

VISÃO GERAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO APLICADOS A INSTALAÇÕES PERIGOSAS

Antonio Souza Vieira Neto* e Francisco Correa**

* Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CNEN-SP
Rua do Matão, Travessa R, 400 - Cidade Universitária - USP
São Paulo, S.P. - Brasil

** Pesquisador Associado ao IPEN/CNEN-SP pelo CNPq

RESUMO

Este trabalho revisa como as avaliações de risco são feitas pela indústria nuclear de potência, espacial e de processos químicos. Embora cada indústria tenha consagrado as técnicas de análise de risco que mais se adaptaram às suas peculiaridades, há possibilidades de aplicações localizadas vantajosas de técnicas desenvolvidas numa indústria em outra. A indústria química, por exemplo, vem incorporando com êxito diversas técnicas de análise desenvolvidas pela indústria nuclear de potência. Acidentes graves têm mostrado, no entanto, que as análises de risco embora poderosas são inúteis se não se observam às normas básicas de segurança e de garantia da qualidade durante todo o ciclo de vida das instalações perigosas.

I. INTRODUÇÃO

O propósito deste trabalho é revisar como as avaliações de risco são executadas pelas indústrias nuclear de potência, espacial e de processos químicos. A escolha destas indústrias deve-se ao fato de que elas têm se mantido na vanguarda do desenvolvimento e uso de métodos e técnicas de análise voltados para a melhoria da segurança.

Cada uma das três indústrias utiliza métodos de análise já consagrados em dezenas de anos de aplicação.

A adequação de um método de análise a um determinado empreendimento depende das características técnicas intrínsecas deste empreendimento, dos recursos disponíveis para a análise, tempo disponível para sua elaboração e da existência de dados técnicos necessários para sua execução.

II. CARACTERÍSTICAS DAS INDÚSTRIAS

Os métodos de análise de risco utilizados pelas indústrias espacial, nuclear e de processos químicos

dependem de uma série de fatores que vão desde a percepção do risco destas indústrias pelo público, até suas peculiaridades técnicas e operacionais [1]. Alguns destes fatores são abordados a seguir.

Percepção do Risco. As indústrias de processos químicos e espacial tiveram em seu início uma receptividade favorável do público, devido, principalmente, aos benefícios imediatos que estas indústrias trouxeram para a sociedade. A demonstração da segurança para o público não foi, portanto, uma preocupação imediata. Somente após a ocorrência de grandes acidentes como Flixborough, Seveso e Bhopal, na indústria de processos químicos, e do ônibus espacial Challenger, na indústria espacial, é que o público passou a ser mais exigente com relação à segurança destas instalações.

Ao contrário, o começo devastador do uso da energia nuclear para a vida humana e propriedade fez com que as atividades de segurança na indústria nuclear de potência fosse, desde o seu início, uma de suas maiores preocupações, sempre se caracterizando pela grande quantidade de análises detalhadas.

Perigos. A indústria de processos químicos é, em geral, caracterizada pela quantidade e variedade de substâncias químicas perigosas, localizadas em diversas partes da planta e que podem provocar incêndios, explosões e/ou contaminação por liberação de substâncias químicas tóxicas. Além disso, acidentes com a liberação de diferentes substâncias químicas podem resultar em inúmeras outras reações perigosas. As propriedades das substâncias químicas perigosas sob condições extremas são, em geral, desconhecidas e suas consequências, frequentemente, imprevisíveis.

Os maiores perigos da indústria espacial estão relacionados com os foguetes, os quais concentram os propelentes e explosivos. Seus principais efeitos indesejáveis são: incêndio e explosão. Embora a contaminação química seja um perigo permanente, representa um efeito secundário no acidente. Além disso, essa indústria é única quando se verifica que o sistema construído está sujeito a uma grande variedade de ambientes durante a operação (calor e frio intensos, vibração, interferências eletromagnéticas, etc), exigindo, além de robustez para seus equipamentos e sistemas, a flexibilidade de sofrer mudanças abruptas no modo de operação e configuração.

