

ASPECTOS DE DIMENSIONAMENTO E CONTROLE DE UMA ESTAÇÃO DE MISTURA DE GASES SIDERÚRGICOS ¹

*Benjamin Fullin Junior*²
*Carlos Roberto Gonçalves*³
*Jorge Sussumu Yamana*⁴
*Marcos Antônio Araújo*⁵
*Roberval Rogério Costa*⁶
*Vanderlei Alves de Oliveira*⁷
*José Maria Madureira*⁸
*Paulo Vicente Correa*⁹

Resumo

Este trabalho apresenta a evolução tecnológica das estações de mistura dos fornos da laminação de tiras a quente (LTQ) da ACESITA. Em 1996 a ACESITA mudou o combustível do forno Walking Beam 1 de óleo para gás sendo necessário uma estação misturadora que possibilitasse a mistura de gás de alto forno (GAF) e GLP. Surge então, a primeira versão de uma estação de mistura. Esta apresentou vários problemas, que refletiram negativamente nos resultados de processo, operação e manutenção levando a uma nova versão do projeto em 1997, que solucionou grande parte dos problemas existentes. Em 1999 a ACESITA iniciou o projeto de expansão da laminação a frio de inox, levando a uma necessidade do aumento da potência do forno Walking Beam 1 criando-se o projeto "ZPA". Neste projeto a estação misturadora existente foi substituída, por uma outra, que atendesse os novos requerimentos de potência do forno. Isto constituiu uma grande oportunidade para consolidar os conceitos de dimensionamento e controle que se mostraram eficazes, corrigir os que não se consolidaram e introduzir novos conceitos e tecnologias de controle para a nova estação misturadora. Esta fase constituiu um marco para a evolução tecnológica da estação misturadora pois, os conceitos aplicados se mostraram bastantes eficazes nos resultados de processo, operação e manutenção. Em 2000 iniciou-se a reforma do forno Pusher, que constituiu uma oportunidade para a consolidação do desenvolvimento tecnológico até então aplicados ao forno Walking Beam 1 e a introdução de novas melhorias. Em 2001 com o projeto de expansão para aumentar o peso das bobinas laminadas foi, introduzido o forno Walking Beam 2 que se beneficiou de todo o desenvolvimento tecnológico anterior aplicado aos fornos Walking Beam 1 e Pusher. O desenvolvimento tecnológico das estações de mistura da LTQ convergiu para um equipamento seguro, de operação simples e estável, refletindo positivamente no controle de temperatura das zonas e no controle de atmosfera dos fornos.

Palavras-chave: Estação de mistura; Fornos de reaquecimento de placas; Sistema de controle; Duplo limite cruzado (DLC).

¹ *Contribuição Técnica ao IX Seminário de Automação de Processos, 05 a 07 de Outubro de 2005, Curitiba – PR.*

² *Engenheiro Mecânico – Gerente de Operação da Gerencia de Fornos de Reaquecimento de Placas da Laminação de a Quente da Acesita.*

³ *Engenheiro Eletricista – Assistente Técnico da Gerencia de Automação e Eletrônica da Acesita*

⁴ *Engenheiro Mecânico – Assistente Técnico da Gerencia de Engenharia da Acesita*

⁵ *Técnico em Instrumentação e automação - Analista Técnico da Gerencia de Manutenção da Laminação de Tiras a Quente da Acesita.*

⁶ *Técnico em Instrumentação e automação - Analista Técnico da Gerencia de Manutenção da Laminação de Tiras a Quente da Acesita.*

⁷ *Técnico em Eletrônica – Analista Técnico de Produção da Gerencia de Fornos de Reaquecimento de Placas Laminação de Tiras a Quente da Acesita.*

⁸ *Engenheiro Eletrônico – Consultor Técnico da IHM.*

⁹ *Engenheiro Eletrônico – Consultor de Engenharia de Automação da ATAN.*

1 INTRODUÇÃO

O objetivo de uma estação de mistura é prover ao forno uma mistura de combustível para atender aos seguintes requerimentos:

- Segurança operacional;
- Estabilidade no controle da vazão e pressão;
- Resposta rápida as variações da demanda térmica das zonas de combustão;
- Resposta rápida as variações de pressão nas linhas de suprimento dos gases (TOP);
- Resposta rápida as variações de PCI da mistura;
- Resposta rápida na partida da estação de mistura;
- Resposta rápida na parada e retomada do forno;
- Simplicidade operacional;
- Não interferir no controle da atmosfera do forno.

