

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

Projeto Mecânico de um Sistema de Higienização CIP (Cleaning in Place)

Renato Forni

São Paulo
2007

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Projeto Mecânico de um Sistema de Higienização CIP (Cleaning in Place)

Trabalho de formatura apresentado a Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
A obtenção do título de graduação em Engenharia

Renato Forni

Orientador: Fabio Saltara

Área de concentração:
Engenharia Mecânica

São Paulo
2007

FICHA CATALOGRÁFICA

Forni, Renato

Projeto mecânico de um sistema de higienização CIP (Cleaning in Place)/ R. Forni. - -São Paulo, 2007.

114 p.

Trabalho de Formatura – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia mecânica.

1. Higienização 2. Cleaning in Place (CIP) 3.Spray Ball 4. Automação
I.Unversidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um projeto mecânico de um sistema de higienização de um sistema 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. Para tanto são realizados estudos visando à compreensão da real necessidade de higienização destas indústrias, como também dos fatores que interferem na higienização dos ambientes e/ou equipamentos. Durante o trabalho são descritos métodos de dimensionamento dos sistemas além de métodos e cuidados a serem tomados na seleção dos materiais em que são fabricados os sistemas, considerando corrosão dos materiais e demais características desejadas.

Baseado em um estudo de caso real, em uma indústria de café, é realizado todo dimensionamento e seleção do sistema CIP mais adequado. O estudo demonstra todo aspecto de viabilidade econômica do projeto através de estudos de fluxo de caixa.

No término do trabalho é realizada uma avaliação de uma central CIP automatizada. São considerados os principais componentes, equipamentos e instrumentação necessária para o controle da central, além da lógica de controle adotada por esses sistemas CIP.

ABSTRACT

The report has as objective the development of a mechanical project of cleaning system CIP. The CIP makes possible the sanitation of the parts, pieces and equipments of a production installation in an industry without disassembly the equipments and the pipes. For that, studies are needed to understand the real requirement of industry sanitation, as well understand all factors that interfere the sanitation of the industry plant and/or the equipments. Along of this project, methods of dimensioning systems are described besides methods and the cares we should take when the materials of each components are being selected, including corrosion and others wanted characteristics.

Based on a real case study, in a coffee industry, all system dimensioning and the selection of the most appropriated type of CIP are accomplished. The study demonstrates any aspect of economical viability of the project through the cash flow method.

At the end of the work is carried out an evaluation of a central automated CIP. The main components, equipments and necessary instrumentation are considered for the control of the CIP central, besides the control logic adopted by those systems CIP.

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1: Composição química do aço 304.....	40
Tabela 5.2: Composição química do aço 316.....	40
Tabela 6.1: Tancagem 4º andar.	51
Tabela 6.2: Tancagem 3º andar e área externa.	52
Tabela 6.3: Tabela de seleção de spray ball.	62
Tabela 6.4: Tabela de seleção de spray ball.	74
Tabela 7.1: Fluxo de caixa do modelo atual de higienização em período de 12 meses...	87
Tabela 7.2: Fluxo de caixa do modelo atual de higienização em período de 24 meses...	87
Tabela 7.3: Fluxo de caixa do modelo de higienização CIP em período de 12 meses.	91
Tabela 7.4: Fluxo de caixa do modelo de higienização CIP em período de 24 meses.	91
Tabela 7.5: Tabela resumo dos fluxos de caixa.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Círculo de Sinner	3
Figura 3.1: Detalhe da cúpula de um tanque de armazenamento.	12
Figura 3.2: Tipos de aspersores – Sprayball, flying saucer, aspersor rotativo.	16
Figura 3.3: Central CIP.	21
Figura 3.4: CIP móvel.	22
Figura 3.5: Esquema de uma central CIP	24
Figura 4.1: Tipos de escoamentos internos	30
Figura 4.2: Escoamento na superfície de um tanque.	31
Figura 4.3: Detalhe do spray ball instalado no tanque.	33
Figura 4.4: Tipos de aspersão dentro de um tanque.	33
Figura 4.5: Malha fechada de um sistema CIP	36
Figura 4.6: Detalhe da camada passiva dos aços inoxidáveis.	41
Figura 4.7: Influência da quantidade de cloreto e da temperatura na corrosão por pite. .	42
Figura 4.8: Zona termicamente afetada (ZTA) devido ao processo de soldagem.	44
Figura 4.9: N° de bactérias em função do número de lavagens e do tempo de limpeza para diferentes materiais.	46
Figura 4.10: Superfícies de materiais contaminadas (esquerda) e após higienização (direita): A) Aço Inox - B) Aço esmaltado - C) Resina mineral - D) Policarbonato.	46
Figura 5.2: Esquema do CIP móvel.	56
Figura 5.3: Planta do 4º andar da indústria de café.	57
Figura 5.4: Dimensões do tanque da indústria de café.	58
Figura 5.5: Utilização do Spray Ball em tanques sem agitação e com agitação.	61
Figura 5.6: Diagrama de Moody.....	63
Figura 5.7: Detalhe do volume de controle.	65
Figura 5.8: Curvas características da bomba e curva de perda de carga.....	67
Figura 5.10: Dimensão de um dos tanques do 3º andar.	69
Figura 5.11: Detalhe de sujidade e dos misturadores em um dos tanques.....	71

Figura 5.12: Localização dos sprays ball nos taques do 3º andar.....	73
Figura 5.13: Detalhe do volume de controle.	76
Figura 5.14: Curvas características da bomba e curva de perda de carga.....	78
Figura 5.15: Esquema de um tanque CIP.....	79
Figura 6.1: Gráfico de redução de custos.....	93
Figura 7.1: Fluxograma do sistema CIP modelo	98
Figura 7.2: Ciclo de processamento dos CLPs.....	105
Figura 7.3: Fluxograma do sistema CIP controlado.	107

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Arlindo Forni Júnior e Sonia Maria Forni pelo suporte dado ao longo de toda a graduação.

Ao meu irmão e engenheiro Gustavo Forni por todo apoio e sugestões nos momentos de escolha.

A minha namorada Mariana de Souza Xavier Costa por todo apoio e por compreender minha ausência em determinados momentos.

Ao grupo PET Mecânica onde, durante 3 anos e 4 meses, tive grande parte do meu desenvolvimento pessoal, profissional e acadêmico.

Ao professor e tutor Edílson Hiroshi Tamai por todo suporte em todos anos de PET Mecânica.

Ao professor Fábio Saltara pela orientação do trabalho.

A empresa JohnsonDiversey por todo o suporte, apoio e confiança na realização do trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. HIGIENIZAÇÃO	2
2.1. FATORES QUE INTERFEREM NA HIGIENIZAÇÃO	2
2.1.1. <i>Conclusões do Círculo de Sinner</i>	5
2.2. HISTÓRIA DA HIGIENIZAÇÃO INDUSTRIAL	8
3. CLEANING IN PLACE - CIP.....	11
3.1. CONCEITO DE HIGIENIZAÇÃO CIP.....	11
3.2. LOCAIS QUE SÃO HIGIENIZADOS PELO CIP	12
3.3. COMPONENTES E EQUIPAMENTOS BÁSICOS DE UM CIP	13
3.3.1. <i>Equipamentos Básicos</i>	13
3.3.2. <i>Dispositivos Aspersores de Solução</i>	14
3.3.3. <i>Equipamentos Complementares</i>	16
3.4. DESCRIÇÃO OPERACIONAL BÁSICA DE UM SISTEMA CIP	18
3.5. TIPOS DE CIP	20
3.5.1. <i>Central CIP x CIP Móvel</i>	20
3.5.2. <i>CIP de sistema aberto x CIP de sistema fechado</i>	22
3.5.3. <i>CIP automático x CIP manual</i>	23
3.6. VANTAGENS E DESVANTAGENS DO SISTEMA CIP.....	25
3.6.1. <i>Vantagens</i>	25
3.6.2. <i>Desvantagens</i>	26
4. PROJETO MECÂNICO DE UM SISTEMA CIP	27
4.1. MODELO UTILIZADO PARA O DIMENSIONAMENTO	27
4.1.1. <i>Escoamento interno</i>	28
4.1.2. <i>Escoamento externo</i>	31
4.1.3. <i>Dimensionamento e seleção do aspersor</i>	32
4.1.4. <i>Posicionamento e quantidades de aspersores</i>	34
4.1.5. <i>Dimensionamento do circuito</i>	35
4.1.6. <i>Avaliação da perda de carga no circuito</i>	36
4.1.7. <i>Seleção da bomba centrífuga</i>	37
4.1.8. <i>Determinação do volume requerido de solução CIP</i>	37
4.2. SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA SISTEMAS CIP	38

4.2.1.	<i>Características desejadas na indústria de bebidas e alimentos.....</i>	<i>38</i>
4.2.2.	<i>Aços inoxidáveis AISI 304 e 316.....</i>	<i>40</i>
4.2.2.1.	Resistência à corrosão.....	41
4.2.2.2.	Propriedades mecânicas	43
4.2.2.3.	Fabricação, conformação e união.....	43
4.2.2.4.	Juntas soldadas	44
4.2.2.5.	Acabamento superficial.....	45
4.2.2.6.	Higienização dos aços 304 e 316.....	45
5.	ESTUDO DE CASO – INDÚSTRIA DE CAFÉ.....	47
5.1.	PROCESSO DE PRODUÇÃO DE CAFÉ SOLÚVEL.....	47
5.2.	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	49
5.2.1.	<i>Levantamento de dados.....</i>	<i>50</i>
5.3.	SOLUÇÃO AO PROBLEMA	52
5.3.1.	<i>Tipo de CIP – CIP Móvel.....</i>	<i>52</i>
5.3.2.	<i>Localização dos CIP's Móvel.....</i>	<i>54</i>
5.3.3.	<i>Tipo de aspersor – Spray Ball</i>	<i>54</i>
5.3.4.	<i>Componentes do CIP Móvel.....</i>	<i>54</i>
5.4.	DIMENSIONAMENTO E SELEÇÃO DOS COMPONENTES CIP	57
5.4.1.	<i>CIP móvel I – 4º andar.....</i>	<i>57</i>
5.4.2.	<i>CIP móvel I – 3º andar e área externa.....</i>	<i>68</i>
6.	ANÁLISE DE REDUÇÃO DE CUSTOS DE HIGIENIZAÇÃO COM A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA CIP.....	80
6.1.	ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS	80
6.1.1.	<i>Cenário I – Higienização Convencional</i>	<i>81</i>
6.1.2.	<i>Cenário II – Higienização através de CIP</i>	<i>82</i>
6.1.3.	<i>Características comuns aos cenários.....</i>	<i>84</i>
6.2.	ANÁLISE SIMPLIFICADA DE REDUÇÃO DE CUSTO	85
6.3.	ANÁLISE POR FLUXO DE CAIXA	86
6.3.1.	<i>Fluxo de caixa - Higienização Convencional</i>	<i>87</i>
6.3.2.	<i>Fluxo de caixa – Higienização CIP</i>	<i>87</i>
7.	AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA CIP	94
7.1.	AUTOMAÇÃO	94
7.2.	CENTRAL CIP MODELO.....	96
7.2.1.	<i>Fluxograma da central CIP modelo.....</i>	<i>97</i>

7.2.2.	<i>Características da central CIP</i>	99
7.2.3.	<i>Processo de higienização através de uma Central CIP</i>	100
7.3.	EQUIPAMENTOS BÁSICOS PARA A AUTOMAÇÃO CIP	102
7.4.	FLUXOGRAMA DO CIP CONTROLADO	107
7.5.	LÓGICA DE PROGRAMAÇÃO DO CLP.....	107
7.5.1.	<i>Etapa de preparação das soluções químicas</i>	108
7.5.2.	<i>Etapa de processo de higienização</i>	109
7.5.3.	<i>Interrupção do processo CIP</i>	111
8.	CONCLUSÕES	112
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

1. INTRODUÇÃO

Nas indústrias de alimentos, bebidas, farmacêuticas e de laticínios as matérias primas, produtos e subprodutos estão comumente expostas à contaminação através de partículas sólidas e também microorganismos. Esta contaminação é extremamente indesejável nas várias etapas do processamento dos alimentos e bebidas, podendo ser nociva ao ser humano, principalmente quando a contaminação ocorre através dos microorganismos patogênicos. Os microorganismos encontram, nestas indústrias, ambientes favoráveis ao desenvolvimento e multiplicação das colônias, devido à disponibilidade de matéria orgânica e matéria inorgânica contida nos produtos e subprodutos.

Toda superfície em que são transportados os produtos e subprodutos das indústrias de bebidas e alimentos são focos de contaminação. Os seja, as tubulações, tanques de armazenamento, equipamentos de processamento de alimentos, entre outros são pontos críticos para a proliferação de microorganismos e acúmulo de resíduos sólidos. Desta forma se faz necessária a higienização destas tubulações e equipamentos. Entende-se por higienização a limpeza e a desinfecção de um determinado local.

A freqüente necessidade das indústrias de alimentos e bebidas na higienização das superfícies internas dos equipamentos proporcionou um avanço das técnicas e métodos de limpeza. O CIP (Cleaning in Place) é o método de higienização ao qual não é necessária a desmontagem das partes e peças de um sistema fechado. Essa higienização é realizada em etapas. Em cada uma destas etapas, uma solução de produtos químicos, a uma temperatura adequada, é circulada através das tubulações e tanques de armazenamento, provendo ação mecânica, ação térmica e ação química sobre as superfícies.

Os principais componentes do sistema CIP são: Bombas de avanço e retorno de solução, tubulação de avanço e retorno, reservatório de solução, controladores de condutividade e pH, aspersores de solução.

2. HIGIENIZAÇÃO

A higienização compreende os procedimentos de limpeza e desinfecção de superfícies ou de instalações e equipamentos, garantindo a correta eliminação dos resíduos da produção. A higienização das instalações é fundamental para minimizar os riscos de contaminações e infecções, quebrando o ciclo de vida de determinados agentes infecciosos.

A limpeza, uma das etapas da higienização, é responsável pela remoção de partículas abióticas. Se enquadram nesta classe os materiais orgânicos, materiais inorgânicos, detritos, entre outros. Estas partículas podem ser uma possível fonte de alimentos para os microorganismos, constituindo assim, um foco para a multiplicação dos microorganismos e desenvolvimento de colônias. Ou seja, a limpeza é imprescindível para o sucesso da desinfecção.

A desinfecção tem por objetivo destruir microorganismos patogênicos. Para tanto são utilizados agentes físicos (calor, radiação) e agentes químicos (produtos químicos).

Idealmente a higienização deve ser iniciada com a limpeza seguida da desinfecção do local onde se deseja realizá-la.

2.1. Fatores que interferem na higienização

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

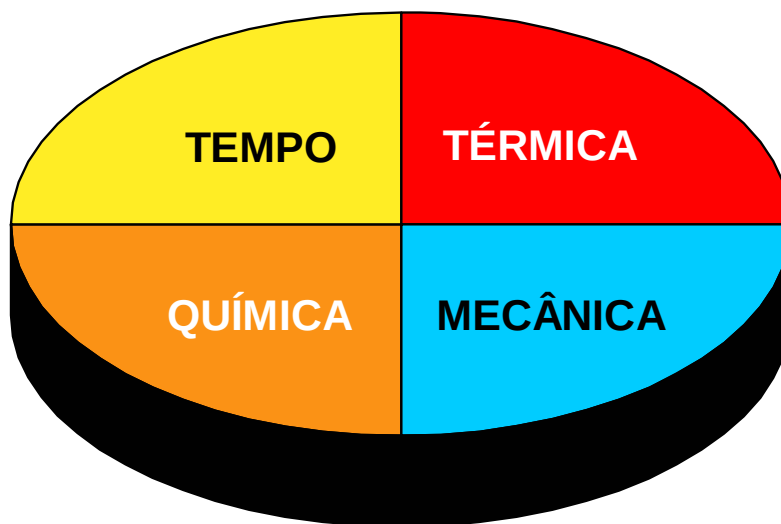


Figura 2.1: Círculo de Sinner

- Agentes Químicos: São os produtos químicos presentes nos desinfetantes utilizados para a higienização. No caso da desinfecção através de agentes químicos, o(s) produto(s) desinfetante(s) deve(m) levar em conta as condições de limpeza possíveis de serem alcançadas antes da desinfecção, o(s) agente(s) a ser destruído(s), entre outras características. O desinfetante deve ter alto poder de eliminação de elementos patógenos. Porém existem alguns problemas envolvidos na utilização destes agentes químicos. Alguns podem apresentar alta toxicidade, instabilidade em condições adversas de PH, grau de dissociação eletrolítica, alto poder residual, elevado poder de penetração, elevado potencial de corrosão além de causar efeitos nocivos ao meio ambiente. Basicamente os agentes químicos atuam por meio de reações químicas, coagulação de proteínas, oxidação e ação do pH. Nos mecanismos de atuação da solução por reação química, a sujidade entra em contato com as moléculas da solução química, formando os reagentes químicos. Estes reagentes, quando estão em contato, permitem que ocorram reações químicas que degradam as sujidades. O resultado dessa reação é formação de um novo composto químico, diferente dos anteriores, chamado de produto da reação. Geralmente os produtos não possuem o poder de degradação química das sujidades.

- Agentes Mecânicos: A ação mecânica pode ser obtida através do escoamento de fluido na superfície da sujidade ou mesmo através da colisão de um jato fluido com

uma superfície. No caso do escoamento de fluido na superfície da sujidade, o fluido, devido a sua viscosidade, está sob a ação de tensões de cisalhamento distribuídas ao longo da espessura do fluido. Estas tensões de cisalhamento atuam também nas superfícies sólidas ao qual os fluidos estão em contato. O resultado dessas tensões de cisalhamento é uma força de atrito no fluido além de uma força de atrito resultante na direção do escoamento na superfície sólida. Quando a sujidade está aderida nessa superfície, existe uma tendência do “arrancamento” das partículas da sujidade. A ação mecânica nas superfícies depende também se o escoamento é laminar ou turbulento. De modo geral, a ação mecânica obtida com o escoamento turbulento é mais eficiente para a higienização se comparado com o escoamento laminar. Além do efeito causado pelas tensões de cisalhamento, o escoamento permite uma homogeneização da solução química. Como explicado anteriormente (tópico de agentes químicos), durante o escoamento dos químicos, devido o contato entre os químicos e a sujidade, ocorre uma série de reações químicas de degradação das partículas das sujidades. Como consequência desse processo ocorre a formação dos produtos, que após a reação acabam ficando acumulados na interface da sujidade com a solução química. O acúmulo desse produto faz com que se forme uma quantidade menor de reagentes causando uma menor degradação da sujidade. Quando a solução química está estática, o único mecanismo que permite a renovação de produto químico da interface da sujidade é a difusão química. Quando a solução química está escoando sobre a sujidade, o escoamento permite um mecanismo de mistura mais eficiente que a difusão química. Quanto maior a turbulência do escoamento, maior é a mistura obtida.

- Agentes Térmicos: O agente térmico está relacionado diretamente com os agentes químicos. Pela cinética química, quanto maior a temperatura, maior a agitação das moléculas da matéria. Nas reações químicas, para que elas aconteçam, é necessária uma energia inicial, chamada energia de ativação. A temperatura fornece uma parcela da energia de ativação. As moléculas dos produtos e dos reagentes têm um acréscimo da agitação molecular, aumentando assim a quantidade de colisões efetivas, ocorrendo à reação química. Um outro resultado obtido com o aumento da temperatura é o aumento

da velocidade da reação química. Ou seja, quanto maior a temperatura, mais rápido ocorre à transformação dos reagentes em produtos. Observando sob o aspecto da higienização, mais eficiente será a destruição dos microorganismos.

- Tempo: O número de ligações químicas rompidas durante o processo de higienização é um fator diretamente proporcional ao tempo da reação. Quanto mais tempo as sujidades estão expostas aos produtos químicos, maior será o número de ligações rompidas.

Em um processo de higienização de uma planta industrial é adequado atrelar os fatores mecânicos, térmicos e químicos, com a finalidade de reduzir o tempo necessário de higienização. O tempo envolvido com a pausa da linha de produção representa uma perda de produtividade da linha.

2.1.1. Conclusões do Círculo de Sinner

Algumas conclusões podem ser obtidas através do modelo de Sinner. No círculo apresentado anteriormente, cada um dos agentes corresponde a 25% da higienização de um ambiente e/ou equipamento. Ou seja, quando esse ciclo específico é aplicado na higienização de um equipamento e/ou ambiente, as sujidades são removidas devido às ações mecânicas, térmicas, químicas e ao tempo, na mesma proporção. Considerando, por exemplo, que um destes fatores é reduzidos em 10%, esta porcentagem deve ser compensada com o aumento dos outros agentes de higienização. Possíveis análises podem ser realizadas através deste mesmo caso, considerando o mesmo equipamento, o mesmo tipo e quantidade de sujidade, e o mesmo resultado obtido após a higienização:

- Redução do tempo da higienização: Quando se deseja reduzir o tempo da higienização, ou seja, reduzindo-se a proporção do tempo no círculo de Sinner, é necessário aumentar a ação de uma das variáveis de higienização, ou mesmo combinar o aumento das outras 3 variáveis do ciclo, de modo a compensar a redução do tempo de higienização. O aumento da ação mecânica pode ser obtido

através do aumento do fluxo de escoamento de fluido nas superfícies do equipamento e/ou ambiente, ou até mesmo aumentando a pressão dos choques das partículas fluídas contra as superfícies dos equipamentos. Já o aumento da ação química pode ser obtido através do aumento da concentração da solução química usada para higienização. Por fim, o aumento do fator térmico é facilmente obtido através do aumento da temperatura da solução química.

- Redução ou impossibilidade de atuação da ação mecânica: Em alguns casos podem ocorrer restrições devido à utilização da ação mecânica durante a higienização. Neste caso, para a perfeita higienização dos ambientes, é necessário aumentar um, ou alguns agentes do círculo de Sinner, de modo a compensar a ausência mecânica. As soluções mais cabíveis para este tipo de problema são: aumento do tempo de ação dos químicos, aumento da concentração das soluções químicas e elevação da temperatura das soluções químicas.
- Redução ou impossibilidade de atuação da ação térmica: Na inexistência de trocadores de calor para realização do aumento da temperatura das soluções químicas, por exemplo, pelo círculo de Sinner tal empecilho deve ser compensado pelo aumento de um, ou alguns agentes que interferem na higienização. Algumas das soluções que podem ser aplicadas nesta situação são: As soluções mais cabíveis para este tipo de problema são: aumento do tempo de ação dos químicos, aumento da concentração das soluções químicas e aumento da velocidade dos fluídos durante a higienização.
- Redução ou impossibilidade de atuação da ação química: No caso da redução da ação química cuidados devem ser tomados para a utilização do círculo de Sinner. Para pequenas reduções na concentração das soluções químicas, o mesmo tipo de análise pode ser feito como nos itens anteriores. Porém quando é feita uma grande redução da concentração da solução química a níveis próximos ou iguais

a zero, o círculo de Sinner não pode ser utilizado. Dependendo do tipo e da quantidade da sujidade, a compensação da ação química através dos outros agentes, pode não propiciar condições suficientes para a higienização dos equipamentos e/ou ambientes. Quando a sujidade pode ser removida sem a ação química, muitas vezes é necessário um aumento superior dos outros agentes. A ação química é um dos fatores fundamentais que validam a análise do círculo de Sinner.

- Impossibilidade de atuação de 2 agentes do círculo de Sinner: No caso da impossibilidade de atuação de 2 agentes, a análise não pode ser realizada satisfatoriamente. Como visto no tópico anterior a simples eliminação da ação química interfere negativamente na higienização das superfícies, podendo até impedir a higienização completa. Um bom exemplo para este caso seria a supressão da ação química e da ação do tempo. Dificilmente os agentes restantes (térmicos e mecânicos) seriam suficientes para remover grandes sujidades em um tempo bastante reduzido. As mesmas análises podem ser feitas para a supressão das ações químicas e térmicas, por exemplo. Uma simples ação mecânica prolongada pode ou não remover uma sujidade em um tempo prolongado de atuação. No caso da utilização apenas dos agentes químicos e do tempo durante a higienização, tal como era realizada anteriormente ao CIP pelo método da imersão, a redução da concentração química implica no aumento exponencial da variável tempo. No caso da eliminação completa do agente químico, seria necessário um tempo muito grande para a higienização, o que é inviável para as indústrias.

Em determinados casos é importante salientar que o aumento demasiado de cada um dos agentes do círculo de Sinner interferem negativamente tanto para o equipamento/ ambiente higienizado, como também para o método de higienização CIP. Exemplos dessa interferência negativa são:

- Aumento da concentração da solução química ou mesmo do tempo de atuação da solução, causando aumento corrosão dos equipamentos/ambientes higienizados.
- Elevação da temperatura da solução, causando inatividade ou desnaturação dos reagentes químicos.
- Elevação ou redução da temperatura, causando uma interferência nos instrumentos de medição utilizados durante a higienização CIP. (Será descrito mais adiante)

2.2. *História da Higienização Industrial*

A higienização, desde o surgimento das primeiras indústrias alimentícias e de bebidas, é um fator crítico, seja pelo tempo gasto para sua realização, que representa a parada da produção, seja pela necessidade de desinfecção dos equipamentos.

Para a completa higienização de uma planta industrial, detectou-se a necessidade de se realizar a limpeza e desinfecção das superfícies internas e externas de cada um dos equipamentos. Além dos equipamentos, verificou-se a igual necessidade de higienizar pisos, paredes, azulejos e demais utensílios, de uma planta industrial.

De modo geral, a higienização, tanto das partes externas dos equipamentos quanto dos pisos, paredes e utensílios, eram realizadas sem a necessidade de parar a produção industrial. Este tipo de limpeza era realizada manualmente, com o auxílio de detergentes, neutros e alcalinos/clorados. Já a limpeza e a desinfecção das superfícies internas dos sistemas fechados, até os anos 1950, exigiam a desmontagem e a montagem dos equipamentos. Perdia-se muito tempo com estes procedimentos de desmontagem, além do tempo de limpeza propriamente dito.

O planejamento das rotinas de limpeza, principalmente das superfícies internas dos equipamentos, tornou-se fundamental para alcançar altos níveis de produtividade e lucratividade para as companhias. Este planejamento visava à redução dos tempos de ociosidade das plantas industriais.

Com a crescente demanda dos produtos industrializados, as indústrias passaram a buscar novas formas de realizar a higienização das superfícies internas dos sistemas, que não exigissem a desmontagem e a montagem das partes do sistema. Um dos primeiros modelos propostos e utilizados foi à limpeza por imersão. Neste modelo, preparava-se uma quantidade de solução suficiente para preencher tubulações, silos, tanques de armazenamento entre outros. Porém, os tanques de armazenamento de produtos e subprodutos chegavam a ter uma capacidade de 2 mil hectolitros. Tal método representava um grande custo, devido a grande quantidade de solução necessária em cada processo. Além do custo envolvido com a quantidade de solução química, o método da imersão não fornecia nenhum fator mecânico que colaborasse com a higienização, já que a solução permanecia em repouso durante o processo de imersão. Pela teoria de Sinner, a ausência do fator mecânico interfere no tempo em que é necessário para romper as ligações químicas das sujidades.

Devido à inviabilidade da higienização de grandes tanques através da imersão, foi desenvolvido um novo conceito de higienização chamado *Cleaning in Place* (CIP). No CIP a desmontagem do sistema também não é necessária. Porém, no CIP a limpeza e desinfecção são feitas através da circulação de um pequeno volume de solução química, comparado ao sistema por imersão. Além de utilizar um pequeno volume de solução química, o CIP fornece ação mecânica ao sistema devido à circulação da solução. Sob o ponto de vista do Círculo de Sinner, este método de higienização é mais eficiente do que os métodos de higienização manual e por imersão. O CIP permite também que o tempo de higienização seja reduzido se comparado aos outros sistemas.

