

Análisis de Operación y Riesgos en la disciplina de instrumentación y control.

Recibido: 15 Febrero 2015 – Revisado: 30 Abril 2015

Aceptado: 30 Mayo 2015 – Publicado: 30 Julio 2015



José Luis Pérez Saavedra

Académico Jornada Completa, Departamento de Tecnologías Industriales, Carrera Tecnólogo en Automatización Industrial, Universidad de Santiago de Chile, Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363, Santiago, Región Metropolitana, Chile.
 jose.perezsa@usach.cl

Antonio Gutiérrez Osorio

Académico Jornada Completa, Departamento de Tecnologías Industriales, Jefe Carrera Tecnólogo en Automatización Industrial, Universidad de Santiago de Chile, Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363, Santiago, Región Metropolitana, Chile.
 antonio.gutierrez@usach.cl

Gonzalo Reyes Manríquez

3Profesor por horas, Departamento de Tecnologías Industriales, Carrera Tecnólogo en Automatización Industrial, Universidad de Santiago de Chile, Av. Libertador Bernardo O'Higgins 3363, Santiago, Región Metropolitana, Chile.
 gonzalo.reyes@usach.cl

Resumen: En el desarrollo de proyectos en la disciplina de la Ingeniería de Control e Instrumentación de Procesos Industriales (Instrumentation & Control, I&C), el ingeniero de especialidad trabaja sobre documentos provenientes que, en etapas iniciales de un proyecto, vienen de la fase de Ingeniería Conceptual. Uno de los documentos primordiales para esto es el diagrama de flujo del proceso (Process Flow Diagram, PFD), el cual a su vez, se empleará para el diseño del P&ID (Piping and Instrument Diagram). De esta forma, una de las tareas primarias para el Ingeniero de I&C es recoger la información de requerimientos para el sistema de control desde el Ingeniero de Procesos. Sin embargo, hay requerimientos que no son de fácil detección, dado que son transversales a muchas de las disciplinas involucradas en el desarrollo de la Ingeniería, donde se superponen especialidades. En este artículo, se aborda el Análisis de Operación y Riesgos (Hazop), como una de las herramientas fundamentales que debería de ser considerada por el Ingeniero de I&C, para evitar errores de diseño. En este estudio se busca establecer las consideraciones respecto a Hazop y su importancia para la disciplina de I&C en Ingeniería. Esto resulta pertinente para cualquier tipo de Industria (no solo de O&G), como también es importante establecer cuándo este análisis tiene su mayor impacto en un proyecto de Ingeniería, en beneficio de la disciplina de Ingeniería I&C como parte de un diseño multidisciplinario, de modo que cumpla los objetivos de seguridad operacional, como lo establece Occupational Safety and Health Administration (OSHA).

Palabras clave: Ingeniería de Instrumentación y Control; Diagrama de Flujo de Procesos; Piping and Instrument Diagram; Hazard Operation Analysis.

Abstract: Into Engineering for Process Control and Instrumentation, I&C engineers have to work on the documentation and specifications that, normally at the beginning, come from Conceptual Engineering Stage. The Process Flow Diagram PFD, is one of the most important documents for developing the P&ID document. That way, the primary task for I&C engineer is to gather information about Automatic control and process instrumentation requests, from the Process engineer. However, there are requests that are not easy to uncover, since they would be along with several others disciplines involved; for instance: the piping engineers realizes the risk of Waterhammer, thus the Control Engineer have to avoid that the flow control loop closes the control valve suddenly, in order to avoid the Waterhammer risk. This article is about the hazard operations analysis (HAZOP), as a fundamental task to have to consider for the Process control and Instrumentation Engineer, in order to avoid mistakes design. In this article we want to establish the HAZOP's considerations and its importance to I&C engineering. This respect to its relevance to any sort of Industry (not only O&G); and also to establish the best moment during de engineering process, among the differences stages of the project, for scheduling the HAZOP appointment in order to both improve the I&C discipline and fulfill the safety standard (to meet the OSHA[1] standard).