Tanto o dimensionamento da estação misturadora, quanto à estratégia de controle usada afetam os resultados dos requerimentos acima de forma positiva ou negativa. O desenvolvimento tecnológico desde a primeira estação misturadora até a última versão foi, centrada nestes aspectos de dimensionamento e principalmente na evolução da estratégia de controle. Este trabalho descreve como cada um dos requerimentos foram atendidos ao longo da evolução tecnológica de cada versão da estação misturadora.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Funcionamento da Estação de Mistura

Cada um dos três fornos da LTQ da ACESITA possui uma estação de mistura, que provê o gás misto (GM) a cada forno. A mistura de gases tem como prioridade o uso de gás de alto forno (GAF), mais um segundo gás, que pode ser o GLP ou gás natural (GN). A mistura dos gases é feita por um misturador e na saída do mesmo estão conectadas as entradas de cada zona de combustão do forno. Veja a Figura 2 como exemplo de uma estação de mistura.

2.2 Paradigmas de Controle em uma Estação Misturadora

Para entender como a estratégia de controle influencia nos resultados de operação e processo, vamos explorar alguns paradigmas de controle na mistura de gases. A combinação dos paradigmas de controle influencia positivamente ou negativamente os aspectos de segurança, de operação e de processo dos fornos. O processo de evolução tecnológica consistiu em aperfeiçoar o sistema de controle revendo os paradigmas sempre que necessário, e aplicando-se de forma correta e eficaz as estratégias de controle descritas abaixo.

Controle da vazão e da pressão de gás misto

Para um aumento ou redução da demanda térmica no forno deverá haver um respectivo aumento ou redução da vazão de gás misto. Como estes gases tem uma composição química diferente e portanto propriedades físico químicas diferentes, deverá haver uma proporção adequada para a mistura entre eles. Surge então a questão de como controlar a proporção entre os combustíveis para as variações de demanda térmica do forno. Uma possibilidade é a utilização da estratégia de duplo

limite cruzado (DLC). O funcionamento do sistema (ver figura 2) se baseia em que, uma variação na demanda térmica, provoca uma variação da pressão na linha de gás misto. Esta variação de pressão é realimentada ao DLC, para determinar o set point de vazão para os controlares de vazão de GAF e GLP, respeitando-se a relação GAF/GLP. Nas duas primeiras versões da estação misturadora do forno WB1 foi utilizada esta estratégia de controle que não se mostrou estável e eficaz, apresentando as seguintes desvantagens:

- Resposta lenta as variações de demanda térmica do forno.

Esta é uma característica intrínseca ao DLC, devido à verificação dos limites de proporção da mistura. Um tempo longo para a retomada do forno após uma parada e um tempo longo na partida da estação misturadora são outras conseqüências da resposta lenta do DLC. O tempo de retomada do forno e o tempo de partida da estação misturadora são parâmetros operacionais importantes pois, afetam o fluxo de produção.

- Instabilidade

O DLC prioriza a proporção da mistura em detrimento da pressão. Portanto, um distúrbio de pressão é lentamente compensado pelo DLC causando, uma instabilidade no controle as estação de mistura e do forno.

- Complexidade na sintonia das malhas de controle

Devido à interação entre as malhas de controle a sintonia é trabalhosa e custosa no tempo.

A partir do projeto da ZPA o controle por DLC foi substituído, por uma outra estratégia de controle, mostrada na Figura 1.

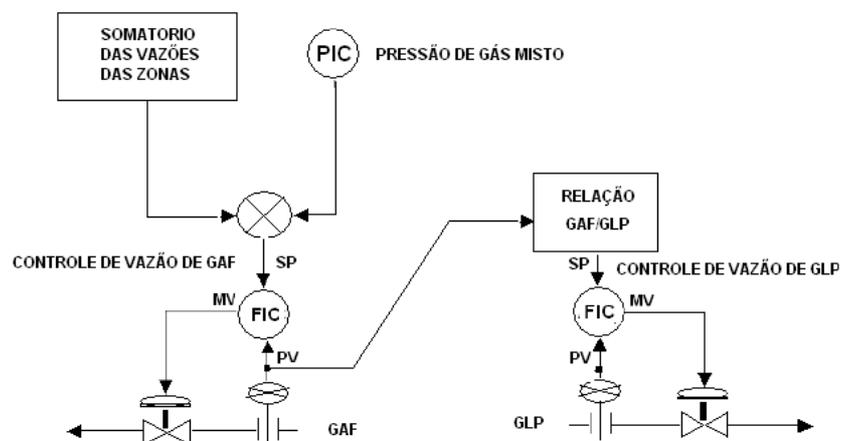


Figura 1. Controle de razão para a proporção de mistura.

