

Estudo de caso para um programa de controle de perda em refinaria de alto desempenho

A maioria das refinarias possuem algum tipo de programa de controle de perda e de balanço de massa para contabilidade, planejamento e programação, assim como para fins de avaliação operacional e financeira. Melhorias no balanço de massa com um claro entendimento das perdas e onde elas ocorrem são essenciais para o desempenho da refinaria. Os programas de redução de perda de hidrocarboneto levam a uma economia de US\$2 a 10 milhões ao ano para uma refinaria de médio porte. Isso pode estar associado não somente ao valor da perda material, mas também à introdução de erros em modelos de rendimento (incluindo a avaliação de desempenho do catalisador), que afeta a otimização geral.

A refinaria da YPF em Luján de Cuyo, na Argentina, tem passado por um processo de melhoria contínua em termos de medição e controle de perda por mais de 20 anos. A refinaria, que processa aproximadamente 111 mil bpd, tem perdas reduzidas, incluindo perdas e queimas não contabilizadas, entre 5% a 6% e 1,5% a 2%. As perdas anuais não contabilizadas tiveram uma média inferior a 0,11%, o que atribui à refinaria um dos melhores desempenhos em termos de controle de perda (FIG-1).

Se a refinaria Luján de Cuyo (FIG-2) é uma refinaria de médio porte em termos de rendimento, a complexidade de suas operações é muito alta. Ela inclui unidades a vácuo e de materiais brutos, coqueria, um craqueamento catalítico de fluido (FCC), um hidrocraqueador, um reformador e unidades de produção de hidrogênio (H₂). Ela processa principalmente material bruto nos locais de produção da YPF.

A seguir, iremos descrever o processo da refinaria para alcançar um balanço de massa e as lições aprendidas por meio de seus programas de melhoria contínua e de mudanças operacionais. Também descreverá práticas comuns e oportunidades de melhoria.

Reduzindo as perdas da refinaria. O objetivo de reduzir as perdas da refinaria começou há 20 anos, medindo perdas e usando as fórmulas a seguir:

$$\text{Perdas da refinaria} = \text{cargas recebidas} - \text{cargas despachadas} - \text{combustível consumido} + \text{alterações do inventário}$$

Naquele momento, a maioria das medições de cargas recebidas e despachadas eram feitas por meio de rudimentares sistemas de medição em tanques. O primeiro nível de melhoria ocorreu ao mudar o sistema de medição para incluir sistemas de medição de vazão para muitos dos fluxos de entrada e saída, principalmente usando medições de massa direta com medidores Coriolis. A refinaria Luján de Cuyo utiliza cerca de 40 medidores Coriolis para garantir medições de transferência de custódia precisas.

À medida que o programa de controle de perda avançava, a refinaria observava que qualquer cálculo de perda de hidrocarboneto deveria ser detectado no nível molecular para realmente equilibrar a refinaria e calcular as perdas. Por exemplo, a água que entra na refinaria (para reagir em forma de vapor com o gás natural) deve ser contabilizado, pois H₂ é consumido em vários processos e o dióxido de carbono (CO₂) é queimado.

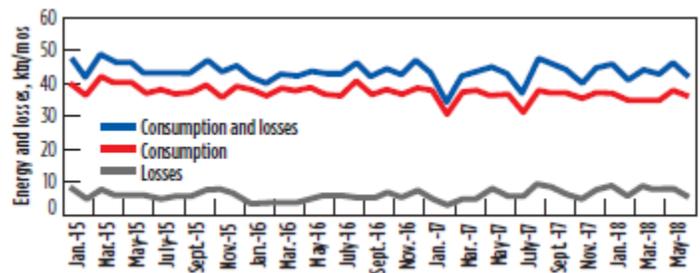


FIG-1. Perdas na refinaria Luján de Cuyo caíram de 5% a 6% para 1,5% a 2%.



FIG-2. Refinaria Luján de Cuyo da YPF.

TABELA 1 identifica a fonte e as quantidades típicas de perda na refinaria Luján de Cuyo. Esses resultados, que forneceram impactos gerenciais e econômicos positivos para a YPF, foram alcançados melhorando as medições e adicionando um número significativo de medições.

Perdas versus consumo de energia. É fundamental compreender e analisar a relação entre as perdas relatadas e o índice de intensidade de energia (EII). O EII é principalmente afetado pelo consumo de energia em um equipamento de queima de combustível e a qualidade da medição é geralmente baixa. Se o número de consumo de energia for superestimado, as perdas podem parecer baixas. No entanto, o EII será alto. Em relatórios, um dado compensa o outro.