O perigo de uma usina nuclear concentra-se, principalmente, nos produtos de fissão presentes no núcleo do reator. O principal risco para o público é o de liberação de produtos de fissão para o meio ambiente. Incêndios e explosões são perigos secundários, geralmente resultantes do derretimento do núcleo do reator.

Sistemas de Segurança. Tanto a indústria nuclear quanto a espacial são caracterizadas pelo uso extensivo de redundâncias e diversidade em sistemas relacionados com a segurança. Tipicamente, mesmo quando sujeito a uma falha, o desempenho de um sistema não é severamente degradado. Em contraste, os sistemas de segurança de indústrias de processos químicos oferecem, em geral, menos barreiras (ex: vazamento de um tanque de armazenamento ou falha para fechar uma válvula podem conduzir a uma liberação atmosférica), com poucos equipamentos redundantes. Assim, uma única falha numa indústria de processos químicos pode resultar em graves consequências tanto econômicas, ambientais, e à saúde da população. Esta característica faz com que, em geral, as intervenções humanas nas indústrias de processos químicos sejam mais frequentes tanto no que diz respeito à condição de operação normal como no controle de incidentes/acidentes.

Padronização. Na indústria nuclear de potência, de maneira geral, um reator é muito parecido com os demais. A maior parte dos reatores comerciais usa material físsil para aquecer a água e gerar eletricidade (PWR e BWR). Além disso, existem poucos fabricantes de reatores. Esta característica permite um menor esforço na identificação das fontes de perigo e de eventos iniciadores de acidentes, uma vez que, de maneira geral, estes já foram identificados e são comuns a todos os reatores do mesmo tipo. Além

disso, o fato de serem utilizados os mesmos tipos de equipamentos e com modo de operação semelhante, possibilitou a formação de bases de dados de falha dos componentes empregados.

Mercado. Diferentemente das indústrias nuclear e espacial, a indústria de processos químicos é intensamente competitiva. Seus produtos e processos geralmente possuem proprietários. Existe, portanto, uma tendência de se simplificar ou restringir a disseminação da análise executada sobre estes processos (com exceção da área de química tóxica).

Bases de Dados. Destas três indústrias, a nuclear de potência tem a mais completa base de dados de falha de componentes, resultado de milhares de reatores-ano de experiência. A indústria espacial, com sua rigorosa sistemática de testes de componentes e sistemas, reserva para si a mais vasta base de dados das propriedades mecânicas, físicas e químicas e dos modos de falha de seus componentes e sistemas. A indústria de processos químicos, por sua vez, concentra a experiência de quase um século no projeto e operação de indústrias químicas.

III. MÉTODOS E TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO

Métodos Usados na Indústria Nuclear. Os métodos empregados pela indústria nuclear em trabalhos de segurança e risco podem ser classificados em duas categorias: Análise de Acidentes e Análise Probabilística de Segurança (APS).

A Análise de Acidentes constitui-se na base do trabalho submetido ao licenciamento de instalações nucleares, o qual demonstra, aos olhos do órgão licenciador, que os dispositivos técnicos de segurança existentes na usina nuclear são capazes de mitigar adequadamente a evolução de cada um dos acidentes postulados, denominados acidentes básicos de projeto. Esta análise envolve primordialmente modelos de computador detalhados das condições termohidráulicas da planta seguidas de transitórios e de acidentes de perda de refrigerante.

Desde 1975, com a emissão do relatório WASH-1400 [2], dezenas de estudos de Análise Probabilística de Segurança (APS) foram elaborados pela indústria nuclear de potência. A APS ou PRA (*Probabilistic Risk Assessment*), como é conhecida nos Estados Unidos, é geralmente dividida em três níveis. A APS de nível 1 analisa as sequências de acidentes que poderão conduzir à fusão do núcleo do reator. Consiste de um desenvolvimento lógico que envolve a identificação dos eventos iniciadores de acidente e sua propagação, a partir da qual a probabilidade e consequência de cenários específicos de degradação do núcleo do reator são obtidos. As principais técnicas utilizadas na APS de nível 1 são a Análise por Árvores de Falhas e Análise por Árvores de Eventos. Neste nível de APS também podem ser incluídos estudos de falhas

de modo comum, Análise de Confiabilidade Humana e do efeito da propagação da incerteza das taxas e probabilidades de falha dos eventos sobre os resultados do estudo.

