

PROJETO MECÂNICO DE UM SISTEMA DE HIGIENIZAÇÃO CIP (CLEANING IN PLACE)

Renato Forni
rforni@gmail.com

Resumo. O trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um projeto mecânico de um sistema de higienização CIP (Cleaning in Place). O CIP possibilita a higienização das partes e peças de uma instalação de produção de uma indústria, sem a necessidade da desmontagem dos equipamentos e tubulações, através da circulação de solução química. Os sistemas CIP são compostos basicamente por bombas e tubulações de avanço e retorno, além dos dispositivos aspersores de solução química. O dimensionamento do sistema é amparado nas equações e teorias da mecânica dos fluidos e a seleção de materiais dos componentes do sistema são realizados através de características desejadas, sobretudo da corrosão destes materiais. Os aços AISI 304 e 316 são mais comumente utilizados nas indústrias de bebidas e alimentos. Todas as etapas são desenvolvidas em um estudo de caso em uma indústria de café. A proposta para tal estudo é a construção de um CIP móvel e instalação de sprays ball, bomba de avanço de 5 hp, 127 mm de diâmetro de rotor, rotação de 3500 rpm. O estudo de retorno de investimentos, para o mesmo caso, indica o retorno em 11 meses e uma redução de 70% de despesas após 36 meses de operação do sistema. No término do trabalho é realizada uma análise de automação de um sistema completo.

Palavras chave: CIP, higienização, spray ball, automação

1. Introdução

As indústrias de alimentos, bebidas, farmacêuticas e de laticínios estão expostas à contaminação em suas linhas produtivas devido à disponibilidade de matéria orgânica e inorgânica. Essa contaminação pode ser nociva ao ser humano quando os produtos industrializados são contaminados por agentes patogênicos. Desta forma, todas superfícies que estão em contato com a linha produtiva são focos de contaminação e devem ser higienizados. O CIP (Cleaning in Place) é um conceito desenvolvido e voltado para a higienização das superfícies internas de equipamentos, tubulações e tanques de armazenamento, sem que haja a necessidade do desmonte das partes e peças. O conceito CIP é baseado na circulação de solução química pelas superfícies internas dos equipamentos, provendo ação térmica, mecânica e química, além do tempo de ação de cada um destes agentes.

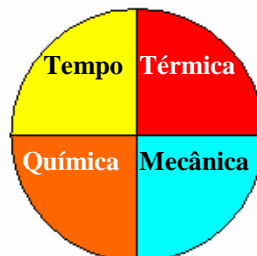
2. Higienização

Entende-se por higienização os processos de limpeza e desinfecção de superfícies, instalações e equipamentos. A limpeza é responsável pela remoção de partículas abióticas, dentre eles os materiais orgânicos, materiais inorgânicos, detritos, entre outros. A desinfecção tem por objetivo destruir os microorganismos patogênicos. Uma higienização adequada, o processo deve ser iniciado com a limpeza seguido de desinfecção.

2.1. Fatores que interferem na higienização

O principal modelo de interferências na higienização é chamado de Círculo de Sinner. O modelo relaciona os agentes químicos, agentes térmicos, agentes mecânicos no tempo necessário para romper as ligações que mantêm as sujidades aderidas às superfícies.

Figura 1. Círculo de Sinner



Os agentes químicos são as soluções químicas presentes nos produtos para higienização. Os agentes químicos atuam por meio de reações químicas, coagulação de proteínas, oxidação e ação do pH. A alteração da concentração da solução química é o principal modo de aumentar ou diminuir os efeitos dos agentes químicos.

Os agentes térmicos estão relacionados com a temperatura da solução e conseqüentemente com a cinética química. A temperatura acelera a velocidade das reação químicas.

Os agentes mecânicos podem ser obtidos com a utilização de equipamentos auxiliares a limpeza, como por exemplo, os esfregões, ou mesmo com a ação do escoamento e colisões de um jato fluido com a sujidade. O escoamento

de um fluido, através das tensões de cisalhamento colaboram com a remoção das incrustações e sujidades. O escoamento também colabora com a homogeneização da solução química.

Por fim, o tempo interfere no número de ligações rompidas com o processo de higienização, através de uma relação diretamente proporcional.

2.1.1. Conclusões do Círculo de Sinner

A redução ou a extinção de um dos fatores do Círculo de Sinner implica necessariamente, para a higienização, na compensação através do aumento de algum outro fator. Visando o aumento da produtividade nas indústrias, ou seja, reduzindo o tempo de higienização, é necessário aumentar de alguma forma, um ou mais agentes da higienização. A higienização, até então realizada por imersão de solução química, deixa de ser realizada desta forma e passa ser adotado sistemas CIP. O CIP compensa o fator tempo provendo ação química, mecânica e térmica (quando necessário).

