

INSTALAÇÃO DE NOVO CLP E MODIFICAÇÃO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO PARA SUBSTITUIÇÃO DO COMPRESSOR BOOSTER DA PLANTA DE FRACIONAMENTO DE AR DA ARCELOR/MITTAL TUBARÃO¹

Caio Vidigal²
Eugimar Klippel³
Lucas Marques da Silva⁴
Pedro Ivo Martins da Silva⁵

Resumo

Este artigo apresenta uma descrição do projeto de implementação do Sistema de Controle do Novo Booster de Ar Comprimido para Substituição do Atual Compressor na Planta de Fracionamento de Ar, em função da perda de desempenho do Compressor atual, visando assim melhora nas condições operacionais de toda a planta de Fracionamento de Ar 03 da ArcelorMittal Tubarão. Essa modificação fez-se necessária para atendimento ao projeto de expansão de 7,5Mta da ArcelorMittal. A substituição do atual compressor proporcionou, além das modificações mecânicas e de processo, por se tratar de uma máquina nova e de maior capacidade de produção, permitiu que o atual sistema de controle fosse segmentado, retirando o sistema de controle do CP-102, atual Booster da planta, do PLC responsável por todo o controle da parte quente do Sistema de Fracionamento de Ar 03. Para tanto, foi instalado um CLP da família Controllogix da Rockwell, retirando assim o controle do atual PLC-5 de mesmo fabricante. Outro ponto de grande relevância foi a implantação de um sistema de monitoração de vibração e temperatura ao longo de toda a máquina com utilização de um CLP da Bently Nevada, dedicado para o tratamento dessas proteções. A TSA realizou o detalhamento de engenharia, consolidando todo o projeto, desenvolvimento dos softwares, supervisão de montagem, comissionamento e start-up da planta. A implantação foi caracterizada por procedimentos de testes, verificando a performance do Booster e válvulas para ajustes de controle que compõem essa aplicação.

Palavras-chave: Atualização tecnológica; Automação; Informação de processo; Implantação de sistemas.

NEW PLC INSTALATION AND SUPERVISORY SYSTEM MODIFICATION FOR THE BOOSTER COMPRESSOR REPLACEMENT OF ARCELOR/MITTAL TUBARÃO AIR FRACTIONATION PLANT

Abstract

This paper describes the control system implementation project for the New Compressed Air Booster to replace the existing compressor, depending on the performance loss and aiming the improvement in operating conditions of the entire Air Fractionation Plant of ArcelorMittal Tubarão. This modification was required to meet the 7.5Mta expansion project of ArcelorMittal. In addition to the mechanical and process changes, the replacement of the old compressor provided the control system segmentation, removing the current booster logic from the PLC responsible for the overall plant control. Therefore, it was installed a Controllogix PLC in substitution of the current PLC-5 logic controller, both from Rockwell Automation. Another point of great importance was the establishment of a vibration and temperature monitoring system throughout the machine using a Bently Nevada PLC, dedicated to the treatment of these protections. TSA executed detailed engineering project, software development, erection supervision and plant start-up. Start-up was characterized by testing procedures and performance checking of booster and valves for control settings that compose this application.

Key-words: Technology update; Automation; Process information; System Start-up.

¹ Contribuição técnica ao 14º Seminário de Automação de Processos, 6 a 8 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

² Especialista em automação - ArcelorMittal

³ Supervisor de manutenção - ArcelorMittal

⁴ Analista de Sistemas, Gerente de Contratos da TSA - Tecnologia em Sistemas de Automação, Belo Horizonte - MG, Brasil.

⁵ Engenheiro Eletricista, Engenheiro do Departamento de Engenharia e Automação da TSA - Tecnologia em Sistemas de Automação, Belo Horizonte - MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O sistema de Fracionamento de Ar da ArcelorMittal Tubarão é composto basicamente por um complexo contendo 03 plantas industriais de Fracionamento de Ar além de todo o sistema de distribuição desses gases para todo o parque industrial da Arcelor. O principal produto obtido nas plantas são o Ar Comprimido, Oxigênio e Nitrogênio. Além desses gases, produzidos em grandes quantidades para abastecimento dos Alto-Fornos, Aciaria, e demais consumidores, a planta 03 tem a capacidade de produção de Argônio, produto de maior valor agregado dessa planta. O Argônio, assim como os demais gases, além de abastecimento da produção da ArcelorMittal Tubarão, também possuem utilização no mercado externo. Sendo assim, o complexo de Fracionamento de Ar vende parte de sua produção, determinando assim, auto-suficiência da planta, ou seja, a venda de seus produtos permite que a mesma administre seus gastos, se transformando em uma planta sem custos operacionais para a ArcelorMittal Tubarão. A ArcelorMittal possui também uma quarta planta de Fracionamento de Ar, no entanto, essa tem uso exclusivo do Alto-Forno 02 e normalmente encontra-se em *stand-by*.

Com a expansão para 7,5Mta por ano, com a inclusão de um novo Alto-Forno, Convertedor e Máquina de Lingotamento Contínuo dentre outras expansões, a ArcelorMittal Tubarão construiu duas novas plantas de Fracionamento de Ar, bem como fez a revitalização das outras 03. Para a planta 03, a principal modificação foi a substituição do Booster de Ar. A seguir detalharemos as condições antes e após a substituição do Booster CP-102 para o CP-202.

2 O CENÁRIO EXISTENTE

A Figura 1 um apresenta a Entrada da Planta 03 existente, composta pelos compressores CP-101 e CP-102, representados em diagrama de blocos antes do projeto de substituição.

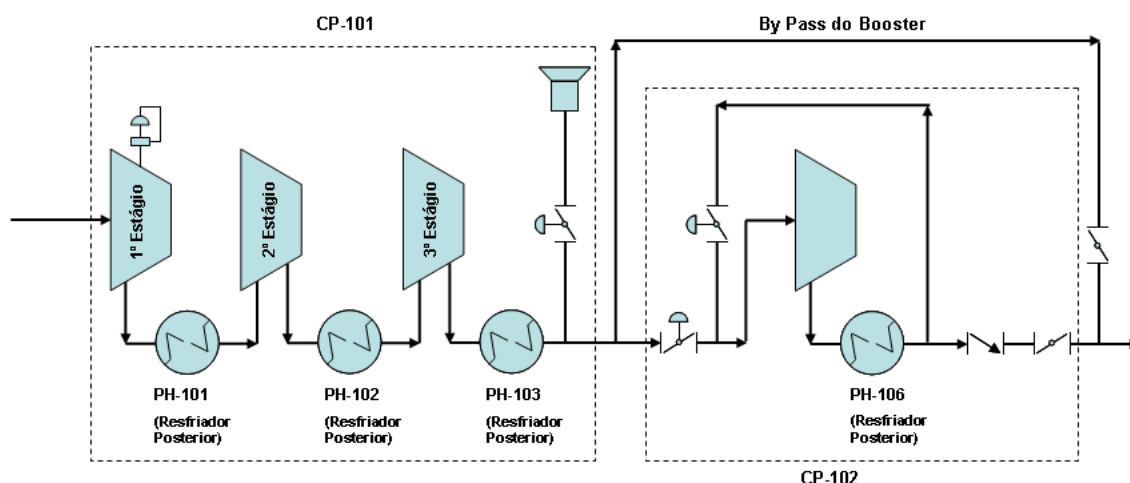


Figura 1 – Compressores CP-101 e CP-102 acoplados.