A APS de nível 2 analisa os processos físicos envolvidos no acidente e a resposta da contenção. A APS de nível 3 analisa o transporte de material radioativo no ambiente e avalia os riscos para a saúde do público. Teoricamente, todos os cenários de interesse para o risco e segurança são considerados e quantificados.

A indústria nuclear de potência, está cada vez mais se baseando em métodos de APS na avaliação de risco e no processo de seu gerenciamento. A meta é responder de forma quantitativa a três questões básicas: O que pode sair errado? Qual a probabilidade disto ocorrer? e, Quais são suas conseqüências?

Uma outra abordagem de análise de risco em usinas nucleares é adotada por empresas de seguros [3]. O estudo é baseado numa matriz de risco onde cada item a ser segurado é classificado segundo a frequência de ocorrência de perdas e/ou danos e seus custos. Esta classificação é feita em função de dados disponíveis e da experiência de especialistas. Os itens que recebem uma classificação de risco acima do tolerável são rigorosamente inspecionados e subdivididos para serem novamente reclassificados na matriz de risco. Ao final do trabalho, a seguradora seleciona os pontos cuja segurança pode ser melhorada na usina e recomenda ações a serem tomadas, visando a redução do risco e os custos de seguro.

A indústria nuclear tem sido pioneira no que se refere ao esforço de manter uma cultura de segurança adequada em suas instalações, além de concentrar esforços na identificação das causas raízes de falhas.

Métodos Usados na Indústria Espacial. Durante as décadas de 60 até meados da década de 80, a metodologia básica de análise de risco e segurança empregada na indústria espacial foi quase que exclusivamente qualitativa, por meio da Análise de Modos de Falha e Efeitos e Criticalidade (AMFEC) e da Análise de Perigos. A preferência por estas técnicas deveu-se, principalmente, pela maneira satisfatória com que contribuíram para o sucesso das missões espaciais do Projeto Apollo.

Os resultados de uma AMFEC fornecem informações para cada componente do sistema, identificando sua função, modo de falha associado, criticalidade, causas da falha, efeitos em outros componentes ou sistemas, e ações corretivas que possam ser aplicáveis.

Em contraste com a AMFEC, a Análise de Perigos consiste na identificação de eventos indesejáveis, condições perigosas, ou cenários de acidentes, e sistematicamente identifica causas de perigos, efeitos, e recomenda ações corretivas. A Análise de Perigos vai além do equipamento e inclui requisitos de *software*, erros de codificação, impactos ambientais na operação, erros dos operadores, e anomalias de procedimentos.

Como os relatórios da Análise de Perigo são gerados para cada condição de perigo e as AMFEC's são produzidas

para cada componente, milhares de páginas são produzidas para sistemas grandes. Para interpretar estas informações, listas de itens críticos classificam a criticalidade de falhas em componentes. Este sistema hierárquico agrupa falhas de acordo com medidas qualitativas da probabilidade e consequência (matriz de risco), fornecendo importantes informações para o gerenciamento de risco.

Até 1986, a abordagem quantitativa para a análise de risco praticamente não foi utilizada devido, principalmente, ao desapontamento da NASA com os resultados de estudos probabilísticos efetuados na década de 60. Devido às inúmeras incertezas envolvidas, na época, a probabilidade de sucesso de uma missão do Projeto Apollo, envolvendo o lançamento, alunissagem e retorno seguro para a terra resultou em uma probabilidade de sucesso tão baixa que todo o esforço probabilístico de análise foi abandonado pela NASA.