3. Cleaning in place - CIP

A busca pelo aumento de produtividade e redução de custos com a higienização possibilitou o desenvolvimento da higienização CIP. O conceito de higienização CIP é baseado na circulação de solução química dentro de equipamentos, visando a limpeza e desinfecção. O sistema CIP é composto por alguns equipamentos que associados permitem a higienização sem o desmote.

3.1. Locais higienizados pelo CIP

O CIP geralmente é aplicado em locais onde a limpeza manual não pode ser realizada facilmente, ou mesmo em situações de total impossibilidade de alcance manual. Em determinados casos a desmontagem dos equipamentos permite a higienização das partes e peças, porém este tipo de procedimento se torna inviável em indústrias de grande porte. Os principais equipamentos que são higienizados pelo CIP nas indústrias são: silos, tanques, tubulações, equipamentos de processamento de bebidas e alimentos, engarrafadoras de bebidas, cozinhadores, trocadores de calor, centrifugas, concentradores, entre outros.

3.2. Equipamentos e componentes de um CIP

Basicamente, um sistema CIP é composto de bombas centrifugas radiais e tubulações para avanço e retorno de solução, tanque de solução CIP, onde é armazenada a solução de limpeza, e dispositivos aspersores. Dependendo das necessidades específicas de cada projeto, podem ser adicionados outros equipamentos, complementando o sistema e aumentando a sua funcionalidade. O exemplo mais comum de complementação é a automação dos sistemas CIP, na qual são instalados sensores, atuadores e controladores.

Os dispositivos aspersores de solução, citados acima, são elementos que permitem a aplicação da solução química nas superfícies de tanques de uma industria de bebidas. Os principais modelos de aspersores de solução são o spray ball, o flying saucer e os aspersores rotativos, conforme a Fig. (2). O spray ball é o modelo mais comum e amplamente utilizado nas indústrias.

Quando se deseja higienizar apenas tubulações, como por exemplo superfícies internas de tubos de trocadores de calor, o CIP dispensa os dispositivos aspersores.

Figura 2. Tipos de aspersores – spray ball, flying saucer e aspersor rotativo.



3.3. Descrição operacional de um sistema CIP

O primeiro passo de uma higienização CIP é preparação da solução CIP que é armazenada no tanque de solução CIP. A preparação parte de uma solução concentrada sendo diluída em água. Em sistemas automatizados o ajuste da concentração é feito por controladores de condutividade. Em sistemas manuais o ajuste é realizado experimentalmente.

Quando pronta, a solução é colocada para circular através da bomba de avanço. Caso esteja previsto em projeto, a solução química, antes de ser encaminhada para os aspersores, é circulada por trocadores de calor com a finalidade de resfriar ou aquecer a solução química, fornecendo a ação térmica.

A bomba induz o escoamento do fluido pelas tubulações do sistema CIP e conseqüentemente pela instalação produtiva da indústria (trocadores de calor, tubulações, etc). No caso de higienização de tanques, a pressurização dos aspersores, induz escoamento pelos seus orifícios, correndo a aplicação de solução química nas superfícies sujas dos tanques. O contato da solução química com a sujeira e contaminação, somados aos fatores mecânicos e térmicos causam a degradação das sujidades em um determinado tempo de atuação. No caso da higienização de tubulações, trocadores de calor e equipamentos de um modo geral, não é necessário aspersores. A simples circulação é responsável pelo processo.

3.4. Tipos de CIP

O CIP pode ser classificado segundo algumas características. A primeira classificação diz respeito ao porte e a mobilidade do CIP. Existem os CIP's móveis, de pequeno porte, e as centrais CIP's, de grande porte. As centrais podem executar lavagens em tanques e equipamentos diferentes simultaneamente, além de possibilitar a utilização de mais de uma solução química. O CIP móvel, geralmente possuem apenas um tanque de armazenamento, para uma solução, e são sistemas manuais.

Figura 3. Central CIP



Outra classificação do sistema CIP diz respeito a automação do sistema. Existem sistemas automáticos e manuais. No sistema automático, após seu acionamento, todas as etapas do processo são conduzidas automaticamente. O sistema realiza as lavagens enxágües entre outros processos, sem a necessidade de interferência humana. Para tanto são necessários PLC's, controladores, válvulas solenóides, entre outras. No CIP manual todo processo é realizado através de um operador. A modificação das válvulas para direcionamento de fluxo, o acoplamento de tubulações, e o controle de tempo de processo é realizado manualmente.

3.5. Vantagens e desvantagens do CIP

As principais vantagens do sistema CIP são: não há desmontagem dos equipamentos de uma linha produtiva, minimização do tempo de inatividade de produção, operação mais segura, utilização de um único método para tanques grandes, trocadores de calor, tubulações e concentradores.

As principais desvantagens são: presença de áreas mortas sem a agitação de solução, interrupção total em caso de mal funcionamento, dificuldade de diagnosticar problemas, necessidade de mão de obra qualificada.