Paralelamente ao desenvolvimento do CIP, com o objetivo de complementar a higienização dos equipamentos, foi desenvolvido um novo método de limpeza da planta industrial, em substituição à aplicação manual dos produtos químicos. Esse método é chamado de *Open Plant Cleaning* (OPC). É considerado como planta industrial todo ambiente que abriga os equipamentos e demais utensílios utilizados na produção de um determinado bem industrial. A higienização utilizando o OPC consiste na aplicação de gel e espuma em toda planta industrial que está sujeita a contaminações e as sujidades. A vantagem da aplicação do gel e da espuma é a aderência dos produtos químicos obtida

nas superfícies onde se deseja realizar a higienização. A aderência proporciona o aumento do tempo de degradação química das sujidades. Conforme visto pelo círculo de Sinner, o aumento do tempo é um dos fatores que interferem a favor da degradação das sujidades. No OPC a espuma é gerada através de equipamentos chamados de “Geradores de Espuma”.

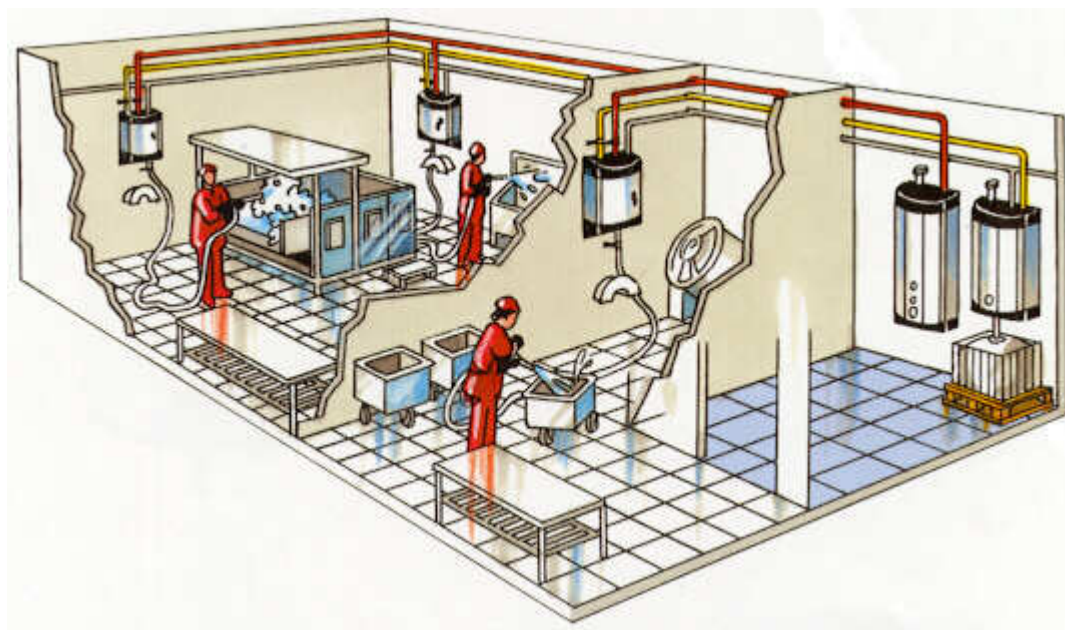


Figura 2.1: Higienização da planta industrial através de OPC

3. CLEANING IN PLACE - CIP

Como visto anteriormente, a crescente busca pelo aumento de produtividade nas indústrias de bebidas e alimentos, e conseqüentemente a redução do tempo de inatividade da produção devido a higienização das instalações de produção, possibilitaram o desenvolvimento da higienização CIP. O CIP se trata de um conceito de higienização que não requer a desmontagem das partes e peças de uma instalação produtiva. No atual estágio do desenvolvimento do conceito CIP, não existe ainda um único equipamento que seja capaz de realizar a higienização da instalação produtiva sem a desmontagem da linha de produção. Em contrapartida, o conceito CIP requer uma quantidade mínima de equipamentos e componentes, que associados possibilitam a higienização sem o desmonte. A associação destes equipamentos e componentes formam um sistema de higienização CIP.

3.1. *Conceito de higienização CIP*

A higienização CIP é baseada na circulação de produto químico nas superfícies que contenham algum tipo de incrustação e sujidades aderidas nesta superfície. Os principais volumes de controle em que são realizadas as circulações de químicos são as tubulações e as superfícies internas de tanques de armazenamento de produtos e subprodutos de uma indústria.

Conforme visto no círculo de Sinner a higienização é um resultado de 4 agentes. Quando estes agentes estão associados a higienização ocorre de maneira mais eficiente. O sistema CIP, através da circulação de uma solução química, altera significativamente os fatores mecânicos e o tempo de higienização. Além da não necessidade de desmonte, uma outra vantagem do sistema CIP é a ação mecânica fornecida através da circulação de fluido pela superfície, causando um efeito de arrancamento das sujidades. Esse efeito é obtido pelo arrasto causado devido ao escoamento de fluido na superfície. Há uma redução de tempo significativa do processo de higienização ocorrido pelo aumento do agente mecânico, como foi anteriormente mencionado.

3.2. *Locais que são higienizados pelo CIP*

O conceito de higienização 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. Os principais locais onde existem restrições da limpeza são, por exemplo, as superfícies internas de tanques, silos, tubulações, equipamentos de processamento de bebidas e alimentos. Em determinados casos a desmontagem dos equipamentos permitem a higienização das partes e peças, porém este tipo de procedimento se torna inviável em indústrias de grande porte.

As principais indústrias que utilizam o conceito CIP são as indústrias farmacêuticas, bebidas, alimentos, laticínios entre outras. Os principais equipamentos e componentes que vêm sendo higienizados nessas indústrias, desde o desenvolvimento do CIP são: Tanques de armazenamento de matérias primas, produtos e subprodutos industriais, silos de armazenamento de leite, caminhões de transporte de leite, tubulações de transporte de matérias primas, engarrafadoras de bebidas, equipamento de processamento de bebidas, cozinhadores, resfriadores, trocadores de calor entre outros.



Figura 3.1: Detalhe da cúpula de um tanque de armazenamento.

3.3. Componentes e equipamentos básicos de um CIP

Abaixo estão descritos os equipamentos que compõe uma central CIP básica. O número, quantidade e variedade dos equipamentos e componentes de um sistema CIP é função da complexidade, da funcionalidade, das características desejadas a higienização durante a fase do projeto do sistema. De forma a facilitar a posterior análise e descrição do sistema CIP, os equipamentos que compõe o CIP serão classificados em duas categorias: Equipamentos Básicos e Dispositivos Aspersores de Solução. Essa classificação é também verificada fisicamente em uma instalação CIP quando alocada em uma indústria.

3.3.1. Equipamentos Básicos

- Unidade CIP ou Tanque de Solução CIP: A unidade CIP é um tanque destinado ao armazenamento da solução química para a higienização. Esta solução é também conhecida como solução CIP. O volume da unidade CIP assim como a quantidade de unidades CIP necessárias é definido de acordo com o volume e a área superficial dos tanques e tubulações de produção que se deseja higienizar. A quantidade de unidades CIP também depende dos diferentes tipos de químicos utilizados em uma dada higienização CIP. Os cálculos de projeto das unidades CIP serão descritas mais adiante.
- Bombas de Avanço de Solução: As bombas de avanço de solução são responsáveis pelo envio de solução química das unidades CIP até os locais em que se desejam realizar a higienização. São utilizadas geralmente bombas centrífugas radiais para o avanço das soluções químicas. A seleção da bomba depende da vazão requerida na higienização das soluções químicas, do comprimento e das singularidades contidas nestas tubulações e das cotas (altura) de sucção da bomba e do ponto de aplicação da solução.

- Sistemas de Tubulação de Avanço: As tubulações de avanço de solução permitem a comunicação entre a unidade CIP e os pontos de aplicação das soluções químicas. Como citado no tópico anterior, os comprimentos da tubulação interferem diretamente na especificação e seleção da bomba de avanço. Quanto maior o comprimento na tubulação, maior será a perda de carga distribuída durante o escoamento.
- Bomba de retorno de solução: A bomba de retorno da solução é responsável pela sucção da solução química que já foi circulada no local a ser higienizado. Esta bomba pode encaminhar a solução química para diferentes locais dependendo da aplicação. Estas diferenças serão citadas no próximo item Tipos de CIP. O dimensionamento e seleção da bomba depende do circuito de retorno que está previsto em projeto.
- Sistemas de Tubulação de Retorno: As tubulações de retorno permitem a condução da solução CIP que já foi circulada para locais definidos previamente em projeto. Conforme citado no tópico anterior o projeto das tubulações de retorno de solução CIP depende dos tipos de CIP que serão explicados no próximo item.

3.3.2. Dispositivos Aspersores de Solução

Os dispositivos aspersores de solução química são os elementos que permitem a aplicação da solução química nas superfícies que necessitam ser higienizadas. A aplicação de solução através destes elementos é um meio de fornecer a ação mecânica durante a higienização conforme proposto pelo círculo de Sinner. Cada um dos aspersores de solução química possui condições e especificações de projeto que devem ser respeitadas. Essas especificações geralmente são a pressão e a vazão de trabalho. Em um projeto de um sistema CIP, os aspersores são elementos fundamentais para o dimensionamento das bombas de avanço de solução, devido suas especificações de

trabalho, conforme será visto adiante. Segue abaixo os diferentes tipos de aspersores de solução.

- SprayBall: São elementos responsáveis pela aspersão de solução química nas superfícies sujas e contaminadas. Geralmente são produzidos na forma de uma esfera, que possuem furos e/ou “rasgos” aos quais permitem a passagem de fluído, devido à diferença de pressão interna e externa a esfera. Tais elementos possuem curvas características de vazão por pressão que permitem a especificação e seleção dos diferentes modelos. Os modelos do sprayball diferem principalmente quanto ao tamanho da esfera, tipos de furos ou “rasgos”, e localização destes furos. Quanto à localização e quantidade dos furos, têm-se os seguintes modelos de sprayball: *Sprayball 360°* (furação por toda a esfera), *Sprayball 180° Top* (Furação na metade superior do sprayball), *Sprayball 180° Bottom* (Furação na metade inferior do sprayball). O modelo a ser selecionado depende das características do projeto e do locais onde as sujidades estão alocadas nas instalações da produção.
- Flying Saucer: São elementos de aspersão em que cada uma das saídas está posicionada de forma a causar a rotação do aspersor, em um único sentido e direção, devido à reação da vazão de solução no “corpo” do flying saucer. Essa rotação é obtida através da angulação da saída em relação ao vetor normal a superfície do componente. O funcionamento do flying saucer é semelhante aos aspersores de jardim. Se comparado ao sprayball, a instalação e manutenção do flying saucer requer cuidados maiores, devido à presença de elementos rotativos em sua constituição. Um aperto excessivo deste elemento pode impedir que ocorra a rotação durante a aplicação. A vantagem deste elemento se comparado ao sprayball, é o maior impacto do fluído com as superfícies sujas, ou seja, a melhor ação mecânica durante a higienização.

- Aspersor Rotativo: Os aspersores rotativos aplicam a solução química através da rotação do elemento, tal como é realizado pelo flying saucer. Porém sua concepção e construção são bastante diferentes. A principal diferença é o fato da rotação e aplicação ser realizada em mais do que uma direção. Essa rotação é imposta por um conjunto de engrenagens internas que ditam o caminho pelo qual é aplicado o fluído. O aspersor rotativo é um elemento bastante preciso. A ação mecânica obtida com os aspersores rotativos é superior a ação mecânica alcançada pelos flying saucer. Sua desvantagem é o alto custo, em comparação aos demais aspersores.



Figura 3.2: Tipos de aspersores – Sprayball, flying saucer, aspersor rotativo.

3.3.3. Equipamentos Complementares

O sistema CIP básico, com os equipamentos básicos descritos acima, realiza a higienização através de comando manual do sistema. Com o objetivo de tornar a higienização automática como também a dosagem de produto químico no sistema, o CIP básico pode ser complementado com outras partes e equipamentos, descritos abaixo:

- Controlador de condutividade ou condutivímetros: Os controladores de condutividade são equipamentos que controlam a concentração de solução química através da medição da condutividade da solução. Os condutivímetros são capazes de se comunicar com outros equipamentos através de uma saída de sinal elétrico. Esse sinal pode, por exemplo, controlar uma válvula solenóide,

impedindo ou liberando uma passagem de solução química, ou mesmo se comunicando com válvulas solenóides nas saídas das bombas pneumáticas. O sensor dos condutivímetros, em sistemas CIP, pode ser alocado na linha de avanço, linha de retorno, ou mesmo nos tanques de soluções químicas. Cada uma destas aplicações depende das características desejadas em projeto. A principal vantagem da utilização dos condutivímetros é o controle do descarte de soluções de limpeza e principalmente o controle automático da dosagem de químico, evitando o contato dos químicos com eventuais operadores.

- Controlador de pH: Em alguns projetos é necessário a utilização de controladores de pH. Algumas soluções químicas utilizadas na higienização perdem o efeito sanitizante com um pH acima de 9,0 (básico). Desta forma é necessária a utilização de um controlador de pH que será responsável pela correção do pH da solução através da adição de uma solução ácida no sistema visando a anulação do efeito básico. O controlador de pH é semelhante aos condutivímetros em relação a leitura através do sensor e em relação as saídas elétricas para comunicação externa.
- Bombas pneumáticas: Esses equipamentos permitem que se faça uma dosagem de produto químico sem a necessidade de um operador. As bombas pneumáticas utilizam ar para pressurização do fluido de trabalho. Internamente essas bombas possuem diafragmas que são impulsionados pelo ar, possibilitando assim a sucção e o recalque de químicos. Uma das soluções adotadas, em sistemas CIP, é a utilização de válvulas solenóides na saída da bomba pneumática. O controle das válvulas solenóides são de responsabilidade dos controladores.
- Válvulas solenóides: São válvulas que permitem a interrupção e liberação de um fluxo de fluido em tubulações através de sinais elétricos. O solenóide quando alimentado por uma tensão elétrica gera um campo elétrico que desloca uma

“haste”, sendo esta responsável pela abertura ou fechamento da válvula. Essas válvulas são extremamente importantes para os sistemas CIP automáticos.

- CIP Timer: O equipamento CIP Timer é um dispositivo indicado para uso em aplicações nas quais seja necessária a utilização de uma saída temporizada, acionada através de um botão pulsador, com ajuste de tempo de fácil acesso e manuseio, utilizado principalmente em sistema de limpeza CIP. Pode ser utilizado para controlar diversos dispositivos. É possível regular tempos de 0,05 segundos até 300 horas.

3.4. *Descrição operacional básica de um sistema CIP*

A operação do sistema CIP nada mais é do que a circulação da solução CIP pelas superfícies internas dos equipamentos, tanques, silos, enchedoras descritos anteriormente. Conforme visto pelo círculo de Sinner, a circulação promove a atuação do agente mecânico durante a higienização. Para tanto são necessários os componentes e equipamentos descritos no item anterior para a montagem de um sistema CIP. O dispositivo aspersor deve estar instalado no interior dos locais aos quais se deseja efetuar a limpeza, provendo ação mecânica. Por exemplo. Quando se deseja higienizar a superfície interna de um tanque de armazenamento de açúcar em uma indústria de alimentos, devem ser colocados um ou mais aspersores de modo a aplicar solução química ao longo de toda superfície suja.

O primeiro passo de uma higienização CIP é preparação da solução CIP que é armazenada no tanque de solução CIP. A preparação da solução é realizada através da diluição de produtos químicos concentrados em um solvente, geralmente água. Essa diluição pode ser realizada manualmente, em sistemas CIP mais simples, ou através de controladores de condutividade e bombas pneumáticas. Quando realizada conforme este último caso, o controlador de condutividade recebe um sinal elétrico da condutividade da solução química lido por um sensor de condutividade. Tal parâmetro indica a

presença e a movimentação de íons dentro da solução, indicando conseqüentemente a concentração química. Uma vez realizado a dosagem de produto, o sistema está pronto para entrar em operação.

Quando verificado a necessidade, 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 de avanço, após acionada, promove a pressurização de toda tubulação de avanço com solução química, até o(s) dispositivo(s) aspersores. A pressurização deste dispositivo aspersor induz o escoamento do fluido pelos furos do aspersor, devido a sua diferença de pressão interna e externa. Em outras palavras, ocorre a aplicação de solução química nas superfícies sujas dos equipamentos e componentes de uma instalação produtiva. 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.

A solução química, até então em contato com as partículas de sujidade, devido à ação da gravidade, acumula na parte inferior do tanque higienizado, por exemplo, e escoando conseqüentemente na tubulação de retorno instalada na mesma extremidade inferior do tanque higienizado. Neste mesmo instante que solução escoar pela tubulação de retorno, é realizada a operação de recalque de solução pela bomba de retorno. Esta solução ou pode ser recalçada novamente diretamente ao aspersor (by-pass) ou pode ser recalçada para o tanque CIP. Estas diferenças serão abordadas no próximo item (Tipos de CIP).

O processo de bombeamento de avanço e retorno ocorrem simultaneamente durante a operação do CIP, em regime permanente. Enquanto parte da solução está sendo pressurizada na tubulação de avanço e aplicada nos aspersores, a outra parte está sendo recalçada para o tanque CIP ou realizando o by-pass.

As aberturas e fechamentos das válvulas da central CIP são extremamente importantes durante o processo de higienização de modo a encaminhar aos locais corretos a solução CIP. O fechamento correto das válvulas é importante, por exemplo, no término do processo, por exemplo. Este ato garante que durante a produção industrial

não ocorra o escoamento de solução durante a produção de uma bebida ou alimento, contaminando estes produtos.

3.5. Tipos de CIP

Uma vez definidos os principais componentes de um CIP é possível estabelecer a relação e a conexão de cada uma destes de modo a montar um sistema que realize a higienização das partes, peças e equipamentos de uma linha de produção. De modo a facilitar o entendimento do sistema, o CIP pode ser classificado segundo algumas características. Abaixo seguem algumas destas principais características que distinguem cada um dos CIP's.

3.5.1. Central CIP x CIP Móvel

- Central CIP: Uma central CIP é composta basicamente por bombas de avanço e retorno, tubulações de avanço e retorno, tanque(s) de solução CIP, válvulas solenóides e válvulas convencionais (borboleta, esfera). Dependendo das características do projeto a Central CIP pode conter condutivímetros, bombas pneumáticas entre outros, permitindo a automação do sistema. A central CIP é um sistema bastante completo para uma higienização. Essa central permite a higienização dos tanques de armazenamento como também das tubulações da planta industrial aos quais transportam produtos, subprodutos e matérias primas de um processo produtivo. Outros equipamentos, como os trocadores de calor, também podem ser higienizados pela Central CIP. A central permite a lavagem simultânea de mais de um tanque de armazenamento produtivo de uma planta industrial como também a lavagem da tubulação citada acima. É um sistema bastante versátil também quando se refere aos processos de higienização. Uma única central CIP permite, em um único ciclo de higienização, a lavagem ácida e a lavagem básica, além dos enxágües necessários. Isto só é possível com a presença de mais de um tanque de solução CIP, instalados na central. Devido

essa pluralidade de tanques CIP é possível também realizar o reaproveitamento da solução química. O reaproveitamento é controlado manualmente ou automaticamente através dos equipamentos que realizam o controle, como por exemplo os condutivímetros. Outra característica importante da central CIP é o fato de esta central ficar fixa em um determinado local da planta da fábrica, diferentemente de um CIP móvel.



Figura 3.3: Central CIP.

- CIP móvel: O CIP móvel é um sistema mais simples e mais barato se comparado a Central CIP. Sua versatilidade é obtida através da possível movimentação do sistema ao longo da planta de uma fábrica. O CIP móvel geralmente não requer a utilização de uma bomba de retorno, já que o CIP móvel é colocado abaixo do tanque que está sendo higienizado, recolhendo a solução utilizada para a higienização. Porém sua utilização é bastante restrita, possibilitando geralmente a higienização de um tanque de armazenamento por vez. Outro problema encontrado é a dificuldade de se realizar a higienização das tubulações devido a impossibilidade de retorno da solução química ao tanque de solução, ou até mesmo devido a impossibilidade de obtenção de um fluxo em regime permanente na tubulação. Em determinados casos a solução utilizada pode ser descartada diretamente para dreno, ou seja, sem reaproveitamento. A higienização através de CIP móvel é obrigatoriamente realizada através de

acionamento manual. Os principais componentes de um CIP móvel, bomba de avanço, tanque de solução CIP e tubulação de avanço flexível, são montados em cima de uma plataforma com rodas, as quais possibilitam a movimentação do sistema. Como se trata de um sistema móvel, o engate da tubulação aos dispositivos aspersores é realizado através de um engate rápido. O CIP móvel tem dimensões bastante reduzidas se comparado a uma Central CIP.



Figura 3.4: CIP móvel.

3.5.2. CIP de sistema aberto x CIP de sistema fechado

- CIP de sistema aberto (sem reaproveitamento de solução química): Em um CIP de sistema aberto ocorre o descarte da solução química, durante o processo de higienização, ou no final deste processo. Ou seja, no CIP sem reaproveitamento de solução química, a bomba de retorno é montada no circuito de modo a eliminar a solução para dreno após a aplicação, ou promover a recirculação da solução já utilizada diretamente no local onde está sendo aplicado o CIP (bypass). Analisando de outra forma, a solução CIP em nenhum momento retorna ao tanque de solução CIP. Esta medida busca evitar contaminar a solução CIP do tanque preparada antes do início do processo.

- CIP de sistema fechado (Com reaproveitamento de solução química): Em um CIP de sistema fechado não ocorre o descarte da solução química após sua utilização na higienização de um silo, por exemplo. Esta solução é retornada ao tanque CIP com o auxílio da bomba de retorno de solução química.

A definição da utilização de um sistema aberto ou fechado varia a cada projeto. A opção pelo descarte ou não da solução é função principalmente do tipo e da quantidade de sujidade envolvida na superfície de higienização. Ou seja, caso a sujidade possa contaminar o tanque e a solução CIP, de maneira a prejudicar a higienização durante a recirculação da solução, esta solução deve ser descartada. Quando a sujidade em determinada superfície não oferece riscos patógenos ou risco de contaminação da solução, pode ser utilizado o CIP de sistema fechado. Mais adiante será descrito com mais detalhes a seleção destes tipos de CIP.

3.5.3. CIP automático x CIP manual

- CIP automático: Em um CIP automático, após acionado o início da higienização (start-up), todo o processo de lavagem dos tanques é realizado automaticamente. Cada uma das etapas de lavagem (entende-se por etapas os processos de lavagem ácida, básicas e enxágüe) são realizadas automaticamente através de uma programação de um PLC de controle, definindo-se o tempo de cada uma delas e a sequência entre elas. Esse PLC é responsável também pelo controle de abertura e fechamento de válvulas solenóides, direcionando o fluxo de solução química para os locais aos quais se desejam realizar a higienização. A dosagem de químicos é realizada através dos controladores de condutividade citados acima, quando necessário. O direcionamento das soluções para dreno também é realizada automaticamente.
- CIP manual: Em um CIP manual todo acionamento do processo de higienização é manual. A preparação de solução química também é realizada manualmente,

sem o auxílio de equipamentos controladores. Em processos de higienização em que são necessárias mais de um tipo de lavagem, por exemplo, lavagem ácida e lavagem básica, exigindo assim a utilização de no mínimo 2 tanques de solução química, todo o set-up para lavagem é realizado por um operador. A este operador cabe a alteração do posicionamento das válvulas (aberto e fechado), o acoplamento e desacoplamento das tubulações para direcionamento da solução ao local de higienização, além do controle do tempo e interrupção do processo. Todo processo de pré-lavagem, quando necessária, e enxágüe é feito manualmente, tal como é realizada a lavagem.

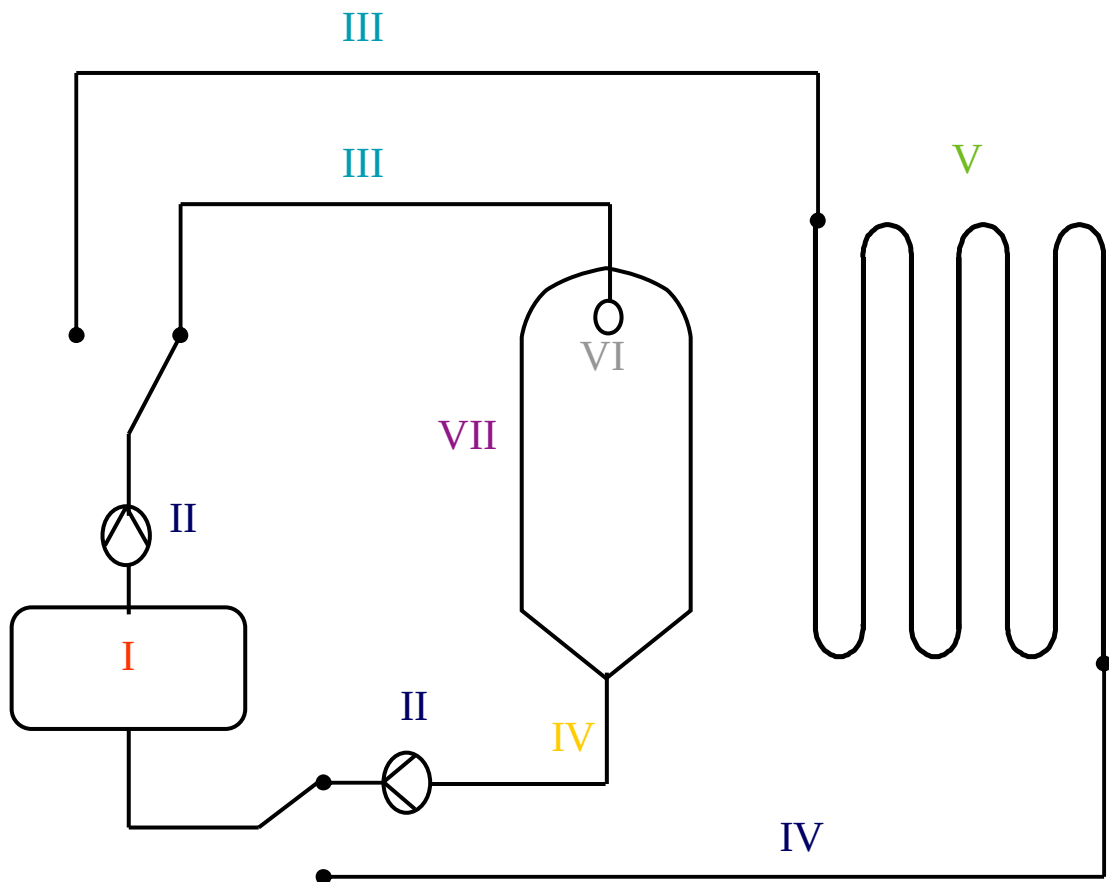


Figura 3.5: Esquema de uma central CIP

- I Unidade CIP**
- II Bombas de avanço e retorno**
- III Sistemas de tubulação de avanço**
- IV Sistemas de tubulação de retorno**
- V Circuito aberto**
- VI Dispositivos de pulverização**
- VII Circuito fechado**

3.6. Vantagens e Desvantagens do sistema CIP

Seguem abaixo as vantagens e as desvantagens de se utilizar o conceito de higienização CIP.

3.6.1. Vantagens

- Não há desmontagem do circuito: O principal conceito que garantiu o sucesso do desenvolvimento do sistema CIP é a higienização das instalações produtivas de uma indústria sem a necessidade de desmontá-las. Isso acarreta no aumento de produtividade de uma planta industrial devido à redução das interrupções da linha devido às contaminações e a remoção das sujidades das partes, peças e equipamentos.
- Minimização do tempo de inatividade de produção: A minimização do tempo de inatividade é uma consequência da implantação do CIP em uma indústria, conforme explicado no tópico anterior.
- Utilização de detergentes mais concentrados: Devido à ausência de manipulação e contato dos operadores com os produtos químicos, há a possibilidade de utilizar

a detergentes mais concentrados, sem o risco de prejudicar a saúde dos funcionários da planta industrial.