Key words: Instrumentation and Control Engineering, I&C; Process Flow Diagram, PFD; Process and Instrument Diagram, P&ID; Hazard Operation Analysis, HAZOP.

1. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de proyectos de Procesos Industriales (Instrumentation & Control, I&C), el proyectista trabaja sobre documentos provenientes desde la Ingeniería Conceptual, Básica o de Detalles (dependiendo de la fase en que esté el proyecto). Uno de los documentos primordiales para esto es el diagrama de flujo del proceso (Process Flow Diagram, PFD), para construir el Piping and Instrument Diagram (P&ID).

De esta forma, una de las tareas primarias para el ingeniero de I&C es recoger la información de requerimientos de planta, desde el ingeniero de procesos, cuya especialidad dependerá del tipo de Industria en cuestión (ingeniero químico, ingeniero metalúrgico u otro). Dentro de estos requerimientos, están los que tienen que ver con la seguridad de la planta, con el fin de evitar y/o mitigar injurias a personas y/o pérdidas de equipos.

En este sentido, la norma Occupational Safety and Health Administration (OSHA), con algunas normas del Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI), especifica que los diseños de Sistemas Orientados a la Seguridad deben ser documentados en forma apropiada. Esto incluye los sistemas de Detención Segura (Shutdown) y los Sistemas de Lógicas de Seguridad (Interlock).

De hecho, para cada industria existen recomendaciones respecto de su diseño. Verbigracia, para la industria del petróleo, encontramos la API (American Petroleum Institute), con 750 recomendaciones de prácticas, que establecen, por ejemplo: «La información del diseño mecánico debiera incluir...una descripción de los Sistemas de Detención (Shutdown) y Sistemas Lógicos de Seguridad (Interlocks)».

Otro estándar que está dirigido a la Seguridad es la norma ANSI/ISA-84.00.01-2004, Parte 1 – 3 (IEC

61511-1 Through 3 Mod) – «Functional Safety: Safety Instrumented System for the Process Industries». Esta establece las bases para el desarrollo de proyectos de Sistemas Instrumentados de Seguridad (Safety Instrumented System, SIS), que normalmente se encuentra a cargo de un ingeniero certificado en Seguridad. Es aconsejable consultar esta norma para efectos del presente estudio, debido a su universalidad y orientación a los Sistemas de Seguridad.

En resumen, el ingeniero de I&C, junto al diseño de las estrategias de control convencionales, debe incorporar en sus diseños de ingeniería (en todas sus fases), la Seguridad, como lo establece la normativa OSHA. Pero, hay un aspecto que incorpora complejidad a esto y es que muchos de los riesgos y peligros latentes son transversales a todas las disciplinas involucradas (Obras Civiles, Mecánica, Eléctrica, Química, entre otras). Por ello, se hace imprescindible establecer dentro del calendario del proyecto, reuniones de Análisis de Operación y Riesgos (Hazop) para fijar los estándares de seguridad del proyecto.

1.1. Objetivo Del Estudio

El objetivo del presente estudio es establecer el(los) momento(s) donde los ingenieros de proyectos de I&C (Proyectistas I&C) deben programar las reuniones de Hazop dentro de su ciclo de diseño. Debe considerarse que existe un momento para las distintas fases del proyecto donde dicha reunión es imprescindible. Se plantea la importancia del Hazop como parte del desarrollo de proyectos de Ingeniería de I&C, para lograr un diseño que considere la eliminación de riesgos y/o mitigación de eventos peligrosos.

1.2. Metodología

Para esto se analizarán los Sistemas Instrumentados de Seguridad (Safety Instrumented System, SIS) y el concepto de Seguridad Funcional, como lo establece la Norma ISA-84[2], que aborda el tema de la

reducción de riesgos en distintas Capas de Protección (Protection Layers). También, se establecerá la programación de entrega de documentación dentro de las fases de un proyecto (según recomienda la norma ISA). Como elemento adicional, se hace referencia a experiencias en Proyectos I&C, en la Industria Minera y otras.