4. Projeto mecânico de um sistema CIP

Em um projeto mecânico de um sistema de higienização CIP algumas características importantes devem ser garantidas com o objetivo de realizar a perfeita limpeza e desinfecção do equipamento a ser higienizado. Essas características necessárias são baseadas no círculo de Sinner apresentado anteriormente.

4.1 Modelo utilizado para dimensionamento

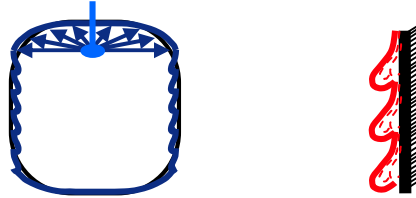
O melhor modelo de dimensionamento é obtido através dos princípios e teorias de escoamentos internos (tubulações) e externos (superfícies "livres" - tanques) estudados na mecânica dos fluidos. O objetivo é dimensionar o sistema de modo a fornecer a melhor ação mecânica possível, através do escoamento de fluido nas superfícies sujas dos equipamentos.

Em sistemas com apenas escoamento interno, onde o fluido escoar em tubulações, o dimensionamento deve ser feito de modo a garantir um escoamento turbulento, ou seja, $Re > 4000$. Quanto maior for o fluxo turbulento, melhor a ação mecânica.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

Em sistemas com escoamento externo, ou seja, quando o fluido escoo pelas paredes de um tanque, o dimensionamento deve garantir que haja uma película de 2 mm na superfície do tanque. Isso é obtido através da Eq. 2.

Figura 4. Escoamento de solução na superfície de tanques.

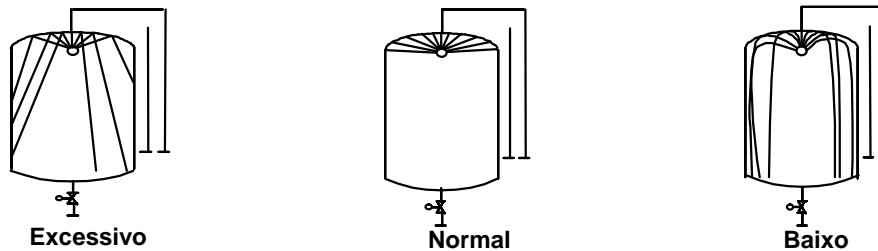


$$Q_{req} = \frac{F_s \cdot \pi \cdot D_t}{60000} \quad (2)$$

O fator de sujidade F_s é definido de acordo com as condições de sujidade de um tanque. Para baixas condições de sujidade é usado F_s igual a 27 e para altas condições de sujidade é usado F_s igual a 35. Os valores mais usuais são, 27, 30, 32 e 35. O diâmetro do tanque é representado por D_t .

Tendo em mãos a vazão requerida pelo aspersor, elemento responsável pela aplicação da camada de 2 mm de fluido, basta selecionar o modelo adequado, verificando o alcance destes elementos. Quando o alcance do aspersor for muito maior que o raio do tanque o já irá pulverizar nas paredes do tanque, causando ineficiência de higienização. Por outro lado, quando o alcance do aspersor for muito menor que o raio do tanque, o jato não atingirá adequadamente a superfície do tanque.

Figura 5: Casos de ineficiência de ação mecânica causada pela não formação da película de 2 mm na superfície.



Para o dimensionamento do circuito hidráulico é utilizada a equação de energia mecânica desenvolvida para aplicações em mecânica dos fluidos, conforme Eq. (3), onde p_1 é a pressão λ é o peso específico, g a aceleração da gravidade, z as cotas (alturas) e h_p, h_l, h_t são as cargas manométricas das bombas, perdas de carga no circuito e a carga monométrica de turbinas, respectivamente.

$$\frac{p_1}{\lambda} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_p - h_l - h_t = \frac{p_2}{\lambda} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (3)$$

As perdas de carga são avaliadas através da Eq. (4). A primeira parcela da Eq. (4), avalia as perdas de carga distribuídas ao longo das tubulações. A segunda parcela avalia as perdas de carga devido à presença de singularidade no circuito.

$$h_{Ld} = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum K_L \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

A seleção da bomba centrífuga adequada para o sistema é obtida através da avaliação de pressões, cotas do sistema, velocidades e perdas de carga do sistema. São conhecidos todos os parâmetros, incluindo pressão do aspersor, obtida da tabela do fabricante. Assim determina-se a carga manométrica da bomba.

4.2 Seleção de materiais para sistemas CIP

Basicamente todas as partes e peças que entram em contato com a solução química devem ser selecionadas adequadamente. Entre eles estão tubulações, tanques, válvulas, conexões, manômetros, bombas, entre outros. Os critérios principais de seleção são resistência à corrosão, capacidade de remoção das sujidades do material, o que está relacionado com as características superficiais dos materiais, e a facilidade de soldabilidade e conformabilidade do material. Cuidados especiais devem ser tomados para evitar corrosão são por pite, intergranular e fresta. Como o sistema não fica sob grandes esforços mecânicos, os materiais não precisam ter grande resistência mecânica.