- Operação segura: A operação do CIP é segura sob o ponto de vista da possibilidade de acidentes com a utilização de produtos químicos, assim como a segurança e garantia da realização de uma higienização sem riscos de contaminação ao término do processo.
- Utilização de um único método para tanques grandes, trocadores de calor, tubulações e concentradores: O sistema de higienização CIP é bastante versátil, devido a sua simplicidade conceitual. A simples circulação de solução (agentes mecânicos) somada aos fatores térmicos e químicos são garantias de eficiência na higienização de superfícies. Ou seja, a circulação de químicos pode ser utilizada para a remoção de sujidades das superfícies de difícil acesso, em qualquer equipamento ou componente.

3.6.2. Desvantagens

- Áreas mortas sem agitação: Em determinados trechos de tubulação, como por exemplo, curvas acentuadas, tee's, podem haver pontos na superfície com escoamento insuficiente para prover ação mecânica para a remoção das sujidades. Durante o projeto do CIP, devem ser consideradas maneiras alternativas de se realizar a limpeza destes pontos.
- Interrupção total, em caso de mal funcionamento: A pausa da operação de um sistema CIP implica na total interrupção da higienização de uma linha de produção, ao contrário de uma limpeza convencional por desmontagem. Não existem meios de se realizar neste caso a limpeza parcial desta linha de produção.
- Problemas difíceis de serem diagnosticados: Em alguns casos, mesmo após a operação do CIP, alguns pontos permanecem com focos de sujidades. Estes

problemas, geralmente soa difíceis de serem diagnosticados, sendo necessário em alguns casos à realização de auditorias sob o ponto de vista operacional.

- Aumento de controles durante o CIP: Como o CIP muitas vezes, pode ser realizado de forma automática, é necessário um aumento do número de instrumentos de controle e medição do processo de higienização. Isso aumenta o custo do projeto além de aumentar consideravelmente a dificuldade do diagnóstico dos problemas. Estes equipamentos são possíveis fontes de erros e desvios durante o processo.
- Necessidade de mão de obra qualificada: A necessidade de uma mão de obra qualificada parte desde o início, com o projeto mecânico de um CIP. A operação, manutenção e compreensão do CIP também exige uma mão de obra bastante 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.

Antes de apresentar cada uma das equações utilizadas no dimensionamento dos equipamentos do sistema CIP se faz necessário a idealização de um modelo adequado para a higienização dos equipamentos que auxiliam a produção em uma planta industrial. Entende-se por modelo adequado um modelo que forneça os 4 agentes do círculo de Sinner (agentes térmicos, mecânicos, químicos e tempo).

4.1. *Modelo utilizado para o dimensionamento*

Como visto no item 5.1 a higienização CIP é baseada na circulação de produtos químicos pelas superfícies internas de equipamentos que contém algum tipo de sujidade. Avaliando os tipos de equipamentos utilizados nas indústrias de alimentos, bebidas,

farmacêuticas, entre outras, onde se aplicam o CIP é possível delimitar 2 volumes de controles principais em que ocorrem a higienização. São eles: tubulações e superfícies internas de tanques de armazenamento. O melhor modelo de dimensionamento é obtido através dos princípios e teorias de escoamentos internos (tubulações) e externos (superfícies “livres”) 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.

4.1.1. Escoamento interno

A ação mecânica causada nas superfícies internas das tubulações ocorre devido às forças viscosas durante o escoamento do fluido. No caso da higienização pela ação mecânica, é fundamental avaliar a ação das forças viscosas apenas nas superfícies de higienização. Essa tensão de cisalhamento viscosa no fluido e seu par reativo junto a sujidade aderida na superfície, auxilia o arrancamento dessas partículas. O regime de escoamento a ser escolhido deve ser aquele que fornece a maior tensão de cisalhamento junto às superfícies internas da tubulação.

A tensão de cisalhamento é definida por:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1)$$

Para compreender a tensão de cisalhamento distribuída em um fluido é preciso avaliar os perfis de velocidade distribuídos ao longo de uma tubulação. Em escoamentos internos existem 2 tipos de escoamentos que fornecem perfis de velocidades distintos entre si: o escoamento laminar e o escoamento turbulento.

O escoamento laminar é o fenômeno no qual as partículas apresentam trajetórias retilíneas e escoam em camadas individualizadas chamadas lâminas. Neste tipo de escoamento não se observam quaisquer sinuosidades ou a formação de puffs.

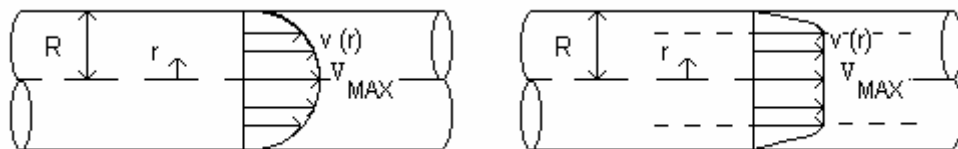
$$v(r) = V_{MAX} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (2)$$

O escoamento turbulento é o fenômeno em que as partículas são dotadas de movimentos em direções transversais à direção do escoamento principal. Esses movimentos são totalmente aleatórios. Os movimentos transversais aleatórios ocorrem em todo o perfil de velocidade, uniformizando assim a velocidade das partículas dentro do duto. Partículas de regiões com maior quantidade de movimento migram para regiões de menor quantidade de movimento acelerando essa região. A migração contrária também ocorre, ocasionando uma desaceleração da região com maior quantidade de movimento. Essa mobilidade causa também um choque mais intenso entre as partículas e a superfície da tubulação, quando ocorrem próximo dela.

$$v(r) = V_{MAX} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^n \right]^{1/n} ; n \cong 7 \quad (3)$$

Plotando os perfis de velocidade de cada um dos escoamentos acima definidos, obtemos perfis semelhantes as figuras abaixo. Em ambos escoamentos o valor de velocidade junto a parede é zero. Porém no escoamento turbulento verifica-se uma região próximo a parede na qual há o decaimento brusco da velocidade das partículas fluidas, indicando uma tensão de cisalhamento elevada se comparada com a tensão de cisalhamento do caso laminar. O mesmo resultado pode ser obtido através da derivação do perfil de velocidade, conforme a definição de tensão de cisalhamento.

Através destes resultados e observações conclui-se que para a higienização CIP dentro de tubulações é adequado dimensionar o sistema para prover um escoamento turbulento.



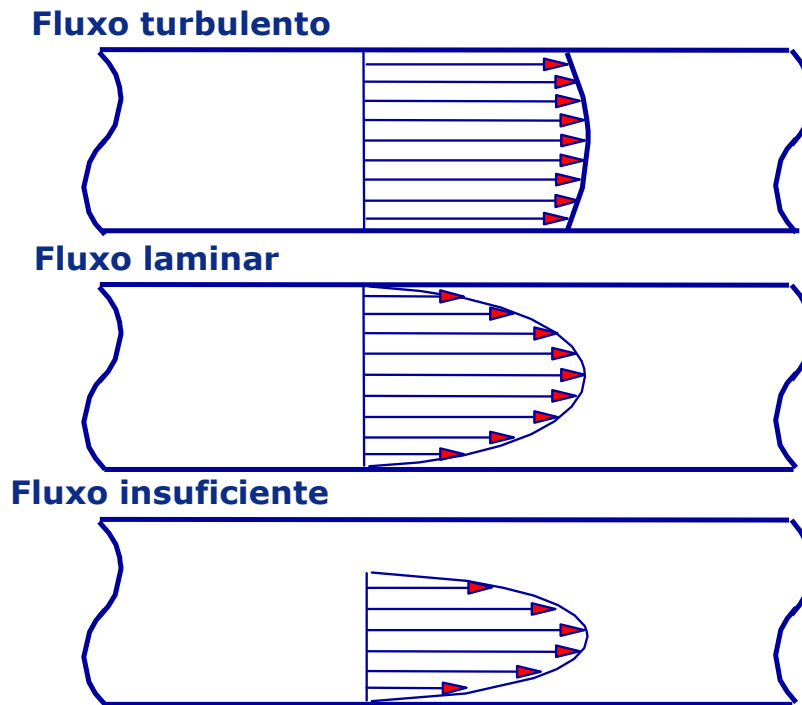


Figura 4.1:Tipos de escoamentos internos

O parâmetro que permite avaliar o tipo de escoamento é o adimensional chamado de número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad (4)$$

Definido o número de Reynolds, observou-se que para valores de Reynolds menores que 2000 ocorre o escoamento laminar e para Reynolds maiores que 4000 ocorre o escoamento turbulento. Para valores de Reynolds entre 2000 e 4000 ocorre um escoamento indefinido, ou seja, uma faixa de transição de escoamento laminar para turbulento.

As relações complementares que permitem calcular a vazão requerida mínima para a devida ação mecânica são:

$$Q_{req} = VA \quad (5)$$

4.1.2. Escoamento externo

O principal tipo de escoamento externo que deve ser tratado em higienização CIP é o escoamento vertical induzido pela gravidade. Para esse tipo de escoamento, analogamente ao escoamento externo, é fundamental que exista um efeito de turbulência durante o deslizamento de fluido pela parede dos tanques.

Especificamente neste caso foram realizados uma série de observações experimentais para determinar o modelo adequado de escoamento pela superfície, a fim de se obter uma ação mecânica suficiente para a higienização. Tais procedimentos foram conduzidos por engenheiros da empresa JohnsonDiversey.

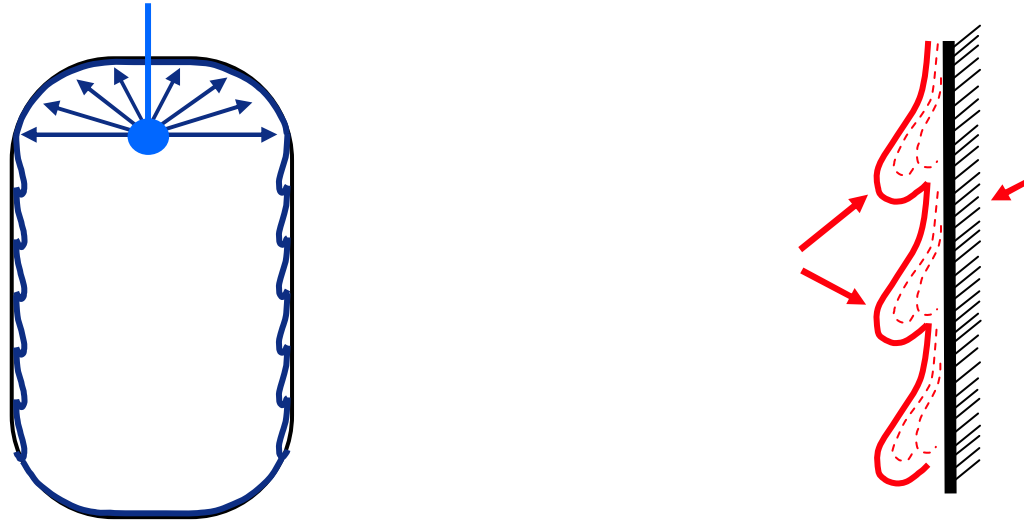


Figura 4.2: Escoamento na superfície de um tanque.

Na figura acima, à esquerda, está representado o tanque ao qual se deseja realizar a limpeza e a desinfecção. Nas paredes deste tanque está representado o escoamento de solução química ao longo da superfície do tanque. Na direita, está o detalhe deste escoamento. Verifica-se a formação de ondas ao longo de todo comprimento vertical do tanque. Nestas ondas existem de forma irregular regiões com escoamento turbulento e regiões com escoamento laminar. Está indicado também regiões com recirculação de solução química.

A ação mecânica suficiente para a remoção das partículas sólidas foi obtida quando a espessura mínima de fluido ao longo da superfície do tanque é de 2 mm. A

partir dessa constatação experimental, formulou-se as seguintes equações para se obter uma vazão que forneça uma camada de 2 mm de fluido.

$$Q_{req} = F_s . \pi . D_t \text{ onde,} \quad (6)$$

Q_{req} - Vazão requerida (Litros/ min)

D_t - Diâmetro do tanque (metros)

F_s - Fator de sujidade (Litros/ metro.minuto)

$F_s = 27$ (baixas condições de sujidade)

$F_s = 30$ (médias condições de sujidade)

$F_s = 32$ (altas condições de sujidade)

$F_s = 35$ (altas condições de sujidade limpas com ácido)

A vazão requerida nos tanques é fornecida pelo dispositivo aspersor. Nesta equação considera-se um dispositivo aspersor do tipo sprayball com furação apenas na metade superior do dispositivo. Quando o dispositivo aspersor é completamente furado (360°) a vazão obtida deve ser multiplicada por 2.

4.1.3. Dimensionamento e seleção do aspersor

O aspersor é o componente responsável por fornecer às paredes do tanque a camada de 2 mm de solução química ao longo de sua extensão. Como visto no tópico anterior, a vazão que deve ser fornecida pelo aspersor é determinada pelas características da sujidade e das dimensões do tanque a ser higienizado.



Figura 4.3: Detalhe do spray ball instalado no tanque.

Além da vazão fornecida pelo aspersor, outra variável que deve ser garantida durante o dimensionamento deste componente é o alcance dos jatos. O projeto deve garantir que os jatos de solução atinjam a superfície a ser higienizada. Mais do que o simples alcance, o aspersor deve ser posicionado de modo que o alcance do jato seja coincidente com a distância do aspersor à superfície do tanque. Na figura abaixo, seguem três casos distintos de dimensionamento do aspersor.

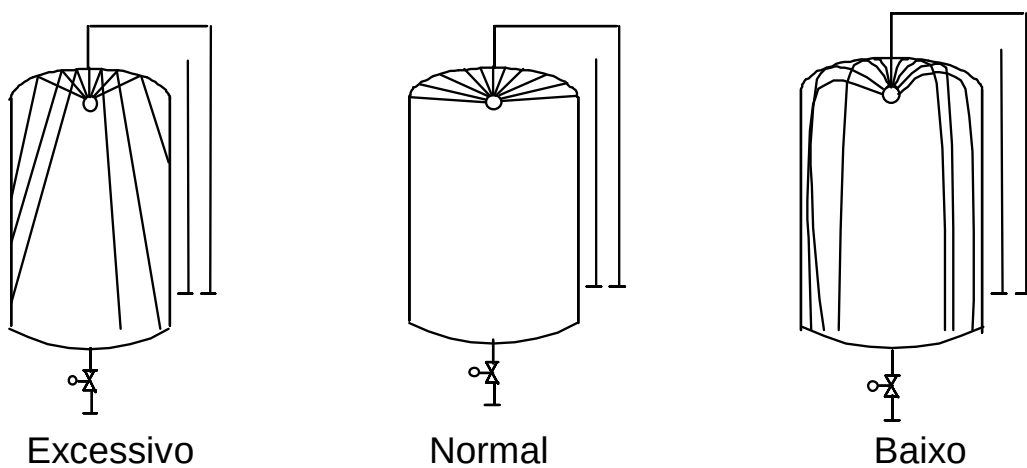


Figura 4.4: Tipos de aspersão dentro de um tanque.

No primeiro caso (à esquerda) o jato do aspersor está excessivo, causando o ricocheteamento do jato. Essa situação não é ideal já que a película de 2 mm de água não é formada devido a não adesão do jato de solução na parede do tanque. De maneira semelhante, no terceiro caso (à direita) o alcance do jato não é suficiente para atingir as paredes do tanque, conhecido por “efeito chuveiro”. Esse baixo alcance também causa uma ação mecânica ineficiente devido a não formação da película de 2 mm de solução química.

A situação ideal é indicada pela figura 2 (centro). Os jatos do aspersor estão dimensionados de modo a atingir e aderir a superfície do tanque. A película de 2mm de solução é formada desde a cúpula do tanque até ao cone inferior.

Para os modelos mais comuns de aspersores, os sprayballs, a faixa de pressão de trabalho está entre 1 bar e 2,5 bar. Para pressões a partir de 3 bar, os jatos do sprayball iniciam um processo de pulverização. Essa pulverização é inadequada ao processo de higienização, devido a não formação da película de fluido. Para pressões acima de 3,5 bar o sprayball pode falhar devido a tensões residuais causadas pela furação do aspersor.

4.1.4. Posicionamento e quantidades de aspersores

O jato fornecido pelos aspersores deve garantir que toda a superfície do tanque seja recoberta pela película de solução química. Para tanto o sprayball deve “enxergar” todas as superfícies do tanque. Ou seja, o posicionamento do aspersor dentro do tanque é fundamental para a perfeita higienização. Em alguns casos, devido a presença de misturadores, agitadores e sensores dentro dos tanques, um único spray ball não é suficiente para recobrir todas as superfícies do tanque. Esses elementos causam uma região de sombra, onde o fluido não consegue alcançar. Neste caso opta-se por utilizar dois aspersores em um mesmo tanque, que posicionados estrategicamente garantem a formação da película por todo tanque.

Outro fator determinante para o sucesso e eficiência da limpeza e desinfecção dos tanques é a altura de instalação do sprayball. O jato principal do sprayball (jato da

seção média do sprayball) deve atingir diretamente os locais críticos onde acumulam a sujidade. Os principais pontos críticos de acúmulo das sujidades são os cordões de solda, localizados entre o corpo cilíndrico do tanque e sua cúpula e também os locais do tanque onde se formam cordões de espuma de produtos, subprodutos e matérias primas. Durante o levantamento do projeto essas características devem ser observadas. Idealmente o posicionamento do sprayball deve se localizar na altura do cordão de solda entre a cúpula e o corpo cilíndrico.

4.1.5. Dimensionamento do circuito

A partir do momento em que já são conhecidas a vazão mínima requerida para o tanque e/ou tubulação, além da pressão de trabalho do dispositivo aspersor, é possível dimensionar o circuito e as bombas de avanço e retorno.

Para este dimensionamento é utilizada a equação de energia mecânica desenvolvida para aplicações em mecânica dos fluidos.

$$\frac{p_1}{\lambda} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_p - h_l - h_t = \frac{p_2}{\lambda} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \text{ sendo,} \quad (7)$$

p - Pressão

λ - Peso específico

V - Velocidade

g - Aceleração da gravidade

z - Cota

h_p - Altura de carga da bomba

h_l - Perda de carga

h_t - Altura de carga da turbina

A relação entre altura de carga da bomba, ou turbina, e a potência de uma bomba ou turbina é dada por:

$$h_p = \frac{W_p}{\lambda Q} \quad (8)$$

onde W_p - Potência da bomba.

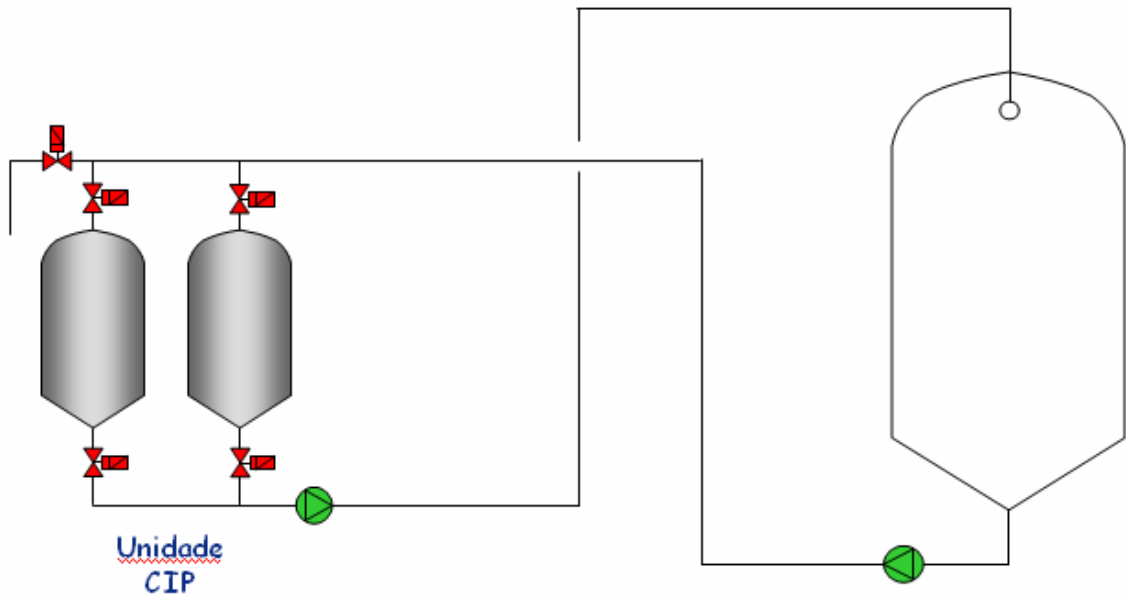


Figura 4.5: Malha fechada de um sistema CIP

4.1.6. Avaliação da perda de carga no circuito

A perda de carga é a conversão irreversível de energia mecânica em energia interna devido ao atrito e aos efeitos de viscosidade. A perda de carga global é subdividida em dois tipos de perdas: perdas distribuídas e perdas singulares.

As perdas singulares estão associadas aos efeitos viscosos à medida que o fluido escoar através de um trecho reto de tubulação. As perdas distribuídas estão relacionadas ao fator de atrito (f) e são definidas como:

$$h_{Ld} = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (9)$$

As perdas de carga singulares são perdas devidas aos componentes dos sistemas de tubos (outros que não sejam o tubo reto) e estão relacionadas ao coeficiente de perda. Cada uma das singularidades possui um coeficiente de perda de carga característico. As principais singularidades dos circuitos são as válvulas, curvas, joelhos, tês, entre outros:

$$h_{Ls} = K_L \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

4.1.7. Seleção da bomba centrífuga

Em sistemas de higienização CIP, a pressurização e recalque da solução química é realizada por uma bomba centrífuga radial. Com a determinação da vazão, da pressão de trabalho dos aspersores, da avaliação das perdas de carga do circuito, a equação de energia mecânica fornece a carga manométrica da bomba necessária para o circuito. Como se trata de uma bomba centrífuga radial é indispensável a análise de cavitação da bomba via NPSH.

4.1.8. Determinação do volume requerido de solução CIP

O volume de solução CIP requerida para circulação durante a higienização pode ser calculada. Esse volume serve de base para a determinação do tanque de solução CIP necessário para o projeto. Abaixo seguem algumas relações que servem de apoio para o cálculo de volume de solução.

$$A_{tubulação} = \pi.R^2 \quad (11)$$

$$V_{tubulação} = \pi.R^2.L \quad (12)$$

$$A_{cúpula} = \pi.R^2 \quad (13)$$

$$A_{cilindro} = \pi.D.(h_{cilindro} + h_{cúpula}) \quad (14)$$

$$A_{cone} = \pi.R.(R^2 + h_{cone}^2)^{1/2} \quad (15)$$

$$V_{sol-t} = 0,002.(A_{cúpula} + A_{cilindro} + A_{cone}) \quad (16)$$

4.2. SELEÇÃO DE MATERIAIS PARA SISTEMAS CIP

Após o dimensionamento do sistema CIP, a próxima etapa é a seleção de materiais de cada um dos elementos integrantes do sistema CIP. Essa é uma etapa fundamental, já que sistemas de higienização operam com produtos químicos e devem resistir a corrosão química. Outro motivo para a seleção dos materiais é a importância de se adotar um material cujas superfícies não sejam propícias para a acumulação de sujidades e proliferação de microorganismos. Basicamente todas as partes e peças que entram em contato com a solução química se enquadram nessa seleção. Entre eles estão tubulações, tanques, válvulas, conexões, manômetros, bombas, entre outros. Para a seleção do material mais adequado a uma particular aplicação é aconselhável uma avaliação baseada nos seguintes fatores: corrosão, propriedades mecânicas, estéticas, fabricação, facilidade de higienização, temperatura e o custo total.

4.2.1. Características desejadas na indústria de bebidas e alimentos

Os sistemas CIP são amplamente utilizados em indústria de bebidas e alimentos. Com isso pode-se definir exatamente quais são as características desejáveis que o materiais têm que possuir para este tipo de aplicação específica.

- Corrosão: Cada um dos elementos citados está suscetível à corrosão devido à circulação de solução. É extremamente indesejável a ocorrência de corrosão em indústria de alimentos e bebidas devido à contaminação por perda de material das partes, peças e equipamentos. Devem ser tomados cuidados especiais com a corrosão por pite, fresta, corrosão sob tensão e intergranular. Cada uma delas possui uma particularidade e necessita ser evitada.
- Propriedades Mecânicas: Tubulações, tanques, válvulas, conexões manômetros e bombas não são elementos que estão sob grandes esforços mecânicos em

indústrias de alimentos e bebidas. O papel destes é apenas conduzir e armazenar fluidos. Desta forma, os materiais metálicos para tanques, tubulação entre outros não necessitam ter elevada resistência mecânica.

- Fabricação: A fabricação é uma característica primordial para a seleção de um material na indústria de bebidas e alimentos. Tubulações, tanques e conexões são comumente soldados e conformados sob diferentes formas. A usinagem destes materiais também tem grande importância. Muitas das conexões possuem roscas, flanges, cordões de solda, o que demonstra a variedade de trabalhos que são executados nestes materiais.
- Higienização: Um material higiênico é aquele que possui resistência à corrosão, é ausente todo e qualquer revestimento protetor, tenha superfície compacta e que não apresenta porosidade. Somado a estes fatores, um material higiênico apresenta facilidade para a remoção bacteriológica em procedimentos de limpeza e sanitização e conseqüentemente baixa retenção bacteriológica.
- Temperatura: A temperatura é um fator que deve ser considerado já que a temperatura colabora para alguns tipos de corrosão, como por exemplo a corrosão por pite e em fresta. As indústrias de alimentos trabalham tanto com temperaturas elevadas, quanto com temperaturas baixas.
- Estética: A estética é um fator que pode ser levado em conta na seleção do material mais adequado para a aplicação, mas somente após a verificação de todas as outras características primordiais. O aspecto de uma planta de uma indústria de alimentos passa a confiabilidade da qualidade de fabricação de um determinado produto. Na vistoria a uma planta industrial a assepsia externa da instalação produtiva induz a limpeza interna dos equipamentos e tubulações.

- Custo Total: Custo total envolve o custo de aquisição do material, o custo de fabricação (soldagem, usinagem e conformabilidade) além do custo de manutenção dos materiais. Devido a ampla utilização de materiais metálicos na indústria de bebidas e alimentos o custo deve ser relativamente baixo.

4.2.2. Aços inoxidáveis AISI 304 e 316

A grande maioria das partes e peças de um sistema CIP são feitas em material metálico. Particularmente toda tubulação, tanques, válvulas, conexões e bombas destes sistemas são metálicos. Para escolher o material metálico mais adequado a uma particular aplicação é aconselhável uma avaliação baseada em todos fatores definidos e explicados no tópico anterior.

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.

Estes aços são classificados com aços austeníticos com uma porcentagem de cromo entre 17% e 25% e níquel entre 7% e 20%. O teor de níquel colabora justamente para mudar a estrutura cristalina de ferrita para austenita. As principais características destes aços são: facilidade na soldabilidade, alta ductilidade, elevada resistência a corrosão, adequados a trabalhos a baixas e elevadas temperaturas, não são magnéticos.

Aço	C	Cr	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
304	0,08	18 - 20	2	2 - 3	8 - 12	0,045	0,03	0,75

Tabela 4.1: Composição química do aço 304.

Aço	C	Cr	Mn	Mo	Ni	P	S	Si
316	0,08	16 - 18	2	2 - 3	10 - 14	0,045	0,03	0,75

Tabela 4.2: Composição química do aço 316.