1.3. Alcance Y Restricciones

El alcance del estudio cubre la función del proyectista I&C en los temas de Seguridad, Riesgos y Peligros Operacionales, como un requerimiento general dentro de un proyecto, tal como lo establece la normativa OSHA, ANSI, entre otras (Meier-Clifford, 2004).

Para efectos de este estudio, no se consideran los proyectos donde se requiere del diseño de un SIS, debido a que en estos, el tema de la Seguridad se trabaja en términos más rigurosos, con fijación de Probability of Failure on Demand (PFD)- Targets. Tanto la determinación de la meta de PFD como su cálculo están fuera del alcance de este artículo.

Por lo demás, para el caso de diseño de SIS, el tema de este estudio (programación del Hazop) está perfectamente establecido como parte del diseño.

2. ANTECEDENTES, TRATAMIENTO DE LA SEGURIDAD FUNCIONAL BASADO EN LA NORMA ANSI/ISA-84

Esta norma establece el ciclo de vida para el Diseño de Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS). De esta forma, luego de la Ingeniería Conceptual, la norma establece el Análisis de Riesgos y Peligros Operacionales como primera etapa; continuando hasta la etapa de funcionamiento de la planta. En este ciclo de vida, se incluye la operación, mantención y modificaciones futuras que pudieran existir (ver Fig. 1).

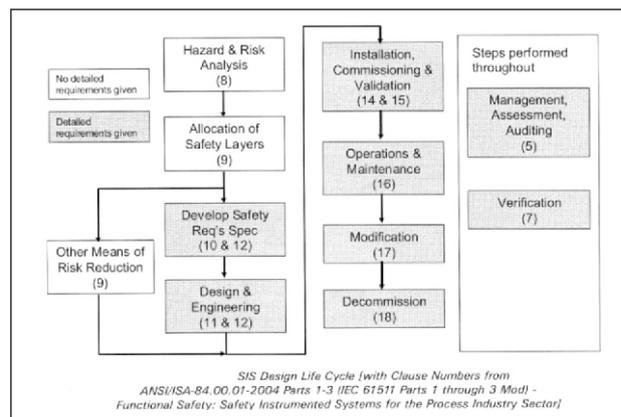


Figura 1. Ciclo de vida diseño SIS.

Con mayor detalle, se puede apreciar en el diagrama de flujo de la Fig. 1 el ciclo de diseño parte con un análisis de riesgos (etapa 8), para luego establecer las capas de seguridad (etapa 9). El punto a destacar aquí es que este proceso corresponde a un diseño de un SIS y en este estudio, se busca llevar el análisis a cualquier diseño de Ingeniería. Sin embargo, por su naturaleza, no todas las Industrias definen una meta de reducción de la Probabilidad de Falla en Demanda (PFD), ya que con su Sistema de Control de Procesos, BPCS (Basic Process Control System), se cubren los riesgos asociados dentro de márgenes tolerables y aceptados.

Por esto, hay proyectos de Ingeniería que no siguen estrictamente la Norma ISA-84, a modo de ejemplo: un proyecto de concentradora minería o de tratamiento de aguas residuales. Lo que sí es mandatorio para todos los proyectos es la instancia del Hazop, para cumplir con el estándar de OSHA u otro localmente establecido.

2.1. Múltiples e independientes capas de protección en seguridad de plantas

En los proyectos SIS, el Sistema de Control de Procesos (BPCS) es altamente recomendado separarlo del SIS. No obstante, en muchas Industrias la Seguridad y el "Control de Procesos van en un mismo Sistema (DCS, PAC, PLC u otro).

En la Fig. 2, se puede apreciar un esquema general de las distintas Capas de Protección (Protection Layers) que se encuentran en una planta.