Nesta estratégia o somatório das vazões de todas as zonas é realimentada ao controle de vazão do GAF. Dessa forma, uma variação na demanda térmica do forno, corresponderá a uma variação de vazão de GM em uma ou mais zonas. Isto refletirá instantaneamente no controle de vazão de GAF, que responderá imediatamente. A vazão de GLP seguirá a de GAF segundo a relação GAF/GLP estabelecida. Também o controlador de pressão realimenta a malha de vazão de GAF, fazendo com que as variações de pressão de GM seja corrigidas pela injeção ou remoção de GAF. Esta estratégia de controle melhorou significativamente a velocidade de resposta da estação de mistura às variações de demanda térmica do

forno, o tempo de retomada do forno durante paradas, e o controle de pressão do forno.

Controle em regime de baixa vazão

Quando há uma parada na linha de laminação é necessário reduzir as temperaturas de zonas até que a produção se restabeleça. Por razões intrínsecas de construção, uma única válvula de controle não tem um bom desempenho e uma boa precisão para uma faixa muito ampla de operação. Para solucionar este problema é necessário adicionar, para as linhas de GAF e GLP, uma segunda linha em paralelo, em uma estratégia de controle chamada de “split range”. O controle de vazão por “split range”, quando bem implementado, permite manter a estação de mistura em operação durante o regime de baixa vazão e ao forno manter uma demanda térmica mínima estável. Quando mal dimensionado e mal implementado o sistema fica instável na região de transição de regime de nominal para regime baixa vazão e vice-versa. As conseqüências são: oscilações no sistema de controle, dificuldades operacionais na estação de mistura com reflexo imediatos no forno, suprimento deficiente ou em excesso de GM.

A primeira versão da estação misturadora para o WB1 apresentou vários problemas, na segunda versão sua ação de controle foi bloqueada, na terceira versão foi eliminada. Somente para o novo forno Walking Beam, durante o projeto bobina pesada, o controle de vazão por “split range” foi implementado com sucesso, para a linha de GLP.

Compensação da variação d PCI de gás misto

A solução para este problema é introduzir um medidor (calorímetro) no sistema de controle para medir as variações do PCI do GAF, considerando, que o GLP tem PCI praticamente constante. Além do medidor, é necessário introduzir um bloco funcional que, calcula as compensações necessárias para o enriquecimento ou empobrecimento da mistura.

2.3 Evolução Tecnológica das Estações de Mistura

2.3.1 Primeiro projeto da estação de mistura do forno WB1

A partir de 1996 o forno Walking Beam 1 passou a operar utilizando uma mistura de GAF e GLP como combustível. A partir desta data surge a primeira versão da estação de mistura, que é mostrada na Figura 2.

As principais ações implementadas foram:

- Controle de vazão para a linha de GAF via duplo limite cruzado;
- Controle de vazão para a linha de GLP via duplo limite cruzado;
- Controle de vazão para a linha de GN;
- Controle de pressão para o gás misto via duplo limite cruzado;
- Um controlador lógico de programável em substituição a instrumentação analógica.
- Sistema supervisorio para a operação.

Resultados

- Segurança operacional:

A incidência de explosões devido à estratégia de intertravamento inadequada, um sistema de purga ineficiente devido à baixa pressão de N₂ e a dificuldade de

controle da atmosfera de O₂ do forno devido a problemas de projeto na estratégia de controle “split range”, e a lógica implementada no PLC, contribuíram negativamente para os resultados de segurança operacional.