4.2.2.1. Resistência à corrosão

Os aços inoxidáveis são ligas ferro-carbono com pelo menos 10,5% de cromo. Este teor de cromo propicia a formação de um filme passivo de proteção na superfície do aço inoxidável. Essa camada passiva tem uma formação rápida, é estável, ou seja, não se desprende facilmente, cobre toda a superfície do metal, não é porosa e é invisível. A camada passiva é formada basicamente de óxido de cromo. Outra característica importante dessa é a capacidade de auto-regeneração.

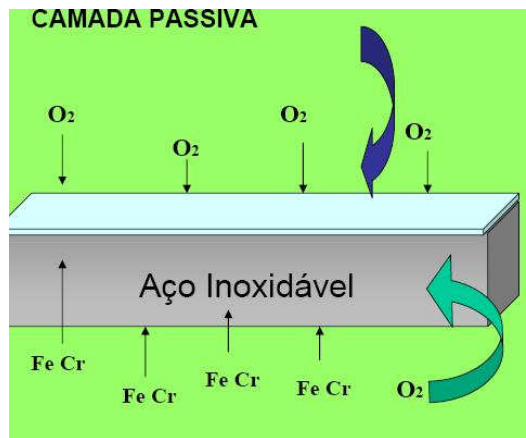


Figura 4.6: Detalhe da camada passiva dos aços inoxidáveis.

A condição e acabamento da superfície são muito importantes para o sucesso na aplicação dos aços inoxidáveis. As superfícies lisas não somente permitem boa limpeza mas também reduzem o risco da corrosão. Abaixo estão especificados cada um dos tipos de corrosão mais comuns que podem surgir neste tipo de aço e para tipo de aplicação.

- Corrosão por pite e em fresta: O pite é um tipo de corrosão cuja característica principal é a presença de “buracos” profundos localizados nas superfícies livres. Já a corrosão em fresta ocorre em frestas estreitas contendo solução ou características de reentrâncias numa estrutura. São usualmente causadas por falhas em projetos. Flanges e regiões abaixo de arruelas são locais suscetíveis a esse tipo de corrosão. O ataque pode ocorrer em soluções neutras, mas as

condições ácidas e o aumento de temperatura promovem estes tipos de corrosão. Ambos tipos de corrosão ocorrem mais rapidamente também em soluções contendo cloreto aquoso. Considerando que o cloro é um poderoso agente oxidante e é bastante utilizado em sistema de higienização, pelo seu alto poder de esterilização e sanitização, cuidados devem ser tomados para não haver corrosão. Os níveis de cloro residual na água de 2ppm máximo para 304 e 5 ppm para o 316 normalmente não seria considerado risco para corrosão.

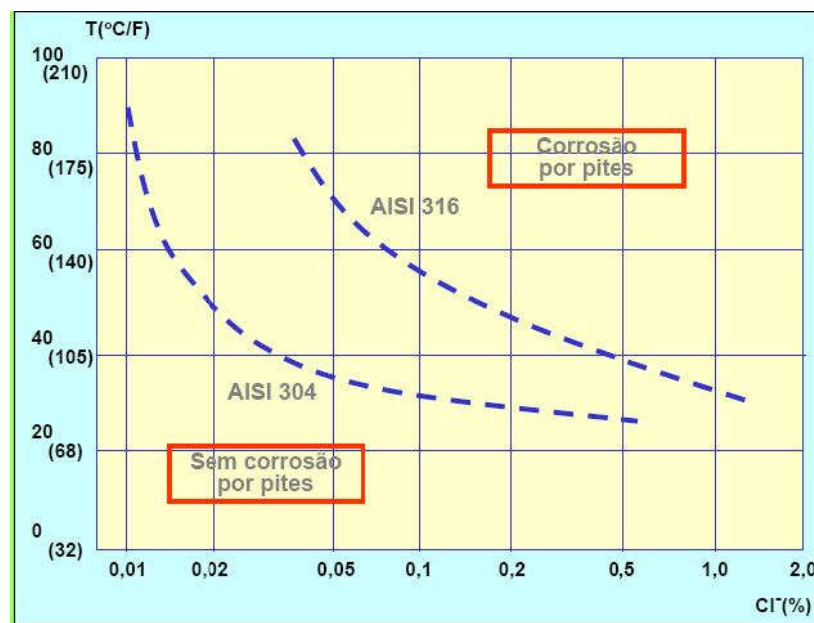


Figura 4.7: Influência da quantidade de cloreto e da temperatura na corrosão por pite.

- Corrosão sob Tensão: É uma forma localizada de corrosão caracterizada pelo surgimento de trincas quando o material está sujeito a tensão ou mesmo a um ambiente corrosivo. Da mesma forma que o tipo de corrosão anterior, a presença de cloretos e a alta temperatura colaboram com a corrosão.
- Corrosão intergranular: A corrosão intergranular ocorre em regiões estreitas próximas de soldas onde foram afetadas pelo calor da soldagem. risco de ataque

da corrosão intergranular é virtualmente eliminado se forem selecionados o aço com baixo teor de carbono ou aços estabilizados.

- Corrosão induzida por microorganismos (CIM): ‘A corrosão microbiológica corresponde a corrosão de materiais metálicos e não metálicos, consequência da atividade de microorganismos vivos, decorrendo do seu crescimento e metabolismo, dos produtos gerados da ação metabólica, originando um ambiente agressivo, ou participando diretamente em reações eletroquímicas na superfície do metal, e iniciando ou acelerando desse modo reações de eletrodo.’ A corrosão microbiológica porém são difíceis de serem identificadas. Aços inoxidáveis 304 e 316 estão expostos a esse tipo de corrosão em indústrias de alimentos e bebidas, danificando as instalações produtivas, pela presença da colônia de microorganismos. Tal corrosão justifica a higienização constante das instalações produtivas.

4.2.2.2. Propriedades mecânicas

Os aços austeníticos com sua característica de arranjo atômico de cubo com face centrada possuem alta ductilidade e alta tenacidade. A baixas temperaturas essas propriedades são praticamente mantidas. São aços não magnéticos, ou seja, tem permeabilidade magnética relativamente baixa. Também tem os coeficientes de condutividade térmica mais baixo e nível de expansão térmica mais elevada que outros tipos de aço inoxidável. Aços 304 e 316 podem ser endurecidos em até 4 vezes quando trabalhados a frio.

4.2.2.3. Fabricação, conformação e união

Os aços austeníticos são adequados para uma ampla faixa de aplicações em conformação de produtos planos, através de prensagem, estampagem e estiramento. Aços ferríticos e duplex também são utilizados para esses métodos de conformação,

porém a excelente ductilidade e a característica de endurecer ao ser trabalhado dos aços austeníticos fazem com que os tornem a melhor escolha. Aços 304 e 316 são também facilmente soldáveis. O elemento de liga que torna os aços austeníticos conformáveis é o teor de níquel. O níquel torna as ligas mais dúcteis e além de tornar o aço não magnético.

4.2.2.4. Juntas soldadas

A operação de soldagem ocasiona a formação de regiões termicamente afetadas pela solda. Essa zona pode ser verificada através do que se denomina “queimado de solda”. Este queimado de solda prejudica o inox no tocante a resistência a corrosão. Ocorre nesta região a sensitização do material. A sensitização corresponde a difusão do cromo existente na vizinhança dos limites de grão e com a combinação com o carbono aí existente e precipitação dos correspondentes carbonetos de cromo dos limites de grão. Este fenômeno ocorre quando o aço austenítico é aquecido, durante um período de tempo, a temperaturas no intervalo 425 à 870 C°. Na zona termicamente afetada ocorre a corrosão intergranular. Por isso, é importante que toda a junta soldada passe por uma decapagem (tratamento químico) de modo a remover todo o queimado de solda. Posteriormente a região deve ser submetida à operação de passivação, que regenera a camada passiva.

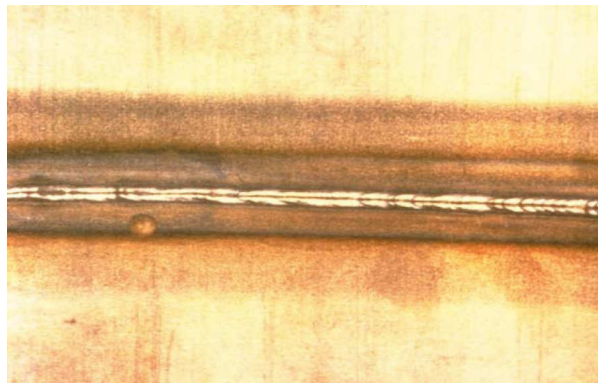


Figura 4.8: Zona termicamente afetada (ZTA) devido ao processo de soldagem.

4.2.2.5. Acabamento superficial

Quanto menos rugosa for a superfície do aço inox, melhor são as suas características de resistência a corrosão. Valores de rugosidade inferiores a $0,8\text{ }\mu\text{m}$ para o inox e $1,6\text{ }\mu\text{m}$ para os cordões de solda têm uma boa resistência a corrosão. Com o uso e ação de soluções químicas, principalmente sanitizantes, a superfície pode vir a ter a sua rugosidade superficial aumentada. Se necessário, empresas especializadas devem ser contratadas para a realização de serviços de recuperação do acabamento superficial dos aços inoxidáveis.

4.2.2.6. Higienização dos aços 304 e 316

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. Os aços inox também são considerados materiais limpos. Em superfícies sem tratamento abrasivo, a quantidade de bactérias que permanecem na superfície após uma única lavagem com detergente a uma temperatura de 70°C é inferior a 3%. Em outros materiais como o alumínio a porcentagem chega a 35%. Outra característica que ratifica a denominação de material limpo é o efeito do tempo de limpeza no número de bactérias que permanecem na superfície se comparado a outros materiais.

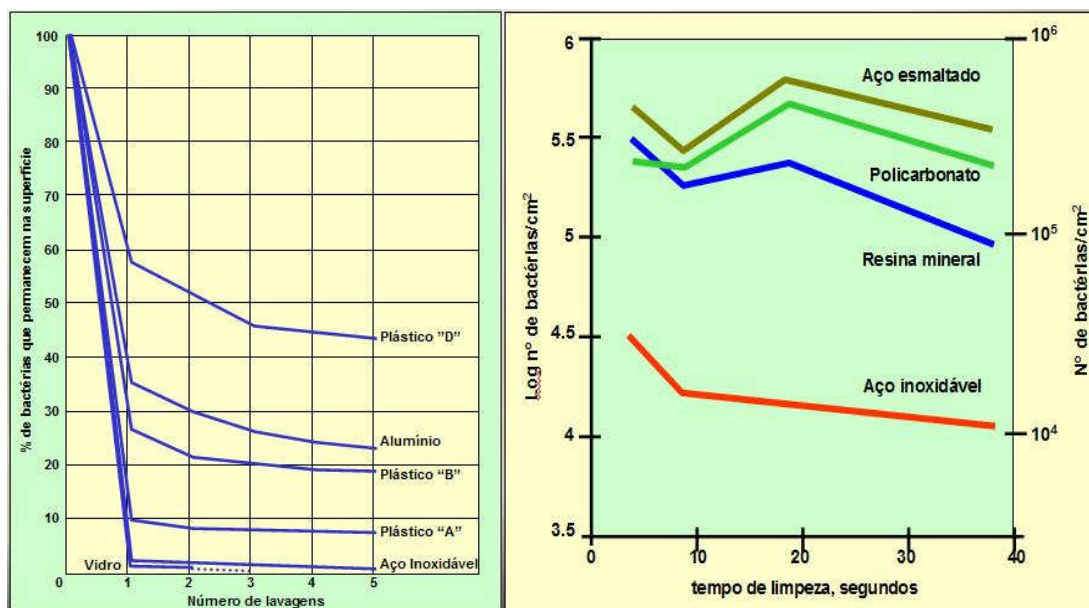


Figura 4.9: N° de bactérias em função do número de lavagens e do tempo de limpeza para diferentes materiais.

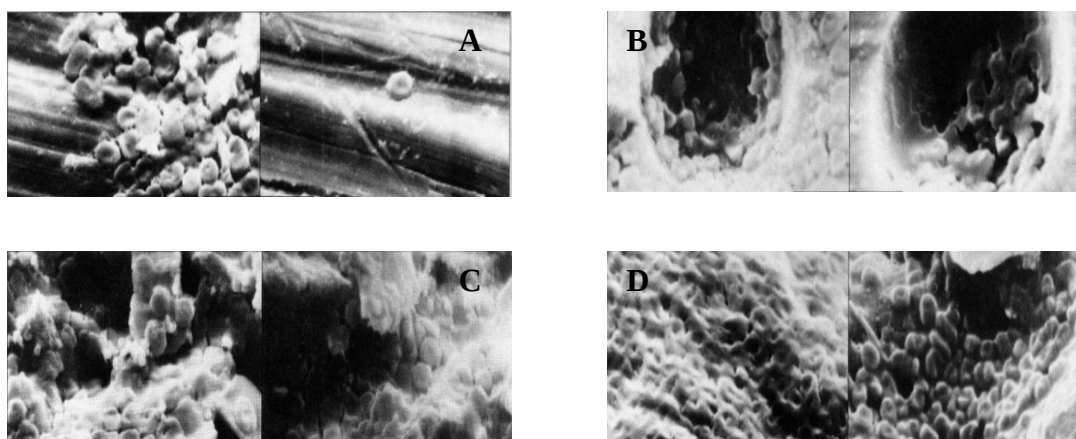


Figura 4.10: Superfícies de materiais contaminadas (esquerda) e após higienização (direita): A) Aço Inox - B) Aço esmaltado - C) Resina mineral - D) Policarbonato.

5. ESTUDO DE CASO – INDÚSTRIA DE CAFÉ

O estudo de caso será realizado com uma indústria de café solúvel brasileira. Se trata de um projeto real e comercial, junto a empresa JohnsonDiversey.

Como toda indústria de bebidas, alimentos, farmacêuticas entre outras, a linha produtiva deve ser higienizada com certa periodicidade, evitando assim a contaminação do seu produto final. Antes de compreender a necessidade do cliente é preciso entender o processo produtivo de café solúvel.

5.1. *Processo de produção de café solúvel*

O processo de produção de café solúvel está dividido em 8 etapas produtivas, que transformam o grão de café em pó de café solúvel. As etapas de produção são:

- Torrção e granulação: Os grãos de café, selecionados, higienizados e combinados, são previamente processados, a fim de reproduzir as características de sabor e aroma desejados. No interior do torrador, os grãos de café, em contato com o ar quente, são torrados uniformemente até atingirem o ponto exato de torra requerido para a cada qualidade de café. Posteriormente os grãos torrados são fragmentados em particular uniformes utilizando baixo calor, de modo a permitir a extração de maior quantidade possível de substâncias aromáticas de café.
- Extração: Os grãos torrados e fragmentados sofrem infusão em água quente em percoladores de aço inoxidável, extraindo-se os sólidos solúveis. É um processo semelhante ao do coador doméstico, porém com temperaturas mais elevadas (cerca de 190 °C) e sob pressão. Esta etapa de fabricação do café é bastante crítica sob o ponto de vista da incrustação de sujidades. Acima de 70° as gorduras desnaturam se fixam nas superfícies sob a forma de compostos inorgânicos.

- Centrifugação: Na centrifugação são retiradas partículas não solúveis do extrato de café através da decantação forçada. O resultado do processo de centrifugação é a obtenção de uma solução solúvel e concentrada de café.
- Concentrador: Neste estágio retira-se uma parte da água contida no extrato líquido de café para facilitar a secagem. A concentração pode ser feita tanto por evaporação como por congelamento da água. Até neste estágio, tanto num sistema de secagem “spray drying” como de “freeze drying”, o processo é comum a ambos.
- Mistura: Nesta etapa são misturados no tanque 3 soluções retiradas em diferentes etapas da produção do café solúvel. O Split é uma solução concentrada de café solúvel que é retirada no início da extração do café. Junto à solução vinda do split é adicionada a solução aromatizada e a solução resultante das etapas de centrifugação e concentração do café.
- Pasteurização e Filtragem: A pasteurização é o processo pelo qual o produto é aquecido há uma alta temperatura em um intervalo curto de tempo esterilizando o produto, ou seja, eliminando o número de microorganismos.
- Secagem: O extrato concentrado é pulverizado no interior de uma torre cônica construída de aço inoxidável, de cima para baixo, onde circula ar quente. As gotinhas de extrato em contato com o ar quente provocam a evaporação da água. A substância seca obtida da torre é o café solúvel.

Entre cada um dos processos a solução resultante é armazenada em tanques intermediários, onde é realizada a homogeneização através de misturadores. Os misturadores são pás ligadas a um eixo que se movimenta continuamente dentro da solução de café.

5.2. Apresentação do problema

Todas as etapas do processo de produção de café solúvel são passíveis da contaminação patogênica, como também das incrustações orgânicas e inorgânicas. Os processos que são realizados a altas temperaturas (acima de 70° C) podem apresentar problemas sérios de incrustação devido à desnaturação e fixação das gorduras. Como apresentado acima, os equipamentos que estão mais suscetíveis à acumulação de sujidades são os extratores e os pasteurizadores, devido a alta temperatura de trabalho. Outro ponto bastante crítico para acumulação de sujidades são os resfriadores que são responsáveis por resfriar o café solúvel logo após a extração.

A indústria de café estudada já realiza a higienização através de um sistema CIP nos seguintes equipamentos:

- Extratores;
- Concentradores;
- Centrifugadores;
- Pasteurizador;
- Recuperador de Aroma;

O produto utilizado para a higienização destes equipamentos é uma solução química a base de soda cáustica escama (NaOH). A concentração da solução preparada é de 5% à 8%. Não é realizada nenhuma titulação para se determinar a concentração exata da soda. A preparação da solução e determinação da concentração fica totalmente a cargo do operador. Para cada um destes equipamentos a higienização CIP é realizada através de uma rotina. Ou seja, a cada quantidade pré-definida de horas, o sistema CIP é colocado em funcionamento.

Para os demais componentes do processo produtivo, tubulações e tanques de armazenamento, a higienização 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.

O custo atual de inundação dos tanques com solução de soda é bastante elevado. Além da grande quantidade de tanques, a capacidade desses tanques varia entre 5000 litros e 20000 litros.

O risco envolvido com o manuseamento da soda para preparação da solução também existe. Então estuda-se a necessidade de projetar um sistema CIP para eliminar o contato de produtos químicos, como a soda, com o operador.

O foco atual da empresa é substituir a higienização manual e por imersão dos tanques restantes por uma higienização através de um sistema CIP. Estes tanques estão indicados e destacados no fluxograma acima.

Foi exigida, pela empresa requisitante, um projeto de baixo custo. Esse pedido é baseado na redução da lucratividade da empresa devido à redução do preço do dólar, já que 98% da produção é voltada para a exportação.

5.2.1. Levantamento de dados

Seguem alguns detalhes importantes das características da planta industrial:

- Produção de café distribuída dentro de um “edifício”.
- Produção verticalizada.
- Os tanques a serem higienizados estão localizados entre o 3º e 4º andares.
- Alguns tanques estão localizados na parte externa do edifício. O acesso à parte externa é realizado pelo 3º andar.
- Em um mesmo andar há desníveis.
- Ao longo do 3º andar foram construídas lajes e plataformas causando um desnível entre cada um destes pisos. O desnível entre cada um destes pisos é de 1,60 metros.
- No 4º andar foi construída uma plataforma, no vão central do “edifício” localizada em uma cota 1,75 metros abaixo do 4º andar.

- Um elevador de carga, com capacidade para 450 kg, disponível na fábrica.

Abaixo seguem as dimensões dos tanques utilizados no processo produtivo de café da indústria:

TANCAGEM 4º ANDAR

Tanque	Capacidade (l)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Diâmetro de saída
1AA	5.000	1.710	3.420	2"
2AA	5.000	1.710	3.420	2"
3AA	5.000	1.710	3.420	2"
4AA	5.000	1.710	3.420	2"
1	8.000	2.050	2.494	2"
2	8.000	2.050	2.494	2"
3	8.000	2.050	2.494	2"
4	8.000	2.050	2.494	2"
5	8.000	2.050	2.494	2"
6	8.000	2.050	2.494	2"
7	8.000	2.050	2.494	2"
8	8.000	2.050	2.494	2"
9	5.000	2.050	2.614	2"
10	5.000	2.050	2.614	2"
11	2.000	1.500	1.525	2"
11A	13.000	2.200	3.366	2"
12	4.000	1.600	2.355	2"
13	13.000	2.200	3.366	2"
13A	13.000	2.200	3.366	2"

Tabela 5.1: Tancagem 4º andar.

TANCAGEM 3º ANDAR E ÁREA EXTERNA

Tanque	Capacidade (l)	Diâmetro (mm)	Altura (mm)	Diâmetro de saída
1BB	20.000	2.534	4.100	2"
3BB	20.000	2.534	4.100	2"
5BB	20.000	2.534	4.100	2"
9BB	5.000	1.500	2.445	2"
10BB	5.000	1.500	2.445	
15	7.000	1.750	3.100	2 ^{1/2} "
15BB	6.000	1.750	2.678	2"
16	7.000	1.750	3.100	2 ^{1/2} "
16BB	6.000	1.750	2.678	2"
18BB	20.000	2.534	4.100	1 ^{1/2} "
18	5.000	1.700	3.400	2"
19	5.000	1.700	3.400	2"
Mistura BB	1.000	1.120	1.640	2"
Mistura	1.000	1.120	1.640	

Tabela 5.2: Tancagem 3º andar e área externa.

5.3. Solução ao problema

Com base no panorama levantado na empresa, cada uma das alternativas de solução apresentadas anteriormente foram avaliadas de forma a atender melhor as necessidades da empresa. Abaixo seguem as características do projeto a ser implementado seguido das justificativas.

5.3.1. Tipo de CIP – CIP Móvel

As duas soluções possíveis para higienização dos tanques da indústria são o CIP móvel ou a construção de uma única Central CIP. A solução mais adequada, para este caso, é a construção de um CIP móvel.

Uma única Central CIP, bem dimensionada, possibilita a higienização de todos os equipamentos de uma planta industrial, desde tanques, até tubulações, trocadores de calor e outros equipamentos. Conforme apresentado, a empresa já possui um sistema

CIP que realiza a higienização dos extratores, resfriadores, concentradores, centrifugadores e do recuperador de aroma. Ou seja, torna-se inviável a construção uma Central CIP para higienizar apenas os tanques e as tubulações da empresa. A inviabilidade é baseada no custo elevado do projeto se comparado na solução através do CIP móvel.

Como a empresa visa principalmente a redução de tempo de processo de limpeza e a redução de custo com a inundação dos tanques, 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.

As principais desvantagens do CIP móvel são:

- Impossibilidade de reaproveitamento da água de enxágüe para a pré-lavagem de outro tanque.
- Sistema obrigatoriamente manual.
- Impossibilidade de realização de duas lavagens simultâneas.
- Impossibilidade de realizar a higienização da tubulação (no caso estudado).

As principais vantagens do CIP móvel são:

- Baixo custo comparado a Central CIP.
- O sistema não necessita de uma grande área física para acomodação.

Devido à localização dos tanques em cada um dos andares foi verificada a possibilidade da construção de um único CIP móvel. Porém as dimensões do elevador e a carga admissível neste elevador são empecilhos para a construção e locomoção de um único CIP móvel.

A solução proposta prevê a construção de 2 CIPS's Móvel, um que ficará localizado na plataforma do 4 ° andar e outro localizado na parte externa da planta, no 3º andar. Devido à proximidade dos cones inferiores dos tanques ao chão, o CIP Móvel é

impossibilitado de ser posicionado abaixo do tanque para retorno de solução. Assim cada CIP deve possuir uma bomba de retorno de solução.

5.3.2. Localização dos CIP's Móvel

Embora o CIP móvel permita a mobilidade do sistema ao longo da planta industrial, foram definidos os locais onde este CIP deverá permanecer durante a higienização dos tanques. O CIP funcionará como duas pequenas centrais CIP, com a possibilidade de ser removido, caso seja necessário. O dimensionamento da tubulação deve garantir o alcance de todos os tanques, considerando o sistema fixo.

5.3.3. Tipo de aspersor – Spray Ball

A melhor solução em aspersores para o projeto é a utilização de spray ball. A características das sujidades nos tanques permitem essa seleção. Os tanques não apresentam grande quantidade de incrustações, já que a temperatura em que ficam armazenadas a solução de café fica abaixo da desnaturação das gorduras e fixação da borra de café. A solução proposta prevê a construção de 2 CIPS's Móvel, um que ficará localizado na plataforma do 4 ° andar e outro localizado na parte externa da planta, no 3º andar. Devido à proximidade dos cones inferiores dos tanques ao chão, o CIP Móvel é impossibilitado de ser posicionado abaixo do tanque para retorno de solução. Assim cada CIP deve possuir uma bomba de retorno de solução.

5.3.4. Componentes do CIP Móvel

- Bomba de avanço: Responsável pelo recalque de solução química até os dispositivos aspersores.
- Bomba de retorno: Responsável pelo retorno da solução química do tanque higienizado até o tanque de solução CIP.

- Tanque de solução CIP: Tanque de armazenamento de solução química.
- Válvulas esfera: Elementos responsáveis pelo correto direcionamento do fluido pelo sistema CIP. Dado que o CIP móvel escolhido é um sistema manual, as válvulas esferas também têm sua abertura e fechamento manuais.
- Plataforma móvel: Plataforma em que o CIP estará alocado. Conforme o nome, a plataforma possui material rodante para a movimentação pela planta da fábrica.
- Tubulação flexível com engate rápido: Devido ao alto poder de corrosão da solução CIP (solução de NaOH de 2 à 2,5%) a mangueira flexível é do tipo cervejeira. Esse tipo de mangueira tem ampla utilização nas cervejarias, pela alta resistência a corrosão. A especificação do diâmetro da mangueira flexível será realizada mais adiante.
- Tubulação em Inox: Parte da tubulação de solução química do sistema que não necessita de flexibilidade será feita em inox. Essa tubulação, de modo geral, é alocada junto a plataforma móvel do sistema CIP, e permite a união dos diversos elementos do CIP.
- Spray ball's: São os dispositivos que permitirão a aplicação de solução CIP nas paredes internas dos tanques. A seleção deste modelo de spray ball” será realizado mais adiante.
- TriCLAMP: Elemento que deve ser soldado no tanque e que permite o acoplamento rápido da haste onde está instalado o spray ball no tanque a ser higienizado.
- Uniões e Conexões: São os elementos que possibilitam a união e conexão das tubulações, válvulas, torneiras, bomba entre outros.
- Manômetro glicerinado: Elemento de leitura da pressão de solução química. Esse elemento é comumente instalado na saída da bomba com a finalidade de garantir que o sistema esteja operando no ponto correto.
- Válvula micrométrica: A válvula micrométrica permite o ajuste perfeito do ponto de operação do sistema, através da imposição de uma perda de carga adicional no

sistema. Normalmente esse dispositivo é instalado entre a saída da bomba e o manômetro.

- Torneira coleta de amostra: Torneira para coleta de amostra de solução química para análise de concentração de solução.
- CIP Timer: Temporizador de processo. Nele pode ser ajustado o tempo de alimentação elétrica do sistema. Após o término do tempo o CIP Timer desliga automaticamente as bombas de avanço e de retorno.
- Painel elétrico: Painelelétrico para a ligação elétrica das bombas e do temporizador de processo.

Abaixo segue um esquema representativo do sistema e seus componentes. Mais adiante será apresentado um desenho técnico em CAD do sistema.