Podemos observar que inicialmente temos uma arquitetura composta com um compressor atmosférico, CP-101, de três estágios associados a um Booster de identificação CP-102, de apenas um estágio.

Como podemos verificar, entre os dois compressores existe apenas uma válvula manual, para alinhamento dos mesmos. O *By-Pass* indicado tem a função de alinhar

parte da planta 03 com a pressão de saída do CP-101. As figuras a seguir indicam os fluxogramas P&I de ambas as máquinas. Pode-se observar que ambos possuem apenas uma instrumentação básica, necessária para suas funções de controle e monitorações (pressões e temperaturas) entre estágios e resfriadores posteriores de cada estágio no CP-101 e CP-102.

Analisando os dois equipamentos, verificamos a ausência de uma válvula de controle na entrada do Booster CP-102, assim como apresentado no CP-101. Dessa maneira, todo o controle de admissão de ar do Booster está diretamente interligado à entrada do CP-101. O CP-102 não possui em seu sistema, nenhum elemento de atuação direta com capacidade para restrição da entrada de ar no mesmo, tendo apenas elementos que possibilitem a recirculação de ar, utilizada para o controle anti-surge da máquina.

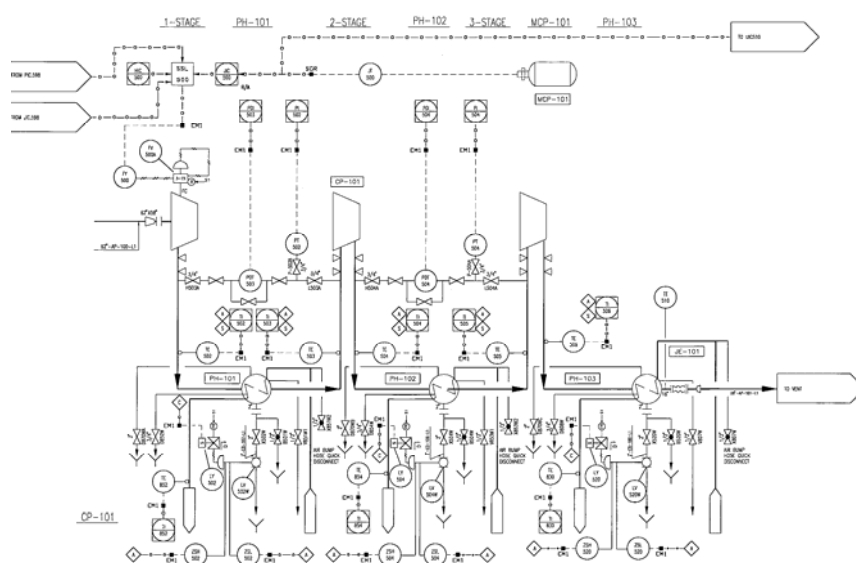


Figura 2 – Fluxograma P&I do CP-101.

O surge de um compressor é causado por um desequilíbrio entre a quantidade de vazão sobre ele em função de uma pressão estabelecida. Sempre que essa vazão é mais baixa que a determinada por sua curva para uma dada pressão, existe a possibilidade de presença de fluxo no sentido contrário ao desejado, proporcionando vibração não adequada para o funcionamento da máquina ao longo de seus mancais e rotores. Assim, sempre que essa vazão é reduzida, o sistema determina a abertura da válvula de recirculação, aumentando assim a vazão dentro do compressor.

Por não possuir nenhum elemento de atuação na entrada do CP-102, a monitoração dessa vazão é confirmada por meio da potência do motor. O controle de potência proposto para a proteção anti-surge atua também no controle de admissão de ar do CP-101, de modo a reduzir a entrada no mesmo, e por consequência, proporcionando alívio para ambas as máquinas.

Com esse alívio, a quantidade de ar obstruída na saída do booster é consumida pelo sistema, determinando uma queda de pressão na saída do mesmo, fazendo assim com que a vazão, antes recirculada, passe a ser absorvida pela planta, aliviando o motor do Booster, atingindo então novo ponto de operação para a planta, sem a restrição de controle imposta pela proteção anti-surge. Note que o alívio do controle anti-surge implica em aumentar o valor de saída de seu controlador, liberando então a função seletora de menor sinal para os demais controles do CP-101 e CP-102.

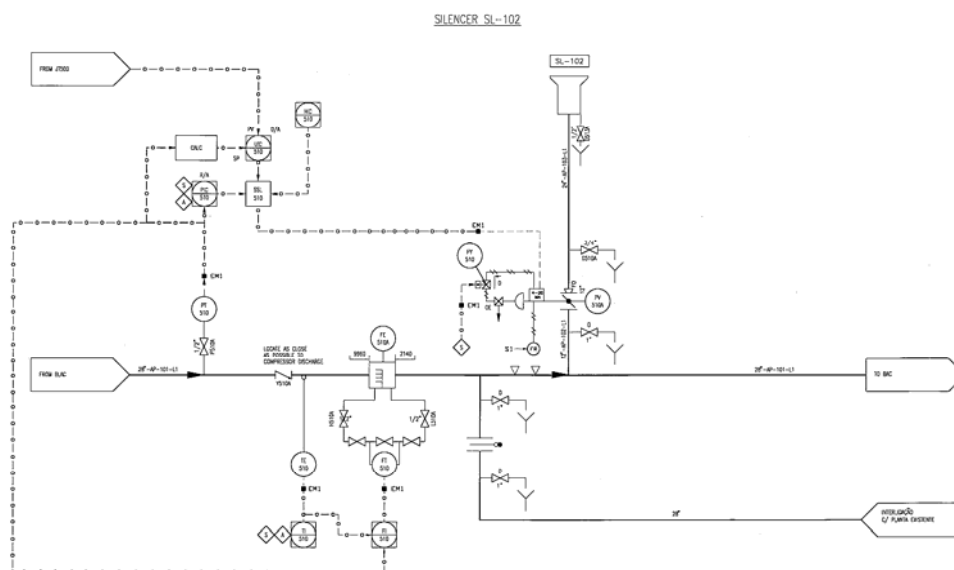


Figura 3 – Fluxograma P&I da saída CP-101.

No caso do Booster, o controle de pressão PIC-598 determinará o fechamento da válvula UV-598A do CP-102 e abertura da válvula, FV-500A do CP-101, contrariando as ações tomadas pelo controlador de potência JIC-598.

Em resumo, toda variação de consumo detectado na saída do CP-102 atuava diretamente por meio do controlador de pressão PIC-598 ou pela proteção anti-surge JIC-598 em ambas as máquinas.