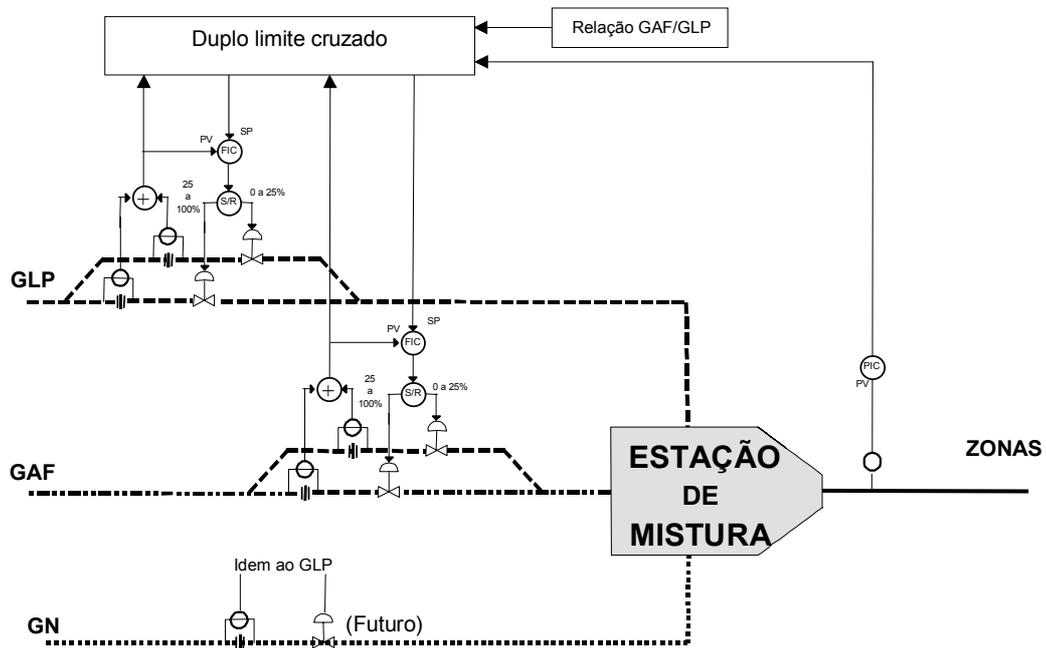


Figura 2. Diagrama de estação de mistura do WB1

- **Controle da vazão e pressão:**
Devido ao uso da estratégia de duplo limite cruzado o controle de pressão e de baixa vazão se mostraram instáveis, provocando desarmes da estação de mistura.
- **Velocidade de resposta às variações da demanda térmica das zonas de combustão:**
A velocidade se mostrou lenta devido ao uso da estratégia de duplo limite cruzado.
- **Resposta às variações de PCI da mistura:**
Não havia ajuste para compensar as variações do PCI da mistura.
- **Velocidade de resposta às paradas e retomadas do forno e partida da estação misturadora:**
A velocidade se mostrou lenta as solicitações do forno devido à estratégia de intertravamento inadequada e ao uso da estratégia de duplo limite cruzado para controle de vazão.
- **Operacionais:**
Vários problemas operacionais foram verificados como: transição “trabalhosa” de GAF para GM e vice-versa, uma velocidade de resposta lenta as variações de demanda térmica do forno, purga ineficiente e sistema de controle instável requerendo constante interferência dos operadores.
- **Influência no controle da atmosfera do forno:**
Havia dificuldades de controle da atmosfera (O₂) devido a problemas no projeto do “split range” e ao uso da estratégia de duplo limite cruzado para controle de vazão.

2.3.2 Segundo projeto estação de mistura do forno WB1

Devido aos problemas relatados no item anterior, em 1997 o projeto da estação de mistura foi revisto. A Figura 3 mostra o diagrama da estação misturadora após as revisões.