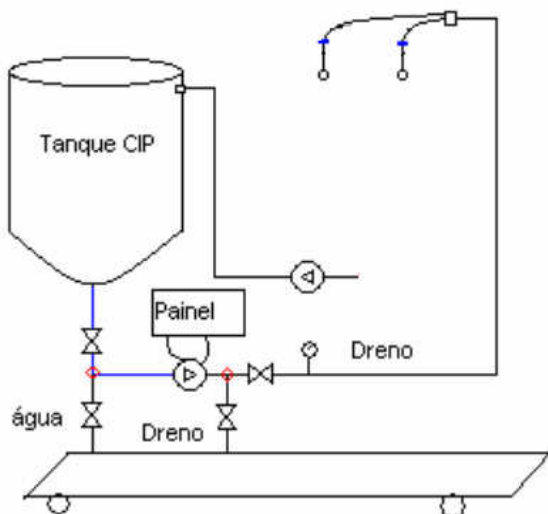


Figura 5.1: Esquema do CIP móvel.

5.4. Dimensionamento e seleção dos componentes CIP

Conforme visto anteriormente, para a solução do problema foi sugerido a construção de dois CIP's móvel. Desta forma, para uma análise mais adequada será dimensionado os dois sistemas separadamente, visando o dimensionamento estritamente necessário para a higienização dos tanques. Tal medida tem o objetivo de garantir o menor custo de fabricação do sistema.

5.4.1. CIP móvel I – 4º andar

O 4º andar da empresa possui instalados 19 tanques de produção. A planta do andar está apresentada abaixo. Com o conhecimento dimensional da planta industrial, juntamente com os dados colhidos dos tanques, é possível dimensionar o sistema CIP. Todas as dimensões foram colhidas em campo e não disponibilizadas através de CAD

Figura 5.2: Planta do 4º andar da indústria de café.

- Cálculo do comprimento necessário de mangueira flexível para os CIP's:

No cálculo do comprimento de mangueira de avanço leva-se em conta o tanque mais distante do CIP Móvel. O sistema será alocado na plataforma, próximo aos tanques 13 e 11N. Observando a planta da fábrica, temos que o tanque balança 1 é o mais crítico para aplicação da higienização. Portanto o comprimento de mangueira, estimado, deve ser:

$$L = 5,10 + 12,83 + 7,29 + 1,75 + 0,8 + 0,7 + 3,42 + 0,3 = 32,19 \text{ metros} \quad (17)$$

Parcela 1 = Distância do CIP ao tanque mais distante.

Parcela 2 = Desnível entre a plataforma do CIP e o piso.

Parcela 3 = Dimensões do solo ao topo do tanque.

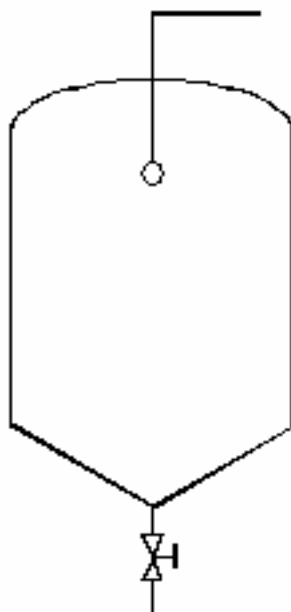


Figura 5.3: Dimensões do tanque da indústria de café.

Para a tubulação de retorno têm-se as mesmas condições. Porém, como a solução é retirada pela parte de baixo do tanque, o comprimento pode ser menor que a tubulação de avanço. Desconta-se aproximadamente a terceira parcela, já que a solução é retirada pela parte de baixo do tanque.

$$L = 5,10 + 12,83 + 7,29 + 1,75 = 26,97 \text{ metros} \quad (18)$$

Ajustando os valores para valores inteiros, visando a comercialização da mangueira chegamos aos seguintes comprimentos:

Tubulação de avanço = 35 metros

Tubulação de retorno = 30 metros

- Determinação do diâmetro da tubulação:

A maioria dos tanques possuem diâmetro de saída de 2'', conforme a tabela. Visando a mínima modificação das instalações do cliente, o diâmetro de mangueira

selecionado é de diâmetro de 2". Para os tanques que possuem uma saída de diâmetro diferente de 2" devem ser fabricados adaptadores para a conexão ($2'' - 2^{1/2''}$ e $2'' - 1^{1/2''}$)

- Cálculo do volume de solução requerida:

Para o cálculo de volume de solução química requerida serão utilizados os mesmos conceitos apresentados anteriormente. Optando-se pela segurança do sistema e visando a não ocorrência de cavitação, o volume de solução definido em projeto é:

$$V = 1,5.V_{sol} \quad (19)$$

O volume de solução deve ser calculado para o tanque com maiores dimensões, ou seja, para o maior volume:

Tanques de maior volume: 11 N, 13 N e 13.

$$V_{tubulação} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L = \pi \cdot \frac{0,0508^2}{4} \cdot 35 = 7,09 \cdot 10^{-2} m^3 \quad (20)$$

$$A_{cúpula} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{2,2^2}{4} = 3,8 m^2 \quad (21)$$

$$A_{cilindro} = \pi \cdot D \cdot (h_{cilindro} + h_{cúpula}) = \pi \cdot 2,2(0,3 + 3,366) = 25,33 m^2 \quad (22)$$

$$A_{cone} = \pi \cdot R \cdot (R^2 + h_{cone}^2)^{1/2} = 4,7 m^2 \quad (23)$$

$$V_{sol-t} = 0,002 \cdot (A_{cúpula} + A_{cilindro} + A_{cone}) = 0,06766 m^3 \quad (24)$$

$$V_{sol} = V_{sol-t} + V_{tubulação} = 0,1385 m^3 = 138,5 Litros \quad (25)$$

$$V = 1,5.V_{sol} = 207,75 Litros \quad (26)$$

Portanto, opta-se por um tanque reservatório de solução CIP com volume de 300 Litros.

- Determinação da vazão requerida para o tanque.

Conforme apresentado anteriormente, a vazão requerida para a higienização do tanque é função da sujidade do tanque e de seu diâmetro. Abaixo segue a relação:

$$Q_{req} = F_s \cdot \pi \cdot D_t \quad (27)$$

$$F_s = 27 \text{ (baixas condições de sujidade)}$$

$$F_s = 30 \text{ (médias condições de sujidade)}$$

$$F_s = 32 \text{ (altas condições de sujidade)}$$

$$F_s = 35 \text{ (altas condições de sujidade limpas com ácido)}$$

Com objetivo de garantir a segurança da higienização, considera-se altas condições de sujidade.

$$Q_{req} = 32 \cdot \pi \cdot 2.2 = 221,1 \text{ Litros / min} \quad (28)$$

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

Essa vazão determinada é a vazão requerida mínima de funcionamento de um spray ball 180° top.

- Determinação da quantidade de aspersores no tanque.

A definição da quantidade de aspersores dentro do tanque depende das características de cada tanque. O aspersor deve garantir que toda superfície deve estar recoberta por uma película de 2 mm de solução. Existem 2 tipos principais de tanques na empresa: Tanques sem nenhum elemento na região interna, e tanques com misturadores centrais e sensores de nível.

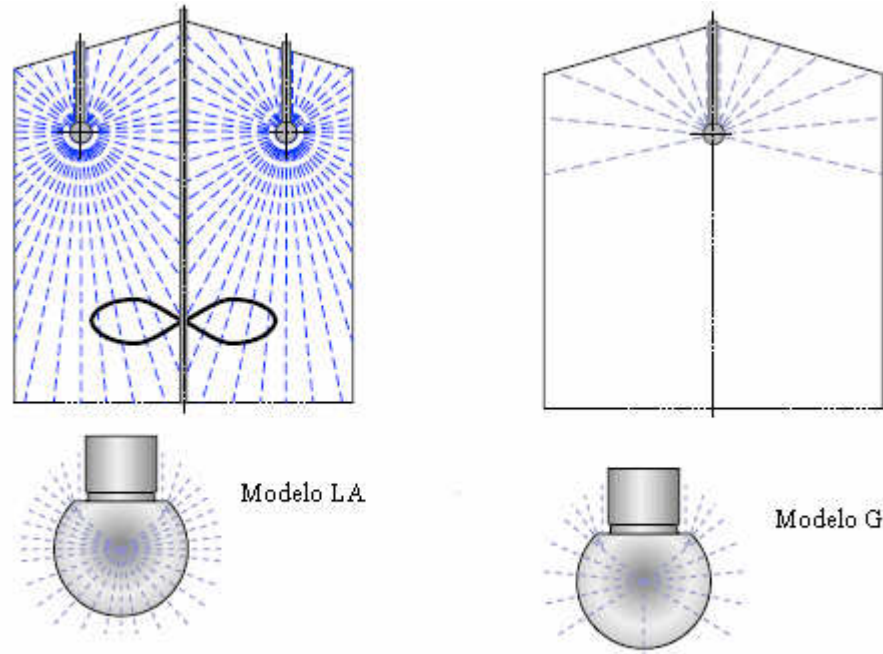


Figura 5.4: Utilização do Spray Ball em tanques sem agitação e com agitação.

No caso de tanques com agitadores, o posicionamento de um único spray ball dentro do tanque não garante o recobrimento de toda superfície. Tem-se que adotar uma solução com no mínimo 2 aspersores.

- Determinação das condições de trabalho do aspersor.

Duas características devem ser levadas em conta no dimensionamento do spray-ball. O alcance do jato e a vazão mínima requerida pelo tanque. É imprescindível que a determinação garanta essas duas condições como verdadeiras. Abaixo estão as curvas de carga dos aspersores, que auxiliam na determinação do ponto de trabalho.

Dimensionando para o tanque liso (tanques balanço 1 à 4):

No tanque liso podemos optar pela seleção de um spray ball 180° Top como visto na figura acima. A vazão do spray ball mínima determinada anteriormente é de

$Q_{req} = 13,27 \text{ m}^3 / \text{h}$. O jato do Spray ball deve fornecer um jato com o alcance mínimo de 2,2 metros de diâmetro. Entrando na tabela do fabricante Tuchenhausen determinamos o modelo G1. A pressão de trabalho selecionada é de 2,5 bar para fornecer uma vazão maior que a requerida ($13,8 \text{ m}^3/\text{h}$). A especificação de alcance do spray ball está dentro do valor de projeto de 2,2 metros.

Typ Type	Sprüh- Winkel Spraying angle	Reinigungs- durchmesser Cleaning- diameter [m]	Empfohlener Druck / Recommended pressure					
			Tanks ohne Einbauten Tank without installations		Tanks mit Einbauten wie z.B. Rührwerke Tanks with installations such as agitators			
			1 barÜ/G [m³/h]	1,5 barÜ/G [m³/h]	1,8 barÜ/G [m³/h]	2,0 barÜ/G [m³/h]	2,2 barÜ/G [m³/h]	2,5 barÜ/G [m³/h]
A 05	360°	1,0-2,0	4,7	5,8	6,3	6,6	7	7,4
A 05-1,0	360°	0,8-1,5	2,4	2,9	3,2	3,4	3,6	3,8
A 1- 1,0	360°	1,5-2,5	2,5	3,1	3,4	3,5	3,7	4
A 1- 1,5	360°	1,8-3,0	6,5	8	8,7	9,2	9,6	10,3
A 1	360°	2,0-3,0	9,4	11,5	12,6	13,3	13,9	14,9
A 1-1	360°	2,5-3,5	12,3	15,1	16,5	17,4	18,2	19,4
A 1-2	360°	3,0-4,0	14,8	18,1	19,9	20,9	22	23,4
A 2	360°	3,5-5,0	20,9	25,6	28	29,6	31	33
A 2-1	360°	4,0-6,0	27,3	33,4	36,6	38,6	40,5	43,2
A 2-2	360°	5,0-7,0	34,6	42,4	46,4	48,9	51,3	54,7
A 2-3	360°	6,0-8,0	39,9	48,9	53,5	56,4	59,2	63,1
B 05	192°	1,0-2,0	2,5	3,1	3,4	3,5	3,7	4
B 1	192°	2,0-3,0	9	11	12,1	12,7	13,3	14,2
B 1-1	192°	2,5-3,5	10,7	13,1	14,4	15,1	15,9	16,9
B 1-2	192°	3,0-4,0	13,2	16,2	17,7	18,7	19,6	20,9
B 2	194°	3,5-5,0	21,4	26,2	28,7	30,3	31,7	33,8
B 2-1	194°	4,0-6,0	27,8	34	37,3	39,3	41,2	44
B 2-2	194°	5,0-7,0	35	42,9	47	49,5	51,9	55,3
B 2-3	194°	6,0-8,0	41,2	50,5	55,3	58,3	61,1	65,1
G 05	232°	1,0-2,0	4,2	5,1	5,6	5,9	6,2	6,6
G 1	206°	2,0-3,0	8,7	10,7	11,7	12,3	12,9	13,8
G 1-1	206°	2,5-3,5	10,7	13,1	14,4	15,1	15,9	16,9
G 1-2	206°	3,0-4,0	14	17,1	18,8	19,8	20,8	22,1
G 2	246°	3,5-5,0	19,1	23,4	25,6	27	28,3	30,2
G 2-1	246°	4,0-6,0	25,8	31,6	34,6	36,5	38,3	40,8
G 2-2	246°	5,0-7,0	33,7	41,3	45,2	47,7	50	53,3
G 2-3	246°	6,0-8,0	40	49	53,7	56,6	59,3	63,2

Tabela 5.3: Tabela de seleção de spray ball.

- Determinação das perdas de carga do sistema.

A determinação das perdas de carga do sistema é o principal passo para a seleção da bomba centrífuga. Como já são conhecidos a vazão do sistema e o diâmetro da tubulação, já é possível determinar a perda de carga global.

Perda de carga distribuída:

No cálculo do número de Reynolds adota-se a hipótese que a solução de soda, possui as mesmas propriedades da água a 20°C.

$$V = \frac{4 \cdot Q}{3600 \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 13,8}{3600 \cdot \pi \cdot 0,0508^2} = 1,9 \text{ m/s} \quad (29)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{999 \cdot 1,9 \cdot 0,0508}{1,12 \cdot 10^{-3}} = 86092,39 \quad (30)$$

Devido a flexibilidade do plástico a tubulação utilizada será fabricada em plástico (polímero) flexível. Pesquisando o valor de rugosidade para o plástico, o valor médio das rugosidades é 0,00006 metros. Assim:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00006}{0,0508} = 0,001 \quad (31)$$

Entrando no diagrama de Moody, obtém-se o valor fator de atrito $f = 0,023$

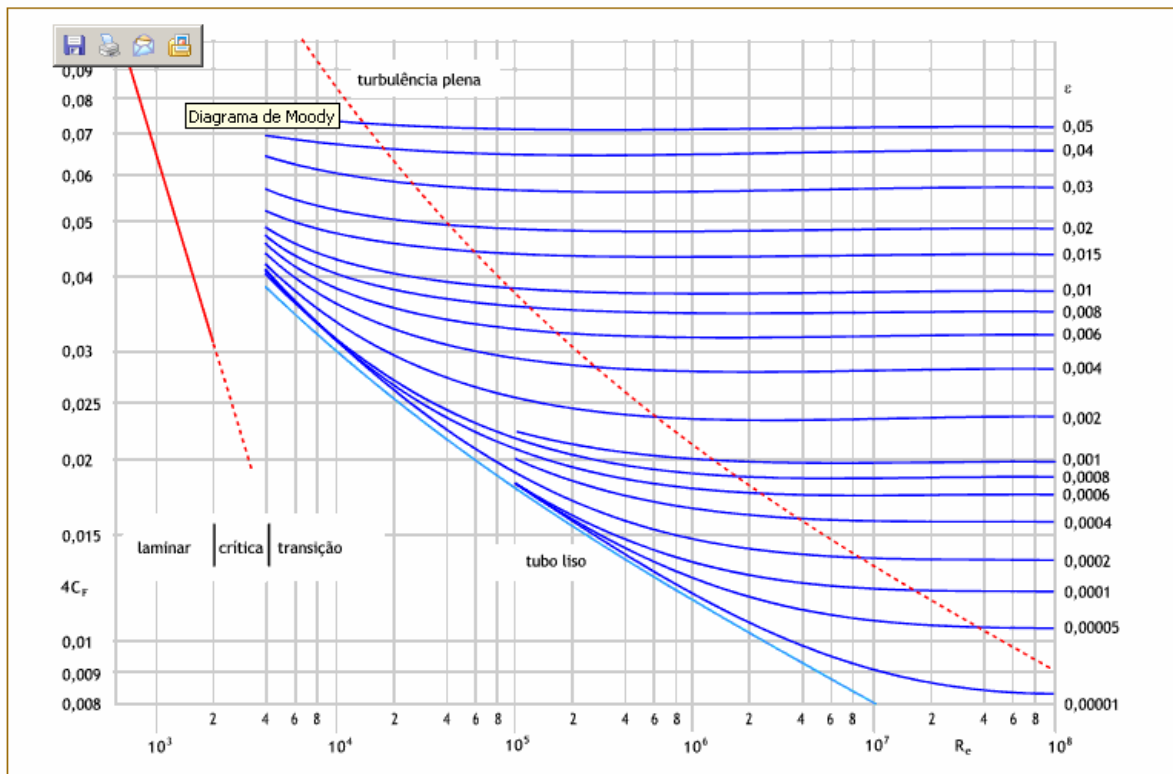


Figura 5.5: Diagrama de Moody

Portanto,

$$h_{Ld} = f \frac{l}{D} \frac{V^2}{2g} = 0,023 \cdot \frac{35}{0,0508} \cdot \frac{1,9^2}{2 \cdot 9,8} = 2,92m \quad (32)$$

Perda de carga singular:

As singularidades utilizadas no cálculo da perda de carga são: 4 joelhos 90°, 1 curva 180°, 1 válvula esfera e 2 uniões rosqueadas. Portanto tem-se:

$$h_{Ls} = \sum K_L \frac{V^2}{2g} \quad (33)$$

$$h_{Ls} = (4 \cdot 0,5 + 0,2 + 0,05 + 2 \cdot 0,08) \frac{1,9^2}{2 \cdot 9,8} = 0,45m$$

$$h_L = h_{Ls} + h_{Ld} = 3,37m \quad (34)$$

- Seleção da bomba centrífuga radial

Conhecida a perda de carga global do sistema é possível descobrir qual é a carga manométrica ao qual deve estar operando a bomba. Aplicando a equação de energia mecânica temos:

$$\frac{p_1}{\lambda} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_p - h_l - h_t = \frac{p_2}{\lambda} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (35)$$

Volume de controle (esquema):

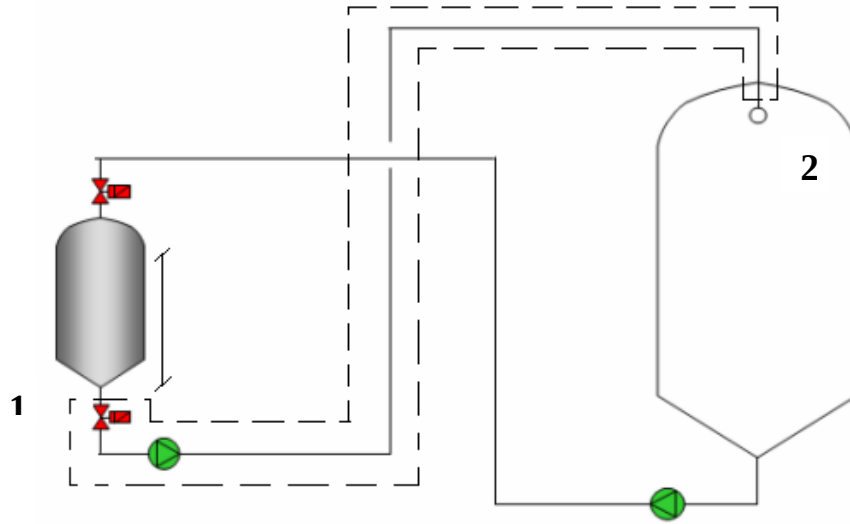


Figura 5.6: Detalhe do volume de controle.

Pela equação da continuidade sabemos que:

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 &= \dot{m}_2 \\ \rho_1 V_1 A_1 &= \rho_2 V_2 A_2 \end{aligned} \quad (36)$$

Supondo o fluido incompressível e área igual nas duas seções tem-se

$$V_1 = V_2 \quad (37)$$

Simplificando a equação da energia mecânica, sob a hipótese de que a pressão em 1 é devido uma coluna de solução de 1,5 metros de altura. A pressão do ponto 2 é a pressão de trabalho do spray ball, ou seja, 2,5 bar. Lembrando que a altura da instalação do spray ball é a mesma altura do cordão de solda entre a cúpula e o cilindro

$$\begin{aligned}\frac{P_1}{\lambda} + h_p - h_l &= \frac{P_2}{\lambda} + z_2 \\ 1,5 + h_p - 3,37 &= 25 + 6,67 \\ h_p &= 33,54m\end{aligned}\tag{38}$$

Com esta altura de carga manométrica e com a vazão determinada, através das curvas característica das bombas, selecionamos o modelo mais adequado. A curvas características abaixo são de uma família de bombas centrífugas radiais da fabricante Alfa Laval.

No gráfico está indicado o ponto ideal (ponto vermelho) onde a bomba deveria trabalhar. Porém nenhuma das bombas abaixo trabalham no ponto indicado.

A curva de perda de carga da bomba pode ser facilmente calculada, sabendo que a perda ocorre em função do quadrado da vazão.

$$\begin{aligned}h_p &= AQ^2 \\ h_f &= 0,175Q^2\end{aligned}\tag{39}$$

As duas opções viáveis para o caso são as bombas com rotores de diâmetro 127 e 122. Optando-se pela bomba de diâmetro de 122, a vazão fornecida ao sistema é menor do que a situação de projeto. Para a bomba fornecer uma vazão de 13,8 m³/h, a curva de perda de carga deveria se deslocada para direita, ou seja, a perda de carga do sistema deveria ser reduzida. Na prática isso não é possível, uma vez determinados todos os elementos do sistema hidráulico.

Optando-se pela bomba de diâmetro 127, a bomba fornecerá uma vazão superior à vazão de projeto. A correção da vazão é viável através da inclusão de uma válvula micrométrica, que possibilita aumentar a perda de carga do circuito, e conseqüentemente reduzindo a vazão.

Pelo gráfico, define-se também que a potencia do motor deve ser de 5 hp.

Bomba selecionada:

Fabricante: Alfa Laval

Modelo: CS 21/6

Rotação: 3500 Rpm

Diâmetro do rotor: 127

Motor: 5 hp

Para o ponto de operação da bomba o NPSH não está definido. Porém por segurança opta-se por um NPSH de 1,5 metros.

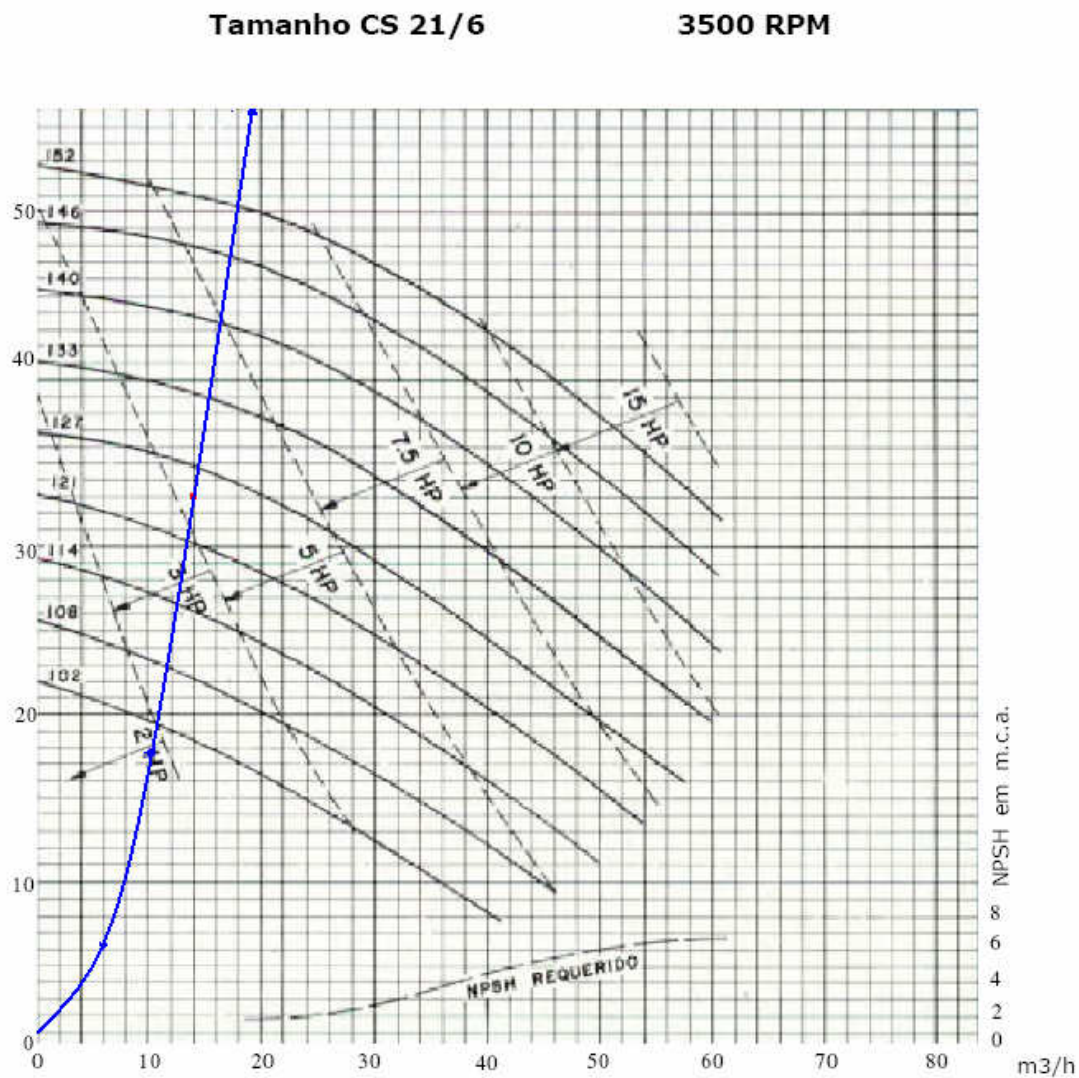


Figura 5.7: Curvas características da bomba e curva de perda de carga.

- Determinação das dimensões e posicionamento do tanque de solução CIP.

A determinação das dimensões do tanque de solução CIP é baseada no cálculo de volume de solução do sistema e também do índice NPSH da bomba. Com o NPSH determinamos quanto esta bomba deve trabalhar afogada para não ocorrer à cavitação, portanto, a definição da altura da coluna de solução química durante a operação deve ser realizada. A altura do tanque em relação a bomba é outro parâmetro que deve ser determinado para se evitar a cavitação.

5.4.2. CIP móvel I – 3º andar e área externa

O projeto do CIP Móvel do 3º andar é bastante semelhante ao projeto do 4º andar. O que diferencia cada um dos projetos são as diferentes dimensões da planta industrial, que interfere no dimensionamento da tubulação, além dos diferentes tipos de tanques existentes no 3º andar nos quais estão presentes misturadores e sensores de nível internamente ao tanque. Essa última característica somada as diferentes dimensões dos tanques do 3º andar, se comparado ao 4º andar, interferem na seleção do spray ball, conforme foi visto anteriormente. Todas as medidas foram obtidas com a visita a planta industrial e não foram disponibilizadas pela indústria.

- Cálculo do comprimento necessário de mangueira flexível para os CIP's:

No projeto deste andar, o lugar predestinado para o CIP móvel é o espaço localizado entre os tanques 18N e 1N. Observando a planta da fábrica, temos que o tanque 19 é o mais crítico para aplicação da higienização, em termos do comprimento da tubulação. Portanto o valor estimado para o comprimento da mangueira deve ser:

$$L = 8,33 + 6,10 + 4,22 + 6,0 + 0,8 + 0,7 + 3,40 + 0,3 = 29,85 \text{ metros} \quad (40)$$

Parcela 1 = Distância do CIP ao tanque mais distante.

Parcela 2 = Dimensões do solo ao topo do tanque.