Somente após o acidente com o ônibus espacial Challenger, quando as comissões Rogers (1986) e Slay (1988) recomendaram a utilização de métodos probabilísticos de análise de risco, a NASA passou a reconhecer que a abordagem qualitativa de análise poderia ser complementada por estudos probabilísticos [14].

Nesta época, a NASA já vinha executando estudos preliminares em alguns sistemas do ônibus espacial para a verificação da vantagem da retomada da abordagem probabilística em seus estudos de risco. Estes estudos mostraram que nem todos os itens críticos listados na AMFEC tinham a mesma importância e que muitos dos modos de falha com significante potencial de ocorrência de falha de causa comum não tinham sido identificados. Estes resultados motivaram a NASA a empreender a primeira análise probabilística completa para o lançamento da sonda exploradora Galileo, em 1989. Os resultados deste estudo mostraram que a probabilidade de fracasso da missão encontrava-se num intervalo de confiança de 90 %, [1/350, 1/18], com mediana estimada de um fracasso para cada 78 missões. Estudo semelhante foi em seguida efetuado para a missão exploradora Ulysses.

A partir desta experiência iniciou-se um programa de APS, seguindo os mesmos passos da APS de nível 1 utilizada em usinas nucleares, para uma missão completa do ônibus espacial, incluindo todas as etapas, do lançamento até a aterrissagem segura [15].

Métodos Usados pela Indústria de Processos Químicos.

O procedimento para a avaliação de risco de indústrias de processos químicos é preponderantemente qualitativo e consiste da identificação das falhas e perigos potenciais e da avaliação do impacto de cada acidente para o público, meio ambiente e à propriedade.

Na indústria de processos químicos, mais do que em qualquer outra indústria, as técnicas de identificação de perigos apresentam importância ímpar na análise de risco. Isto se deve ao grande número e variedade de processos utilizando milhares de diferentes substâncias perigosas. Técnicas como, Listas de Verificação, Análise "E se ...", Análise de Perigos e Operabilidade - HAZOP, Análise de Modos de Falha e Efeitos (AMFE), Análise por Árvores de

Falhas, Análise por Árvores de Eventos, Análise Preliminar de Perigos, Análise de Causa-Consequências, e Análise da Confiabilidade Humana, além da Auditoria de Processos, são bastante utilizados na indústria de processos químicos e fornecem informações úteis para a identificação dos perigos [4].

A técnica de identificação de perigos mais utilizada é, contudo, a Análise de Perigos e Operabilidade (Hazards and Operability - HAZOP). O HAZOP identifica, além dos perigos, os desvios operacionais de cada trecho de linha e equipamento da instalação que, embora não perigosos, podem comprometer a capacidade da planta química em alcançar a produtividade projetada.

Em geral, estudos de HAZOP são suficientes para a indústria de processos químicos, incluindo a de processos químicos nucleares (ex: conversão, produção de UF₆, etc). Em alguns casos, contudo, a complexidade dos cenários de acidente e/ou consequências podem ser tão grandes que um estudo de Análise Probabilística de Segurança (APS) pode ser recomendado [5]. Como exemplo, tem-se os estudos para o complexo Canvey Island Petrochemical [6] e de Rijmond [7].

Embora estudos de APS sejam relativamente caros e enfrentem resistências por parte da comunidade da indústria de processos químicos [8], têm sido sua aplicação cada vez mais frequente.

Como alternativa entre o estudo qualitativo e a APS, recentemente, o Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) sugeriu um método de avaliação de risco semi-quantitativo para a indústria de processos químicos nucleares, onde se faz uso da árvore de eventos e de outras técnicas para construir uma matriz de risco [9]. A matriz resultante deste método é mais realista e completa que suas congêneres usadas nas décadas de 70 e 80.

IV. ESTUDO DE ACIDENTES

Os métodos de análise de risco têm, para cada uma das indústrias estudadas, contribuído para que o risco de suas instalações se mantenham em patamares considerados aceitáveis pela sociedade. De tempos em tempos, acidentes catastróficos em cada uma destas indústrias ocorrem e um novo clamor do público surge para que o nível de segurança da instalação seja elevado. Quando isto ocorre, toda indústria passa por um período de reflexão sobre as causas do acidente, onde são questionados os métodos de análise de risco, os procedimentos, a tecnologia empregada e o próprio tipo de administração.