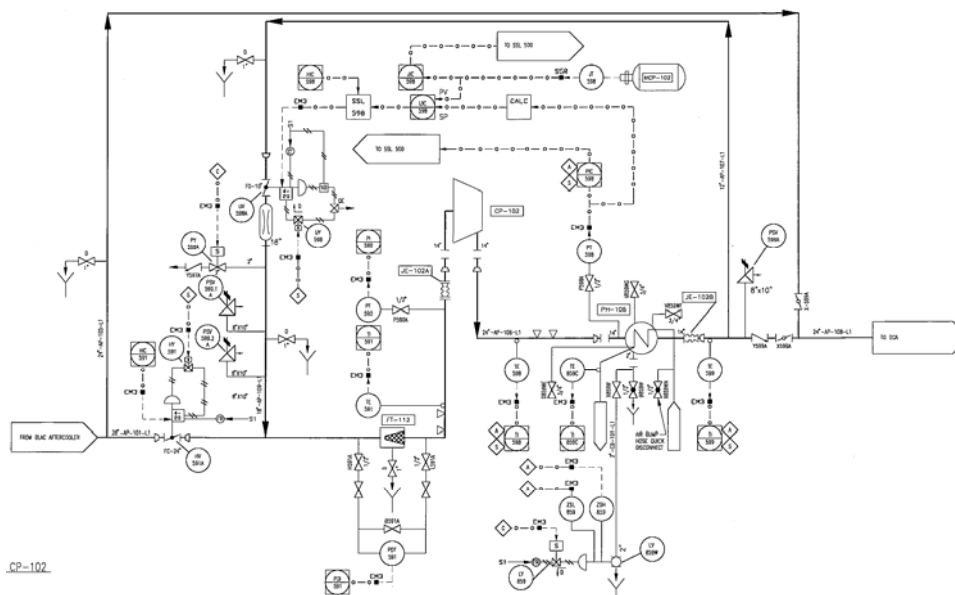


Figura 4 – Fluxograma P&I do CP-102.

A seguir veremos a nova situação com a substituição do CP-102 pelo *booster* CP-202. É importante observar que essas máquinas possuíam uma quantidade limitada de instrumentação auxiliar para monitoração de vibração e temperatura dos mancais ao longo de seus estágios, assim como não possuíam um tratamento dedicado para os mesmos, visto que este é um grande problema em máquinas desse perfil.

COMPRESSOR BEARING TEMPERATURES

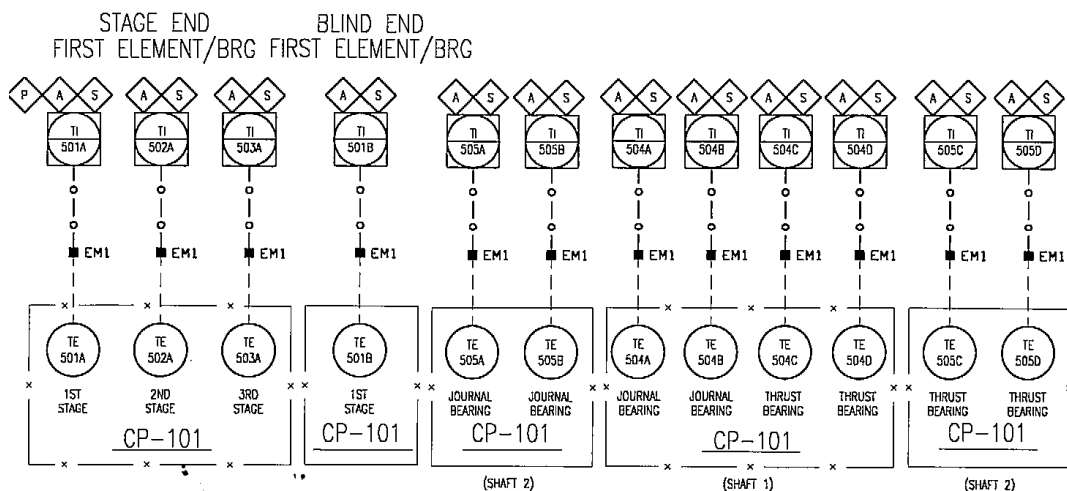
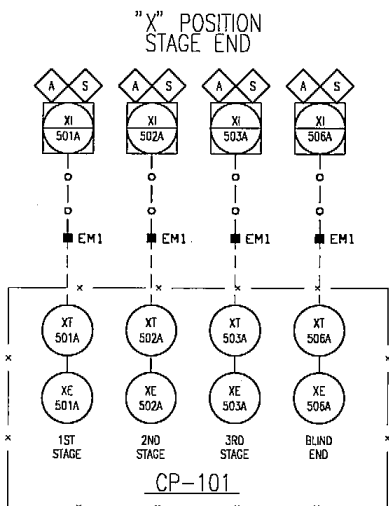


Figura 5 – Detalhamento da instrumentação de monitoração de temperatura do CP-101.

COMPRESSOR VIBRATIONS – RADIAL



COMPRESSOR AXIAL POSITION

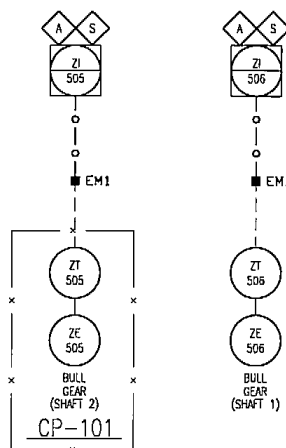
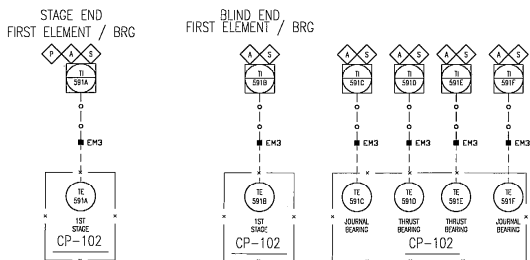
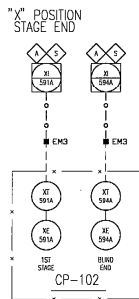


Figura 6 – Detalhamento da instrumentação de monitoração de vibração do CP-101.

COMPRESSOR BEARING TEMPERATURES



COMPRESSOR VIBRATIONS – RADIAL



COMPRESSOR AXIAL POSITION

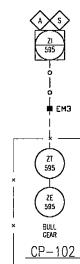


Figura 7 – Detalhamento da instrumentação de monitoração de temperatura do CP-102.

Com a substituição do compressor CP-102, toda a instrumentação auxiliar de ambas as máquinas (CP-101 e CP-202) foi revista de maneira a proporcionar à equipe de operação e manutenção maiores detalhes sobre as condições de operação, no que se refere à temperatura e vibração de mancais e rotores.

3 SUBSTITUIÇÃO DO CP-102 PELO CP-202

A figura 8 apresenta um diagrama de blocos representando a interligação entre os compressores CP-101 e CP-202. A primeira diferença significativa é construtiva com relação ao novo compressor. O Mesmo, diferentemente do CP-102 possui dois estágios, tornando assim a máquina mais eficiente. Outro de observação está no primeiro estágio.

Assim como ocorre no CP-101, o CP-202 possui uma válvula na entrada do primeiro estágio, com funções idênticas à encontrada no CP-101. Essa válvula tem o objetivo de administrar a quantidade de ar injetado ao longo do Booster, e é comumente conhecida como IGV (*Inlet Guide Valve*). Assim como ocorre no CP-102, o compressor CP-202 também possui uma válvula de recirculação, também identificada como BOV (*Blow-Off Valve ou By Pass Valve*).

Diferentemente do CP-102, foi instalado também na linha de recirculação do Booster uma válvula solenóide de 2", com a função de alívio mais rápido em caso de trip da máquina.