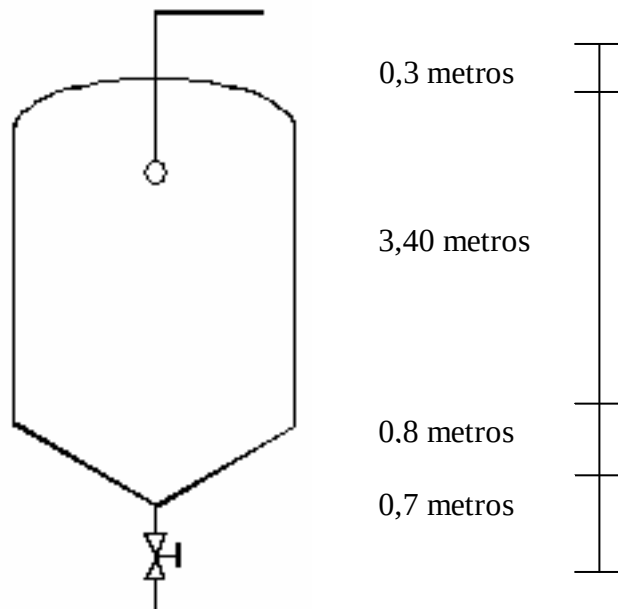


Figura 5.8: Dimensão de um dos tanques do 3º andar.

Para a tubulação de retorno têm-se as mesmas condições. Porém, como a solução é retirada pela parte de baixo do tanque, o comprimento pode ser menor que a tubulação de avanço. Desconta-se aproximadamente a terceira parcela, já que a solução é retirada pela parte de baixo do tanque.

$$L = 8,33 + 6,10 + 4,22 + 6,0 = 24,65 \text{ metros} \quad (41)$$

Ajustando os valores para valores inteiros, visando a comercialização da mangueira chegamos aos seguintes comprimentos:

Tubulação de avanço = 30 metros

Tubulação de retorno = 25 metros

- Determinação do diâmetro da tubulação:

A maioria dos tanques possuem diâmetro de saída de 2'', conforme a tabela. Visando a mínima modificação das instalações do cliente, o diâmetro de mangueira

selecionado é de diâmetro de 2". Para os tanques que possuem uma saída de diâmetro diferente de 2" devem ser fabricados adaptadores para a conexão ($2'' - 2^{1/2}''$ e $2'' - 1^{1/2}''$)

- Cálculo do volume de solução requerida:

Considerando o sistema em operação, conforme as hipóteses lançadas no item 6.1, a tubulação de avanço, idealmente, opera completamente preenchida e as superfícies do tanque possuem uma película de 2 mm em sua totalidade. Calcula-se assim a quantidade de solução mínima do sistema. Optando-se pela segurança do sistema e visando a não ocorrência de cavitação, o volume de solução definido em projeto é:

$$V = 1,5.V_{sol} \quad (42)$$

O volume de solução deve ser calculado para o tanque com maiores dimensões, ou seja, para o maior volume:

Tanques de maior volume: 1 N, 3 N, 5N e 18N.

$$V_{tubulação} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L = \pi \cdot \frac{0,0508^2}{4} \cdot 30 = 6,08 \cdot 10^{-2} m^3 \quad (43)$$

$$A_{cúpula} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} = \pi \cdot \frac{2,534^2}{4} = 5,04 m^2 \quad (44)$$

$$A_{cilindro} = \pi \cdot D \cdot (h_{cilindro} + h_{cúpula}) = \pi \cdot 2,534(4,1 + 0,3) = 35,03 m^2 \quad (45)$$

$$A_{cone} = \pi \cdot R \cdot (R^2 + h_{cone}^2)^{1/2} = 5,965 m^2 \quad (46)$$

$$V_{sol-t} = 0,002 \cdot (A_{cúpula} + A_{cilindro} + A_{cone}) = 0,09207 m^3 \quad (47)$$

$$V_{sol} = V_{sol-t} + V_{tubulação} = 0,1528 m^3 = 152,8 Litros \quad (48)$$

$$V = 1,5.V_{sol} = 229,2 L \quad (49)$$

Portanto, opta-se por um tanque reservatório de solução CIP com volume de 300 Litros.

- Determinação da vazão requerida para o tanque.

Conforme apresentado anteriormente, a vazão requerida para a higienização do tanque é função da sujidade do tanque e de seu diâmetro. Como as condições de sujidade de todos os tanques são semelhantes, então o tanque mais crítico é aquele com maior diâmetro. A FIG. 5.11 mostra a condição de sujidade de um dos tanques.



Figura 5.9: Detalhe de sujidade e dos misturadores em um dos tanques.

Assim, a vazão mínima requerida para os tanques é dada por:

$$Q_{req} = F_s . \pi . D_t \quad (50)$$

$$Q_{req} = 32.\pi.2.534 = 254,7 \text{ Litros} / \text{min}$$

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

(51)

- Determinação da quantidade de aspersores no tanque.

A definição da quantidade de aspersores dentro do tanque depende das características de cada tanque. Os tanques do 3º andar possuem misturadores e sensores de nível em seu interior. Isso exige que sejam instalados nos tanques no mínimo 2 dispositivos aspersores. Pelo catálogo do fabricante de aspersores, na FIG. 5.5, tal configuração impõe a utilização de um modelo de spray ball diferente daquele que é utilizado em tanques simples.

- Posicionamento dos Sprays Ball.

Na FIG. 5.12 segue a indicação dos locais de instalação dos sprays ball nos tanques da empresa. A grande maioria dos tanques possuem configuração semelhante à indicada abaixo, ou seja, serão atendidos por essa instalações. Os demais tanques, que possuem uma configuração diferente da abaixo, exigirão uma localização de acordo com o posicionamento dos elementos internos (agitadores e sensores). Um exemplo disso pode ser vista na FIG 5.11, no qual o misturador está localizado no centro do tanque. Possíveis alterações da localização dos sensores podem ser necessárias visando uma menor quantidade de zonas mortas de higienização.

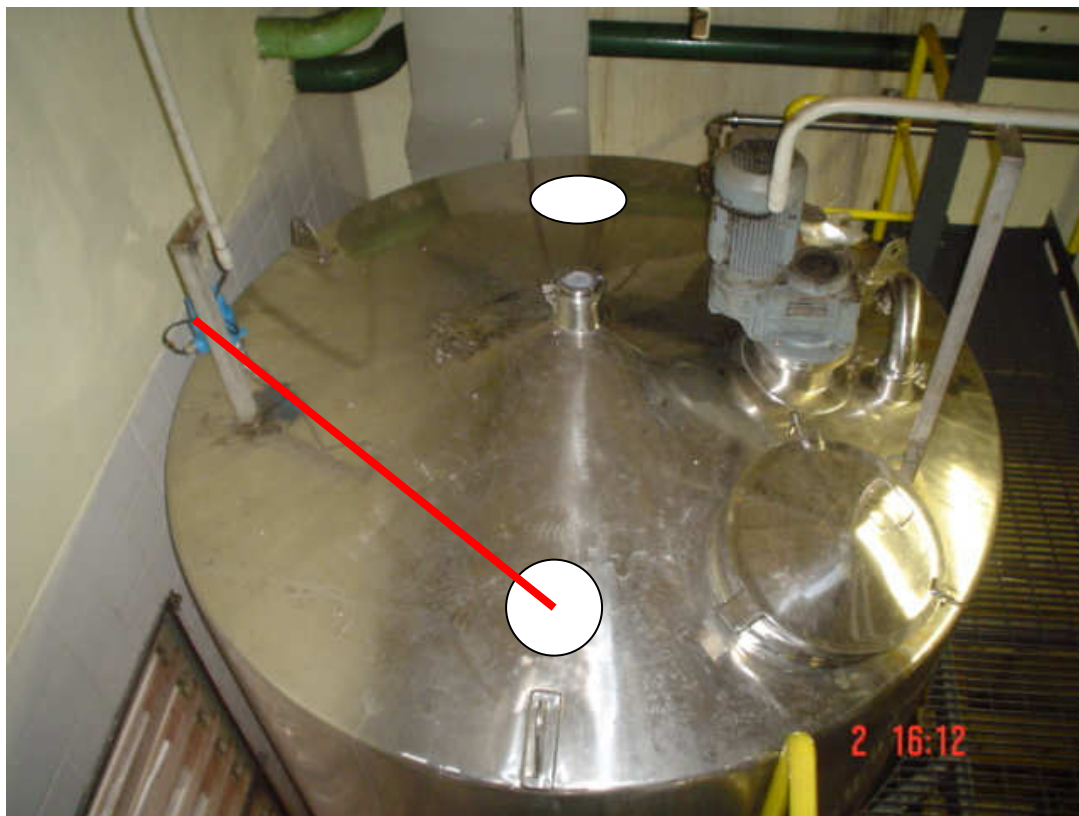


Figura 5.10: Localização dos sprays ball nos tanques do 3º andar.

- Determinação das condições de trabalho do aspersor.

Duas características devem ser levadas em conta no dimensionamento do spray-ball. O alcance do jato e a vazão mínima requerida pelo tanque. É imprescindível que a determinação garanta essas duas condições como verdadeiras. Abaixo estão as tabelas de carga dos aspersores, que auxiliam na determinação do ponto de trabalho.

Dimensionando para os tanques com misturadores e sensores

No tanque com misturadores e sensores internos o modelo de spray ball mais adequado possui furação 360°. Como visto, o tanque completo requer uma vazão de $Q_{req} = 15,28 m^3 / h$. Já que a solução requer a utilização de pelo menos 2 sprays ball, cada aspersor deve fornecer no mínimo a metade da vazão requerida. Pelo

dimensionamento sugerido na FIG 5.12 há uma região da superfície do tanque onde os jatos dos dois aspersores se interpõem. Uma consequência da utilização de dois sprays ball é o ponto de instalação destes no tanque. De maneira generalizada, ambos devem ser instalados em uma mesma corda imaginária que passa pelo centro do tanque. A distância de instalação em relação ao centro utilizada neste projeto será $0,6.R$.

A FIG 5.5 mostra que o modelo de spray ball mais adequado para o caso de existência de equipamentos internos é o modelo LA. Entrando na tabela do fabricante, conforme a TAB. 5.4, para o modelo LA, a primeira condição que deve ser satisfeita é o diâmetro do tanque. Como os diâmetros dos tanques variam de 1,5 metros à 2,534 metros, o modelo mais adequado é o modelo LA 1-1,0.

Typ Type	Sprüh- Winkel Spraying angle	Reinigungs- durchmesser Cleaning- diameter [m]	Empfohlener Druck / Recommended pressure					
			Tanks ohne Einbauten Tank without installations		Tanks mit Einbauten wie z.B. Rührwerke Tanks with installations such as agitators			
			1 barÜ/G [m³/h]	1,5 barÜ/G [m³/h]	1,8 barÜ/G [m³/h]	2,0 barÜ/G [m³/h]	2,2 barÜ/G [m³/h]	2,5 barÜ/G [m³/h]
G 05	232°	1,0-2,0	4,2	5,1	5,6	5,9	6,2	6,6
G 1	206°	2,0-3,0	8,7	10,7	11,7	12,3	12,9	13,8
G 1-1	206°	2,5-3,5	10,7	13,1	14,4	15,1	15,9	16,9
G 1-2	206°	3,0-4,0	14	17,1	18,8	19,8	20,8	22,1
G 2	246°	3,5-5,0	19,1	23,4	25,6	27	28,3	30,2
G 2-1	246°	4,0-6,0	25,8	31,6	34,6	36,5	38,3	40,8
G 2-2	246°	5,0-7,0	33,7	41,3	45,2	47,7	50	53,3
G 2-3	246°	6,0-8,0	40	49	53,7	56,6	59,3	63,2
H 1	59°-157°	2,0-3,0	13,9	17	18,6	19,7	20,6	22
H 2	66°-171°	3,0-5,0	21,2	26	28,4	30	31,4	33,5
H 2-1	41,5°-161°	4,0-6,0	31,8	38,9	42,7	45	47,2	50,3
L 1	188°	2,5-3,0	8,1	9,9	10,9	11,5	12	12,8
LA 1-1,0	360°	1,5-2,5	5	6,1	6,7	7,1	7,4	7,9
LA 1-1,5	360°	2,5-3,0	10,5	12,9	14,1	14,8	15,6	16,6

Tabela 5.4: Tabela de seleção de spray ball.

A seleção da pressão de trabalho para fornecer no mínimo a vazão requerida para os tanques é o próximo passo. O maior tanque exige uma vazão mínima de $Q_{req} = 15,28 m^3/h$, ou seja, a vazão de 1 spray ball deve ser no mínimo $7,64 m^3/h$. Então, a pressão de trabalho selecionada é de 2,5 bar.

- Determinação das perdas de carga do sistema.

A determinação das perdas de carga do sistema é o principal passo para a seleção da bomba centrífuga. A vazão do sistema é dada pela soma das vazões dos dois aspersores, ou seja, $15,8m^3 / h$

Perda de carga distribuída:

No calculo do número de Reynolds adota-se a hipótese que a solução de soda cáustica possui as mesmas propriedades da água a 20°C. Como a solução adotada neste caso exige a instalação de dois sprays ball a tubulação possuirá uma ramificação em diâmetros iguais para a alimentação dos dois aspersores de igual forma. De modo a simplificar a solução, a ramificação se localizará no trecho final do tubo. Assim, adota-se como hipótese simplificadora, a perda de carga distribuída desprezível destes trechos após a ramificação.

$$V = \frac{4.Q}{3600.\pi.D^2} = \frac{4.15,8}{3600.\pi.0,0508^2} = 2,16 \text{ m/s} \quad (52)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{999.2,16.0,0508}{1,12.10^{-3}} = 97873 \quad (53)$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00006}{0,0508} = 0,001 \quad (54)$$

Entrando no diagrama de Moody, obtém-se o valor fator de atrito $f = 0,02$

Portanto,

$$h_{Ld} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = 0,02 \cdot \frac{30}{0,0508} \cdot \frac{2,16^2}{2.9,8} = 2,82 \text{ m} \quad (55)$$

Perda de carga singular:

As singularidades utilizadas no cálculo da perda de carga são: 4 joelhos 90°, 1 curva 180°, 1 válvula esfera, 2 uniões rosqueadas e 1 tee de linha de escoamento flangeado para ramificação. Portanto tem-se:

$$h_{Ls} = \sum K_L \frac{V^2}{2g} \quad (56)$$

$$h_{Ls} = (4,0,5 + 0,2 + 0,05 + 2,0,08 + 1) \frac{2,16^2}{2 \cdot 9,8} = 0,81m$$

$$h_L = h_{Ls} + h_{Ld} = 3,63m$$

- Seleção da bomba centrífuga radial

Conhecida a perda de carga global do sistema é possível descobrir qual é a carga manométrica ao qual deve estar operando a bomba. Aplicando a equação de energia mecânica temos:

$$\frac{p_1}{\lambda} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 + h_p - h_l - h_t = \frac{p_2}{\lambda} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 \quad (57)$$

O volume de controle é definido considerando apenas 1 entrada e 1 saída, ou seja, não é considerado o trecho onde há a ramificação da tubulação. Logo, adota-se uma hipótese de que a pressão no spray ball é a mesma pressão do trecho com ramificação.

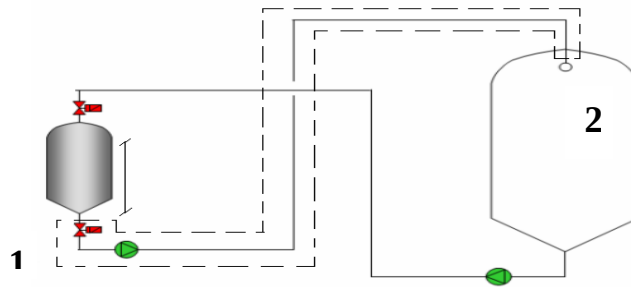


Figura 5.11: Detalhe do volume de controle.

Pela equação da continuidade sabemos que:

$$\begin{aligned} \rho_1 V_1 A_1 &= \rho_2 V_2 A_2 \\ \rho_1 V_1 A_1 &= \rho_2 V_2 A_2 \end{aligned} \quad (58)$$

Supondo o fluido incompressível e área igual nas duas seções tem-se

$$V_1 = V_2 \quad (59)$$

Simplificando a equação da energia mecânica, sob a hipótese de que a pressão em 1 é devido uma coluna de solução de 1,5 metros de altura. A pressão do ponto 2 é a pressão de trabalho do spray ball, ou seja, 2,5 bar. Lembrando que a altura da instalação do spray ball é a mesma altura do cordão de solda entre a cúpula e o cilindro:

$$\begin{aligned} \frac{p_1}{\lambda} + h_p - h_l &= \frac{p_2}{\lambda} + z_2 \\ 1,5 + h_p - 3,63 &= 25 + 4,9 \\ h_p &= 32,03m \end{aligned} \quad (60)$$

Determinado o ponto de operação da bomba, que é constituído de vazão e carga manométrica, seleciona-se a bomba.

A curva de perda de carga da bomba pode ser facilmente calculada, sabendo que a perda ocorre em função do quadrado da vazão.

$$\begin{aligned} h_p &= AQ^2 \\ h_f &= 0,128Q^2 \end{aligned} \quad (61)$$

Pelo gráfico, define-se todas as características construtivas da bomba e da potência do motor.

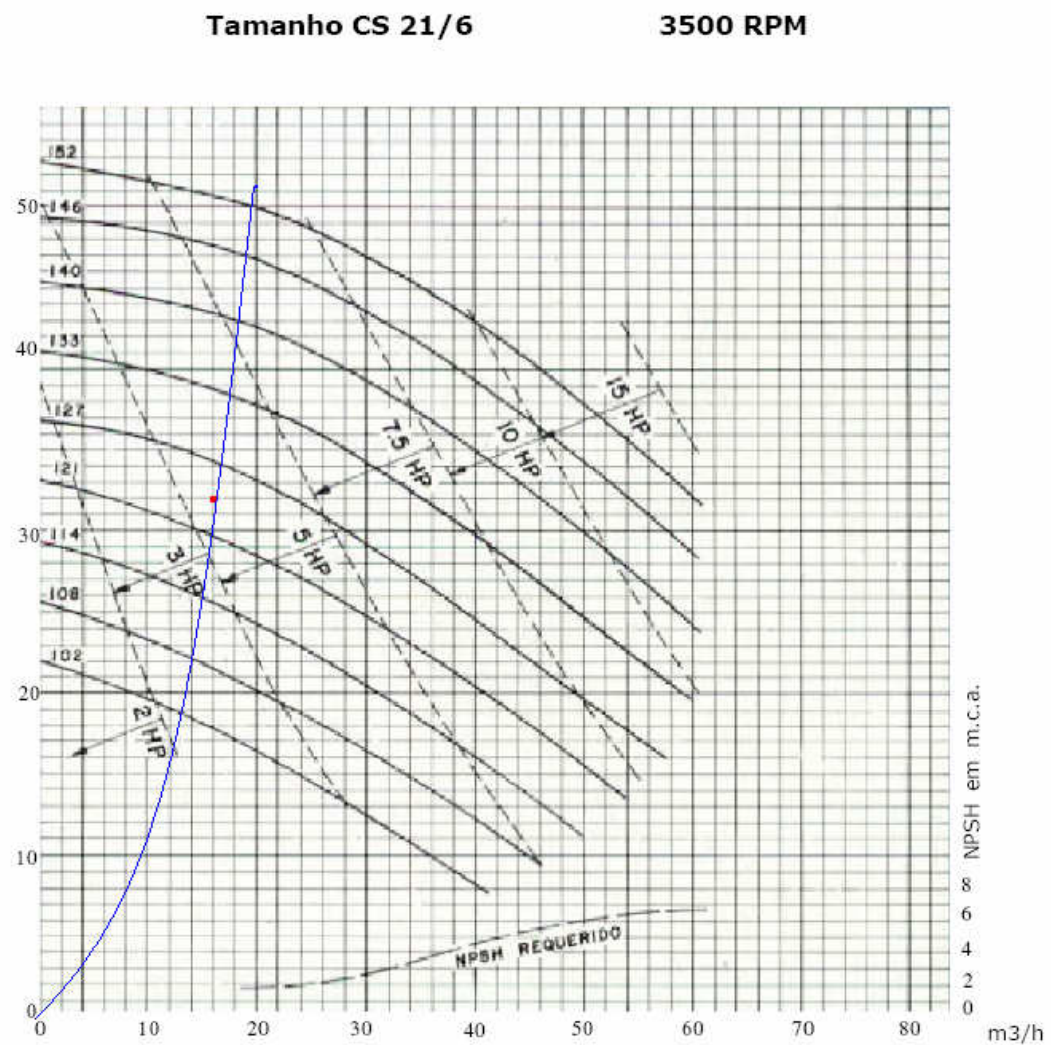


Figura 5.12: Curvas características da bomba e curva de perda de carga.

Bomba selecionada:

Fabricante: Alfa Laval

Modelo: CS 21/6

Rotação: 3500 Rpm

Diâmetro do rotor: 127 mm

Motor: 5 hp

Para o ponto de operação da bomba o NPSH não está definido. Porém por segurança opta-se por um NPSH de 1,5 metros.

- Determinação das dimensões e posicionamento do tanque de solução CIP.

A determinação das dimensões do tanque de solução CIP é baseada no cálculo de volume de solução do sistema e também do índice NPSH da bomba. Com o NPSH determinamos quanto esta bomba deve trabalhar afogada para não ocorrer à cavitação, portanto, a definição da altura da coluna de solução química durante a operação deve ser realizada. A altura do tanque em relação a bomba é outro parâmetro que deve ser determinado para se evitar a cavitação.

Os tanques de solução química são comumente constituídos de uma região cônica, na parte inferior do tanque e uma região cilíndrica na parte superior do tanque, conforme mostrado na FIG 5.15.

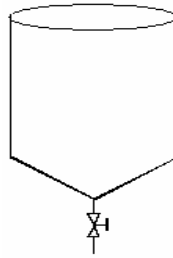


Figura 5.13: Esquema de um tanque CIP.

Tendo em vista as características construtivas pré-definidas, o volume do tanque determinado (300 litros) e supondo o diâmetro de 0,6 metros tem-se:

$$V_{\text{tanque}} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \left(H_{\text{cil}} + \frac{H_{\text{cone}}}{3} \right) \quad (62)$$

$$\left(H_{\text{cil}} + \frac{H_{\text{cone}}}{3} \right) = \frac{0,3.4}{\pi \cdot 0,6^2} \quad (63)$$

$$\left(H_{cil} + \frac{H_{cone}}{3} \right) = 1,06m \quad (64)$$

Considerando a altura do cone 0,6 metros, então a altura do cilindro deve ser:

$$H_{cil} = 0,82m \quad (65)$$

6. ANÁLISE DE REDUÇÃO DE CUSTOS DE HIGIENIZAÇÃO COM A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA CIP

Uma das principais vantagens ao se adotar um sistema CIP para a higienização de uma planta industrial é o benefício econômico. Este benefício se deve principalmente à redução de gastos com os produtos químicos que são utilizados na higienização. Este item do trabalho busca avaliar o montante de capital economizado com a operação do sistema CIP em detrimento ao método de higienização baseado na imersão e lavagem mecânica dos tanques através de esfregões. Para tanto será contabilizados o custo de projeto, fabricação, montagem e instalação de um sistema CIP em uma planta industrial, o valor despendido com químicos, e um custo adicional relativo ao valor gasto com energia elétrica para acionamento do sistema CIP. A estimativa de redução de custo será realizada para o caso real da indústria de café estudada.

Serão realizadas duas análises, sendo uma delas mais simples e outra mais completa. A primeira estimativa de redução de custo será feita apenas através da redução de solução química, com algumas hipóteses simplificadoras. A segunda análise será realizada através do método de luxo de caixa, ferramenta da administração financeira.

6.1. *Elaboração dos Cenários*

A elaboração dos cenários é a primeira etapa que deve ser realizada para permitir a estimação de redução de custos com a implantação da higienização com o sistema CIP. Ou seja, a comparação se dará entre a higienização dos tanques da planta industrial pelo

método convencional e a higienização com o sistema CIP. Abaixo serão descritas as características de cada um deles e com os respectivos custos de operação.

6.1.1. Cenário I – Higienização Convencional

O cenário I é o atual modelo de higienização dos tanques de armazenamento de produtos e sub-produtos da indústria de café. Se trata de um conjunto de dados reais que foram levantados através da visita a planta industrial. Alguns deles já foram apresentados anteriormente, durante a apresentação do problema. São eles:

- Higienização através do método da inundação dos tanques, mais limpeza manual por esfregões;
- A periodicidade da higienização não é bem definida. Ocorre junto a parada da produção, devido a manutenção e a limpeza da fábrica. Em média isso ocorre a cada 2 meses, variando de período a período do ano;
- Mesmo com uma periodicidade baixa, a planta não apresenta grandes problemas com contaminação da produção.
- Inundação de todo o volume do tanque com solução de NaOH entre 4% e 5% (base mássica);
- Os tanques permanecem inundados por um período aproximado de 12 horas;
- O volume de cada tanque se encontra nas TAB 5.1 e TAB 5.2.

Alguns destes dados coletados em campo podem ser confirmados pelo círculo de Sinner. A alta concentração da solução de NaOH (Soda cáustica) e o elevando tempo de inundação é uma consequência imediata da ausência da ação mecânica dentro do tanque. O alto tempo de inundação, porém, pode ser exagerado. Como a planta da fábrica se encontra parada durante a higienização, ou seja, sem, a necessidade de retomada imediata da produção, esse valor pode não representar um tempo mínimo e ideal para a higienização, portanto deve ser interpretado com ressalvas.

6.1.2. Cenário II – Higienização através de CIP

O cenário II é a realização da higienização através de um sistema CIP. No caso estudado, trata-se de uma proposta de um CIP móvel, pelas características da planta e das necessidades da empresa. Os dados apresentados abaixo são parâmetros utilizados nos demais projetos de CIP. O processo de higienização foi estudado através de aplicações práticas de modo a determinar concentração de solução, tempo de circulação, temperatura a fim de obter uma limpeza e desinfecção eficiente.

- Higienização através da circulação de solução de NaOH à 2,5% e temperatura ambiente (20°);
- Quinze minutos de circulação de solução nas paredes do tanque;
- Higienização a cada esvaziamento de um tanque de armazenamento. Na empresa visitada esse período de esvaziamento ocorre a cada 12 horas para cada tanque;
- A solução CIP mantém suas características de limpeza e desinfecção por aproximadamente 60 rotinas de CIP, com uma eventual correção de concentração através da adição de NaOH. Após a limpeza de 60 tanques a solução é descartada e preparada uma nova solução.

Em uma avaliação mais simplista, e que será apresentada mais adiante, o custo de projeto, fabricação, montagem e instalação do sistema pode ser ignorado, de modo a avaliar somente a redução referente a utilização do produto químico. Porém quando deseja-se uma avaliação de redução mais próxima da realidade, tem-se que considerar todos os custos, desde projeto até instalação e operação.

Para projetar um sistema CIP, o projetista requer o conhecimento técnico de algumas áreas de estudo, tais como a mecânica dos fluidos, máquinas de fluxo, seleção de materiais, corrosão, entre outros. Por isso, o projeto de um sistema CIP é geralmente feito por um engenheiro. O custo da hora do engenheiro ao projetar um CIP, assim como o tempo utilizado para o levantamento de dados em campo devem ser contabilizados e agregados no preço de venda do sistema. Além destes, estão contemplados os custos de

mão de obra para a montagem do CIP móvel e também de adaptação dos tanques da indústria de café.

Custo de projeto e instalação do CIP na indústria:

- R\$ 1.600,00 → 16 horas do engenheiro no levantamento de dados em campo;
- R\$ 1.600,00 → 16 horas de elaboração de projeto e proposta;
- R\$ 2.000,00 → 20 horas de acompanhamento da montagem em campo;
- R\$ 1.400,00 → Estadia e a passagem aérea para viagem à campo;
- R\$ 7.230,77 → 40 horas de mão de obra terceirizada para a instalação hidráulica no cliente.