Estratégias para reduzir perdas não contabilizadas. Um programa de redução de perda é iniciado com um claro entendimento do escopo e das metas do projeto. Em geral, iniciando a análise pelo recebimento de fluidos para em seguida avançar é uma prática recomendada, já que as medições de custódia podem agir como âncoras no desenvolvimento do balanço de massa e energia por toda a planta. As fontes mais comuns de perda e incerteza, mostradas na **TABELA 1**, fornecem um excelente ponto de partida para uma análise das incertezas de medição que podem ser um dos mais importantes contribuidores para o equilíbrio da planta.

Fontes comuns de perdas e incertezas associadas às medições incluem:

- Material bruto recebido, especialmente se a medição for proveniente em navios
- Água em óleo cru
- Variação das propriedades que não correspondem à análise do material bruto
- Medições de densidade insuficiente
- Importações de gás natural
- Coque
- Queima (flare)
- Gás combustível internamente gerado consumido por equipamento de queima de combustível
- Alterações de inventário.

TABLE 1. YPF Luján De Cuyo Refinery Annual Losses	
Processed raw material, tpd	16.048
Total losses	1.68%
MPP, tpd	
Subtotal sweet flares	0.94%
Subtotal sour flares	0.08%
CO ₂ vented	0.51%
Subtotal of unidentified losses + others	0.14%
Others	0.10%
Unidentified losses	0.04%

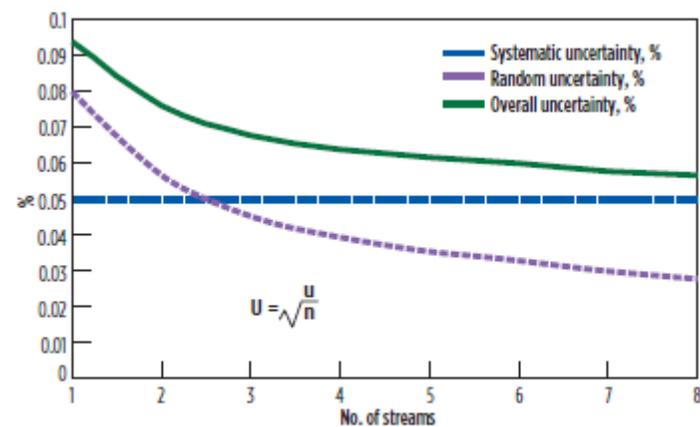


FIG-3. Diagrama de incertezas.

Práticas recomendadas para um programa de controle de perda. É importante definir claramente o limite de bateria que deve ser onde a medição de transferência de custódia é realizada e não em outro local. A definição do local do limite de bateria deve incluir o terminal, se um for associado à refinaria.

A redundância nas medições também é importante para fins de reconciliação. Os tipos de medição não devem ser o mesmo. Por exemplo, um medidor de vazão pode ser comparado a um volume de tanque, mas um sistema de verificação é importante para a maioria das principais medições.

O uso de vários pontos de medição independentes em paralelo, em vez de um único ponto de medição maior, também é uma maneira de reduzir significativamente a incerteza (FIG-3). Várias medições de vazão podem resultar em um efeito de aleatorização significativo e na melhoria geral da incerteza. A vazão total se iguala à soma de vazões de fluxo individuais e a incerteza é calculada como a incerteza de uma medição individual dividida pela raiz quadrada do número de medidores. Se um único medidor tiver uma incerteza de 0,5% e se o fluxo estiver dividido entre dois medidores com a mesma incerteza de 0,5%, a incerteza do sistema de medição será reduzida para 0,35%.

O balanço de massa pode ser calculado diariamente, semanalmente ou mensalmente. Na refinaria Luján de Cuyo, o balanço de massa é calculado diariamente, incluindo alterações de inventário. Portanto, todas as medições devem ser reconciliadas simultaneamente por meio da planta. Ao executar um balanço diário, quaisquer problemas são imediatamente identificados, facilitando significativamente a resolução do mesmo. O balanço diário contribui com o balanço semanal, que por sua vez contribui com o balanço mensal.

Medição de óleo cru. A mais importante medição no balanço de massa é a medição bruta, pois é a maior medição no sistema do balanço e a referência de todas as outras medições. Em geral, há incertezas associadas à medição bruta somente por medição de tanques, especialmente em um navio. Medições de vazão de custódia de alta qualidade do material bruto, de acordo com o American Petroleum Institute (API) ou outro padrão internacional, deve ser usado para verificar e reconciliar medições de tanque de navio.

