitos de alta tecnologia.

Construção

O forno é fabricado externamente por uma estrutura metálica em chapas e perfis de aço laminado com tratamento especial anticorrosivo, de grande robustez e leveza, com pintura epóxi.

O comando de acionamento do sistema de giro do forno pode situar-se, em função das exigências do usuário, no painel de controle geral, ou também no mesmo bastidor próximo ao ponto de escoamento. Não é necessário nenhum tipo de obra civil para colocação do forno (ver figura 5).

Os injetores de gás natural são projetados e dimensionados pelos fabricantes para garantir a combustão completa dos gases (gás natural e ar).

Isolamento

O isolamento dos fornos contém fibras minerais e cerâmicas de baixa massa térmica e grande poder calorífico, dispostos em camadas para reduzir as perdas de calor.

Controle do processo

O controle da fusão é realizado por meio de microprocessador eletrônico, com visualizador digital de temperaturas. Todas as leituras são digitais. Tem-se sempre uma visão continuada da temperatura do metal fundido e da câmara de combustão e das horas de trabalho do cadinho, e também conta-se com ativação de um alarme ao se aproximar o momento para a manutenção preventiva.

A presença de alarmes programáveis dispensa atenção constante no sistema.

Introdução da co-geração

Além do processo de fundição, os fornos a gás natural permitem recuperar o calor gerado pelos fornos para gerar energia elétrica e gerar calor de processo para esquentar a areia (dentro do processo industrial). O sistema de co-geração funciona da seguinte forma:

- o O calor produzido pelos fornos é transportado a uma temperatura de 800°C até uma caldeira onde se produz vapor a pressão e alta temperatura;

- o Esse vapor é dirigido a alta pressão para uma turbina de vapor onde transformará essa energia em energia mecânica e depois em energia elétrica com uma potência de 500 kW a 220 V.

- o Essa energia poderá ter usos nos escritórios, cozinha e outros;

- o O calor residual da turbina de vapor a menor pressão e menor temperatura pode ser entregue para aquecer por ex. a areia dos moldes dentro da cadeia produtiva.

Para o caso de co-geração de toda a indústria pode-se considerar o custo de investimento de 300 US\$/kW para instalação de uma planta de ciclo combinado a gás natural. O custo total estimado é de R\$ 1,5 milhão.

Introdução da autoprodução / co-geração de energia elétrica com gás natural

Um sistema de autoprodução de eletricidade para substituir o fornecimento de energia da concessionária pelo uso de gás natural pode ser feito com um sistema de co-geração para gerar toda a energia elétrica da indústria e também se usar o vapor de processo para uso produtivo na Indústria. A diferença com sistema de co-geração anterior é que a geração de energia é produzida por micro-turbina de gás natural ou por motor de combustão interna. Vale lembrar que o custo da energia vendido pela concessionária de energia no horário de ponta na tarifa verde, sem desconto é de aproximadamente R\$ 1.000 / MWh. Fora da ponta, a tarifa é de R\$ 120 / MWh.

Os custos estimados para cogeração de energia em média são de 1500 US\$/kW no caso de micro-turbinas. Isso levaria a gastos de aproximadamente 120 a 200 US\$/MWh, dependendo da forma de uso do calor.

Já para a cogeração com motores a combustão interna (MCI) teríamos custos de aproximadamente 150 US\$/MWh, num modelo take-or-pay.

O custo da energia elétrica a partir de gerador diesel é de aproximadamente R\$ 300 / MWh.

Embora o custo da energia a partir do gás natural seja vantajoso no horário de ponta, o custo de investimento para 2.000 KW , contemplando a instalação de equipamentos auxiliares, obras civis e custo dos motores é de cerca de R\$ 2 milhões.

Bibliografia:

Site da COMGÁS (www.comgas.com.br)

Site da ANP (www.anp.gov.br)