A seguir são descritos e posteriormente comentados os piores acidentes de cada indústria: Chernobyl, em 1986, para a indústria nuclear; Bhopal, em 1984, para a indústria de processos químicos; e o ônibus espacial Challenger, em 1984, para a indústria espacial.

Chernobyl. Foi planejado um experimento para ser realizado na unidade 4, de 3.000 MW(t), da usina de Chernobyl, antes que esta sofresse um desligamento programado para trabalhos rotineiros de manutenção.

Desejava-se testar a melhor forma de reagir a uma queda de alimentação elétrica. O teste, que deveria ser realizado à potência de 500 MW(t), foi mal elaborado e entregue à direção de um engenheiro eletricista que não conhecia as peculiaridades do funcionamento deste tipo de reator. O experimento exigia o desligamento do Sistema de Refrigeração de Emergência do Núcleo e a substituição do Sistema Automático de Controle do Reator pelos controles manuais. Durante o controle manual, o operador não conseguiu controlar um desequilíbrio do sistema elétrico e a potência caiu para 30 MW(t). No período em que o reator se encontrou nesta potência sofreu envenenamento por xenônio impedindo que a potência fosse aumentada. Isto fez com que o operador removesse excessivamente as barras de controle para que a potência requerida pelo experimento pudesse ser atingida. Das 4 bombas de resfriamento necessárias para a refrigeração na potência do experimento (500 MW(t)) foram introduzidas mais 4, a partir da falsa idéia de que ao se aumentar a refrigeração se estaria melhorando a segurança. Isto levou a uma diminuição do vapor e a um aumento na vazão iniciando uma sequência de desequilíbrios que resultaram no acidente. O experimento não foi paralizado sequer diante do acionamento de inúmeros alarmes. Posteriormente, constatou-se que a principal causa do acidente de Chernobyl foi o total desrespeito a procedimentos de segurança.

Bhopal. Um vazamento de metil-isocianato da planta química de Bhopal causou a morte de pelo menos 2000 pessoas e lesões permanentes em outras milhares. A causa direta do desastre foi a contaminação de um tanque de armazenamento de metil-isocianato com algumas toneladas de água. Ocorreu uma reação violenta, causando a elevação da temperatura e da pressão. A válvula de alívio atuou e vapores de metil-isocianato foram descarregados para a atmosfera. O sistema de segurança que deveria prevenir ou mitigar o escape de vapores de metil-isocianato não estava em boas condições de funcionamento: o sistema de refrigeração que deveria resfriar o tanque encontrava-se parado; o sistema de lavagem dos gases que deveria absorver o vapor não estava disponível; e finalmente, a tocha que deveria queimar qualquer vapor residual do sistema de lavagem de gases estava fora de uso.

Uma das causas mais importantes, geradora do acidente, foi a falha em manter equipamentos de segurança em boas condições de operação. Neste caso, tanto o HAZOP quanto a avaliação de risco, realizadas anteriormente, foram inúteis, pois exigências básicas de segurança foram ignoradas.

Challenger. O acidente do ônibus espacial Challenger ocorreu pelo rompimento de uma junta em anel (*o-ring*) que se despreendeu, logo após o lançamento, eliminando a sua função de segurança, resultando na explosão da espaçonave. A AMFEC foi feita corretamente e indicou que a falha nesta junta teria um efeito catastrófico. Além disso, testes pneumáticos nas juntas dos propulsores resultaram em fissuras de 25 mm, como também testes de incêndio nos foguetes mostraram que os anéis poderiam se deslocar. Em

diversos lançamentos anteriores, descobriu-se que as juntas apresentaram fissuras. Engenheiros da empresa fabricante das juntas, Thiokol, solicitaram mudanças no projeto das juntas mas foram ignorados pela própria empresa.