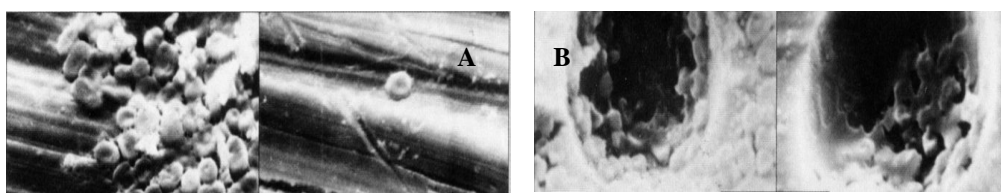
4.2.1 Aços inoxidáveis AISI 304 e 316

Os aços inoxidáveis AISI 304 e 316 são aços amplamente utilizados nas indústrias de alimentos e bebidas pelas suas propriedades mecânicas e pela resistência a corrosão. Todas as características desejadas e listadas acima são satisfeitas com estes tipos de aço. Suas principais características são a facilidade na soldabilidade, alta ductilidade e elevada resistência a corrosão.

Sua resistência à corrosão se dá devido a formação de uma película protetora e auto regeneradora de óxidos de cromo. O bom acabamento superficial também reduz o risco de corrosão destes aços. Embora seja um aço resistente a corrosão, algumas formas de corrosão podem ocorrer. As altas temperaturas e as condições ácidas de circulação de solução podem colaborar com as formas de corrosão por pite e em fresta. Erros de projeto, como soldas mal executadas ou presença de arruelas, são causas também da corrosão por fresta. A soldagem também pode induzir a corrosão intergranular. Isto porque a soldagem gera uma zona termicamente afetada, difundindo o cromo na vizinhança dos contornos de grão, gerando os carbonetos de cromo, deixando a região propícia a corrosão.

Os aços AISI 304 e 316 são materiais considerados higiênicos. Isso porque são materiais com alta resistência a corrosão, ausência de revestimento, como tintas, superfícies com pouca porosidade, facilidade de remoção bacteriológica em procedimentos de limpeza e sanitização e baixa retenção bacteriológica.

Figura 6. Materiais contaminados (esquerda) e após higienização (direita): A) Aço inox 304 – B) Aço esmaltado.



5. Estudo de caso

O projeto do sistema CIP é baseado em uma necessidade real de uma indústria de café solúvel. O foco atual da indústria é a higienização dos tanques de armazenamento dos subprodutos do café. A maioria dos tanques possui em seu interior alguns dispositivos instalados, tais como, misturadores e sensores de nível. Outros tanques não possuem nenhum dispositivo interno instalado.

5.1 Levantamento de dados

A indústria possui 33 tanques de armazenamento distribuídos entre o 3º e o 4º andar da fábrica. A higienização dos tanques é realizada de forma manual, com o auxílio de esfregões ou através da imersão dos tanques. Não existe uma rotina de limpeza bem definida. Em um processo de higienização através da imersão dos tanques é necessário 12 horas para a completa higienização. Os tanques armazenam os subprodutos a uma temperatura abaixo dos 70° C.

Tabela 1. Dados dos tanques, sem dispositivos internos, para o dimensionamento do sistema CIP

Tanque	Capacidade (l)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Diâmetro de saída
Balança 1	5.000	1.710	3.420	2"
Balança 2	5.000	1.710	3.420	2"
Balança 3	5.000	1.710	3.420	2"
Balança 4	5.000	1.710	3.420	2"
13	13.000	2.200	3.366	2"
13N	13.000	2.200	3.366	2"

Todas as dimensões da planta industrial necessárias para o dimensionamento foram fornecidas pela empresa.

Os demais equipamentos da empresa, tais como, extratores, concentradores, centrifugadores, pasteurizadores, já são higienizados por um sistema CIP já instalado na empresa.

6. Soluções ao problema

6.1. Tipo de CIP

A solução mais adequada, para este caso, é a construção de um CIP móvel, já que a indústria visa redução de despesas com químicos e redução de tempo de processo. O CIP móvel é uma ferramenta extremamente viável, já que reduz o tempo de processo devido ao fornecimento de ação mecânica, além da redução de custo de soda cáustica com preparo de solução química. Para cada um dos andares será construído um CIP móvel, com bombas de avanço e retorno, tubulações de avanço e retorno, um tanque de solução CIP, válvula esfera para fechamento do tanque, plataforma móvel, engate rápido para as tubulações, manômetro, torneira, coleta de amostra, CIP timer. O aspersor mais indicado é do tipo spray ball, devido a vazão necessária e também pelas características de sujidade dos tanques.

