

REVISTA AICHE - PERÚ

Acompáñanos a ver nuestras actividades a lo largo del primer semestre del año



Bienvenida

AICHE PERÚ |

LOCAL SECTION

JUNTA DIRECTIVA

Baltazar Nicolás Cáceres
Luis Torres
Alexander Maslucan
Gabriela Villasante

CONSEJO OPERATIVO

Luis Torres
Alí Paco
Gabriela Villasante

EDICIÓN GENERAL

Nolvert Huaman

REDACTORES

Rodrigo Niño de Guzman
Leonardo Pillco Zevallos

INFORMACIÓN DE CONTACTO

blog@aiche.org.pe
(+51)986212480

Esta revista es una producción de AIChE Perú. Está prohibida su copia, reproducción total o parcial, distribución o difusión por cualquier medio sin la autorización expresa de la organización.

AIChE Sección Perú es una organización sin fines de lucro fundada en julio de 2020. Forma parte del Instituto Americano de Ingenieros Químicos y ofrece recursos y experiencias para el crecimiento profesional y personal, ampliando las oportunidades de desarrollo y liderazgo de sus miembros.

La actual junta directiva tiene como propósito consolidar una comunidad integrada por profesionales de la industria, la academia y el gobierno, promoviendo el empoderamiento colectivo hacia la excelencia en ingeniería química. Nos enfocamos en encontrar soluciones globales a los desafíos de la ingeniería en el Perú y en formar a la próxima generación de ingenieros líderes, capaces de transformar los recursos naturales del país mediante tecnologías innovadoras y sostenibles.

Nos alineamos con las prioridades estratégicas de nuestra organización, fomentando la capacitación, el desarrollo profesional y la colaboración. Asimismo, trabajamos para fortalecer el compromiso con el principio de que todos los interesados en formar parte de la comunidad de ingeniería química deben tener igualdad de oportunidades para lograr el éxito, en un entorno inclusivo, diverso, equitativo y antirracista, que fomente el aprendizaje continuo.

Estamos convencidos de que los ingenieros químicos desempeñan un papel crucial en el futuro de la sociedad, liderando la adaptación hacia un desarrollo sostenible. Por ello, los invitamos cordialmente a unirse a nuestra comunidad y ser parte de este propósito transformador.

La Junta Directiva
AIChE Sección Perú

CONTENIDO

■ 01	Bienvenida 02 Junta Directiva
■ 02	Artículos Técnicos 04 El papel del Ingeniero Químico en la transición energética y en el desarrollo y en el desarrollo de proyectos de Hidrógeno Verde como una opción para la Descarbonización El rol de la Seguridad Funcional en la mejora de niveles de Seguridad, Productividad y Desempeño
■ 03	Sección Especial 24 Cuidar la Mente en la Ingeniería: El Burnout en Entornos Exigentes
■ 04	Noticias AIChE Perú 27

EL PAPEL DEL INGENIERO QUÍMICO EN LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y EN EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE HIDRÓGENO VERDE COMO UNA OPCIÓN PARA LA DESCARBONIZACIÓN

Edward F. Estrada H
Ingeniero Químico

INTRODUCCIÓN

Cuando escuchamos hablar de ingenieros químicos, de forma automática tendemos a relacionarlo con laboratorio, procesos, petróleo o plantas químicas. Sin embargo, cuando escuchamos hablar de energía, lo relacionamos con electricidad y por lo tanto viene a nuestra mente un ingeniero eléctrico o electrónico. Sin embargo, como ingenieros químicos, durante nuestra formación académica hemos recibido conocimientos y herramientas que nos permiten también desempeñarnos en el sector energético. La experiencia del ingeniero químico en el diseño, optimización y escalamiento de procesos lo posiciona como un profesional capacitado para el desarrollo de tecnologías limpias, como la producción de hidrógeno verde, la captura de CO₂, la síntesis de combustibles alternativos, el desarrollo de nuevos materiales para baterías de alta eficiencia, y el aprovechamiento de fuentes renovables de energía. Los ingenieros químicos no solo facilitamos la adopción de energías sostenibles, sino que también aseguramos su viabilidad técnica y económica, acelerando así el camino hacia un futuro bajo en emisiones.