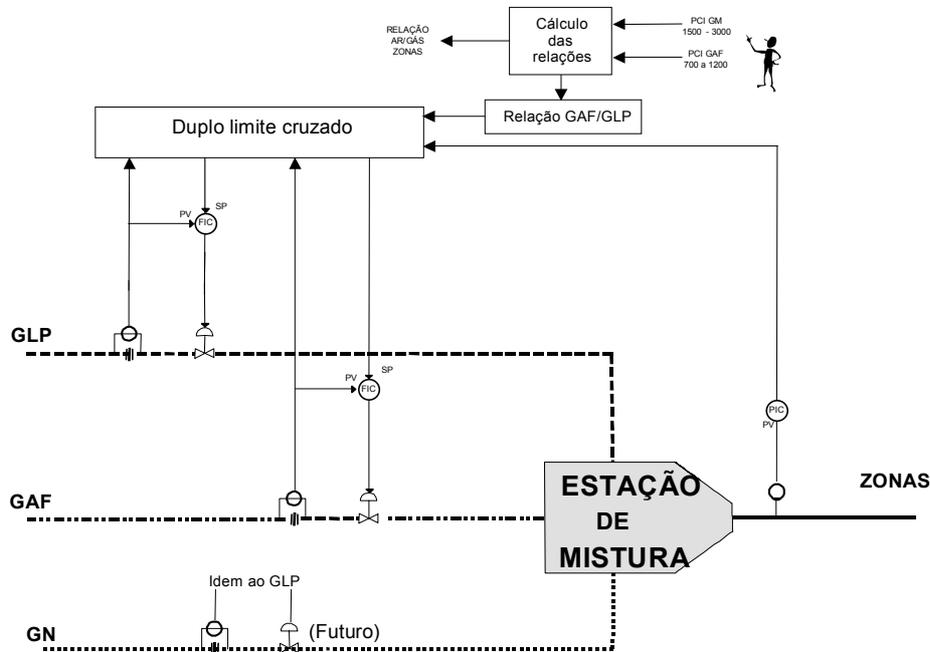


Figura 3. Diagrama de estação de mistura do WB1.

As principais modificações implementadas foram:

- Alteração no sistema de controle da estação para permitir trabalhar com PCI variável de 1500 a 3000 Kcal/Nm³ e GAF puro;
- Ajustes nas malhas de controle para minimizar a instabilidade;
- Bloqueio do sistema de controle da entrada da estação;
- Bloqueio do ramal de baixa vazão do split-range;
- Alteração do sistema de intertravamento para trazer facilidade operacional e segurança;
- Alteração do sistema de intertravamento para permitir utilização de GAF puro no circuito de GM;
- Aumento a pressão de N₂ para a purga.

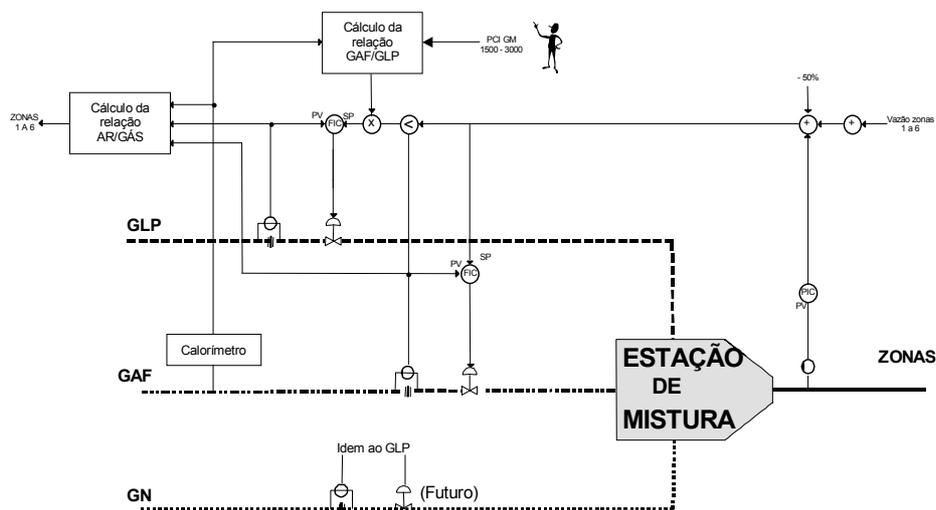
Resultados alcançados

- Segurança operacional:
 - Eliminado a incidência de explosões;
 - Sistema de purga eficiente devido ao aumento da pressão de N₂;
 - Melhoria do controle de O₂ pelo bloqueio do ramal de baixa vazão do "split range".
- Controle da vazão e pressão:
 - Melhoria da estabilidade pelo ajustes das malhas de controle de vazão e pressão.
 - Sistema instável no controle de baixa vazão, devido ao uso da estratégia de duplo limite cruzado.

- Velocidade de resposta às variações da demanda térmica das zonas de combustão:
 - Velocidade lenta devido ao uso da estratégia de duplo limite cruzado.
- Resposta às variações de PCI da mistura:
 - Melhoria na resposta do sistema, modificando-o para trabalhar com PCI variável.
- Velocidade de resposta às paradas e retomadas do forno e partida da estação misturadora:
 - Modificado o sistema de intertravamento, reduzindo o tempo de retomada de temperatura para uma hora. Ainda assim, este tempo foi considerado grande, para a retomada do forno.
- Operacionais:
 - Sistema com operação segura;
 - Transição sem dificuldades de GAF para GM e vice-versa;
 - Velocidade de resposta lenta as variações de demanda térmica do forno;
 - Purga eficiente;
 - Sistema de controle instável em baixa vazão;
 - Possibilidade de operação com GAF puro no circuito de GM.
- Influência no controle da atmosfera do forno:
 - Interferência no controle da atmosfera (O₂) devido às variações de PCI do GAF.