Total (sem impostos): R\$ 13.830,77

Impostos (PIS + COFINS): 14,39 %

Total (com impostos): R\$ 15.821,01

Custo de Partes e Peças e pré-montagem:

É o custo com as partes e peças componentes do sistema CIP. Não é considerado neste, o custo com a montagem de todos os componentes que integram o sistema. Porém é considerado o custo de fabricação é pré-montagem do tanque CIP e plataforma móvel. Conforme detalhado anteriormente o projeto, os componentes do sistema CIP móvel e os respectivos custos estão apresentados abaixo:

- R\$ 12.000,00 → 2 Bombas Sanitárias CS 26/1 Alfalaval, Φ 127 mm;
- R\$ 241,23 → 1 CIP Timer;
- R\$ 1.000,00 → 4 conexões fêmea Mangueira;
- R\$ 100,00 → 1 Manômetro;
- R\$ 5.000,00 → Material de consumo para adaptação na planta industrial;

- R\$ 3.000,00 → Painelelétrico para alimentação do sistema;
- R\$ 540,00 → 3 spray balls;
- R\$ 12.000,00 → 1 tanque 300 litros, 1 plataforma móvel e pré-montagem montagem;
- R\$ 200,00 → 3 Tee's Aço Inox 304;
- R\$ 150,00 → 1 torneira coleta de amostra;
- R\$ 6.500,00 → 65 metros de mangueira flexível do tipo cervejeira;
- R\$ 250,00 → 2 metros de tubulação aço inox 304 para suporte para spray ball;
- R\$ 770,00 → 1 válvula micrométrica 2".
- R\$ 1.440,00 → 4 válvulas esferas 2" em aço inox 304.

Total (sem impostos): R\$ 43.191,23

Impostos (PIS + COFINS): 14,39 %

Margem de lucro + Margem de segurança: 55%

Total (com impostos + margens): R\$ 76.580,00

6.1.3. Características comuns aos cenários

- Mesmo tempo e quantidade de água de enxágüe para os tanques;
- Mesmo número de operadores para o processo de higienização;
- Preço da soda cáustica comercial (49% em base mássica) por tonelada R\$ 1.161,83;

6.2. *Análise simplificada de redução de custo*

Nesta primeira análise de estimação da redução de custo avalia-se somente o custo de produção de solução química. Para o cenário I, ou seja, higienização convencional, a solução química utilizada tem 4,5% de NaOH e o cenário II utiliza uma solução de 2,5% de NaOH. Essa redução de concentração é justificada pelo círculo de Sinner. Uma das hipóteses simplificadoras adotadas nesta primeira análise é o descarte e formulação de uma nova solução, tanto para o cenário I quanto para o cenário 2.

- Cenário I:

Avaliando o custo de 1000 Litros de solução de soda à 4,5%:

$$1000L.sol \times \frac{45g.NaOH}{1L.sol} \times \frac{100mL.sol.conc}{49g.NaOH} \times \frac{1,53g.sol.conc}{1mL.sol.conc} \times \frac{1ton}{10^6 g.sol.conc} \times \frac{R\$1161,83}{1ton}$$

$$= R\$163,25$$

(66)

Para a higienização de todos tanques da indústria de café estudada, o cenário I requer, 233.000 litros de solução à 4,5% de soda. Este valor é referente a soma de todos os volumes dos tanques, lembrando que a higienização ocorre por inundação. Assim, o custo total de limpeza e desinfecção da planta industrial é:

$$233000L.sol \times \frac{R\$163,25}{1000L.sol} = R\$38.037,25$$

(67)

- Cenário II:

Agora, elaborando 1000 Litros de solução de soda à 2,5%, tem-se:

$$1000L.sol \times \frac{25g.NaOH}{1L.sol} \times \frac{100mL.sol.conc}{49g.NaOH} \times \frac{1,53g.sol.conc}{1mL.sol.conc} \times \frac{1ton}{10^6 g.sol.conc} \times \frac{R\$1161,83}{1ton}$$

$$= R\$90,70$$

(68)

Para a higienização de cada tanque da indústria de café, são necessários a circulação de 300 Litros de solução de NaOH à 2,5%. Ao fim de cada higienização a solução é descartada, por hipótese. Como a indústria possui 33 tanques, então são necessários 9900 litros de solução de NaOH. Então:

$$9900L.sol \times \frac{R\$90,70}{1000L.sol} = R\$897,93$$

(69)

A redução de custos estimadas neste caso é da ordem de 97 % na planta da fábrica, reduzindo R\$ 37.139,32 a cada higienização.

6.3. Análise por fluxo de caixa

O método que será utilizado para estimar a redução de custos é o método de fluxo de caixa, ferramenta da administração financeira. Este método se mostra mais adequado, pois é necessária a criação de dois cenários diferentes: Higienização convencional e higienização por CIP. Em cada um destes cenários os investimentos ocorrem em períodos diferentes. Para uma comparação mais adequada será pré-determinado um período de estudo, comum aos dois casos e comparado os valores presentes líquidos para as duas soluções.

A análise por fluxo de caixa é uma análise bastante completa. Dentro do fluxo de caixa entram todas as despesas ao longo de um determinado período, tais como, aquisição de um sistema, despesas com energia elétrica, despesas com solução química, podendo ainda conter outros tipos de despesas complementares.

6.3.1. Fluxo de caixa - Higienização Convencional

Os fluxos de caixa da higienização dos tanques através do método convencional é bastante simples. Estes fluxos estão apresentados na TAB 6.1 e TAB 6.2.

	0	1		11	12	VPL
Solução Química		(38.037,25)		(38.037,25)		
TOTAL		(38.037,25)		(38.037,25)		(R\$ 220.831,79)

Tabela 6.1: Fluxo de caixa do modelo atual de higienização em período de 12 meses.

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

Tabela 6.2: Fluxo de caixa do modelo atual de higienização em período de 24 meses.

O primeiro fluxo de caixa avalia as despesas com a higienização dos tanques do 3º e 4º andares, em um período de 12 meses. No segundo fluxo, o período é ampliado para 24 meses. Conforme descrito anteriormente, as despesas com a preparação da solução química ocorre a cada 3 meses, já que a higienização ocorre quando a planta está parada. A sigla VPL é uma abreviação para valor presente líquido, que converte todos os valores gastos em diferentes períodos para uma soma em um mesmo período, neste exemplo, em um instante 0 (zero). A taxa de juros utilizada na conversão foi baseada na taxa Selic (12% a.a). Convertendo esse valor para uma taxa mensal equivalente, tem-se:

$$i = \sqrt[12]{(1 + 0,12)} - 1$$

$$i = 0,95\%a.m$$
(70)

6.3.2. Fluxo de caixa – Higienização CIP

O fluxo de caixa da higienização através do conceito CIP leva em consideração as despesas com a aquisição do sistema, preparação de solução química e ainda o consumo de energia elétrica. As eventuais despesas adicionais foram desconsideradas. Existem outros custos indiretos, como por exemplo, o custo com mão de obra e o custo

com água para enxágüe. Porém como estas despesas são comuns a ambos os casos, elas foram omitidas no fluxo de caixa.

Antes da construção do fluxo de caixa ainda é necessário calcular cada uma das despesas separadamente.

- Aquisição e instalação do sistema:

O custo de aquisição e instalação de cada um dos sistemas CIP móvel é de R\$ 92.401,01. Este valor encontra-se detalhado no item 6.1.2.

- Custo com preparação de solução química:

Como o estudo de redução de custos é um estudo comparativo, a despesa com a reparação de solução química deve ser calculada e apresentada em períodos de um mês, da mesma forma do fluxo anterior. As principais hipóteses adotadas foram apresentadas no item 6.1.2. O resultado foi multiplicado por um fator 1,1 (10 %) e se refere ao custo adicional com a correção da concentração da solução química. O valor de R\$ 27,20 é referente ao custo de preparação de 300 litros de solução. Acima, foi apresentado o custo de preparação de 1000 litros, ou seja, por proporcionalidade chega-se ao respectivo número. Por fim, a cada 12 horas todos os tanques da empresa são limpos e higienizados, por hipótese.

$$30Dias \times \frac{24Horas}{1Dia} \times \frac{33CIPs}{12Horas} \times \frac{R\$27,20}{60CIP} \times 1,1 = R\$987,36 \quad (71)$$

- Custo com energia elétrica:

A despesa com energia elétrica pode ser calculada através da potência elétrica multiplicada pelo tempo de funcionamento do sistema. Através dessa energia consumida e tendo em mãos a tarifa de energia, obtém-se o custo. Por sua vez a potência elétrica é obtida através da potência fornecida ao fluido e corrigida pelo rendimento da máquina em questão, neste caso as bombas centrífugas. O rendimento está sendo considerado igual a 90%, por hipótese. O consumo de energia será calculado separadamente para os dois diferentes sistemas, já que os pontos de operação das bombas são distintos, embora o modelo seja o mesmo.

Consumo de energia CIP 3º Andar

$$P_{fluido3} = Q \cdot \gamma \cdot h_p \quad (72)$$

$$P_{fluido3} = \frac{15,8}{3600} \cdot 10^4 \cdot 32,03 \quad (73)$$

$$P_{fluido3} = 1405,3W \quad (74)$$

$$P_{elétrica3} = \frac{P_{fluido3}}{\eta} \quad (75)$$

$$P_{elétrica3} = 1561,5W \quad (76)$$

Como cada CIP móvel possui 2 bombas, uma de avanço e outra de retorno, então:

$$P_{elétrica3} = 3123W \quad (77)$$

No 3º andar são realizados 840 rotinas CIP ao longo de 30 dias:

$$30Dias \times \frac{24Horas}{1Dia} \times \frac{14CIPs}{12Horas} = 840CIP's \quad (78)$$

Em cada rotina CIP, existem dois processos. O primeiro processo é a circulação de solução de NaOH. Esta etapa dura em torno de 15 min. A segunda etapa ocorre o enxágüe do tanque com água. Esta etapa dura em torno de 10 min. Ou seja, a cada rotina de higienização CIP os equipamentos, principalmente a bomba, permanecem alimentados 25 minutos.

Assim a energia elétrica gasta em 1 mês, com a higienização do 3º andar é:

$$E_3 = P_{elétrica} \cdot \Delta t \quad (79)$$

$$E_3 = 3123 \cdot \frac{25}{60} \cdot 840 = 1093,05 KWh \quad (80)$$

Consumo de energia CIP 4º Andar:

$$P_{fluido4} = Q \cdot \gamma \cdot h_p \quad (81)$$

$$P_{fluido4} = \frac{13,27}{3600} \cdot 10^4 \cdot 33,54 \quad (82)$$

$$P_{fluido4} = 1236,5W \quad (83)$$

$$P_{elétrica4} = \frac{P_{fluido4}}{\eta} \quad (84)$$

$$P_{elétrica4} = 13741W \quad (85)$$

Como cada CIP móvel possui 2 bombas, uma de avanço e outra de retorno, então:

$$P_{elétrica4} = 2748W \quad (86)$$

No 4º andar são realizados 1140 rotinas CIP ao longo de 30 dias:

$$30Dias \times \frac{24Horas}{1Dia} \times \frac{19CIPs}{12Horas} = 1140CIP's \quad (87)$$

Em cada rotina CIP, existem dois processos. O primeiro processo é a circulação de solução de NaOH. Esta etapa dura em torno de 15 min. A segunda etapa ocorre o enxágüe do tanque com água. Esta etapa dura em torno de 10 min. Ou seja, a cada rotina de higienização CIP os equipamentos, principalmente a bomba, permanecem alimentados 25 minutos.

Assim a energia elétrica gasta em 1 mês, com a higienização do 4º andar é:

$$E_4 = P_{elétrica4} \cdot \Delta t \quad (88)$$

$$E_4 = 2748 \cdot \frac{25}{60} \cdot 1140 = 1305,3 KWh \quad (89)$$

Consumo e custo total com energia elétrica:

O consumo mensal de energia elétrica do sistema CIP é:

$$E_{total} = E_3 + E_4 \quad (90)$$

$$E_{total} = 3298,35 KWh \quad (91)$$

O faturamento é baseado na aplicação de uma tarifação binômia, composta de duas grandezas: consumo(kWh) e demanda (kW). Existem dois modelos de tarifação, denominado de convencional e horo-sazonal. Devido a isso, é difícil estimar o valor da tarifa da empresa de café em questão. A tarifa estimada, baseada em pesquisa no site da Saelpa, é de R\$ 0,14 por KWh. Logo, mensalmente se gasta R\$461,77 com energia elétrica.

Desta forma, os fluxos de caixas, para 12 e 24 meses estão apresentados abaixo:

	0	1		11	12	VPL
Compra do CIP	(184.802,02)					
Solução Química		(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)	(201.277,81)

Tabela 6.3: Fluxo de caixa do modelo de higienização CIP em período de 12 meses.

	0	1		23	24	VPL
Compra do CIP	(184.802,02)					
Solução Química		(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)

Tabela 6.4: Fluxo de caixa do modelo de higienização CIP em período de 24 meses.

A TAB. 6.5 mostra um quadro resumo da estimativa de redução de custo através do método de fluxo de caixa. Uma breve análise permite perceber que o retorno do investimento da aquisição do sistema CIP ocorre entre 10 e 11 meses. O valor economizado no 12 mês não é expressivo, porém, se a mesma análise for feita para um período de 24 meses, esse valor é bastante expressivo.

6 Meses			
	VPL	Saving	% de Redução
Hig. Convencional	(R\$ 111.979,95)	(R\$ 81.576,85)	-72,8%
Hig. CIP	(R\$ 193.556,80)		
12 meses			
	VPL	Saving	% de Redução
Hig. Convencional	(R\$ 220.831,79)	R\$ 19.553,98	8,9%
Hig. CIP	(R\$ 201.277,81)		
24 meses			
	VPL	Saving	% de Redução
Hig. Convencional	(R\$ 429.498,22)	R\$ 212.595,34	49,5%
Hig. CIP	(R\$ 216.902,88)		
36 meses			
	VPL	Saving	% de Redução
Hig. Convencional	(R\$ 626.669,46)	R\$ 397.546,72	63,4%
Hig. CIP	(R\$ 229.122,73)		

Tabela 6.5: Tabela resumo dos fluxos de caixa.

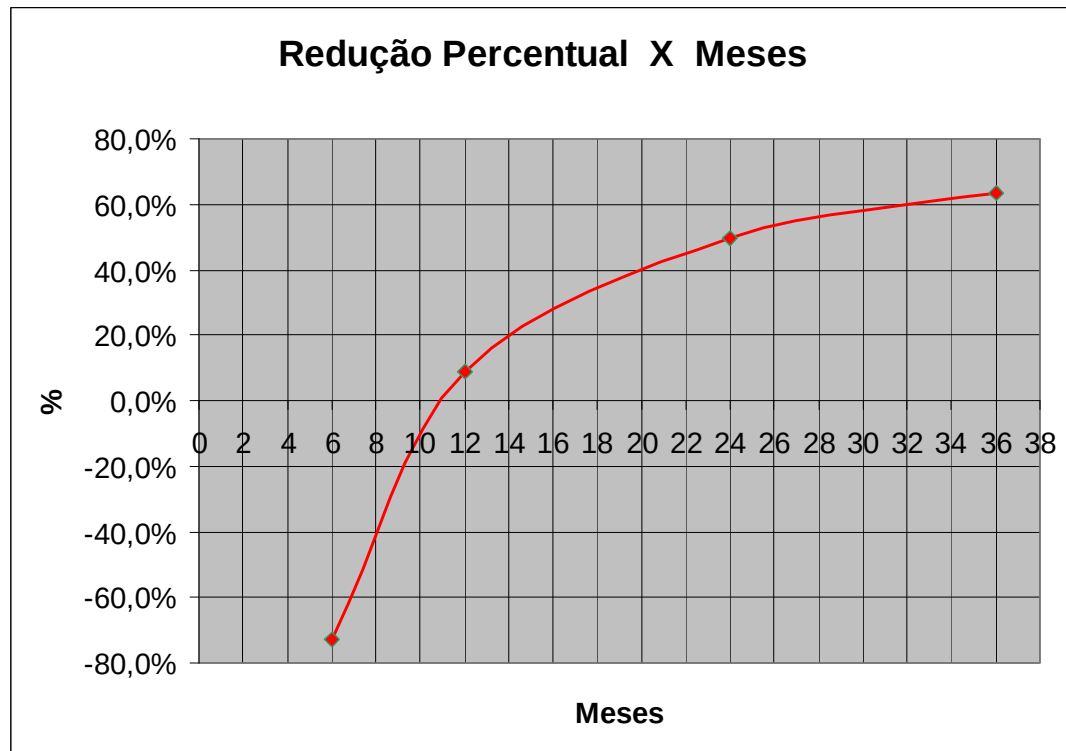


Figura 6.1: Gráfico de redução de custos.

Discussão

1. Os valores negativos de redução percentual indicam na verdade uma quantidade adicional gasta com o sistema CIP se comparado com a higienização convencional. Os valores negativos até o 11º mês são reflexos da aquisição do sistema.
2. O Pay Back do sistema ocorre em torno do 11º mês.
3. A partir do 11º mês o cliente já obtém redução líquida de despesas com produtos químicos.
4. A curva mostrada no gráfico tende assintoticamente a 70% de redução, ou seja, o CIP instalado, em funcionamento a longo prazo, gera um redução de custos da

ordem de 70% do que gastaria com um método de higienização convencional por imersão.

7. AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA CIP

Conforme foi apresentado no capítulo 3, os sistemas CIP podem ser manuais ou automáticos. Em um CIP manual, todos os acionamentos dos equipamentos e alterações do processo de higienização são comandados por um operador, tais como o acionamento e desligamento das bombas de avanço e retorno, alteração nos estados de válvulas de fluxo, temporização de processos, entre outros. Esse tipo de solução exige um operador treinado com bons conhecimentos do equipamento e do processo. O sistema CIP manual também é bastante suscetível a erros de processos por parte do operador, ou mesmo falta de padronização. Já um sistema CIP automático, os acionamentos, ou parcialmente ou em sua totalidade, são executados automaticamente por equipamentos eletrônicos.

O capítulo visa apresentar um sistema CIP automático com seus respectivos instrumentos de medição e controle e respectivo diagrama elétrico da solução.

7.1. Automação

O controle manual de um sistema ou de uma variável física implica em se ter um operador presente ao processo com o objetivo de operar um aparelho qualquer, como por exemplo válvulas, alavancas, chaves, produzindo alterações desejadas naquela variável.

No início da industrialização, os processos industriais utilizavam o máximo da força da mão-de-obra, para controlar manualmente cada uma das variáveis. A produção era composta por etapas ou estágios, nos quais as pessoas desenvolviam sempre as mesmas funções, especializando-se em certa tarefa ou etapa da produção. Assim temos o princípio da produção seriada.

Com o passar do tempo e a valorização do trabalhador, foi preciso fazer algumas alterações nas máquinas e equipamentos, de forma a resguardar a mão-de-obra de algumas funções inadequadas à estrutura física do homem. A máquina passou a fazer o trabalho mais pesado e o homem, a supervisioná-la.

Em princípio, qualquer grandeza física pode ser controlada, isto é, pode ter seu valor intencionalmente alterado. Obviamente, há limitações práticas. Uma das inevitáveis é a restrição da energia de que dispomos para afetar os fenômenos: por exemplo, a maioria das variáveis climatológicas poder ser medida, mas não controlada, por causa da ordem de grandeza da energia envolvida.

Com a finalidade de garantir o controle do sistema de produção, foram colocados sensores nas máquinas para monitorar e indicar as condições do processo. Os sensores são elementos que permitem a medição de grandezas físicas em um dado processo. Estes equipamentos também são comumente chamados de equipamentos de instrumentação.

Através da aquisição dos parâmetros físicos e seu posterior processamento é possível efetuar o controle do sistema através de acionamento de atuadores. Os diferentes tipos de controle estão listados abaixo.

- Controle Automático: O controle diz-se automático quando uma parte, ou a totalidade, das funções do operador é realizada por um equipamento. Frequentemente esse controle é realizado eletronicamente, mas não necessariamente. Um exemplo de controle que não é realizado eletronicamente é automação fluido-mecânica.
- Controle Automático por Realimentação: O controle automático por realimentação é realizado por um equipamento automático que age sobre o elemento de controle, baseando-se em informações de medida da variável controlada. O exemplo mais comum de controle por realimentação é o controle de temperatura de um refrigerador.
- Controle Automático por Programa: O controle *automático por programa* envolve a existência de um programa de ações, que se cumpre com base no decurso do tempo ou a partir de modificações eventuais em variáveis externas ao

sistema. No primeiro caso temos um programa temporal e no segundo um programa lógico.

A automação de sistemas tornou-se bastante viável à medida que a eletrônica avançou. O avanço tecnológico permitiu a construção de circuitos capazes de realizar funções lógicas e aritméticas. Os sinais de entrada são processados nestes circuitos e geram respectivos sinais de saída. Estes sinais de saída comandam os atuadores que são capazes de alterar as variáveis físicas dos sistemas. Com este avanço, o controlador, os sensores e os atuadores passaram a funcionar em conjunto, transformando processo em um sistema automatizado, onde o próprio controlador toma decisões em função da situação dos sensores e aciona os atuadores.

Os primeiros sistemas de automação operavam por meio de sistemas eletromecânicos, com relés e contatores. Neste caso, os sinais acoplados à máquina ou equipamento a ser automatizado acionam circuitos lógicos a relés que disparam as cargas e atuadores.

Ainda com o avanço da eletrônica, os sistemas eletrônicos passaram a incorporar unidades de memória. O aumento da capacidade de memória dos sistemas de controle fez com que diversas informações fossem armazenadas nos controladores, possibilitando assim o controle de diversas etapas do processo.

7.2. Central CIP modelo

Todo projeto de automação de uma central CIP é uma solução particular para um determinado caso, determinada aplicação. Basicamente a automação varia de acordo com a quantidade de processos, com o número de entradas e saídas analógicas e digitais, entre outros. Em um sistema CIP pode-se dizer de forma simplista que a automação depende da quantidade de tanques que a central CIP possui. Isso porque, de maneira geral, a quantidade de tanques é um indicativo da quantidade de processos que a central CIP realiza.

Desta forma, ao invés de estudar a automação de um sistema CIP móvel projetado para a indústria de café, que é um sistema bastante simples e com poucos elementos, será estudada a automação de uma Central CIP modelo.

A central que será utilizada como modelo é uma típica central utilizada em indústrias de bebidas de grande porte. Nestas indústrias é utilizado um CIP padrão com 4 tanques CIP onde cada um dos tanques armazenam os seguintes produtos:

- Um tanque de solução alcalina: Utilizada para remoção partículas orgânicas (usualmente se utiliza NaOH)
- Um tanque de solução ácida: Utilizada para remoção de partículas inorgânicas (usualmente é utilizados os ácidos fosfórico e peracético)
- Um tanque de água limpa: Utilizada para o enxágüe após a última lavagem.
- Um tanque de água recuperada: Utilizada na pré-lavagem da instalação produtiva. A água recuperada é a água utilizada no último enxágüe e armazenada no tanque.

7.2.1. Fluxograma da central CIP modelo

A figura abaixo representa a Central CIP, alvo do estudo de automação. Neste fluxograma estão indicados os seguintes, partes, peças e equipamentos principais:

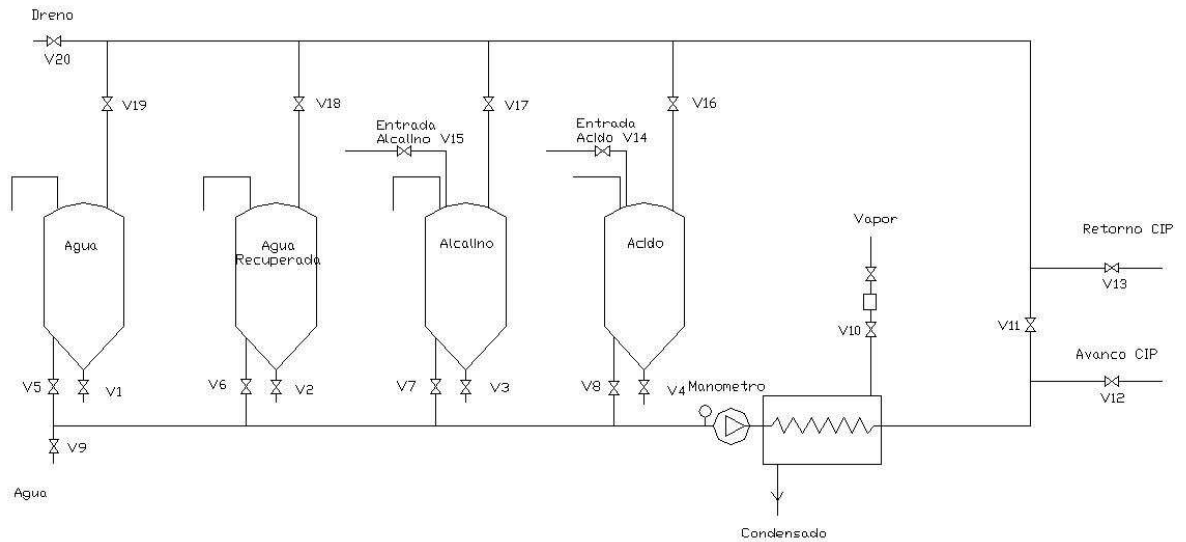


Figura 7.1: Fluxograma do sistema CIP modelo

- Quatro (4) tanques CIP para solução química, sendo eles: Um tanque de água tratada, um tanque de água recuperada, um tanque de solução alcalina, um tanque de solução ácida;
- Uma (1) bomba centrífuga radial.
- Um (1) trocador de calor;
- Válvulas V1, V2, V3, V4 e V20: válvulas de fluxo para descarte de solução para dreno;
- Válvulas V5, V6, V7 e V8: válvulas de fluxo para o avanço de solução CIP para a linha;
- Válvula V9: válvula de entrada de água na linha;
- Válvula V10: válvula de entrada de vapor de água para o trocador de calor;
- Válvulas V11, V12 e V13: válvulas para controle do avanço e retorno de solução CIP para a instalação produtiva da planta industrial;
- Válvulas V14 e V15: válvulas de entrada de solução química concentrada para os tanques da central CIP;
- Válvulas V16, V17, V18 e V19; válvulas de retorno de solução CIP da linha para os tanques CIP.

Conforme pode ser verificado no fluxograma, a instalação produtiva não está indicada explicitamente no fluxograma. O avanço e retorno estão apenas representados através de uma linha de entrada e de retorno de solução. Entre as válvulas V12 e V13 podem estar instalados em linha tanques de armazenamento, tubulações produtivas, trocadores de calor, mixers, cozinhadores, adegas de fermentação e maturação entre outros. Não há nenhum outro dispositivo de controle entre as válvulas V12 e V13 que devem ser considerados para a automação.

7.2.2. Características da central CIP

A principal característica da central CIP é a quantidade de tanques que podem ser adotados no sistema. Um CIP móvel possui 1 ou 2 tanques no máximo pois é fundamental a mobilidade do sistema. Já uma central pode conter um número maior de tanques, já que a instalação é fixa. A adoção de um ou mais tanques está relacionada com os diferentes tipos de soluções químicas utilizadas para a lavagem dos tanques. Lembrando que esta decisão leva em conta o nível de sujidade e do tipo de sujidade (orgânica e inorgânica). De modo geral, elevados níveis de sujidade necessitam de uma lavagem alcalina e de uma lavagem ácida para a completa remoção das partículas. O mesmo ocorre com camadas espessas de sujidades orgânicas. Ou seja, a central utilizada como modelo, é um sistema com capacidade de higienização de níveis elevados de sujidade orgânica e inorgânica.