Figura 7. Detalhe de sujidade do tanque de armazenamento e do misturador instalado.



6.2. Determinação do comprimento e diâmetros das tubulações de avanço e retorno e volume do tanque CIP.

No cálculo do comprimento de mangueira de avanço leva-se em conta o tanque mais distante do CIP Móvel. No caso em questão são necessários 35 metros de mangueira 2" de diâmetro, para avanço e retorno. O volume do tanque CIP é calculado considerando a superfície do maior tanque recoberta por uma camada de 2 mm de solução e com toda tubulação de avanço completamente preenchida de fluido. Obteve-se um volume de 207 litros. Por questão comercial e segurança opta-se por um tanque de 300 litros.

6.3. Determinação da vazão requerida para o tanque e seleção do spray ball

Conforme apresentado anteriormente, pela Eq.(2) a vazão requerida para a higienização do tanque é função da sujidade do tanque e de seu diâmetro.

$$Q_{req} = \frac{32 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 2}{60000} = 0,00368 m^3 / s \quad (5)$$

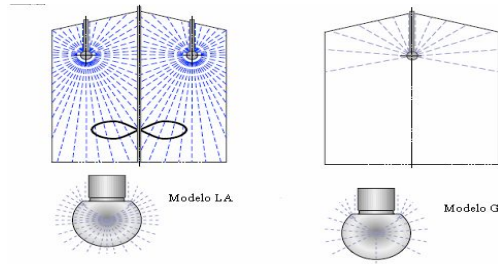
$$Q_{req} = 13,27 m^3 / h$$

$$Q_{req} = \frac{32 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 534}{60000} = \quad (6)$$

$$Q_{req} = 15,28 m^3 / h$$

A Eq(5) determina a vazão para o tanque de maior diâmetro sem elementos internos. A Eq. (6) determina a vazão para o tanque de maior diâmetro com elementos internos. No primeiro caso, é necessário 1 spray ball que forneça a vazão requerida. No segundo caso, com o intuito de evitar zonas mortas, são necessários 2 spray's ball, cada um fornecendo a metade da vazão requerida.

Figura 8. Posicionamento e quantidade de spray ball para tanques com diferentes equipamentos instalados internamente.



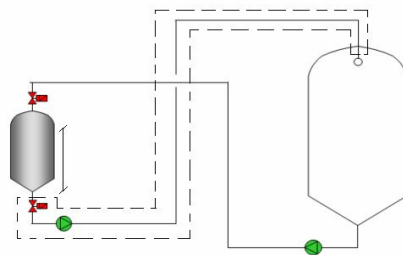
Entrando na tabela do fabricante (Tuchenhagen) foi selecionado, para o caso do tanque sem elementos, um spray ball do modelo G1. Operando a uma pressão de 2,5 bar, ele fornece uma vazão de 13,8 m³/h. Para o caso de tanques com elementos internos, foram selecionados 2 aspersores do modelo LA 1-1,0. Operando a pressão de 2,5 bar eles fornecem 7,9 m³/h.

6.4. Seleção da bomba centrífuga radial.

Sendo conhecidas as pressões de entrada e saída, a vazão e as cotas, para um volume de controle definido e determinando as perdas de carga do sistema (Eq.(7)), foram determinadas a altura manométrica de cada uma das bombas, através da equação de energia mecânica (Eq. (3)).

$$h_L = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} + \sum K_L \frac{V^2}{2g} = 0,023 \cdot \frac{35}{0,0508} \cdot \frac{1,9^2}{2,9,8} + (4,0,5 + 0,2 + 0,05 + 2,0,08) \frac{1,9^2}{2,9,8} = 3,37m \quad (7)$$

Figura 9. Volume de controle do sistema.



$$\frac{p_1}{\lambda} + h_p - h_l = \frac{p_2}{\lambda} + z_2$$

$$1,5 + h_p - 3,37 = 25 + 6,67$$

$$h_p = 33,54m$$

Entrando com a vazão e a altura manométrica nas curvas características da bomba e traçando a curva de perda de carga (Eq. 9) do sistema no mesmo diagrama determina-se o ponto de operação do sistema. A descrição da bomba selecionada encontra-se abaixo. O mesmo foi realizado para o sistema CIP para higienizar tanques com elementos internos. A mesma bomba foi selecionada para este outro sistema, após realizado todo o equacionamento.

$$h_f = 0,175Q^2 \quad (9)$$

Fabricante: Alfa Laval
 Modelo: CS 21/6
 Rotação: 3500 Rpm
 Diâmetro do rotor: 127
 Motor: 5 hp

7. Análise de redução de custo de higienização com a implantação de um sistema CIP

Como citado anteriormente, uma das vantagens de se adotar um sistema CIP é a redução de gastos com a higienização. Essa redução se deve ao reaproveitamento da solução química, redução de volume de solução necessário e também e da redução da concentração química da solução. São descritos dois cenários reais, baseados no estudo de caso, de forma a possibilitar o estudo comparativo. O método de comparação será o método de fluxo de caixa a partir a aquisição do sistema até os 36 primeiros meses.