2.3.3 Terceiro projeto da estação de mistura do forno WB1

Com o projeto de aumento de potência do forno (projeto ZPA) uma nova estação de mistura foi projetada e várias melhorias foram implementadas, para corrigir as deficiências anteriores. A Figura 4 mostra o diagrama da estação misturadora após as revisões.



As principais modificações implementadas foram:

- Alterado o sistema de controle da relação e pressão da mistura eliminando-se o duplo limite cruzado (DLC);
- Instalado o medidor do PCI do GAF para compensar as suas variações;
- Eliminado o controle de baixa vazão via split range, e adaptado o sistema de intertravamento para trazer facilidade operacional e segurança;

- Alterado o sistema de purga com adoção de sequenciamento para a mesma.

Resultados alcançados

- Segurança operacional:
 - Sistema de purga eficiente através de um novo conceito de intertravamento e adoção de sequenciamento;
- Controle da vazão e pressão:
 - Melhoria do tempo de resposta e da estabilidade das malhas, pela eliminação do duplo limite cruzado.
- Velocidade de resposta às variações da demanda térmica das zonas de combustão:
 - Resposta rápida devido à eliminação da estratégia de duplo limite cruzado.
- Resposta às variações de PCI da mistura:
 - Melhoria na resposta do sistema, devido à implantação do medidor de PCI (calorímetro).
- Velocidade de resposta às paradas e retomadas do forno e partida da estação misturadora:
 - Tempo de retomada reduzido de uma hora para meia hora, devido e eliminação da estratégia de duplo limite cruzado para controle de vazão e melhorias no sistema de intertravamento.
- Operacionais:
 - Sistema com operação segura;
 - Transição sem dificuldades de GAF para GM e vice-versa;
 - Velocidade de resposta rápida as variações de demanda térmica do forno;
 - Purga eficiente e automática;
 - Sistema de controle estável em regime nominal;
 - Sistema de controle estável em regime em baixa vazão;
 - Possibilidade de operação com GAF puro.
 - Compensação da variação de PCI do GAF por medição;
 - Nova mesa de operação;
 - Operação da estação de mistura e forno via sistema supervisório.
- Influência no controle da atmosfera do forno:
 - Eliminação da interferência no controle da atmosfera (O₂) devido às variações de PCI do GAF.

2.3.4 Estação de Mistura do Forno Pusher

Com o projeto de reforma do forno Pusher foi necessário à aquisição nova estação de mistura onde às melhorias anteriores foram consolidadas. A Figura 5 mostra o diagrama da estação misturadora após as revisões.

As principais modificações implementadas foram:

- Eliminação da malha de controle de pressão na entrada da estação misturadora;
- Eliminada algumas válvulas consideradas desnecessárias;
- Substituição do antigo painel de controle por um controlador lógico programável
- Operação do forno pusher via sistema supervisório.

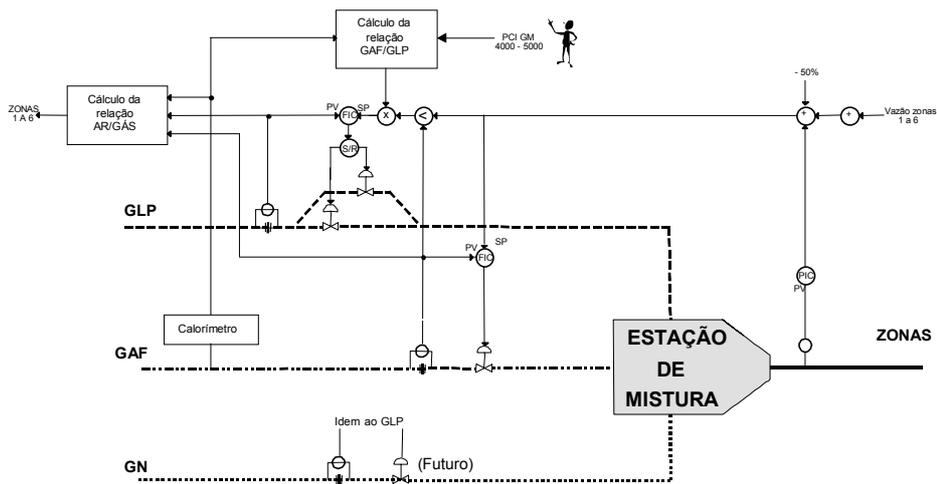


Figura 5. Diagrama de estação de mistura do Pusher.