As demais características mecânicas como sistema de lubrificação e água para os resfriadores posteriores de cada estágio (O resfriador para o segundo estágio foi aproveitado do CP-102) foram adequadas para as novas características demandadas pelo CP-202. O CP-102 ainda continua instalado na planta da FOX 3, no entanto, não encontra-se operacional. Por medidas de manutenção do equipamento, o sistema de lubrificação do mesmo foi mantido em operação.

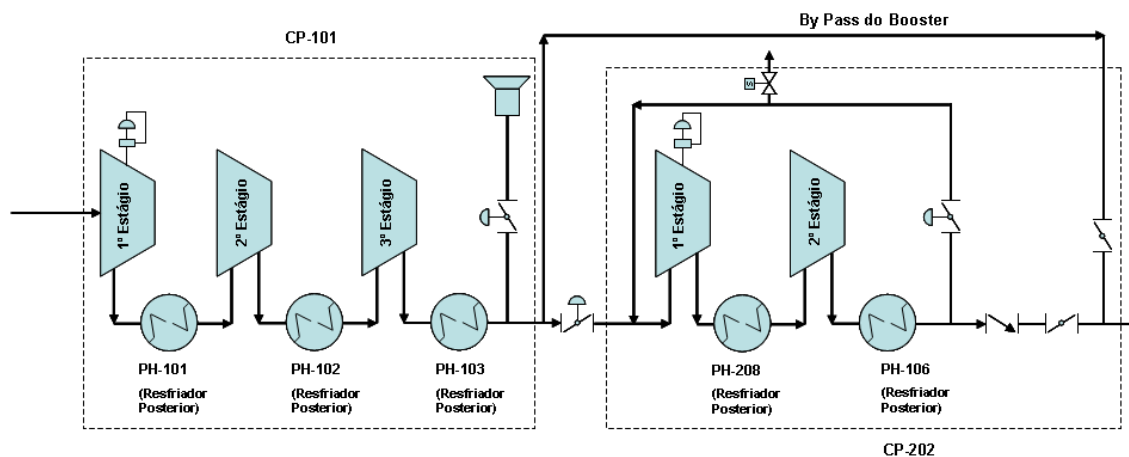


Figura 8 – Compressores CP-101 e CP-202 acoplados.

4 SISTEMA DE CONTROLE DO CP-202

A Figura 9 apresenta a arquitetura de hardware aplicada no sistema de controle do novo Booster CP-202.

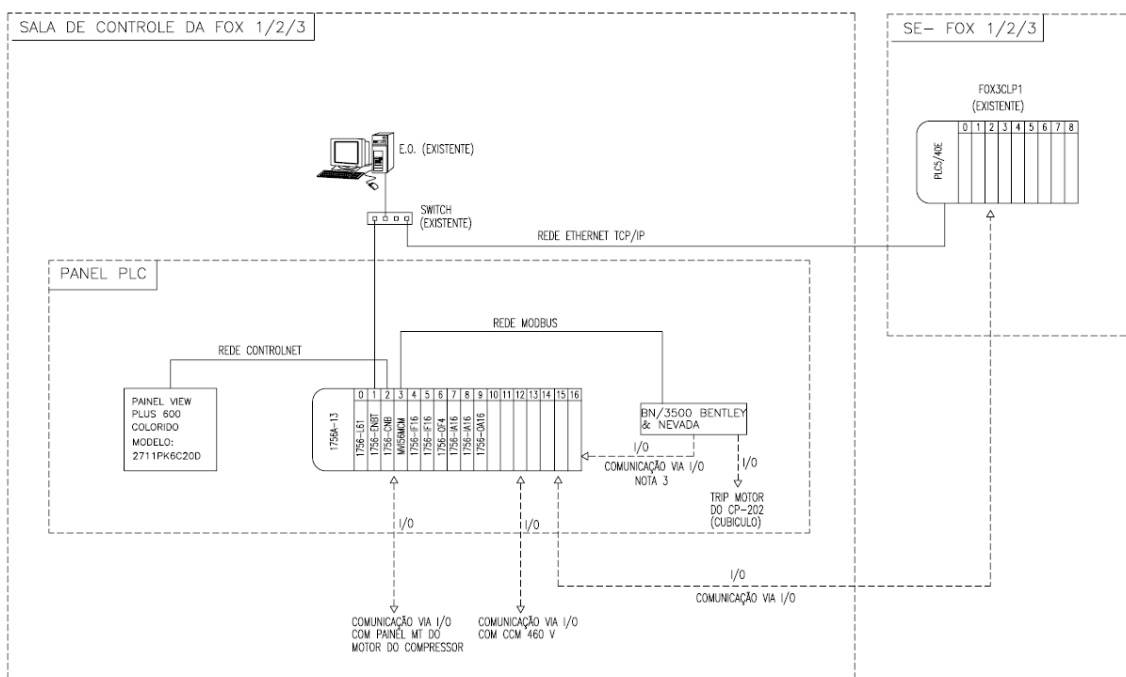


Figura 9 – Configuração de Hardware do CLP CP-202.

Com a instalação do novo Booster, como já havíamos dito anteriormente, o sistema de controle foi segmentado, de modo a retirar do atual CLP o sistema de controle desse Booster. Atualmente toda a parte quente da planta de Fracionamento de Ar 03 é controlada por esse CLP. Pode-se observar também que foi instalado também uma IHM para acompanhamento do mesmo e um CLP dedicado à monitoração de vibração e temperatura, com a função de determinar o desligamento da máquina em caso de ocorrência dos mesmos. Esse acionamento é feito diretamente no cubículo de acionamento do motor, não tendo interface com o CLP de controle do Booster. Como podemos confirmar, a arquitetura do sistema de controle é bem simples e de fácil manipulação, além de ser baseada em uma tecnologia mais simples. Um ponto importante nessa modificação é que o atual CLP foi fornecido com a planta e possui um padrão de programação específico do fornecedor, sem obedecer aos critérios da ArcelorMittal Tubarão e de manutenção bastante complicada, por ter toda sua programação estabelecida de modo indireto. A TSA desenvolveu o CLP do novo Booster de acordo com todas as características solicitadas pela equipe de engenharia responsável, de modo a transformá-lo em um equipamento de fácil utilização, quando necessário. A figura abaixo apresenta uma configuração básica para controle do compressor, fornecida pelo fabricante. Como o controle da máquina não foi adquirida junto com o mesmo, a TSA foi responsável por seu desenvolvimento e adequação à situação da planta da ArcelorMittal Tubarão.