7.1 Cenário I – Higienização convencional

No cenário I a higienização é realizada através de inundação completa dos tanques por um período de 12 horas, mais limpeza manual. É utilizada uma solução de NaOH à 4,5% de concentração. A periodicidade de higienização não é bem definida. Em média se realiza a cada 2 meses, já que é necessária a interrupção das atividades produtivas por um período maior que 20 horas. Como a planta industrial possui 33 tanques, o volume total inundado é de 233.000 litros. Toda solução é descartada.

7.2 Cenário II – Higienização através de CIP móvel

No cenário II a higienização é realizada por meio da circulação de solução de NaOH à 2,5%. O tempo suficiente para a circulação de NaOH é de 15 minutos. Uma solução CIP mantém suas características de limpeza e desinfecção por aproximadamente 60 rotinas, com uma eventual correção de concentração. Após isso a solução é descartada. É considerada a despesa com energia elétrica do sistema, basicamente da operação das bombas. A cada 12 horas são realizadas rotinas CIP nos 33 tanques da empresa. Ou seja, em um período de 1 mês são realizadas 1980 rotinas. Considerando o descarte de solução a cada 60 rotinas, são preparadas no mês 33 soluções (2,5%) de 300 litros.

7.3 Características comuns aos cenários

É considerado comum aos 2 cenários a quantidade de água para enxágüe, mesmo número de operadores para o processo de higienização e o preço da soda cáustica comercial (49% em base mássica) R\$ 1.161,83.

7.4 Análise por fluxo de caixa

A análise por fluxo de caixa é adequada, pois as despesas ocorrem em diferentes períodos de tempo em cada cenário. Para o cenário I o valor referente a preparação de 233.000 litros de solução de NaOH à 4,5% é de R\$ 38.037,25. Conforme explicado, essa solução é empregada na inundação dos tanques, a cada 2 meses.

Para o cenário II deve-se considerar tanto o valor de aquisição do sistema CIP, quanto o valor de preparação da solução. Toda higienização da planta industrial é realizada por 2 sistemas CIP iguais, conforme dimensionado. O custo de aquisição de um único sistema é subdividido em 2 partes. A primeira se refere ao custo de projeto e instalação que prevê 52 horas de projeto e acompanhamento de engenharia e mais 40 horas de montagem de terceiros. O valor totaliza R\$ 15.821,01, incluindo impostos (PIS + COFINS). A segunda parcela refere-se ao custo de partes, peças, pré-montagem e adaptação do sistema totalizando R\$ 76.580,00. Neste valor estão inclusos os impostos, margem de segurança (20 %) e margem de lucro (35%) e impostos. A aquisição dos 2 CIP's necessários totalizam R\$ 184.802,02. A despesa mensal com a preparação de 9900 solução de NaOH e mais um custo adicional de correção de solução é de R\$ 987,36. Ainda é considerando neste cenário II a despesa com energia elétrica, devido as 4 bombas (2 avanço e 2 de retorno) é de R\$ 471,77. Esse valor foi avaliado pela Eq. (10) e Eq.(11), e considerando o custo por KWh de R\$ 0,14.

$$P_{elétrica4} = \frac{Q \cdot \gamma \cdot h_p}{\eta} \quad (10)$$

$$E_4 = P_{elétrica4} \cdot \Delta t \quad (11)$$

Alocando estes valores em uma tabela, sob a forma de um fluxo de caixa, e confrontando os valores presentes líquidos (VPL) de cada uma das soluções, obtém-se.

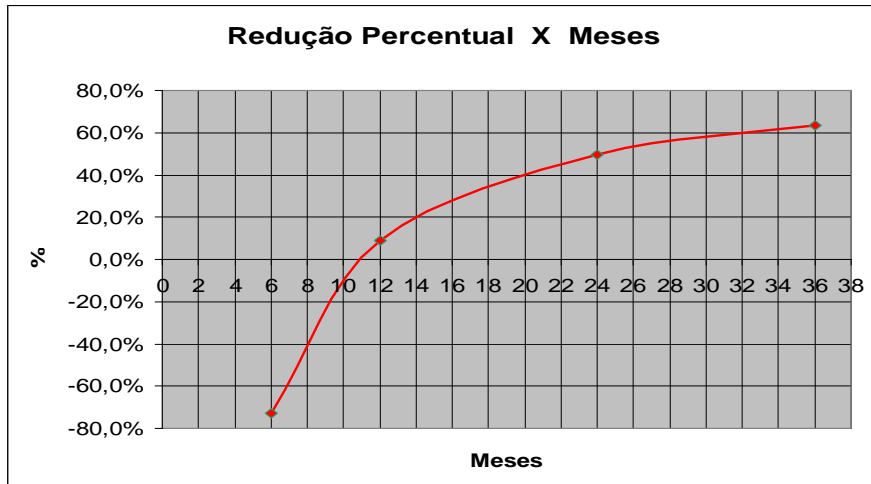
Tabela 1. Fluxo de caixa em um período de 24 meses para a higienização convencional.