Resultados alcançados

Todo o desenvolvimento tecnológico para as estações misturadoras do forno WB1 foi aplicado à estação de mistura do forno Pusher. Portanto, a estação de mistura do forno Pusher é uma replicação da última versão da estação misturadora do forno WB1, com os ajustes necessários devido às diferenças entre os dois fornos. Os resultados alcançados foram os mesmos que os do forno WB1.

2.3.5 Estação de mistura do forno WB2

Com a aquisição de um novo forno Walking Beam uma nova estação misturadora também foi adquirida. A Figura 6 mostra o diagrama da estação misturadora do WB2.

As principais implementações foram:

- Implementação de split range no controle de vazão de GLP;
- Relocação do calorímetro;
- Nova mesa de operação;
- Substituição do sistema supervisor existente por um novo para a operação dos três fornos.

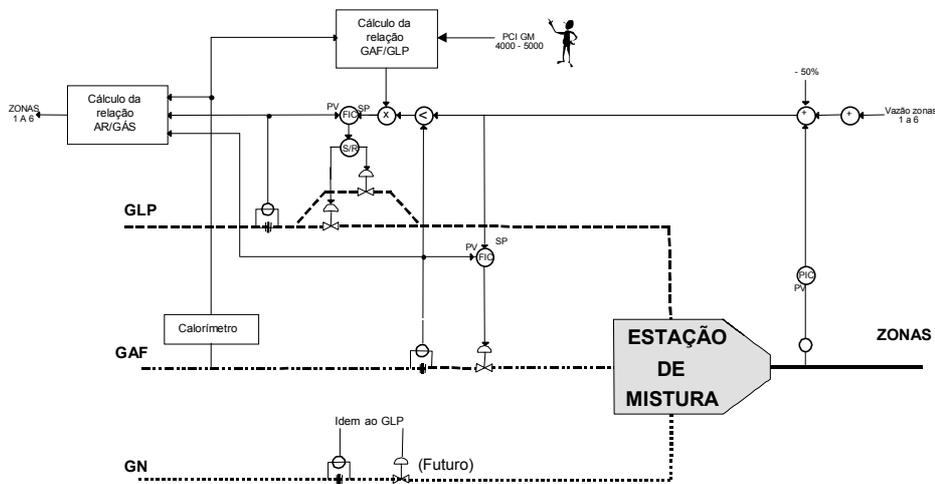


Figura 6. Diagrama de estação de mistura do WB2.

Resultados alcançados

O projeto da estação de mistura do novo forno Walking Beam, é o resultado de desenvolvimento tecnológico consolidado aplicado aos outros dois fornos. Todos os paradigmas que se mostraram eficazes foram aplicados, sendo resultado do amadurecimento da equipe técnica que praticamente se manteve a mesma durante os anos de desenvolvimento. Os resultados foram bastante positivos contribuindo para um equipamento seguro, de fácil operação e que atendeu todos os requerimentos de segurança, operação e processo (vide a Introdução).

- Segurança operacional:
 - Sistema de purga automático e eficiente.
- Controle da vazão e pressão:
 - Tempo de resposta rápido.
 - Sistema extremamente estável em baixas vazões, devido à implementação correta do “split range” no controle de vazão do GLP.
- Velocidade de resposta às variações da demanda térmica das zonas de combustão:
 - Velocidade de resposta rápida as variações de demanda térmica do forno.
- Resposta às variações de PCI da mistura:
 - Compensação da variação de PCI do GAF via o medidor de PCI (calorímetro).
- Velocidade de resposta às paradas e retomadas do forno e partida da estação misturadora:
 - Tempo de meia hora para a retomada.
- Operacionais:
 - Sistema com operação segura;
 - Transição sem dificuldades de GAF para GM e vice-versa;
 - Velocidade de resposta rápida as variações de demanda térmica do forno;
 - Purga eficiente e automática;
 - Sistema de controle estável em regime nominal;
 - Sistema de controle estável em regime em baixa vazão;
 - Possibilidade de operação com GAF puro.
 - Compensação da variação de PCI do GAF por medição;
 - Nova mesa de operação;
 - Operação da estação de mistura e forno via sistema supervisório.
- Influência no controle da atmosfera do forno:
 - Controle da atmosfera estável.