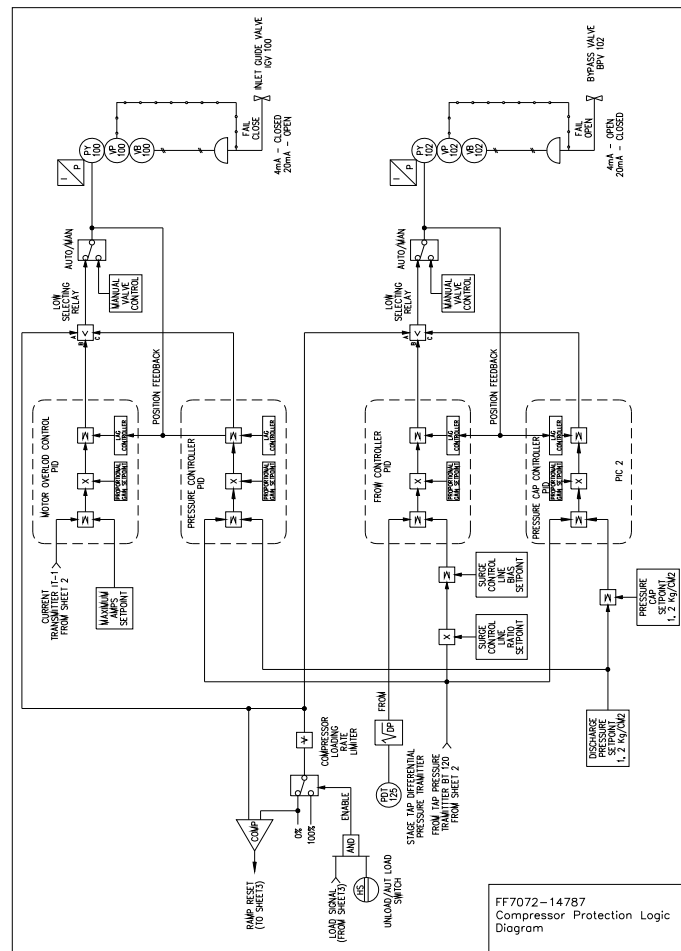


Figura 10 – Proposta para controle do CP-202.

5 CONTROLE ANTI-SURGE

O surge de compressor é normalmente causado por uma vazão muito baixa no interior da máquina a uma dada pressão.

Nesta situação a máquina está comprimindo uma quantidade de ar muito maior que o que realmente necessita, fazendo com que o gás circule no sentido inverso ao determinado pela mesma. Para evitar essa condição, uma válvula de recirculação é acionada para abrir quando uma situação como esta está prestes a ocorrer. A abertura dessa válvula irá determinar um aumento na vazão no interior do compressor, evitando assim o surge.

Um único evento como este não determina grandes prejuízos para o equipamento. No entanto, em caso de ocorrências consecutivas, o compressor pode vir a danificar seus rotores e mancais. Para prevenção desse fato, é implementado uma curva detecção e antecipação desse evento. Cada ocorrência determina um deslocamento nessa linha de controle de modo a modificar os limites de operação da máquina. No entanto, em caso de ocorrência de 03 surtos em um intervalo inferior a 10 minutos, o compressor será colocado em alívio, abrindo a válvula de recirculação e fechando a válvula de entrada do mesmo.

O limite de Surge é baseado em uma linha real (Vazão x Pressão) obtido a partir de ensaios com a máquina colocada em condições reais de funcionamento. Após a definição do limite de surge da máquina, uma linha de controle é definida para garantir que esse evento não ocorra.

Para definição dessa curva de controle, os seguintes passos devem ser executados:

- durante os testes, verificar os pontos de operação onde a máquina foi colocada em surge e anota-los;
- tomar quatro desses pontos;
- determinar uma equação linear baseada nesses pontos (é importante encaixar nessa linha a maior quantidade de pontos possível);
- atribuir um valor de deslocamento para ser incrementado a cada ocorrência de surge.

A Figura 11 apresenta a curva levantada durante os testes de fábrica do CP-202.

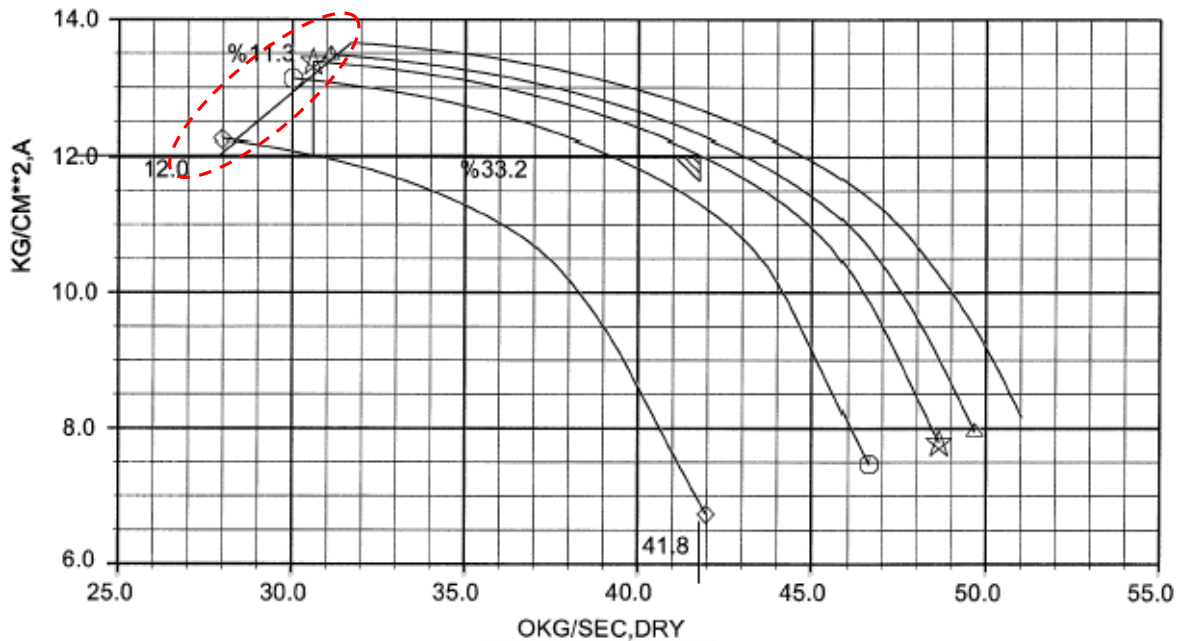


Figura 11 – Curva de testes do compressor para elaboração da proteção anti-surge.

Após o levantamento da curva, acrescentamos 10% da vazão como off-set para elaboração da equação da linha de controle de surge:

$$F = 2,08 \cdot (P) + 2,35 + 0,1 \cdot 30,6 \Rightarrow F = 2,08 \cdot (P) + 5,41$$

Resultante do offset da linha de controle surge

Offset usado para criar a linha de controle surge.

Essa equação será implementada no controlador PID, como o set point do mesmo, em função da pressão medida de saída do compressor.

Toda vez que um surge ocorrer, um off-set de 5% será acrescentado no valor da vazão. Os valores de off-set já inseridos em função de ocorrências anteriores são mantidos, mesmo que tenha havido uma ocorrência de trip. Esse valor não deve voltar ao seu valor inicial, visto que este sistema objetiva corrigir de maneira inteligente e em tempo real, as ocorrências ao longo dos períodos de funcionamento da máquina. Por essa razão, o operador não possui atuação nesse PID.

Considerando isso, segue abaixo a equação final a ser implementada no controlador:

$n_s \rightarrow$ Número de ocorrências de surge

$c_s = 0,05 \cdot 30,6 \Rightarrow c_s = 1,53 \rightarrow$ Valor do offset

$$F = 2,08 \cdot (P) + 5,41 + 1,53 \cdot n_s$$

6 CONTROLE DE SOBRECARGA DO MOTOR

Todo compressor centrífugo é dimensionado para encontrar os melhores de requisitos de pressão e vazão sob suas piores condições de operação. Usualmente essas condições atribuídas ao que denomina-se “um dia quente de verão”. Esse fato se dá porque o ar é menos denso e possui grandes quantidades de vapor. Por essa razão, o mesmo é dimensionado para trabalhar em condições bem severas de temperatura de ar na entrada do mesmo.