Los conocimientos especializados en temas como la termodinámica, la catálisis, la electroquímica y la ciencia de los materiales son temas que manejan los ingenieros químicos en el desarrollo de proyectos de hidrógeno. Además, su experiencia es clave en el diseño de reactores, la selección de materiales resistentes a altas temperaturas y presiones, y la integración de sistemas eficientes que maximicen la pureza y el rendimiento del hidrógeno

EL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO

El hidrógeno es un gas incoloro, inodoro e inflamable, cuyas propiedades se muestran a continuación:

Características del hidrógeno:

- Peso molecular: 2,016
- Gravedad específica: 0.07 (Aire=1)
- Volumen específico: 12.1 m³/kg
- Densidad del líquido a presión atmosférica (kg/m³): 71.00
- Poder calorífico superior: 144 MJ/kg
- Temperatura de licuefacción (1atm): (-253°C)

El hidrógeno para ser utilizado como fuente de energía lejos de la zona o país de donde fue producida. Su almacenamiento y su transporte presenta retos técnicos los cuales continúan en evaluación. Uno de los más importantes es su baja densidad, por lo que es difícil licuefactar. Para poder licuefactar se necesita una temperatura de al menos -253 °C y una presión de alrededor de 1.9 atm. El uso potencial del hidrógeno en la industria es bastante diverso y debido a sus características puede ser usado tanto en celdas de combustibles como en procesos de combustión directa. Algunos ejemplos de las aplicaciones en donde ya existen avances son:

1.1 Transporte pesado, logística:

Mediante el uso de celdas de combustible, se puede generar electricidad que luego es usado en medios de transporte. Existen proyectos piloto de movilidad con hidrógeno en ciudades de América latina como Colombia, Chile y Brasil.

1.2 Blending de hidrógeno con gas natural en edificios.

Debido al poder calorífico del hidrógeno, se puede realizar en mezcla con el gas natural. Esto permitirá reducir el consumo de hidrocarburos, y por lo tanto se reduce la huella de carbono.

1.3 Uso como agente reductor en la industria del acero

En la industria del acero se utiliza convencionalmente carbón mineral (coque) como agente reductor, sin embargo, puede usarse el hidrógeno en su reemplazo, reduciendo las emisiones de CO₂.

1.4 Para desulfurar combustibles:

Se utiliza el hidrógeno en un proceso de hidrodesulfuración, donde el hidrógeno rompe los enlaces carbono - azufre y se generan el sulfuro de hidrógeno, que luego es separado. Esto permite reducir el contenido de azufre en el diésel y en la gasolina.

1.5 Para combustión en hornos de cementeras

Generalmente en los hornos se utiliza gas natural o algún combustible derivado del petróleo. El hidrógeno se puede combinar con el combustible usado (blending) permitiendo reducir las emisiones de CO₂.

1.6 Para calor de proceso en plantas de vidrio y alimentos

Para uso como combustible en hornos o en mezclas que permitan reducir las emisiones de CO₂. Las mezclas pueden ir desde 5% de hidrógeno hasta 15% de hidrógeno en la mezcla de combustión.

1.7 Para la producción de amoníaco verde

El amoníaco convencionalmente se produce mediante el proceso Haber-Bosch, usando como materias primas el metano que luego de un proceso de conversión, libera hidrógeno y el aire, que proporciona el nitrógeno. Sin embargo, también es posible producir amoníaco usando como fuente directamente el hidrógeno.

AMONIACO VERDE COMO TRANSPORTE DE ENERGÍA

El amoníaco verde es una forma segura y económica de transportar energía ya que las condiciones de operación del amoníaco son menos exigentes que las del hidrógeno. Por ejemplo, para una presión de 1 atm, la temperatura de licuefacción del amoníaco es de -33°C (menos 33). Por otra parte, los materiales para el almacenamiento y transporte de amoníaco son materiales que tienen una mejor resistencia, en cambio el hidrógeno tiene la dificultad de que se fragiliza debido a que el hidrógeno al ser una molécula muy pequeña se difunde en el acero y se acumula en puntos de tensión como en microgrietas o en los límites de los granos del material.

Para volver a obtener el hidrógeno, se debe realizar un proceso de crackeo, donde se descompondrá el amoníaco en hidrógeno y nitrógeno. En la Figura N° 1, se observa el esquema de utilización del amoníaco verde como transportador de energía.

La reacción es endotérmica, por lo que se le debe inyectar energía a la reacción.