Outra grande diferença entre a central CIP apresentada e o CIP móvel projetado anteriormente é a existência de uma malha fechada entre os 4 tanques CIP, bomba e trocador de calor, ou seja, excluindo as instalações produtivas da indústria. Pode-se considerar ainda a existência de outra malha fechada, maior que a primeira, englobando agora a instalação industrial, de acordo com a abertura e fechamento de determinadas válvulas. A malha fechada menor, entre os tanques, a bomba e o trocador de calor é utilizada exatamente quando se deseja adotar um sistema automatizado. Quanto menor a malha, maior é a rapidez e a precisão obtida na preparação das soluções químicas.

O trocador de calor, para o aquecimento da solução CIP, é outro equipamento que é comumente utilizado em centrais CIP. A temperatura, conforme apresentado pelo círculo de Sinner, é um fator que influencia na higienização. Ou seja, o aquecimento da solução é mais um auxílio para a remoção das sujidades.

7.2.3. Processo de higienização através de uma Central CIP

O processo de higienização através de uma central CIP difere do processo de higienização de um CIP móvel, como aquele projetado nos capítulos anteriores. Isso porque é possível apenas um tipo lavagem, no CIP móvel de tanque único. Além disso, a solução química percorre um único caminho dentro do sistema. O fluido armazenado no tanque CIP percorre a tubulação flexível, atravessa o tanque produtivo da planta industrial e retorna ao tanque CIP através de uma outra tubulação flexível. Já a solução química, em uma central CIP, pelo simples fato de possuir 4 tanques de processo, não possui um único caminho a percorrer. A configuração com 4 tanques contém diversas ramificações na tubulação, de modo a dirigir a solução para os locais adequados, de acordo com a etapa do processo. Logo, é extremamente necessário compreender todo o processo de higienização antes de fazer a automação e controle do processo. Convém comentar também que a existência de ramificações exige o posicionamento criterioso de válvulas hidráulicas em determinados trechos de tubulação, com a finalidade de evitar a mistura de 2 soluções químicas diferentes.

Com o objetivo de desenvolver uma automação mais completa, será considerado o seguinte processo de higienização. Todas as etapas listadas abaixo são realizadas com a bomba em funcionamento e com o sistema de controle ativado, auxiliando o processo. Considera-se ainda que no início do processo de lavagem todas as soluções ácidas e básicas já estão preparadas, na concentração de 2,5%.

1. Pré-enxágue da linha produtiva (5 minutos): A água utilizada no pré enxágüe é a água recuperada do ultimo enxágüe realizado pelo sistema CIP. Esta água contém residual de solução ácida, resultado da ultima lavagem ácida. Este residual colabora com a remoção da primeira camada de incrustação. Quando

em regime permanente, o sistema opera com as válvulas V6, V12, V13 e V18 abertas e as demais válvulas fechadas. Após o término desta etapa todas as válvulas são fechadas e a válvula V2 se abre para escoar a solução para dreno.

2. Lavagem alcalina da linha produtiva (15 minutos): Ao termino da etapa de pré-lavagem o sistema passa a circular solução alcalina. Esta solução, já preparada anteriormente, circula em uma concentração de 2,5% à 3 %. Durante esta etapa, em regime permanente, as válvulas V7, V12, V13 e V17 se encontram abertas enquanto a as demais permanecem fechadas.
3. Lavagem ácida da linha produtiva (15 minutos): Na seqüência do processo é realizada a lavagem ácida. De forma semelhante a anterior, a solução de ácido, preparada anteriormente, circula à uma concentração de 2,5% à 3 %. Em regime permanente, às válvulas V8, V12, V13 e V16 permanecem abertas enquanto as demais permanecem fechadas.
4. Enxágüe (10 minutos):O enxágüe é a última etapa do processo de higienização. A linha de produção, logo após o enxágüe já recebe os produtos, subprodutos e matérias primas de produção. Assim é fundamental que a água para enxágüe seja tratada. Em regime permanente, as válvulas V5, V12, V13 e V19 se encontram abertas e as demais fechadas. Ao termino do enxágüe a água utilizada é encaminhada para o tanque de água recuperada, através da abertura das válvulas V5, V11 e V18 e fechamento das demais.

7.3. Equipamentos básicos para a automação CIP

Para efetuar a automação eletrônica dos processos de higienização é necessária a inclusão de alguns equipamentos e instrumentos básicos na central CIP. Estes equipamentos podem ser divididos em três classes distintas:

- Sensores ou instrumentação: Elementos responsáveis pela aquisição de dados do sistema. Estes elementos captam determinada variável física e transmitem esta variável física através de sinais elétricos.
- Controlador: Elemento responsável pela captação dos sinais elétricos transmitidos pelos elementos sensores, processamento dos sinais elétrico e tomada de decisões de controle. Estas decisões de controle são enviadas aos elementos atuadores através de sinais elétricos. Existem diversos tipo de controladores: Aqueles com entrada e saída analógica, aqueles com entrada e saída digital e controladores com entradas e saídas analógicas e digitais. Estes últimos possuem em sua eletrônica conversores AD e DA. Alguns controladores podem possuir em sua eletrônica um programa ou uma rotina armazenada em sua memória contendo as informações e condições que delimitam o controle de um sistema. Estas condições podem ser ajustadas facilmente no equipamento. Geralmente este tipo de equipamento é microprocessado. Existem, porém, controladores totalmente analógicos onde as condições de controle são reguladas através de potenciômetros incorporados na eletrônica do equipamento.
- Atuadores: São elementos que através de sinais elétricos podem causar uma variação de estado de algum elemento, ou até mesmo causar uma alteração em alguma variável física do sistema.

Basicamente em um projeto de automação, os sensores, o controlador e os atuadores são definidos em função das variáveis que se deseja controlar no processo. Como é de interesse fazer a automação de sistemas CIP, é de extrema importância a definição de cada um dos parâmetros de importância para a perfeita higienização da instalação industrial. Ou seja, a alteração destes parâmetros pode trazer resultados indesejados ao término do processo. Os parâmetros importantes para uma limpeza e desinfecção adequadas em um sistema CIP são: tempo de cada etapa de lavagem, temperatura da solução química, concentração de solução química.

Em um sistema CIP, a automação deve garantir, além do controle das lavagens dos equipamentos industriais, todo o processo de preparação da solução química e o descarte da solução para dreno, quando necessário. Idealmente, o trabalho do operador deve estar restrito apenas ao acionamento do sistema através de uma botoeira e o acompanhamento do status do processo via sinais de alerta ou emergência. Desta forma, com os parâmetros já definidos os equipamentos necessários para a automação do sistema CIP são:

- Sensor e transmissor de temperatura: O sensor de temperatura é o elemento responsável pela medição de temperatura do meio em que ele está inserido. Usualmente são utilizados elementos resistivos que têm seu valor de resistência alterado linearmente em função da temperatura. Exemplos destes são o PT 100 e o PT 1000. Os valores 100 e 1000 indicam o valor de resistência à 0°. O sinal de resistência, ou voltagem, é convertido em um sinal 4 à 20 mA através de um transmissor. A utilização deste tipo de sinal está relacionada ao tipo de controlador utilizado para o controle. O sensor de temperatura é instalado na saída do trocador de calor.
- Condutivímetro: O condutivímetro é um equipamento que afere a concentração de uma solução química através da medida de condutividade desta solução. A medida de condutividade é dada em S (Siemens). Os condutivímetros modernos possuem em seu interior as curvas que relacionam condutividade e concentração

para soluções amplamente utilizadas, tais como NaOH e alguns ácidos. Os sistemas CIP exigem que o sensor utilizado para a medição de condutividade seja do tipo indutivo. Uma bobina induz uma corrente elétrica no fluido medido através do campo magnético. Por sua vez, essa medida de corrente induz um campo magnético em uma outra bobina fazendo a medida da condutividade. O nível de sujeira do tanque e do próprio sensor não interfere na medição de condutividade. O outro tipo de sensor existente é o sensor condutivo. Ele gera uma medida direta através da indução de corrente entre dois pólos do sensor. Esse tipo de sensor não é indicado pois a incrustação de sujeiras nos seus pólos, interferem negativamente na medição de condutividade. É importante também que o condutivímetro possua em sua eletrônica uma compensação de temperatura, pois acréscimo de temperatura afeta a leitura de condutividade, pois quanto maior a temperatura maior a mobilidade iônica da solução, ou seja, em uma temperatura elevada a medição indicará uma concentração maior do que concentração real. O condutivímetro é instalado na linha de retorno da malha fechada.

- Sensor de nível: Como as soluções químicas são armazenadas em tanques e ainda se deseja automatizar o processo de enchimento destes e preparação das soluções químicas, são necessários sensores de nível em cada um dos tanques. Estes sensores geram uma saída digital de 24Vcc quando o fluido está em contato com o corpo do sensor, e 0 Vcc quando não há fluido em contato. Para a automação do sistema mostrado no fluxograma, são instalados 3 sensores em cada um dos tanques, um deles indicando nível baixo, outro indicando nível alto e o último indicando nível alto de emergência.
- CLP (Controlador Lógico Programável) : São controladores de lógica de controle programáveis. A estrutura de um CLP pode ser dividida em 3 partes: entradas, unidade central de processamento e saídas. Os sinais de entrada e saída dos CLPs podem ser digitais ou analógicos. As entradas analógicas são convertidas em

senais digitais de 12 bits através de conversores A/D. Por sua vez, as saídas analógicas são convertidas em conversores D/A. Os sinais dos sensores são aplicados às entradas do controlador e a cada ciclo (varredura), todos esses sinais são lidos e transferidos para a unidade de memória interna denominada memória imagem de entrada. Um acessório importante dos CLPs são as IHMs (Interface Homem-Máquina), que é um painel de controle programável que apresenta para o usuário mensagens de acordo com as condições dos sinais de entrada e saída, permitindo que um operador normal tome ciência da condição do sistema ou equipamento que está sendo controlado. Este acessório é utilizado como sistema supervisor e apresenta mensagens de emergência ou de parada por problemas técnicos.

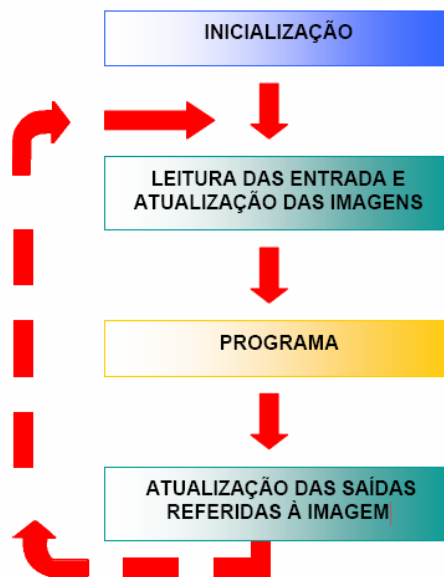


Figura 7.2: Ciclo de processamento dos CLPs.

- Válvulas solenóides: As válvulas solenóides são válvulas hidráulicas que têm a sua abertura e fechamento controladas por sinais elétricos. Válvulas deste tipo possuem apenas 2 estados: aberto e fechado. Aplicada uma determinada voltagem na válvula, um elemento é deslocado por um elemento solenóide,

causando a abertura e o fechamento da válvula. Para a especificação das válvulas são necessários o diâmetro da tubulação e a voltagem de alimentação destas válvulas. Existem válvulas com diferentes entradas, tais como 24 Vcc, 110 Vcc e 220 Vcc. Todas as válvulas, exceto a válvula de entrada de vapor, são válvulas solenóides, pois necessitam apenas de 2 estados.

- Válvulas proporcionais: São válvulas solenóides semelhantes às válvulas anteriores, mas podendo assumir diferentes condições de abertura. É possível através deste tipo de válvula obter quaisquer aberturas parciais da tubulação, entre o estado totalmente aberto e fechado. Este comando é possível através da alimentação analógica da válvula solenóide entre quaisquer valores especificados pelo fabricante. Existem válvulas com diferentes entradas, tais como 24 Vcc, 110 Vcc e 220 Vcc. No sistema CIP a ser automatizado, essa válvula é instalada na linha de vapor da entrada do trocador de calor. Com isso se consegue a modulação da entrada de vapor, ou seja, um controle de vazão do vapor.

7.4. Fluxograma do CIP controlado

A **fig. 7.2** mostra todos os sensores e atuadores posicionados nos devidos locais, já considerando o sistema automatizado.

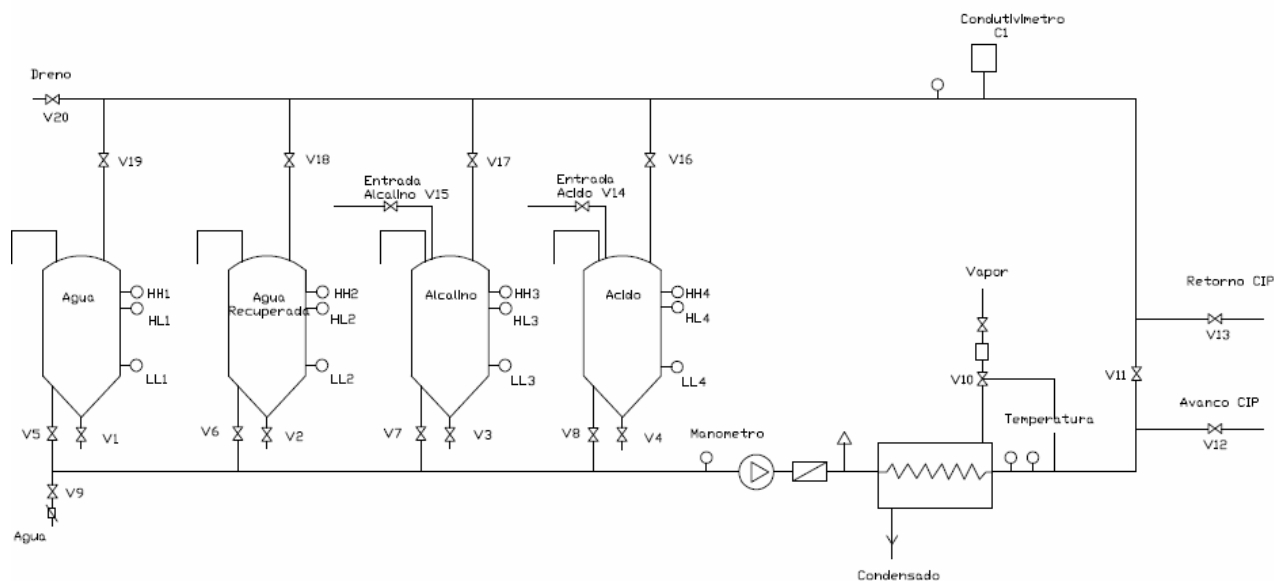


Figura 7.3: Fluxograma do sistema CIP controlado.

7.5. Lógica de programação do CLP

Todos os atuadores indicados acima devem ser controlados de maneira coordenada visando a automação satisfatória do sistema. O elemento responsável por toda essa coordenação é o CLP. Toda ação do CLP é baseada em uma programação prévia do circuito e também das informações recebidas pelos sensores. Tendo as informações dos sensores disponíveis basta programar o equipamento de modo a relacionar os dados recebidos com as ações a serem realizadas. Portanto, um diagrama lógico de operação do sistema deve ser construído antes mesmo de implementar a programação do CLP. Abaixo estão todos os parâmetros e condições de operação do CIP modelo apresentado.

O CIP tem que realizar automaticamente todas as rotinas de higienização com um único acionamento no painel de controle, após automatizado. Pode-se considerar

duas etapas distintas de operação do sistema: Preparação das soluções químicas e processo de higienização. Abaixo segue a lógica de acionamento de cada uma das etapas.

7.5.1. Etapa de preparação das soluções químicas

A etapa de preparação de solução química deve ocorrer toda vez que é verificada alguma ineficiência de ação química para a remoção de sujidades devido à contaminação da solução química. Esta etapa também deve ocorrer também no start-up do sistema CIP.

1. Tanque de água limpa: A preparação da solução ocorre através da abertura das válvulas V9, V11 e V19 com demais válvulas fechadas. O fechamento de todas as válvulas ocorre quando a água atinge HL1.
2. Tanque de água recuperada: Quando o sistema roda pela 1ª vez, esse tanque é preenchido com água limpa. Abertura das válvulas V9, V11 e V18 com demais fechadas. O fechamento destas válvulas ocorre quando a água atinge o nível HL2. A segunda condição de preenchimento deste tanque de água recuperada se dá quando a etapa de enxágüe é finalizada. A água utilizada no enxágüe é transferida ao tanque de recuperação através da abertura das válvulas V5, V11 e V18, com as demais fechadas. O processo finaliza quando o nível HL2 é atingido.
3. Tanque alcalino: A preparação do tanque de solução alcalina à 3% ocorre a partir da solução concentrada à 50%. Essa solução concentrada está pressurizada e disponível na válvula V15. O início da preparação da solução ocorre através da abertura das válvulas V9, V11 e V17, com as demais fechadas. O fechamento destas válvulas ocorre quando a água atinge HL3. Após isto V7, V11, V17 e V15 se abrem. A solução concentrada começa a ser diluída na água. A válvula V7 e V15 se fecham quando a leitura do condutivímetro (C1) chega a 20 mS (10 mA),

indicando a concentração desejada. O processo se encerra quando o nível chega a HL3, com o fechamento das válvulas.

4. Tanque ácido: A preparação é semelhante ao tanque alcalino. A preparação do tanque de solução ácida alcalina à 3% ocorre a partir da solução concentrada à 50%. Essa solução concentrada está pressurizada e disponível na válvula V14. O início da preparação da solução ocorre através da abertura das válvulas V9, V11 e V16, com as demais fechadas. O fechamento destas válvulas ocorre quando a água atinge HL4. Após isto V8, V11, V16 e V14 se abrem. A solução concentrada começa a ser diluída na água. A válvula V8 e V14 se fecham quando a leitura do condutivímetro (C1) chega a 20 mS (10 mA), indicando a concentração desejada. O processo se encerra quando o nível chega a HL3, com o fechamento das válvulas.

7.5.2. Etapa de processo de higienização

Uma vez que as soluções estão todas preparadas, o processo de higienização pode ter seu início. A ordem de processo deve ser obedecida de modo a garantir a perfeita higienização.

1. Pré- enxágüe (5 min): Antes de mandar a solução para avanço, ou seja, para higienização da linha de produção, a solução deve escoar na malha fechada para acerto da temperatura. Neste processo as válvulas V6, V11 e V18 se abrem e as demais permanecem fechadas. Quando a temperatura atingir 85°C V11 se fecha e as válvulas V12 e V13 se abrem para higienizar produção. A temperatura deve ser mantida em 85°C através do controle da válvula V10. O processo se encerra após 5 minutos da abertura de V12 e V13. No término, a válvula V2 se abre para escoamento de solução para dreno.

2. Lavagem Alcalina (15 min): No início da etapa de lavagem alcalina ocorre uma particularidade no sistema e que deve ser considerada. A linha hidráulica, após a pré-lavagem do sistema, permanece com um residual de água. Assim que o processo de lavagem iniciar, a solução alcalina empurra a água armazenada na tubulação para o tanque alcalino, causando a diluição da solução. Para a diluição não ocorrer a água é encaminhada para dreno. Isso explica a existência de um dreno na linha superior da malha fechada. O controle da válvula de dreno é realizado pelo CLP através do sinal de entrada do condutivímetro. Enquanto o condutivímetro estiver lendo uma condutividade abaixo de um limiar, o que indica que água está sendo conduzida pela tubulação, a válvula de entrada do tanque alcalino V17 permanece fechada enquanto V20 (dreno) está aberta. Esse controle ocorre tanto no ajuste de temperatura, na circulação na malha fechada menor, que deve atingir 85°C, quanto na etapa de encaminhamento da solução para avanço do CIP. Para ajuste de temperatura, as válvulas V7, V11 e V17 se abrem e as demais permanecem fechadas. Quando a temperatura atingir 85°C V11 se fecha e as válvulas V12 e V13 se abrem para higienizar produção. A temperatura deve ser mantida em 85°C através do controle da válvula V10. O processo se encerra após 15 minutos da abertura de V12 e V13. No término, toda a solução é retornada para o tanque alcalino.

3. Lavagem Ácida (15 min): Da mesma forma que ocorre ao término da etapa de pré-lavagem, parte da solução ácida fica na tubulação do sistema CIP. O controle do sistema deve garantir que essa solução alcalina não seja despejada no tanque de solução ácida, causando assim uma reação de neutralização. Essa solução alcalina pode ser encaminhada para dreno, ou mesmo retornada ao tanque. Esse controle é também realizado através da leitura do condutivímetro, da mesma forma que a etapa anterior. São abertas as válvulas V8, V11 e V16 e as demais permanecem fechadas. Quando a temperatura atingir 85°C V11 se fecha e as válvulas V12 e V13 se abrem para higienizar produção. A temperatura deve ser

mantida em 85°C através do controle da válvula V10. O processo se encerra após 15 minutos da abertura de V12 e V13. No término, toda a solução é retornada para o tanque ácido.

4. Enxágüe (10 min): Na etapa de enxágüe, a solução residual de ácido na linha é descartada para dreno através do controle do PLC e do condutivímetro. Essa ação visa não contaminar o tanque de água limpa no enxágüe. Nesta etapa a água pode ou não circular com uma temperatura. Considerando que ela não circule com temperatura, o processo ocorre através da abertura da válvula V5, V12, V13 e V19 com as demais fechadas. O processo termina após 10 minutos da abertura destas válvulas. No término do processo, essa água é encaminhada para o tanque de recuperação de água através da abertura das válvulas V5, V11 e V18 e fechamento das demais.

7.5.3. Interrupção do processo CIP

Assim como toda a automação, o processo CIP será interrompido quando alguma situação de emergência ocorre no sistema em operação. Esse sistema de emergência pode ser acionado manualmente por um operador, através de uma botoeira vermelha, ou mesmo pelo controle do CLP. A interrupção do processo, via CLP, ocorre quando a solução de qualquer um dos tanques atingir o nível máximo de emergência. Essa leitura é realizada pelos sensores de nível HH, evitando assim o transbordamento de um tanque. A interrupção do sistema pode ocorrer também através da leitura do nível LL. Quando solução atingir um nível muito baixo o sistema interrompe a operação evitando assim a cavitação da bomba centrífuga radial.

8. CONCLUSÕES

O projeto de um sistema CIP possibilitou o aprofundamento prático das disciplinas da área de mecânica dos fluídos e máquinas de fluxo. As disciplinas da graduação serviram como uma excelente base para o entendimento do sistema. Além do aprendizado de engenharia o projeto está possibilitando uma interface de conhecimento com outras áreas de estudo, como a microbiologia, química e engenharia elétrica/eletrônica. Neste segundo semestre a interdisciplinaridade foi estendida, inicialmente para a área financeira, através da construção de fluxos de caixa. Estes estudos confirmaram uma das principais razões pela opção de um sistema CIP: A redução de despesas.

O caso real abordado em projeto, ao qual sou o responsável, já foi apresentado no final de julho à empresa requisitante. Esta está sendo uma ótima oportunidade para estabelecer o primeiro contato entre a relação comercial e a engenharia.

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 constroem suas plantas com sistemas CIP definidos em projeto. 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.

Outro trabalho, igualmente extenso pode ser produzido a respeito de processos de higienização. Embora carente no assunto, este trabalho mostra que os processos de lavagens são tão importantes quanto o dimensionamento correto do sistema.

9. Referências Bibliográficas

- [1] FORTUNA, A. O. *Técnicas Computacionais para Dinâmica dos Fluidos Conhecimentos Básicos e Aplicações*. São Paulo, Edusp. 2000
- [2] WYLEN, V.J, SONNTAG, R. E., BORGNAKKE, C. *Fundamentos da Termodinâmica*. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda. 2003
- [3] CALLISTER, W. D. *Ciência e engenharia de materiais: Uma introdução*. Rio de Janeiro, LTC. 2002
- [4] LAURIA, D. *Apostila de máquinas de fluxo*. São Paulo. Escola Politécnica USP. 2006
- [5] MUNSON, B. R, YOUNG, D. F, OKIISHI, T. H. *Fundamentos da mecânica dos fluidos*. São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda. 2004
- [6] MORAN, M. J, SHAPIRO, A. H, MUNSON, B. R. *Introdução a engenharia de sistemas térmicos*. Rio de Janeiro, LTC. 2005.
- [7] *Higienização em frigoríficos, uma questão de segurança alimentar*, Disponível em: <<http://www.alimentoseguro.com.br>>. Acesso em 29 de março 07.
- [8] *La teoría de Sinner*, Disponível em <<http://www.1a3soluciones.com/documentos>>. Acesso em 30 de março 07.
- [9] *Clean-in-place*, Disponível em < <http://en.wikipedia.org/wiki/Clean-in-place>>. Acesso em 29 de março de 07.
- [10] *Rugosidade*, Disponível em <<http://paginas.terra.com.br/servicos/hidrotec>>, Acesso em 16 de maio de 07.
- [11] *CIP Cleaning-in- place/ SIP Sterilization-in-place*, Disponível em <http://www.niroinc.com/gea_liquid_processing/cleaning_in_place_sip.asp> Acesso em 30 de março 07.
- [12] *Clean-in-place Application*, Disponível em <www.optek.com>, Acesso em 30 de março de 07.
- [13] *CIP Clean in place*, Disponível em <<http://www.taiwanfiller.com/C-I-P-System.html>>, Acesso em 2 de abril de 07.

- [15] *Spray Balls The comprehensive programme for all needs*. Disponível em <[http://www.niro.com/ndk_website/geaprocessnederland/cmsresources.nsf/fileName/s/119%20Spray%20Balls.pdf/\\$file/119%20Spray%20Balls.pdf](http://www.niro.com/ndk_website/geaprocessnederland/cmsresources.nsf/fileName/s/119%20Spray%20Balls.pdf/$file/119%20Spray%20Balls.pdf)> Acesso em 2 de junho de 07.
- [16] *Catálogo Técnico Bomba Cs*. Disponível em <www.alfalaval.com.br>, Acesso em 3 de junho de 07.
- [17] *Curvas de performance Bomba Cs*. Disponível em <www.alfalaval.com.br>, Acesso em 3 de junho de 07.
- [18] *Aplicações típicas dos vários aços inoxidáveis*. Disponível em <<http://www.nucleoinox.org.br>>, Acesso em 4 de outubro de 07.
- [19] *Seleção dos aços inoxidáveis para as indústrias de processamento de alimentos*. Disponível em <<http://www.nucleoinox.org.br>>, Acesso em 4 de outubro de 07.
- [20] PIMENTA, G, PÉPE, N. *Corrosão induzida por microorganismos em aços inoxidáveis austeníticos AISI 304/316 aplicados em sistemas de distribuição de água*. Portugal.
- [21] *Seleção de aços inoxidáveis para manuseio de cloro (CL2) e dióxido de cloro (CLO2)*. Disponível em <<http://www.nucleoinox.org.br>>, Acesso em 4 de outubro de 07.
- [22] *Princípios gerais para seleção dos aços inoxidáveis*. Disponível em <<http://www.nucleoinox.org.br>>, Acesso em 4 de outubro de 07.
- [23] *Aço inoxidável como garantia da segurança alimentar dos produtos minimamente processados*. Disponível em <<http://www.nucleoinox.org.br>>, Acesso em 4 de outubro de 07.
- [24] *Sumário das principais vantagens dos aços inoxidáveis*. Disponível em <<http://www.nucleoinox.org.br>>, Acesso em 4 de outubro de 07.
- [25] *Aço inoxidável na indústria de alimentos*. Disponível em <<http://www.nucleoinox.org.br>>, Acesso em 4 de outubro de 07.
- [26] JOHNSON, R.W. *Administração financeira*. São Paulo. Pioneira: Edusp 1967-1969.
- [27] SCHRODER, M. *Transparências do treinamento Cleaning in Place*. São Paulo. JohnsonDiversey. 2007