Dessa forma, em condições normais, o compressor sempre opera em situações bem mais confortáveis do que a determinada em projeto, tendo assim então a possibilidade de operar em 100% de sua capacidade tranquilamente. Isso ocorre porque com o ar mais frio, sua densidade aumenta, aumentando assim a quantidade de massa que passa internamente pelo compressor.

Para as operação em carga excessiva, tanto o compressor quanto seu motor são protegidos contra eventuais sobrecargas. O PLC monitora a corrente do motor e movimentada a válvula de entrada do compressor (IGV) de maneira a limitar o carregamento do motor da máquina.

A Figura 12 apresenta uma curva apresenta a relação entre vazão e potencia para o compressor CP-202. Essa curva foi levantada durante os testes de fábrica do mesmo.

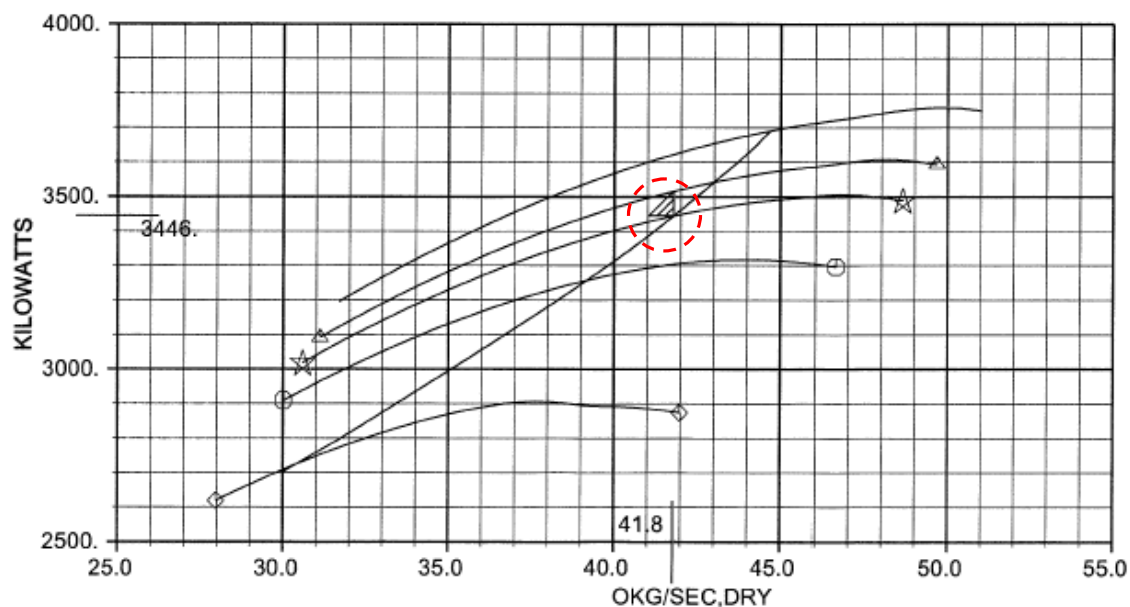


Figura 12 – Curva de testes do compressor para elaboração da proteção de sobrecarga.

O ponto destacado aponta as condições normais de operação. Esse ponto indica o valor de potência necessária para que o compressor atinja a vazão nominal projetada. Caso a corrente aumente, ultrapassando esse valor, o motor entra em condição de sobrecarga. Como essa situação pode acarretar danos se mantida assim por intervalos maiores de tempo, o sistema deverá atuar de modo a tirar o

compressor dessa condição operacional. Para tanto, é previsto um controle PID para monitoração dessa corrente de modo a não deixá-la assim da nominal por muito tempo. Esse PID determinará o fechamento da válvula de entrada do compressor, aliviando o mesmo.

Considerando isso, para definição do set point da máquina, deve-se confirmar o valor do dado de placa do motor da máquina e defini-lo como set point fixo desse controlador. O operador não possui atuação nesse PID. No entanto, por cálculos matemáticos pode-se obter o valor da corrente em função das informações do motor e valor de sua potência, caso o valor de corrente do mesmo não seja disponível. O fornecedor não recomenda controle de potência para essa máquina, por essa razão, faz-se necessária a conversão de corrente em função da potência medida.

7 CONTROLES DE PRESSÃO

Os valores de pressão a serem definidos no controlador de pressão para a válvula de recirculação do compressor devem ser aproveitados também para o controlador da válvula de entrada, conforme abaixo:

$PIC1_{SP}$ → Set point de pressão do controlador da válvula de entrada (IGV) – FCV-591.

$PIC2_{SP}$ → Set point de pressão do controlador da válvula de recirculação (BOV) - PCV-596.

$$PIC1_{SP} = PIC2_{SP} - 0,1 \text{ kgf/cm}^2$$

O transmissor de pressão da saída do compressor é utilizado como PV em ambos os controladores. Essa medida foi definida para que o operador defina apenas a pressão de saída desejada para o Booster, deixando para o sistema as demais decisões dos controladores, para que a solicitação do operador seja atendida. The discharge pressure transmitter is used as a process signal on these two controllers.

8 PARITDA DA MÁQUINA

Conforme já dito várias vezes, o compressor é composto por duas válvulas de controle:

IGV – Válvula de entrada ou admissão → Condição de falha fecha

4 mA – closed (0%)

20 mA – opened (100%)

BOV – Válvula de recirculação → Condição de falha abre

4 mA – opened (100%)

20 mA – closed (0%)

No momento em que o comando de carga é enviado para o CLP do CP-202, é enviado um comando para abertura da válvula de entrada conforme uma curva de carregamento. O mesmo comando é enviado a válvula de recirculação de acordo com uma curva de carregamento similar, determinando o fechamento da mesma, após a conclusão da seqüência enviada para a válvula de entrada. Essa condição é exemplificada no gráfico abaixo:

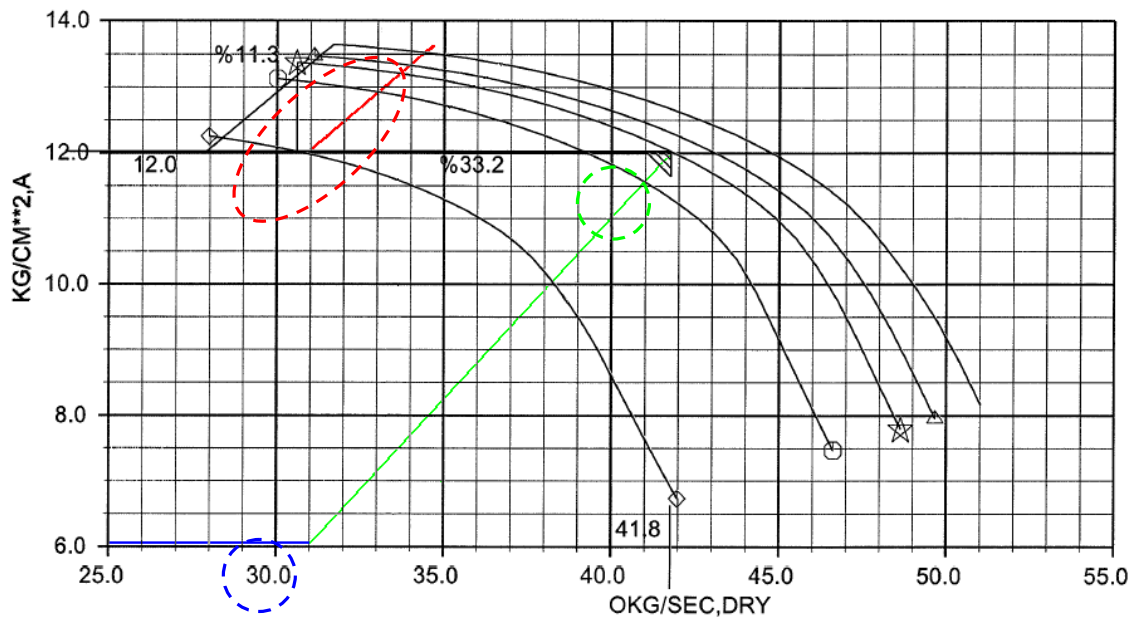


Figura 13 – Curva de carga do compressor.