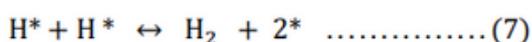
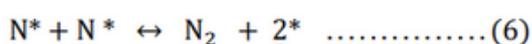
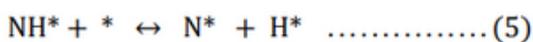
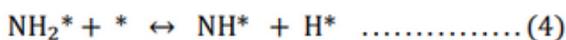
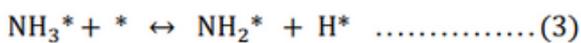


En la bibliografía se puede encontrar los siguientes métodos para realizar el craqueo del amoniaco:

3.1 Craqueo termo catalítico del amoniaco

El proceso se lleva a elevadas temperaturas (500°C - 900°C) y presión atmosférica. Es importante la presencia de catalizadores para promover la reacción de descomposición. Típicamente los catalizadores tienen metales de transición como fases activas (Ni o Ru), y están soportados sobre un óxido inorgánico promovido por promotores que usualmente son alcalinos. Existen varias investigaciones que buscan mejorar la ratio de descomposición usando diferentes tipos de catalizadores, debido a que el Ni y el Ru son metales de alto costo. Por otro lado, el craqueo requiere de un combustible para generar el calor de necesario en la reacción, debido a ello, las estrategias de descomposición consideran como combustible una combinación del amoniaco e hidrógeno como fuente de gas combustible, para evitar tener que usar algún hidrocarburo que genere un incremento de producción de CO₂.

El mecanismo de reacción del craqueo termo catalítico se muestra a continuación.



Nota: El (*) representa el sitio activo en el catalizador Fuente: (Spatolisano y otros, 2023)

3.2 Craqueo mediante plasma del amoniaco

El proceso de uso de plasma se encuentra en investigación y permite descomponer de forma casi instantánea el amoniaco, gracias a la alta temperatura del plasma que se usa para asistir la reacción de descomposición. El método tiene la limitante de la baja productividad de hidrógeno, debido a que se requiere un gas transportador como Argón o Nitrógeno en la alimentación junto con el amoniaco, lo que reduce su concentración inicial. El ratio de descomposición de amoniaco están alrededor del 99%. Existen estudios también donde se combinan la utilización de plasma con catalizadores.

3.3 Craqueo por electrólisis del amoniaco

Para poder superar los problemas relacionados con el suministro de energía térmica para descomponer las moléculas de amoniaco, los investigadores plantearon el uso de técnicas electroquímicas para la descomposición del amoniaco. Este proceso tiene la ventaja de llevarse a cabo a temperaturas ambiente. El proceso se puede llevar a cabo usando electrolitos acuosos en medio ácido o alcalino, y también se pueden usar otros tipos de electrolitos no acuosos. Las principales limitaciones de este método se relacionan con la baja solubilidad del amoniaco en agua e incluyendo un ambiente altamente corrosivo debido al contacto entre el amoniaco y el agua. Una alternativa ante estos problemas es el trabajo con electrolitos no acuosos, donde el amoniaco líquido sirve de solvente y los electrolitos son sales de amonio como por ejemplo la amida de sodio (NaNH₂) o la amida de potasio (KNH₂)

3.4 Craqueo por fotocátalisis del amoniaco

Tiene el potencial de realizar la disociación del amoniaco a temperaturas ambiente. El proceso aprovecha la generación de electrones y los espacios disponibles en los fotocatalizadores. En estos procesos se utiliza convencionalmente semiconductores como fotocatalizadores. Existe poca data sobre este tipo de procesos, sin embargo, hasta la fecha se sabe que algunos metales cargados con óxidos de titanio son efectivos para la conversión del amoniaco.

3.5 Reformado del amoniaco

En este proceso, parte del NH_3 es oxidado para poder entregar energía al proceso de craqueo endotérmico del NH_3 . Este proceso puede ser autosustentable, debido al calor generado en la fase de oxidación.

La eficiencia del proceso depende de ciertas variables como: El diseño de un catalizador adecuado, la identificación de un reactor capaz de realizar un apropiado calentamiento y el tratamiento del gas de desecho (NO_x) y su tratamiento. Un aspecto también acerca del proceso es que el agua producida durante el proceso de reformado puede reaccionar también sobre los puntos activos de los catalizadores y competir con el amoniaco durante la conversión.