Fatores Responsáveis pelos Acidentes. Estes três acidentes reforçam o que a experiência com inúmeros outros acidentes tem mostrado: acidentes têm ocorrido não porque determinado estudo de segurança deixou de ser feito ou porque a técnica utilizada tenha sido inadequada e incapaz de prever aquele acidente. Acidentes têm ocorrido, principalmente, por falha no sistema administrativo das organizações. Kletz expressa bem este conceito quando diz que: "nestes casos é inútil se identificar os perigos, estimar suas probabilidades e consequências de ocorrências de acidentes, se não se deseja fazer algo a respeito; é inútil instalar desligamentos e alarmes se os desligamentos forem bloqueados e os alarmes ignorados, ou se não forem testados e mantidos corretamente" [10].

Medidas com o intuito de diminuir esta causa de acidente têm sido adotadas pela indústria nuclear de potência com a introdução de técnicas para avaliação, monitoração e aprimoramento da cultura de segurança de suas organizações [11].

Outro problema, que embora não tenha ocorrido nos acidentes descritos acima, mas tem causado inúmeros acidentes, em especial na indústria de processos químicos, é com relação a pequenas modificações no projeto original da instalação, após esta já ter passado pelas fases de testes e análise. Estas modificações apresentam, muitas vezes, efeitos secundários difíceis de serem previstos. O problema reside no fato de ser difícil reunir uma equipe para analisar os riscos cada vez que se deseja instalar um novo componente. Aqui, também, a cultura de segurança poderia contribuir para a diminuição deste problema.

V. ESTUDO DA EFICÁCIA DOS MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCO

Qualquer que seja o método escolhido para a análise de risco, sempre deve-se ter em mente que este somente será eficaz se efetivamente contribuir para a melhoria da segurança do sistema e instalação.

Na indústria nuclear, a APS tem comprovado sua utilidade na identificação dos pontos fracos da instalação e na estimativa de seus riscos. Contudo, nos casos em que foi efetuada por equipe divorciada do projeto e de sua gerência técnica, tem se mostrado de completa inutilidade [12]. Por outro lado, uma simples análise de confiabilidade de um sistema pode trazer enormes benefícios para a segurança da instalação, desde que seus resultados tenham realimentado o projeto e contribuído para levá-lo a uma condição mais segura [12].

Isto também se constata na indústria de processos químicos onde, embora o HAZOP seja o método analítico de identificação de perigos e de desvios operacionais mais eficiente e o mais utilizado, tem-se constatado a efetividade da análise "E se..." combinado com a Lista de Verificação

para identificação de perigos e melhoria da segurança [13], um método sensivelmente mais barato e rápido do que o HAZOP.

A experiência tem mostrado que métodos e técnicas de análise aplicados na fase de operação da instalação, em muitos casos, tendem a ser ignorados pela administração, devido à dificuldade e custos envolvidos com as eventuais mudanças no projeto. Sempre que possível, portanto, os métodos devem ser aplicados durante a fase de projeto. Esta decisão, embora melhor, sob o ponto de vista da segurança, traz consigo algumas dificuldades para operacionalizá-la: a) o estudo deve ser efetuado em um tempo restrito e sincronizado com as fases do projeto; b) os custos devem ser compatíveis aos do empreendimento; c) a disponibilidade de dados para a análise pode ser difícil.

Em função destas dificuldades e do fato do método ter que se adequar a peculiaridades da indústria em questão - por exemplo, métodos que não consideram a ocorrência de falhas múltiplas podem ser adequados para uma indústria com poucas redundâncias e inadequado para as demais -, não se pode considerar uma técnica isoladamente sem que estas condições sejam levadas em consideração. Uma técnica adequada para uma instalação em uma determinada fase de seu ciclo de vida, pode ser inadequada para outra.