A quantidade de água é outra fonte de incerteza. A água pode ser medida em tubo com passagem plena para evitar problemas associados à dispersão desigual de gotas de água ou a gotículas de água que podem ocasionalmente passar pela tubulação de entrada de óleo cru.

Medições de densidade. Se as medições volumétricas são usadas, as medições de densidade devem ser incluídas, pois são fundamentais para o balanço de massa. Se isso for feito por meio de amostragem, métodos e procedimentos devem seguir padrões rigorosos e a frequência da coleta de amostra deve ser cuidadosamente analisada. O acréscimo de medições de densidade online deve ser considerado para fluidos com a maior variabilidade de composição para realizar a conversão de massa do equilíbrio de massa.

Se a medição de massa por medidores Coriolis for usada no ponto de transferência de custódia, não é necessário realizar uma conversão para massa. A medição da densidade, que também é medida em um medidor Coriolis, pode ser usada para calcular a vazão volumétrica ou como uma saída individual como um parâmetro de qualidade.

Medições de gás natural. Um dos problemas de medição mais comuns na refinaria é com o gás natural, que é importado para a refinaria para suplementar seus requisitos de energia na forma de gás de combustão da unidade de processo. O provedor de utilidade é responsável pelo dispositivo de medição usado para a transação da transferência de custódia. As refinarias devem ter seu próprio sistema de medição como uma forma de verificação para garantir que o valor do aquecimento e vazão sejam precisas e confiáveis. Medidores Coriolis ou ultrassônicos com algum tipo de analisador de valor de energia são recomendados.

Medições de coque. Muitas refinarias detectam uma incerteza de medição de coque entre 5% e 10%. Em geral, essa é uma das mais altas incertezas das refinarias. Se a configuração da refinaria incluir coqueria, a pilha de coque será uma fonte de incerteza e o coque queimado na unidade do FCC será outra fonte. A respeito do coque do FCC, a massa de carbono e H_2 queimado é calculada por meio da medição da entrada de ar e das concentrações de exaustão de CO_2 , monóxido de carbono, oxigênio e nitrogênio.

Em geral, a medição da pilha de coque oferece um desafio significativo às refinarias. A refinaria Luján de Cuyo tentou diversos métodos diferentes para medir sua pilha de coque, incluindo radiometria, medição de nível e tecnologias infravermelho. Atualmente, o método mais exato envolve a pesagem do material à medida que é transportado da refinaria por vagão ou caminhão com análise de umidade no laboratório. As pilhas de coque são segregadas diariamente para que aquelas medições sejam comparadas com as estimativas de produção diária de coque no tambor de coque.

Sistemas de queima. Perdas por meio de sistema de queima são, em geral, a maior fonte de perda identificável. O sistema de queima é principalmente um sistema de segurança e deve estar disponível para a queima de hidrocarboneto em excesso sempre que ocorrer uma instabilidade na planta, assim como a queima do gás em excesso ou de vazamentos de unidades de processo. O aumento do foco no controle de queima com melhorias gerais do controle, começa com a medição.

Embora as medições da tecnologia de vazão tenham melhorado com o tempo, em vazões baixas, a incerteza geralmente permanece acima de 10% devido a diversos desafios, incluindo amplos requisitos de rangeabilidade, composição em constante mudança e pressão de gás muito baixa resultando em perfis de escoamento mal definidos. Medidores ultrassônicos são usados na maioria das refinarias. Avanços em modelagem de perfil de escoamento e em informações de diagnóstico de dispositivos de vazão melhoraram essas medições significativamente. A análise da composição do gás, seja por amostragem e análise em laboratório ou cromatografia gasosa (GC) online ou espectrometria de massa, também é necessária para fins de relato ambiental e balanço de massa.

Gás combustível. O gás combustível é consumido pelo equipamento de queima de combustível da refinaria. Em geral, isso compõe de 5% a 7% dos números da importação de materiais brutos. Os medidores de vazão usados para controlar a combustão são geralmente medidores de pressão diferencial (DP) da placa de orifício padrão, que são bastante impactados por alterações de gravidade específica. Como a gravidade específica do gás é alterada significativamente na maioria das refinarias, a exatidão dos medidores é de 5% a 10% no máximo. A contribuição geral para a incerteza do equilíbrio de massa é de 0,25% a 0,7%, que é significativa. O consumo de gás combustível, que é o dado usado para calcular o EII, é um parâmetro essencial de análise da refinaria, assim como um indicador-chave de desempenho (KPI) do gerenciamento da refinaria. Uma prática recomendada é usar os medidores Coriolis em gás combustível em aquecedores e boilers, que não somente melhoram o controle da combustão, mas melhoram a precisão do valor de consumo do combustível.