PROYECTOS DE HIDRÓGENO EN EL MUNDO

De acuerdo con el informe "Global Hydrogen Review 2024", realizado por la Agencia Internacional de la Energía, en el año 2024, se llegó a una producción global de 97TM de hidrogeno en 2023 y que, a fines del 2024, se alcanzó una producción de 100 TM. Durante el 2023, los porcentajes de producción de hidrógeno fueron: China, con 30% del total, seguido de EEUU con 14%, medio oriente con 14%, India con 9%, Europa con 7.5%, Latinoamérica con 3.9 % y otros países con 21.6% (Agency, 2024).

Uso del hidrógeno producido en el 2023 fue de la siguiente manera:

- 75 TM: Hidrógeno puro para refinación y producción de amoniaco.
- 20 TM: Hidrógeno para producción de metanol y para fabricación de acero
- 2 TM: Hidrógeno para otras aplicaciones.

4.1 Hidrógeno en américa latina.

Según el reporte del "Global Hydrogen review 2024", elaborado por la Agencia internacional de la Energía, el 2023, América Latina tuvo una demanda de hidrógeno del 4TM (toneladas métricas). Casi la totalidad de la cantidad de hidrógeno que se utilizó fue para actividades de refinación de petróleo y para producción de químicos.

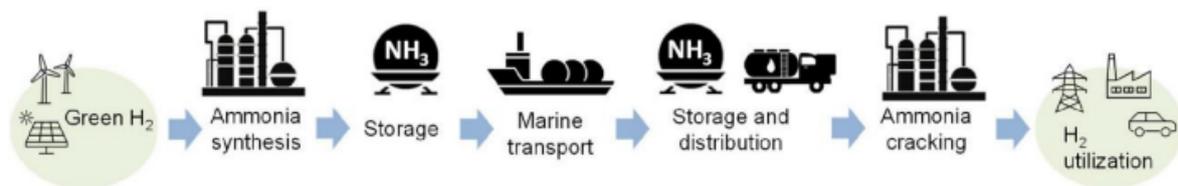


Figura N° 1: Esquema del uso del amoniaco verde. (Spatolisano y otros, 2023)

América Latina tiene un potencial enorme de desarrollar una mayor producción de hidrógeno de bajas emisiones, debido a que la zona es abundante en recursos naturales, que le pueden permitir obtener energía de forma renovable. Según el reporte, actualmente el 60% de la matriz eléctrica proviene de fuentes renovables, principalmente hidroeléctricas.

4.2 Desarrollo de la industria del hidrógeno en el Perú

En el Perú se tiene poco desarrollo en temas de hidrógeno de bajas emisiones e hidrógeno verde. Lo que sí se produce es hidrógeno a partir del reformado con vapor de agua (hidrógeno gris). En este proceso, el gas natural reacciona con vapor de agua a altas temperaturas, liberando hidrógeno y dióxido de carbono (CO₂). El hidrógeno producido se utiliza luego en diversos procesos de refinación, como hidrotratamiento y hidrocrackeo, para mejorar la calidad y valor de los productos de refinación del petróleo.

4.2.1 Refinería La Pampilla – Callao:

Perú La refinería La pampilla, operada por la empresa Repsol, se utiliza el hidrógeno azul, el cual se obtiene del reformado de vapor del gas natural, similar al hidrógeno gris, con la diferencia que el CO₂ producido es luego capturado para otras aplicaciones. La empresa actualmente viene analizando proyectos de hidrógeno verde con empresas mineras como Antamina, Chinalco y las bambas. (Cóndor, 2024)

4.2.2 Central Termoeléctrica Fénix – Lurín:

Perú En enero del 2024, la empresa Fénix Power, operadora de la central termoeléctrica Fenix, ubicada en el distrito de Lurín, en el sur de Lima, inauguró su planta de hidrógeno verde, diseñado e instalado por la empresa Colbun.

La planta tiene una capacidad de 8,000 m³/año de hidrógeno verde y suministra el hidrógeno a la unidad de enfriamiento del estator de la turbina de generación eléctrica (Fénix Power, 2024).

4.2.3 Planta de hidrógeno verde en funcionamiento en el Perú:

Industrias Cachimayo S.A. En la región Cusco del Perú, existe una planta de hidrógeno verde, que viene operando desde el año 1965. La planta es de la empresa Industrias Cachimayo, que es parte del grupo empresarial Enaex. La producción de hidrógeno está dedicada a la fabricación de nitrato de amonio para explosivos, que son ampliamente usados en la minería del Perú. La planta de hidrógeno utiliza electrolizadores alcalinos, con el hidróxido de potasio como electrolito, y tiene una capacidad de 8.6 ton de hidrógeno al día. La planta de hidrógeno se alimenta mediante energía hidroeléctrica y desde el año 2022, gracias a un convenio con la empresa ENGIE, tiene un suministro certificado de energía 100% renovable (Energiminas, 2024).