Hig.Conv.	0	1	23	24	VPL
Solução Química		(38.037,25)		(38.037,25)		
TOTAL		(38.037,25)		(38.037,25)		(429.498,22)

Tabela 2. Fluxo de caixa em um período de 24 meses para a higienização CIP.

Hig CIP	0	1	23	24	VPL
Compra do CIP	(184.802,02)					
Solução Quím.		(987,36)	(987,36)	(987,36)	(987,36)	
Energia Elétrica		(471,77)	(471,77)	(471,77)	(471,77)	
TOTAL	(184.802,02)	(1.459,13)	(1.459,13)	(1.459,13)	(1.459,13)	(216.902,88)

Figura 10. Redução percentual de despesas em função do tempo (meses)



7.5 Discussão

Os valores negativos se referem a despesas adicionais com o sistema CIP, sendo reflexos da aquisição dos sistemas. O retorno do sistema é obtido no 11º mês. A longo prazo o sistema reduz em 70 % os gastos com higienização.

8. Automação de um sistema CIP

Neste item será avaliada a automação de uma central CIP automático, com seus respectivos instrumentos de medição e controle e respectivo diagrama elétrico da solução. A automação é definida como a alteração de uma variável física, sem a necessidade de um operador para modificá-la. Em princípio, qualquer grandeza física pode ser controlada, isto é, pode ter seu valor intencionalmente alterado. Porém, há limitações práticas. Uma das inevitáveis é a restrição da energia de que dispomos para afetar os fenômenos

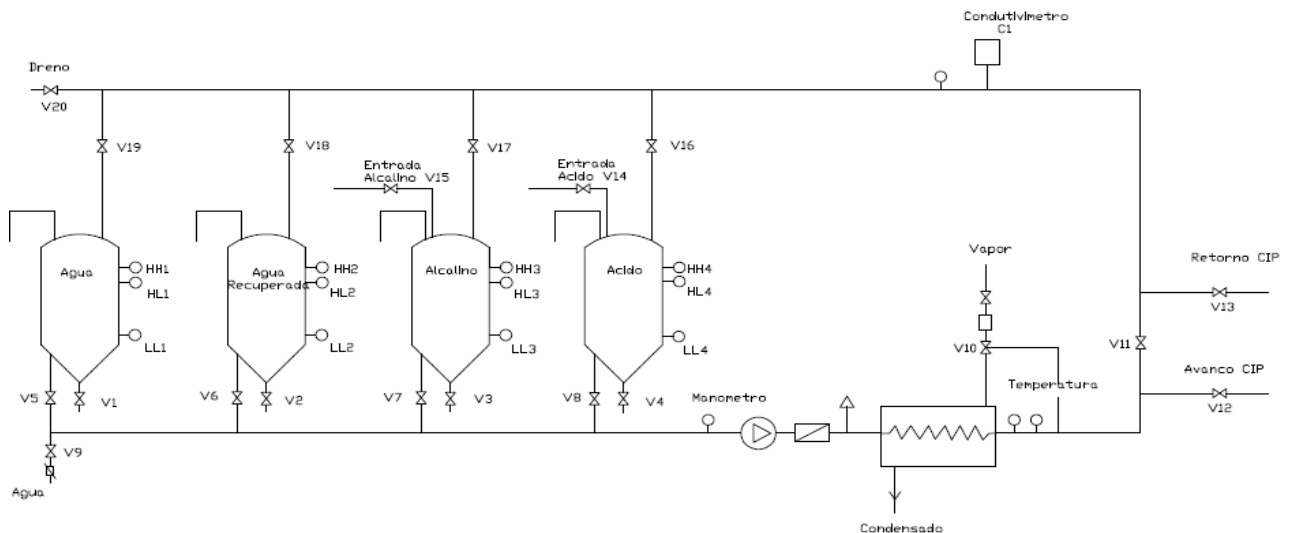
Existem 3 tipos de controle de variáveis: controle automático, automático por realimentação e automático por programa. No caso de um sistema CIP, normalmente a automação é realizada tanto com controle por realimentação quanto por programa. Isso porque são necessárias cumprir rotinas pré determinadas de higienização.

O objetivo é desenvolver um sistema automatizado que realize toda a etapa de preparação de solução química, quanto as rotinas de higienização através de um único acionamento de uma botoeira.