FIG-4. Medidores Coriolis localizados na entrada de um tanque óleo cru.

Alterações de inventário. A obtenção de valores de inventário de tanques precisos e confiáveis são outro grande desafio para muitas refinarias. Há muitas fontes de erro no cálculo de volumes em um tanque e na conversão para massa do balanço de massa. As medições de nível de tanque tornaram-se muito precisas, mas as não uniformidades do tanque, a estratificação do produto no tanque e as alterações de densidade e de temperatura por meio de dimensões do tanque apresentam desafios às medições precisas. Investimentos em instrumentação para reduzir a incerteza são recomendados para tanques de produto e de matérias-primas mais importantes.

Um outro desafio de muitas refinarias é que alguns tanques são enchidos e esvaziados simultaneamente. A refinaria de Luján de Cuyo resolveu este problema utilizando medidores Coriolis na entrada e na saída do tanque para monitorar de maneira eficaz as alterações no inventário (FIG-4).

As alterações de inventário devem ser registradas diariamente para minimizar as chances de um erro de medição ser ignorado e, assim, permitir a implementação das correções necessárias.

Balanço de massa na unidade de processo. Quando os limites de cada etapa do processo são definidos, o próximo passo é equilibrar as unidades de processo. A finalidade do balanço de massa da unidade de processo é validar os dados de processo usados para monitorar o desempenho da unidade. O monitoramento preciso fornece as informações necessárias para aumentar a qualidade do produto e reduzir os custos operacionais. Para calcular a conversão e os rendimentos de produto, assim como a seletividade do catalisador e a eficiência da energia, a unidade deve ser equilibrada. Os dados podem então ser usados para otimizar a unidade de processo, que inclui rendimentos esperados e avaliação de desempenho do catalisador.

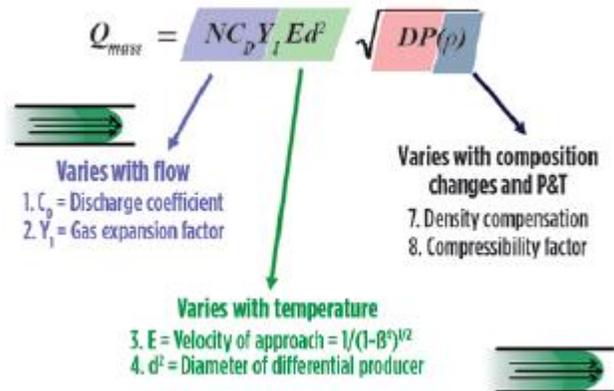


FIG-5. Equação para a alteração das condições de processo em medições de vazão.

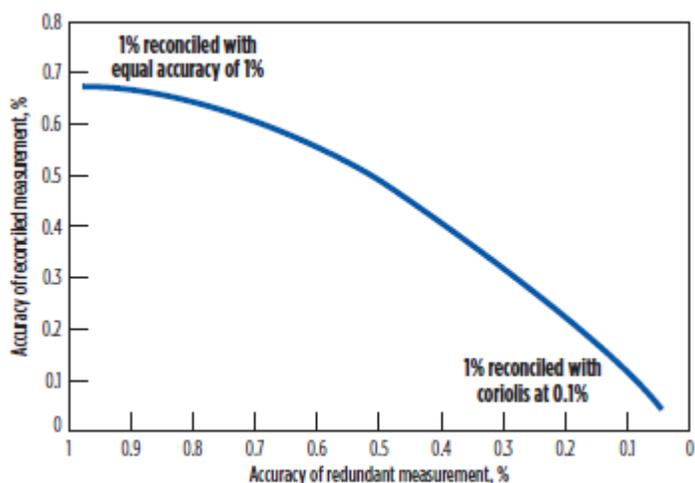


FIG-6. Precisão de medição redundante.

A meta de muitas refinarias é ter o balanço de massa das unidades do processo em 100 +/- 2%. É um desafio para algumas unidades de processo alcançar essa meta. Refinarias de alto desempenho se empenham para equilibrar suas unidades de processo críticas em +/- 1%. Um grande esforço é necessário para atender essa meta, desde a qualidade do processo. A tecnologia de DP da placa de orifício descompensada é geralmente usada para medições. Essa tecnologia é particularmente influenciada pela densidade do fluido que é medido. Em uma refinaria, as densidades sofrem constante alteração. FIG-5 mostra o impacto das condições de processo em alteração na medição da vazão.