VI. ÁREAS PARA INTERCÂMBIO DE TÉCNICAS DE ANÁLISE DE RISCO ENTRE AS INDÚSTRIAS

Cada uma das três indústrias utiliza métodos de análise já consagrados em dezenas de anos de aplicação e são os que melhor se adaptaram a suas peculiaridades. A despeito destas peculiaridades, tem-se observado uma tendência de se utilizar cada vez mais estudos do tipo APS em cada uma destas indústrias. Algumas técnicas e procedimentos, contudo, podem ser repassadas de uma indústria para as demais.

A investigação das causas de acidentes e de desvios operacionais efetuados pelas técnicas de identificação de causas raízes, utilizados na indústria nuclear, poderiam ser usados pela demais indústrias.

O uso da técnica HAZOP, típico na indústria de processos químicos, pode ser aplicado a sistemas auxiliares e a procedimentos operacionais de usinas nucleares.

Os avanços obtidos pela indústria nuclear em estudos relacionados com a melhoria da cultura de segurança poderiam ser imediatamente repassados para as demais indústrias.

REFERÊNCIAS

- [1] GARRICK, B. J. The approach to risk analysis in three industries: nuclear power, space systems, and chemical process. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 23. p. 195-205. 1988.
- [2] US NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. *Reactor safety study - an assessment of accident risk in*

U.S. commercial nuclear power plants. Washington , D.C. 1975. WASH-1400. (NUREG-75/014).

[3] WENDLAND, W. G. **Nuclear insurance risk assessment using risk-based methodology.** Transactions of the American Nuclear Society. Vol. 65. p. 556-558. 1992.

[4] CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY. **Guidelines for hazard evaluation procedures.** American Institute of chemical engineers. New York. 1992.

[5] GUYMER, P.; KAISER, G. D. ; MCKELVEY, T. C. Probabilistic Risk Assessment in the CPI. **Chemical Engineering Progress.** January, p. 37-45. 1987.

[6] Health and Safety Executive. **Canvey - an investigation of potential hazard from operations in the Canvey Island/Thurrock area.** UK London (1978).

[7] BLOKKER, E. F.; LANS, H. J. D. ; MEPPELDER, F. **Evaluation of risks associated with process industries in the Rijnmond area - a pilot study.** Proc. 3rd Int. Loss Prevention Symposium. Basel (Sep. 1980).

[8] HAUPTMANN, U. ; HENNECKEN, H. **Risk management in the process industry.** Probabilistic safety assessment and Risk Management PSA'87. Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln. 1987.

[9] USA DEPARTMENT OF ENERGY. **Hazard categorization and accident analysis techniques for compliance with safety analysis reports.** Department of energy. Jul. 1994. (DOE-STD-3009-94).

[10] KLETZ, T. A. **Chemical Engineering.** Eliminating potential process hazards. Apr. 1985.

[11] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Experience with strengthening safety culture in nuclear power plants,** report of technical committee meeting held in Vienna, 20-24 Jun. 1994. (IAEA-TECDOC-821).

[12] VONHERRMANN, J. L.; WOOD, P. J. **The probabilistic application of probabilistic risk assessment - utility experience and NRC perspectives.** T-DELIAN CORPORATION. Pennsylvania. Mar. 1988 (EPRI NP-5664).

[13] BURK, A. F. Strengthen process hazards reviews. **Chemical Engineering Progress.** Jun. 1992.

[14] FRAGOLA, J. R. **Space Shuttle Program Risk Management.** IEEE Proceedings Annual Reliability and Maintainability symposium. p. 133-142. 1996.

[15] MAGGIO, G. **Space Shuttle Probabilistic Risk Assessment: methodology and application.** IEEE

Proceedings Annual Reliability and Maintainability symposium. p. 121-132. 1996.

ABSTRACT

This work revises how safety assessment are made on the nuclear power, space and chemical process industries. Although each industry has established the safety assessment techniques which mostly adapted to their particularities, it is possible to apply localizedly safety assessment techniques from an industry to another. The chemical process industry, for instance, has been incorporating successfully many safety assessment techniques from the nuclear industry. Catastrophic accidents have shown, however, that safety assessment are useless if basic rules of safety and quality assurance are not observed in the phases of project, operation and maintenance at these hazard plants.