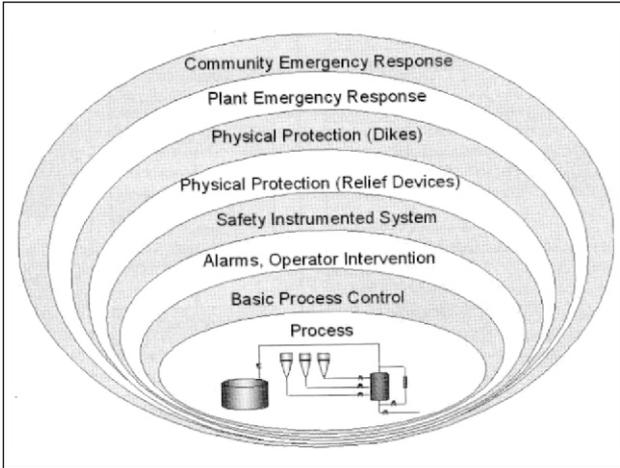


Figura 2. Múltiples e independientes Capas de Protección.

Independiente de si el SIS está integrado con el BPCS, se puede identificar la ubicación de la capa de protección en dos niveles: Capa interior de protección (Inner Layer) y capa exterior de protección (Outer Layer). Los Inner Layer ayudan a prevenir o evitar eventos peligrosos, como: Una explosión debido a condiciones de sobrepresión. De esta forma, previenen que esto no suced, y se denomina como «Capa de Protección» (Protection Layers). Por su parte, el Outer Layer se usa para disminuir las consecuencias de un evento peligroso una vez que este ocurre y se denomina «Capa de Mitigación» (Mitigation Layers).

La figura 3 muestra la reducción del riesgo provista por cada capa de protección.

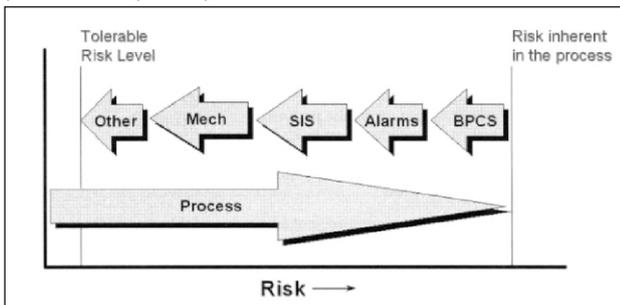


Figura 3. Reducción de riesgo provista por cada capa de protección.

En la Fig. 3, la línea vertical a la derecha representa el riesgo inherente dentro del proceso. Es tarea del BPCS mantener las variables propias del proceso, dentro de los márgenes de seguridad, de modo tal que provea la capa de protección (Inner Layer).

En términos de seguridad, se debe establecer la probabilidad de falla en demanda (Probability of Failure on Demand, PFD) y la meta de la planta respecto de esta probabilidad. Lo anterior con el fin de ver si es necesario establecer un SIS o simplemente integrar la Seguridad con el BPCS.

3. PROYECTOS DE I&C

3.1 Programación De Documentación Para Un Proyecto De I&C

En la figura 4, se muestra el programa de desarrollo de un proyecto de I&C con los tiempos de entrega en fase de: Inicio, emitido para Ingeniería, emitido para Información, y emitido para Construcción. También, se muestra una estimación en porcentaje de horas de un ingeniero de I&C para llevar a cabo estas tareas.

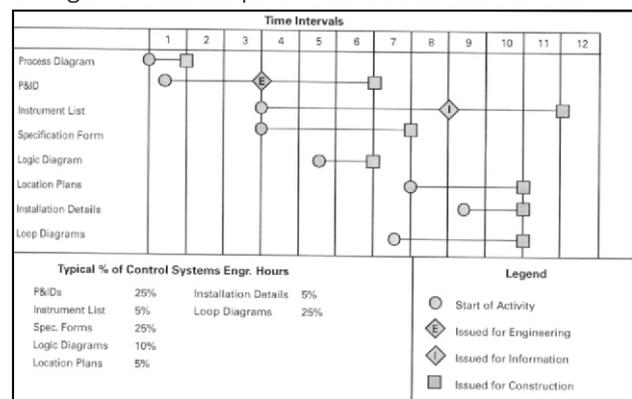


Figura 4. Programa de documentación de un proyecto I&C.