3 CONCLUSÕES

Para a ACESITA que processa aços complexos como inoxidáveis e silício GO, os resultados obtidos neste trabalho foram um passo importante na consolidação da qualidade de aquecimento.

Com a evolução tecnológica das Estações de Mistura foi possível estreitar os limites dos parâmetros usados no processo de aquecimento dos fornos de rea aquecimento; tais como: temperaturas de processo, pressão interna do forno e atmosfera.

Como resultado quantitativo deste trabalho deve ser ressaltado o ganho com a maximização do uso de GAF e redução do uso de GLP durante paradas. A alteração do PCI da mistura de 4000Kcal/Nm³ para 1500 Kcal/Nm³ durante paradas o ganho de GLP correspondente foi de 240Nm³/h.

O desenvolvimento tecnológico das estações de misturas dos fornos da LTQ é resultado, de uma participação efetiva, da equipe técnica da ACESITA, no desenvolvimento e implantação dos projetos apontando as particularidades dos processos, e agregando a sua experiência junto aos fornecedores externos e no desenvolvimento interno em melhorias e correções.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Combustol 1996, Descritivo funcional da estação de mistura do forno Walking Beam 1.
- 2 Eproterm 1998, Descritivo funcional da nova estação de mistura do forno Walking Beam 1.
- 3 Eporterm 2000, Descritivo funcional da estação de mistura do forno Pusher.
- 4 Stein Heurtey 2000, Heating Functional description for Walking Beam 2 furnace.
- 5 Gustavo A. C. Hauck e Levi L. Laia, Fornos de Reaquecimento – Apostila ABM.
- 6 K. Astrom and T. Hagglund, PID Controllers: Theory, Design and Tuning.

DESIGN AND CONTROL ASPECTS OF A MIX STATION IN STEEL INDUSTRY¹

Benjamin Fullin Junior²
Carlos Roberto Gonçalves³
Jorge Sussumu Yamana⁴
Marcos Antônio Araújo⁵
Roberval Rogério Costa⁶
Vanderlei Alves de Oliveira⁷
José Maria Madureira⁸
Paulo Vicente Correa⁹

Abstract

This work presents the technological evolution of slab reheating furnaces mixing station of ACESITA's hot strip mill. On 1996 ACESITA changed the Walking Beam 1 fuel from heavy oil to mix gas resulting the first project of a mixing station. Many problems had risen in this project, which affected negatively the process, operation and maintenance performance of the walking furnace. In 1997 a new version of mix station was designed and implemented solving most part of the previous problems. In 1999 ACESITA started the stainless steel increasing production project, which showed the necessity of Walking Beam 1 revamping. In this project, called ZPA, the existing mixing station was replaced by another one attended the new furnace power requirements. This project was a great opportunity to consolidate the concepts of dimensioning and control which showed effective, correct others that were not effective and introduce new control technologies and concepts for the new mixing station. This phase became a mark for the technological evolution of the mixing station bringing excellent results for process, operation and maintenance. In 2000 ACESITA started the Pusher furnace revamping which was an opportunity to consolidate the technological development implemented on Walking Beam 1 and introduction of new improvements. In 2001 with the Heavy Coil project a new Walking Beam furnace was built taking the advantage of all the previous technological development implemented on the Walking Beam 1 and Pusher furnaces. The technological development of hot strip mill mixing stations driven to a stable and safe equipment, with a simple operation, contributing positively on the temperature and atmosphere furnace control.

Key-words: Mixing station; Slab reheating furnace; Control system; Double cross limit control.

¹ *Technical contribution for the IX Seminário de Automação de Processos, 05 a 07 de Outubro de 2005, Curitiba – PR.*

² *Mechanical Engineer – Manager of ACESITA's Hot Strip Mill Reheating Furnace Operation Department.*

³ *Electrical Engineer – Technical Assistant of ACESITA's Automation and Electronic Department.*

⁴ *Mechanical Engineer – Technical Assistant of ACESITA's Engineering Department.*

⁵ *Instrumentation and Automation Technician - Technical Assistant of ACESITA's Hot Strip Mill Maintenance Department.*

⁶ *Instrumentation and Automation Technician - Technical Assistant of ACESITA's Hot Strip Mill Maintenance Department.*

⁷ *Electronic Technician – Technical Assistant of ACESITA's Hot Strip Mill Reheating Furnace Operation Department.*

⁸ *Electronic Engineer – IHM's Technical Adviser.*

⁹ *Electronic Engineer – ATAN's Technical Adviser.*