4.2.4 Proyecto Horizonte de verano – Perú

El proyecto horizonte de verano, es un proyecto ambicioso que será realizado en la región Arequipa, específicamente entre los distritos de Majes y Quilca. En febrero del 2025, el ministerio de la producción del Perú aprobó el estudio de impacto ambiental del proyecto "Planta de producción de hidrógeno verde"-Horizonte de verano, que es propiedad de la empresa Horizonte de verano SAC. La capacidad de producción de la planta es de 2,237 ton/día de hidrógeno verde, además de 9,500 ton/día de amoniaco.

El proyecto está pensado para ejecutarse por fases. En total son 5 fases, donde la capacidad de producción se va incrementando gradualmente. La inversión del proyecto, según información pública, asciende a 12,809 millones de dólares y el proyecto será realizado en un plazo de 5 años.

Los principales componentes del proyecto son:

- Planta Solar fotovoltaica
- Subestación de 500kV y red de distribución
- Planta de producción de hidrógeno
- Unidad de almacenamiento de hidrógeno
- Planta de producción de amoníaco
- Red de trasvase de amoníaco
- Terminal marítimo y zona de despacho
- Planta desalinizadora de agua

El proyecto es un proyecto ambicioso tiene una vida útil de 30 años y está dirigido a la exportación de amoníaco verde.

Las capacidades de producción de la planta se irán incrementando a medida que se desarrollan las fases del proyecto y la cantidad de hidrógeno que se usa para producir amoníaco, y la capacidad de transporte de amoníaco, se puede observar en las tablas 1, 2 y 3 respectivamente.

Tabla N° 1: Capacidad de producción de hidrógeno, según la fase del proyecto.

FASE	Capacidad H ₂ (ton/día)
Fase 1	573.6
Fase 2	611.84
Fase 3	382.4
Fase 4	382.4
Fase 5	286.8
TOTAL	2237.04

Fuente: (Ministerio de la producción - Perú, 2025)

Tabla N° 2: Fracción de hidrógeno que se separa para almacenar y para producir amoníaco.

FASE	Fracción de H ₂		
	Producción total de H ₂ (Ton/hora)	Para almacenar (Ton/hora)	Para producir amoníaco (Ton/hora)
Fase 1	23.9	5.5	18.4
Fase 2	25.5	5.87	19.63
Fase 3	15.9	3.67	12.27
Fase 4	15.9	3.67	12.27
Fase 5	12.0	2.75	9.2
TOTAL	93.2	21.46	71.77

Fuente: (Ministerio de la producción - Perú, 2025)

Tabla N° 3: Cantidad de amoníaco producido y transportado por el poliducto.

FASE	Cap. Poliducto de NH ₃ (ton/h)
Fase 1	101.5
Fase 2	108.27
Fase 3	67.67
Fase 4	67.67
Fase 5	50.75
TOTAL	395.86

Fuente: (Ministerio de la producción - Perú, 2025)

CONCLUSIONES

- El hidrógeno es una de las mejores opciones a mediano plazo para reemplazar a otros combustibles provenientes de hidrocarburos y así reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel industrial.