8.1. Central CIP modelo

Para o estudo de automação, será adotado como modelo uma Central CIP de 4 tanques, sendo eles: Tanque de água limpa, tanque de água recuperada, tanque solução ácida, tanque de solução básica. No CIP adotado também foi considerado a existência de um trocador de calor para aquecimento da solução química.

Figura 11. Fluxograma da Central CIP Controlada



8.2. Processo de higienização

O processo de higienização é dividido em 4 etapas sequenciais e dependentes do tempo. A primeira delas é a etapa de pré enxágüe da linha produtiva, com uma duração de 5 minutos. O pré enxágüe é realizado com a solução do tanque de água recuperada. A segunda etapa do processo de higienização é a lavagem alcalina, através da circulação de solução alcalina por 15 minutos. A terceira etapa é a realização de uma lavagem ácida através da circulação de solução ácida, por 15 min. Por fim a última etapa compreende um enxágüe da linha de produção através da circulação de água limpa do tanque por 10 minutos. Para todas as etapas a solução circula com uma temperatura de 85 °C.

8.3. Equipamentos básicos para automação

Os equipamentos voltados para a automação se enquadram em 3 classificações: os sensores, os atuadores e os controladores. Um sistema CIP automático deve possuir pelo menos um equipamento de cada classe.

No caso de um sistema CIP controlado, são necessários 3 tipos de sensores. Sensor de temperatura, instalado na saída do trocador de calor, sensores de nível de solução e um condutivímetro. Este equipamento afere a concentração da solução química através de leituras de condutividade, permitindo a preparação automática da solução e controle de abertura e fechamento das válvulas de retorno. Este deve ser instalado na malha fechada menor, no retorno de solução para os tanques. Os sensores de temperatura e de nível tem como saída um sinal de 4 – 20 mA. O sensor de nível tem como saída um sinal digital de 24 Vcc.

Os atuadores do sistema são as válvulas solenóides acopladas as válvulas hidráulicas convencionais. Elas são responsáveis pela liberação de fluxo de fluido. A alimentação destas válvulas ocorre por um sinal digital de 24 Vcc. Existe um outra válvula atuadora chamada de válvula proporcional. Ela é uma válvula analógica e regula sua abertura de acordo com a sinal recebido. Sua alimentação é um sinal de 4 – 20 mA. Estas válvulas são utilizadas em tubulações de vapor com o objetivo de modular a vazão deste vapor.

Por fim o elemento controlador utilizado em sistemas CIP são os CLP's (Circuito lógico programável). São controladores de lógica de controle programáveis, onde uma ação depende de lógicas de comando. A estrutura do CLP é dividida em entrada, unidade de processamento e saídas. Além de possibilitar a programação de lógicas de controle envolvendo realimentação, como por exemplo o ajuste de temperatura de solução química, o CLP possibilita a programação de etapas baseadas em tempos de processos.

8.4. Lógica de controle

Assim que o sistema possui todos os elementos necessários e suficientes para a automação do CIP, uma lógica deve ser elaborada para executar toda a rotina de higienização com um único acionamento do sistema. Essa lógica é programada no CLP. O processamento desta programação, mediante sinais de entrada e informações lógicas em sua memória, faz com que o CLP tome as decisões para o controle do processo.

9. Conclusões

O CIP já é uma tendência atual em empresas de bebidas e alimentos. Porém já verifica-se uma grande expansão para as demais indústrias, como por exemplo para indústrias farmacêuticas. As indústrias em construção já elaboram em seus projetos sistemas CIP definidos. Indústrias mais antigas e obsoletas estão atualmente em estágio de planejamento das plantas industriais para viabilizar e receber os sistemas CIP. A redução de custo e redução de tempo de processo é bastante significativa. Grandes investimentos nestes sistemas são extremamente justificáveis. O retorno de investimento ocorre rapidamente, conforme visto.

MECHANICAL PROJECT OF A SYSTEM CLEANING CIP (CLEANING IN PLACE)

Renato Forni

rformi@gmail.com

Abstract The present work has as objective the development of a mechanical project of a hygienic cleaning system CIP (Cleaning in Place). The CIP makes possible the hygienic cleaning of the installation parts of an industry without the dismount of the equipment and tubings, through the fluid flow. The system CIP is composed basically for advance and return pumps and pipes and the devices nozzles of chemical solution. The dimensioning of the system is based on the equations and theories of the mechanics of fluids and selection of materials of the system components through characteristics that we need, especially the corrosion of these materials. The 304 and 316 stainless steel are most commonly used in the beverage and food industries. All steps are developed on a real case study in a coffee industry. The proposal for this study is the construction and install a mobile CIP, with sprays ball, advance and return pump, with 127 mm diameter rotot, 3500 rpm rotation, and 5 hp power. The study of return on investment for the same case, indicates the return in 11 months and a reduction of 70% of expenses after 36 months of operation of the system. Upon termination of the work is performed an analysis of automation of a complete system.

Keywords. CIP, hygienic cleaning, spray ball, automation