3.1.1 Tareas del ingeniero de i&c

El trabajo del proyectista de I&C se inicia con el Diagrama de Flujo del Proceso (Process Flow Diagram, PFD). El PFD es un documento propio del tipo de planta y por ello, su diseño normalmente es responsabilidad de los ingenieros de procesos. Por lo tanto, el diseño del PFD depende del tipo de proyecto

(o industria), como por ejemplo: un proceso minero podría ser responsabilidad de un Ingeniero metalúrgico; si es un proceso químico, podría ser responsabilidad de un químico. En general, a estos se le denominan «ingenieros de procesos».

También hay que considerar que dependiendo del proyecto, puede haber varias especialidades involucradas. En consecuencia, se tendrán dos o más ingenieros de procesos con especialidades distintas; cada uno de ellos a cargo de una planta, proceso, disciplina o área.

Con el PFD definido por el ingeniero de procesos respectivo, el ingeniero I&C procede a diseñar el P&ID, el cual, como se mencionó en el apartado anterior (2.1), tiene que atender los requerimientos de seguridad (además de las necesidades propias de I&C del proceso). Así, se pueden destacar dos capas de Seguridad:

- Inner Layer (Capa de protección).
- Outer Layer (Capa de mitigación).

Para efectos de Inner Layer, el ingeniero I&C debe procurar que las estrategias de control diseñadas mantengan las variables de proceso (declaradas como críticas o de riesgo), dentro de los márgenes de seguridad apropiadas, para evitar eventos peligrosos (Protection Layer).

Para el caso de los Outer Layer, el ingeniero de I&C debe considerar en el diseño, todas las medidas de mitigación que correspondan al tipo de seguridad requerido en el proyecto; como lo es: alarmas, válvulas de alivio (Relief), medidas de operación del sistema (como paradas de emergencia, acción manual, detención segura, etc.).

Respecto a lo anterior, hay algunos aspectos que se deben destacar:

- Tanto Inner Layer (Protección) como Outer Layers (Mitigación) deben ser definidos durante las

reuniones de análisis de riesgos y peligros, donde debe participar el(los) Ingeniero(s) de proceso correspondiente(s).

- Apreciando la Fig. 2, vemos que mientras más exterior es la Capa de Protección, más se requiere de la intervención y aporte de especialistas y personas de distintas áreas que estén involucradas en el proyecto.
- También, si miramos la Fig. 2 y Fig. 3, el ingeniero de I&C debe estar interiorizado de cada una de las Capas de Protección que se definan, ya que debe responder, como integrante del equipo de proyectos, al objetivo de mantener la planta dentro del nivel de tolerancia de riesgo (Línea vertical izquierda, Tolerable Risk Level), definido por la corporación, cliente o dueño de la planta (y como lo establece OSHA).
- Los análisis de riesgos y peligros se pueden ir atendiendo con cada ingeniero de procesos, revisando su respectiva área de responsabilidad. De esta manera, avanza en los diseños de procesos o plantas, por separado. Sin embargo, tiene que haber una reunión Hazop que incluya a todos los actores, como se puede deducir de la Fig 2 y Fig. 3, y como se precisa en el punto siguiente.
- Para atender riesgos transversales, que involucren dos a más áreas, se requiere que, primero, participen todas las áreas de la planta, ya que hay riesgos que solo se descubren luego de una revisión de la seguridad general de la planta. Segundo, todas las áreas deben tener completada su Ingeniería de Detalles y disponibles para emisión para Construcción (ver Fig. 4).

4. DETERMINACIÓN DEL HAZOP

Considerando la Fig. 4, podemos definir dos momentos donde es requerido hacer un análisis de

riesgos y peligros de operación.

4.1. Diseño De Capa De Protección (Inner Layer)

El Inner Layer se relaciona con el diseño de la estrategia de control, y el diseño se hace cargo del manejo apropiado de las variables de proceso, de tal modo que evite riesgos y peligros en el proceso productivo. Según esto, dicho análisis puede ser realizado por partes y dentro del proceso de diseño, ya sea en la etapa de Ingeniería Básica o de Detalles. En el siguiente apartado, se da un ejemplo de un caso real para complementar este punto.