REFERENCIAS

- El ingeniero químico cuenta con las capacidades técnicas adecuadas para evaluar los procesos y diseñar plantas de producción y transformación del hidrógeno, así como de toda la gama de productos derivados como son el amoníaco y los combustibles líquidos sintéticos (efuels)
- El ingeniero químico ha sido formado con la capacidad suficiente para realizar investigaciones relacionadas con nuevas aplicaciones del hidrógeno y otras alternativas para acelerar el desarrollo de la industria del hidrógeno.
- El Perú tiene un gran potencial para desarrollar proyectos de hidrógeno verde, debido a la cantidad de recursos de energía solar y eólica con los que cuenta el país debido a su ubicación.
- Si bien es cierto que se están desarrollando poco a poco proyectos de producción de hidrógeno en el Perú, de igual manera se debe promover el desarrollo de proyectos de utilización del hidrógeno, con el objetivo de crear un mercado que haga aparecer nuevos actores y con ello se logre que los precios y la tecnología del hidrógeno sea más competitiva.
- Paralelamente al desarrollo de proyectos de producción de hidrógeno verde, se debe plantear incorporar en los centros de capacitación de nivel universitario y nivel técnico los conceptos técnicos y habilidades para que los futuros egresados puedan brindar el soporte técnico en las plantas de hidrógeno durante la planificación, construcción y operación.
- Agency, I. E. (2024). Global Hydrogen Review 2024. Clean Energy Ministerial Hydrogen Initiative.
- Córdor, J. (06 de Febrero de 2024). Repsol mira proyectos de hidrógeno verde con Antamina, Chinalco y Las Bambas. Diario Gestión.
<https://gestion.pe/economia/empresas/repsol-mira-proyectos-de-hidrogenoverde-con-antamina-chinalco-y-las-bambas-empresas-hidrogeno-verde-lapampilla-energia-repsol-antamina-noticia/?ref=gesr>
- Energiminas. (21 de marzo de 2024). Cusco: Planta Cachimayo de Enaex Perú produce 8.6 toneladas de hidrógeno verde al día. <https://energiminas.com/2024/03/21/cusco-planta-cachimayo-de-enaex-peru-produce-8-6-toneladas-de-hidrogeno-verde-aldia/>
- Fénix Power. (26 de enero de 2024). Fénix Power. Fenix inaugura primera planta de hidrógeno verde en una central eléctrica en el Perú: <https://www.fenix.com.pe/fenix-inaugura-primera-planta-de-hidrogeno-verde-enuna-central-electrica-en-el-peru/>
- Ministerio de la producción - Perú. (03 de marzo de 2025). Sitio oficial del ministerio de la producción. Resolución Directoral N.º 0136-2025-PRODUCE/DGAAMI: <https://www.gob.pe/institucion/produce/normas-legales/6527870-0136-2025-produce-dgaami>
- Spatolisano, E., Pellegrini, L., De Angellis, A. R., Cattaneo, S., & Roccaro, E. (2023). Ammonia as a Carbon - Free Carrier: NH₃ cracking to H₂. *Industrial & Engineering Chemistry Research*(62), 10814 - 10820. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.3c01419>

CENA ANUAL



AIChE 
PERU | LOCAL SECTION

20
25

*¡Celebremos juntos la
excelencia!. La cena anual
AIChE - Perú Local
Section 2025 te espera
para conmemorar lo
mejor del año*



EL ROL DE LA SEGURIDAD FUNCIONAL EN LA MEJORA DE LOS NIVELES DE SEGURIDAD, PRODUCTIVIDAD Y DESEMPEÑO.

Eur Ing José Antonio Rodríguez Seijas MSc, CEng, MChemE, MAICHE
Consultor de Gestión de Riesgos

RESUMEN

La industria de los hidrocarburos está enfrentando cada vez con mayor intensidad la obligación de cumplir con regulaciones en materia de seguridad y por lo tanto está obligada a gestionar los riesgos de una manera más eficiente y efectiva. Esta situación se ha hecho más evidente después de accidentes como Buncefield, Texas City y el último de BP ocurrido en el golfo de México con la plataforma Horizon.

Las empresas de hidrocarburos a nivel mundial están en la búsqueda de vías adecuadas que les permitan incrementar los niveles de seguridad de la gente, productos y procesos, reducir el coste de cumplir con las regulaciones, y a la vez lograr un mejor desempeño en términos de mejoramiento de la productividad, competitividad, y de la rentabilidad. Surge entonces la gran pregunta, ¿es factible alcanzar este nivel de gestión, o es una utopía y debe, por tanto, ser abandonada?

Este artículo pretende demostrar, a través de algunos ejemplos traídos de la realidad propia del autor en su experiencia en la industria de los hidrocarburos, que sí existen posibilidades de lograr dicho nivel de gestión.

El artículo relatará además, los resultados de las últimas investigaciones en Gestión de Riesgos, y como estas demuestran que las mejores empresas a nivel mundial han alcanzado niveles de reducción de consumo de energía de hasta 10%,

tasa de repetición de accidentes del 1% y tasas de frecuencia de lesiones del 0.1%, comparado con los niveles obtenidos por las peores empresas que reflejan un incremento (no reducción) del consumo de energía del 0.5%, tasa de repetición de accidentes del 11% y tasas de frecuencia de lesiones del 1.3%. El factor fundamental que diferencia a las mejores empresas, entre otros muy importantes, es que en todas ellas existe un Sistema de Gestión de Riesgos formal.