A linha vermelha representa o controle anti-surge. Em função dessa linha, pode-se estabelecer o mínimo de vazão para cada ponto, evitando a ocorrência de surge durante a partida. Dessa forma, com um comando de carga enviado, a válvula de entrada inicia um processo de abertura garantindo um ponto de mínima vazão definido pelo controlador anti-surge. Após o ponto em azul destacado ser atingido, a válvula de recirculação receberá um comando para seu fechamento, determinando uma rampa de pressurização até o valor nominal definido pelo operador para a saída do compressor, após esse ponto, os controladores são passados para a condição automática. De maneira similar, existe uma curva para alívio, executando as funções de maneira contrárias, primeiras aliviando a pressão do compressor e depois cortando a admissão do mesmo.

9 INTEGRAÇÃO COM O CP-101

Após a definição das premissas básicas para controle supra-citadas, a TSA desenvolveu o sistema de controle do conjunto CP-101 e CP-202, visto que o Booster opera em conjunto com o compressor primário citado. Para tanto, algumas alterações no sistema de controle proposto foram executadas. As figuras a seguir apresentam as adequações feitas.

A primeira modificação que pode ser observada é a inclusão de um controlador de corrente a mais no acionamento da válvula de entrada. Para garantia de corrente mínima do motor, foi inserido, além de um controle para sobre-carga, um controle para corrente mínima, evitando assim também eventuais surges na máquina. Como pode-se observar o controlador anti-surge não é apresentado nas telas de supervisão, no entanto o mesmo atua nos valores máximos permitidos para atuação na saída da válvula de recirculação.

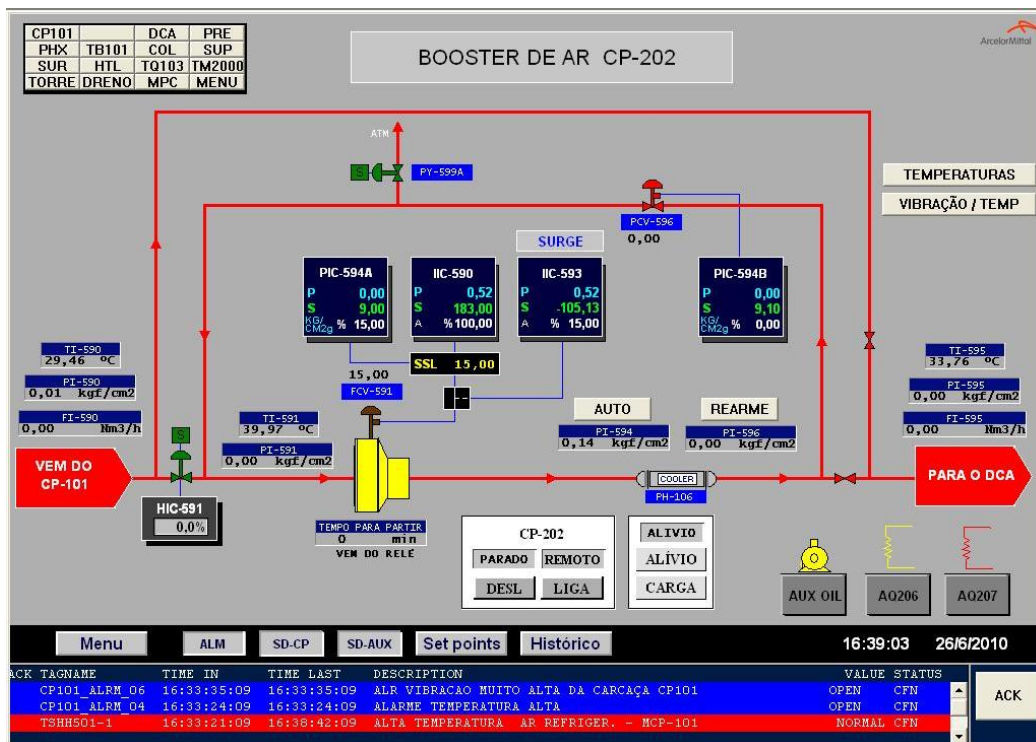


Figura 14 – Tela de operação do CP-202.

Os demais controles foram implementados conforme citado acima. Já para adequação da operação em conjunto entre os dois compressores, viu-se a necessidade de incluir uma interface do controlador de sobrecarga do CP-202 no CP-101. Esse se faz necessário em função da necessidade de limitar a entrada do Booster para alívio da máquina. Visto que o mesmo é alimentado pelo compressor primário, esse alívio só será obtido se a entrada do compressor primário também for manipulada em um momento de sobrecarga do Booster.

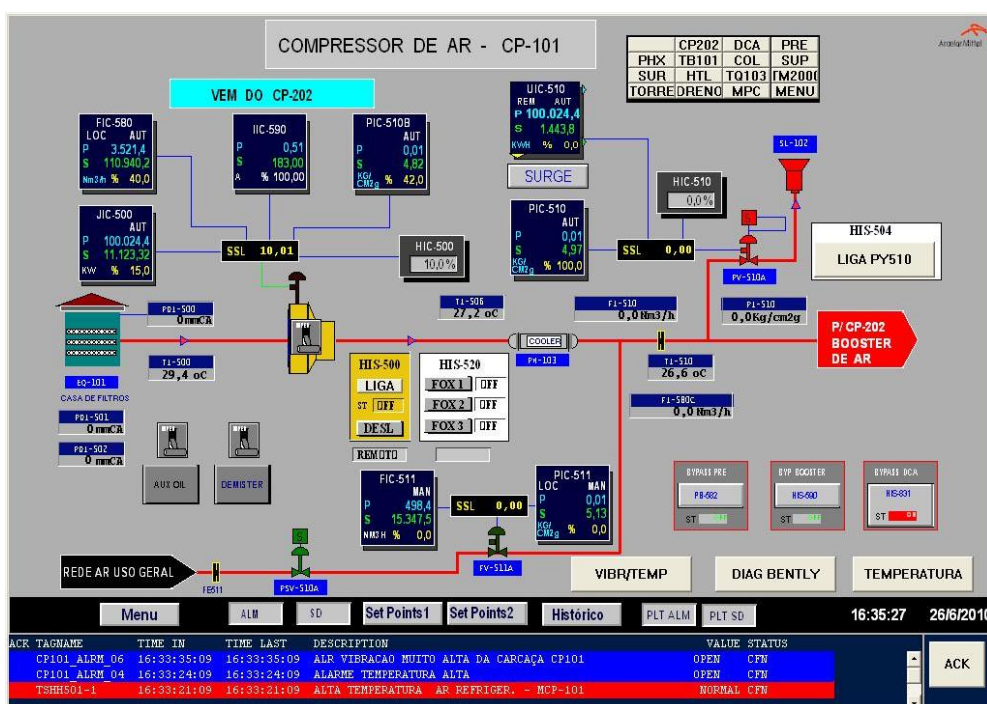


Figura 15 – Tela de operação do CP-101.