4.2. Diseño De Capa De Mitigación (Outer Layer)

El Outer Layer se relaciona con las medidas de mitigación, una vez que el evento de riesgo ocurre. Por lo tanto, es una situación que puede ser transversal e involucrar varias de las especialidades del proyecto en cuestión. Por lo anterior, este análisis tendría que ser realizado durante la etapa de Ingeniería de Detalles, ya que cada ingeniero de proceso debería tener sus memorias de cálculo, detalles de diseño o especificaciones ya terminadas y aprobadas para construcción.

4.3. Momento Del Hazop

Considerando los dos diseños anteriores (Inner & Outer Layers), es posible concluir que la reunión de Hazop principal debiera ser realizada con la Ingeniería de Detalles ya concluida en su totalidad y previa a la etapa de Emisión para Construcción (ver Fig. 4, Issued for Construction). Luego de reunidos todos los antecedentes, se define este como el mejor momento para el Hazop general del proyecto (Hazop Principal).

Esto no significa que no pueda haber otras reuniones previas de análisis de riesgos, como se señala en el punto 4.1. De igual forma, podría haber reuniones Hazop posteriores, después de la señalada como Hazop Principal, en el caso de existir modificaciones mayores o la incorporación de nuevas áreas al proyecto.

5. CASO REAL: ANÁLISIS DE OPERATIVIDAD Y RIESGOS DEL PROYECTO «ACIDUCTO RADOMIRO TOMIC»

5.1. Resumen del proyecto

El yacimiento Radomiro Tomic, ubicado en la II Región-Chile, requiere del transporte de ácido sulfúrico desde las instalaciones de estanques de almacenamiento de ácido en planta Chuquicamata para su uso en el procesamiento de mineral de cobre por lixiviación. Este suministro de ácido se realiza por medio de un sistema de cañerías (8"CS) y estaciones de bombeo, con un largo aproximado de 23 Km. Este constituye el proyecto denominado «Aciducto».

Hazop: Se efectúa el Análisis de Operatividad y Riesgos a la Ingeniería del proyecto «Aciducto».

Los objetivos de la reunión fueron los siguientes:

- Verificar el proyecto desde el punto de vista de riesgos operacionales y de facilidades para operación y mantención.
- Identificar eventos indeseables y la integridad de las instalaciones.
- Verificar la confiabilidad operacional de equipos e instrumentos de modo que se garantizara la continuidad operacional requerida.
- Proponer medidas para minimizar o reducir el riesgo a la integridad de las personas e instalaciones y de impactar negativamente el medio ambiente.
- La metodología aplicada en el proyecto fue la siguiente:
 - Análisis de Operatividad y Riesgos (Hazop).
 - Metodología WHAT-IF (Qué ocurre si...).

- Check List con inventario de ítems críticos identificando riesgos operacionales.
- Análisis de falla por causa y efecto (FMEA).
- Conceptos aplicados a equipos.
- Multidisciplinar, con todas las especialidades involucradas.
- Con las Ingenierías de Detalles y especificaciones técnicas ya disponibles.
- Antes de entrar a la fase de “Construcción”.

Riesgo, restricción o limitación identificados: de todos los riesgos identificados, vamos a detallar uno que fue importante para la disciplina de I&C:

- Memoria de cálculo hidráulico, arroja el riesgo de golpes de ariete (Waterhammer).

Rediseño y consideración por parte de la disciplina de I&C:

- Inner Layer: Frente a la existencia de golpes de ariete (Waterhammer), se determinó que los lazos de control de flujo de ácido (FIC) tenían que implementar rampas de desaceleración en los variadores de frecuencia de las bombas de flujo de ácido (EFC). De esta forma, se evita la detención brusca en el bombeo del ácido.
- Outer Layer: Como medida de mitigación frente a la ocurrencia de un golpe de ariete por corte del suministro eléctrico, se implementaron Válvulas Check temporizadas (mecánicas), de modo tal que cuando haya un retorno instantáneo de flujo, estas válvulas amortigüen su detención con un cierre temporizado.