Devido a esses problemas, a refinaria do Luján de Cuyo utilizou medidores Coriolis em todos os pontos de equilíbrio de massa das unidades de processo críticas. Os medidores Coriolis medem a massa diretamente e não são afetados pelas condições de processo em alteração, incluindo alterações da densidade. Além disso, os medidores medem a densidade, que é usada para rastrear as alterações de composição e para calcular a vazão volumétrica.

Na refinaria Luján de Cuyo, os medidores Coriolis são usados em fluxos de equilíbrio de massa nas seguintes unidades:

- Destilação a vácuo e de material bruto
- Coqueria
- FCC
- Hidrotratamento de destilado
- Hidro-craqueador
- Reformador
- Conversão de gás.

A maioria das unidades de processo podem alcançar um balanço de massa dentro de 1% durante uma execução de teste. Isso permite que os engenheiros de processo avaliem e otimizem de maneira eficaz suas unidades com confiança. Estudos mostraram que medições ruins podem levar a decisões incorretas que afetam a lucratividade e a segurança da unidade operacional. As melhorias na precisão dos dados podem resultar em um lucro de vários milhões de dólares.

Contabilidade de rendimento e reconciliação de dados. Como na maioria das refinarias, os sistemas de software de contabilidade de rendimento e de reconciliação de dados são utilizados na refinaria Luján de Cuyo. A qualidade da reconciliação depende das incertezas dos pontos de medição, ou nó, que é usado no sistema de balanço de massa. FIG-6 mostra a importância da **exatidão** na capacidade de reconciliar dados. Para cada ponto de medição, a incerteza deve ser inserida no software e essa incerteza será utilizada para reconciliar os dados. Por exemplo, se o dispositivo de medição com uma incerteza de 1% for reconciliado com outro dispositivo de medição com a mesma incerteza, a precisão da medição reconciliada será somente de 0,7%. No entanto, se um dispositivo com uma incerteza de 0,1% for reconciliado com o dispositivo com uma precisão de 1%, a precisão da medição reconciliada melhora para 0,07% (FIG-6).

Uma reconciliação de dados mais precisa resulta em um sistema de contabilidade de rendimento mais **exato** e confiável para que o desempenho geral da refinaria, medido com base em KPIs críticos da refinaria, possa ser efetivamente avaliado.

Conclusão. A importância do balanço de massa, tanto no nível da unidade de processo como em toda a refinaria, não pode ser subestimada. No nível da unidade de processo, os dados de balanço de massa são a base na qual as decisões de operação são feitas e as otimizações realizadas. No nível da instalação, o equilíbrio de massa verifica se medição da transferência de custódia e a qualidade são precisas e se o operador está pagando, e sendo pago, pelos materiais em transferência, entrando e saindo, da refinaria. É possível visualizar as causas da perda, reduzindo perdas e melhorando a lucratividade. **HP**



Raul Videla é o supervisor de KPIs, massa e energia, e contabilidade de rendimento na refinaria Luján de Cuyo da YPF na Argentina. Em seu período como supervisor, a refinaria Luján de Cuyo observou melhorias significativas na redução de perdas e na melhoria de KPIs em programas de melhoria do processo que sua equipe implementou.

Raul Videla tem mais de 30 anos de experiência em refino e assumiu várias funções na YPF envolvendo gerenciamento de projetos associados principalmente a equilíbrio de massa, mistura com gasolina e contabilidade de rendimento. Ele tem bacharelado em engenharia química pela Universidade de San Juan na Argentina e um diploma de engenharia especializada em refino pela Universidade de Buenos Aires.



Julie Valentine é a diretora de soluções em vazão de refino da Emerson Automation Solutions. Antes dessa função, ela trabalhou como gerente de marketing da indústria de refino da Micro Motion por 14 anos. Ela retornou ao grupo de vazão da Emerson em 2015. Antes de ingressar na Emerson, ela trabalhou na Honeywell UOP por 8 anos, primeiramente no grupo de serviços técnicos,

onde participava no comissionamento, inicialização e resolução de problemas das unidades de processo da Honeywell UOP em todo o mundo. Julie Valentine publicou diversos trabalhos técnicos sobre várias aplicações de tecnologia de vazão na indústria de refino e está listada como coinventora de duas patentes americanas da Micro Motion. Ela é um membro ativo da API e da American Fuel and Petrochemical Manufacturers (AFPM). Julie Valentine é graduada na Colorado School of Mines em Golden, Colorado, com bacharelado em engenharia de refino químico e de petróleo.