As telas a seguir são relacionadas à instrumentação auxiliar instalada de modo a monitorar de maneira mais detalhada e efetiva a operação do Booster CP-202.

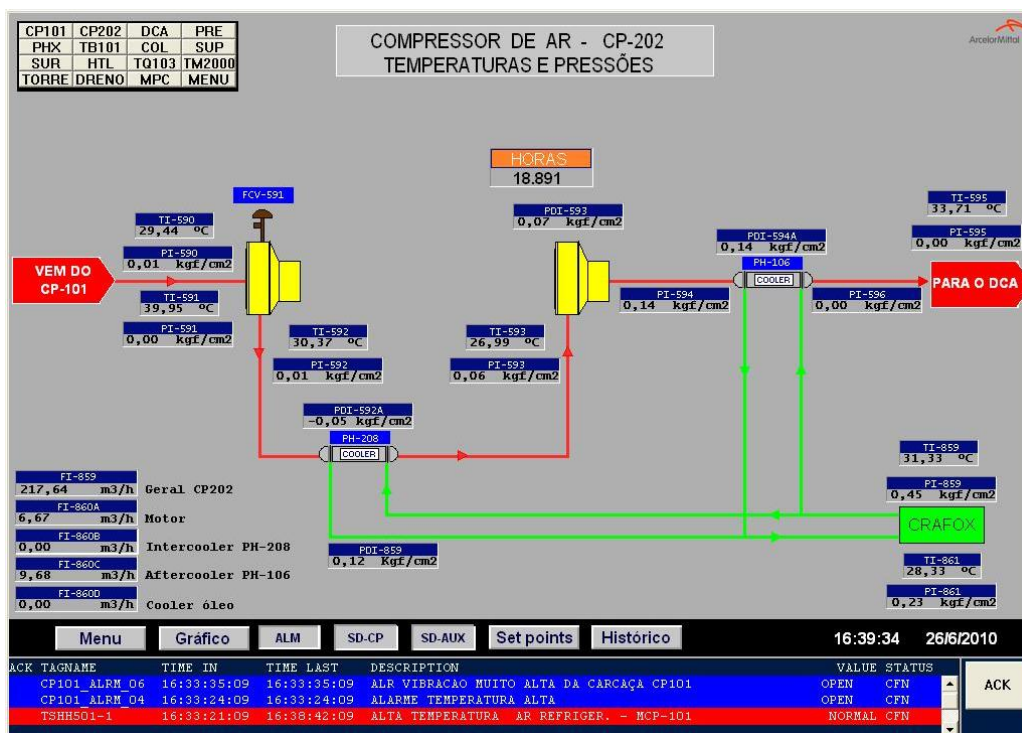


Figura 16 – Tela de detalhes do CP-202.

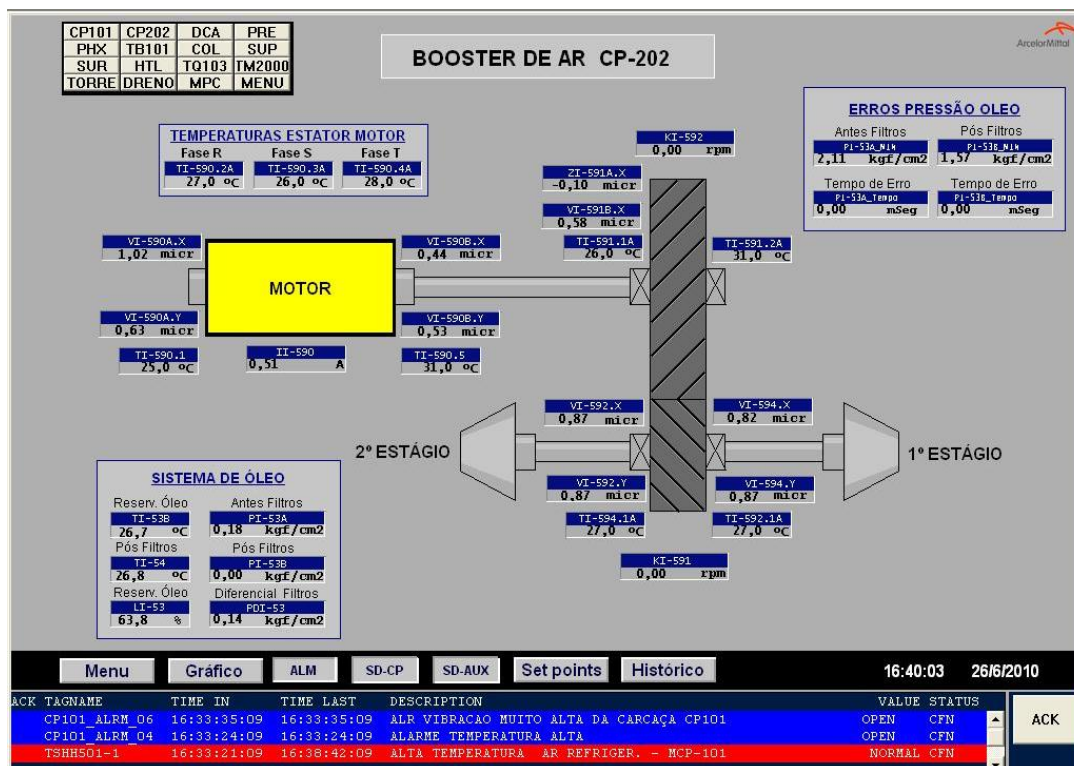


Figura 17 – Tela de monitoração dos mancais do CP202.

10 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a posta em marcha do conjunto, a ArcelorMittal detectou algumas necessidades de modificação de seu procedimento de partida da planta, em função da inclusão da máquina. A detecção da necessidade de inclusão do controlador de sobrecarga do CP-202 para atuação na válvula de entrada do CP-101 foi atribuída após o início da operação, após confirmação da capacidade de operação do novo equipamento. Por essa razão o mesmo atuava em sua válvula de entrada, diminuindo a eficiência do conjunto. Após a inclusão do novo controlador esse problema foi solucionado.

11 CONCLUSÃO

A implantação deste tipo de sistema requer grande agilidade na tomada de decisões por se tratar de uma planta já em operação e com grande responsabilidade de produção. Para tanto, o sucesso na realização desses trabalhos, os fatores determinantes para o sucesso são o planejamento e a estratégia de mudança.

É fundamental que os gestores e planejadores tenham total conhecimento das características de funcionamento das áreas envolvidas e que os impactos das mudanças sejam discutidos previamente com os profissionais de cada disciplina. Empreendimentos desse tipo são desafiadores, tanto para clientes como fornecedores e são marcados pelo grande envolvimento das equipes de ambos, sendo praticamente implantados “a quatro mãos” numa relação de autêntica parceria.