5.2. Corolario

Luego de la reunión Hazop, donde participaron todas las disciplinas, se obtuvieron varios hallazgos. Por ejemplo, el golpe de ariete; situación que salió luego de que los ingenieros de Piping tuvieran sus memorias de cálculo.

Esto reafirma la necesidad de hacer el Hazop con las siguientes condiciones:

6. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio consistió determinar la importancia del Análisis de Operación y Riesgos,; además, establecer el(los) momento(s) donde los ingenieros de proyectos de I&C deben programar reuniones de Hazop como parte del desarrollo de la especialidad del control automático e instrumentación de procesos.

Para cumplir con la rigurosidad metodológica que respaldara este trabajo, se analizaron los Sistemas Instrumentados de Seguridad (SIS) y el concepto de Seguridad Funcional. También, se hizo referencia a la norma OSHA y ANSI respecto a la seguridad, riesgos y peligros operacionales. Tales normas respaldan la pertinencia de este estudio.

Antes de hacer las conclusiones, hay que destacar como alcance del estudio, que está dirigido a la función que cumple el proyectista de I&C. Como restricción de este artículo, no se consideran los proyectos que involucren diseño de SIS, dado que es un área con un tratamiento de mayor profundidad que los proyectos donde, formalmente, no hay diseños de SIS involucrados (como proyecto de las industrias de M&M, F&B, W&W, entre otras).

De esta forma y considerando a teoría expuesta, podemos concluir dos cosas:

- La pertinencia de considerar el Análisis de Operación y Riesgos como parte de desarrollo de cualquier proyecto de Ingeniería de I&C. Esto es aplicable a cualquier tipo de Industria involucrada, como lo establece OSHA.

- Para la disciplina de Ingeniería de I&C, se debe establecer el requerimiento de una reunión Hazop que debiera ser obligatoria antes de emitir los documentos y planos Para Construcción. Esto como requerimiento formal para cualquier tipo de Industria (no solo O&G y similares) dentro del diseño de Sistema de Control e Instrumentación de Procesos en la disciplina de Ingeniería de I&C. De igual forma, debieran haber de otras reuniones Hazop, previas y posteriores a la emisión Para Construcción. Pero, se destaca la importancia de ese momento clave definido donde tendrían que participar y aportar todas las disciplinas involucradas al objetivo de la seguridad operacional.

Un punto final para destacar en Seguridad de Planta es el concepto de Múltiples e Independientes Capas de Protección (Protection Layers), que involucra a distintas disciplinas de Ingeniería y por lo tanto, refuerza el énfasis de contar con un análisis de operación y riesgo antes de la etapa de Construcción (contando con las memorias de cálculo), lo que permite detectar riesgos y/o peligros que pudieran haber sido no detectados en etapas previas.

TRABAJO FUTURO

En una segunda etapa de este trabajo, el foco debería estar en la organización documental técnica y de criterios de discusión para la construcción del Hazop desde la perspectiva de la I&C.

AGRADECIMIENTOS

A los editores de la REVISTA TEKNOS, de la Fundación Universitaria Tecnológica Comfenalco de Colombia, por la invitación a participar en tan prestigiosa publicación.

REFERENCIAS

ISA. The Automation, System, and Instrumentation Dictionary, 4th edition. Norte de Carolina: Research Triangle Park.

ANSI/ISA-84.00.01-2004, Parte 1 – 3 (IEC 61511-1 Through 3 Mod) – Functional Safety: Safety Instrumented System for the Process Industries.. Norte de Carolina: Research Triangle Dictionary.

Meier, C. y Meier, F. (2004). Instrumentation and Control System Documentation. Estados Unidos: ISA.

Gruhn, P. (2013). Process Safety and Safety Instrumented System. Estados Unidos: ISA:

Pérez, J. (2003). Informe IQC-03157 Rev.A HAZOP. Santiago de Chile: Quantum Ingeniería Ltda. Risk Management Consulting.