Los ejemplos que se presentarán en este artículo están referidos a la utilización de metodologías para la determinación del SIL (Nivel de Integridad de Seguridad) en conjunto con la utilización de la tecnología adecuada, para dentro del marco de un Sistema de Gestión de Riesgos formal, lograr reducir dramáticamente el coste de cumplir con regulaciones y normas, reduciendo a la vez el riesgo a niveles tolerables. Estos ejemplos se describen brevemente a continuación:

1. Instalación de una serie de ESP (Bombas Eléctricas Sumergibles) en un conjunto de pozos de petróleo costa-afuera, cuya presión de cierre superaba la presión de diseño del oleoducto existente asociado. Se logra cumplir con las regulaciones, reducir el riesgo a un nivel tolerable y ahorrar a la vez US\$ 300 millones en CAPEX (Inversión de Capital), sin afectar significativamente el OPEX (gasto operativo).

2. Cumplir con regulaciones nacionales y normas internacionales en una serie de instalaciones de producción de crudo y gas. Se logra cumplir con las regulaciones nacionales e internacionales, reducir el riesgo a un nivel tolerable y ahorrar a la vez US\$ 40 millones en CAPEX, así como mejoras considerables en reducción de mantenimiento y reducción de falsas paradas de planta (reducción de producción diferida y mejora del desempeño global).

Finalmente, el artículo concluye que la utilización de metodologías como las desarrolladas aquí, enmarcadas dentro de un sistema de Gerencia de Riesgos formal y adecuado, en combinación con el uso de tecnologías de seguridad fiables y un enfoque riguroso de la seguridad durante el Ciclo de Vida, permite reducir los costes de cumplir con leyes, regulaciones y normativa en aspectos de seguridad, a la vez que incrementa la productividad, el desempeño y finalmente la rentabilidad.

INTRODUCCIÓN

Las empresas de los hidrocarburos a nivel internacional, reconocen de forma unánime tanto la importancia, como el rol absolutamente crítico que juega la seguridad en ayudar a proteger el personal, los activos y a cumplir con los requerimientos legales y normativos. No obstante, no todas (más bien muy pocas) alcanzan a entender que aun cuando estos son objetivos válidos, se está perdiendo una oportunidad muy valiosa de lograr incrementar productividad y rentabilidad a la vez que se evitan consecuencias negativas.

Históricamente, la industria de los hidrocarburos ha visto las prácticas de seguridad como actividades para evitar medidas punitivas, o de cumplimiento obligatorio, pero muy pocas veces se han visto como un medio importante para mejorar la eficiencia y la productividad.

Afortunadamente, ya es posible vislumbrar algunos signos de cambio en este enfoque, ya se puede ver una cierta tendencia hacia la utilización de metodologías de Gerencia de Riesgos en combinación con el uso de tecnologías de seguridad fiables y un enfoque riguroso de la Seguridad durante el Ciclo de Vida siguiendo IEC 61511 (ver referencia No. 1), para reducir los costes de cumplir con leyes, regulaciones y normativa en aspectos de seguridad, y a la vez incrementar la productividad, el desempeño y finalmente la rentabilidad.

Este artículo elabora y presenta ejemplos de cómo la combinación de las nuevas tecnologías de seguridad, la seguridad funcional y el diseño innovador, pueden posicionar la función de seguridad, no solo como el factor primordial para reducir los riesgos hasta un nivel tolerable (ALARP), sino también como una función clave para el logro de un valor económico y de negocio, mucho más allá de la sola reducción de costes asociados con los accidentes.

DEFINICIONES

La primera pregunta que seguramente surge en la mente del lector es ¿qué es la seguridad funcional?, ¿de qué trata? La seguridad funcional consiste en el uso de sistemas cuyo funcionamiento adecuado es requerido para alcanzar o mantener un estado seguro del proceso. No aplica al campo de la seguridad ocupacional. El término cubre sensores, disparos, alarmas, en general cualquier dispositivo que necesita operar de alguna manera para obtener seguridad. Algunos ejemplos mecánicos incluyen válvulas de alivio y seguridad, discos de ruptura, etc. No obstante la normativa de seguridad funcional aplica solo a aquellos elementos que tienen una base eléctrica, electrónica o electrónica programable (E/E/EP), pero incluyen consideraciones sobre la capacidad de reducción del riesgo provista por el resto de elementos, a los cuales se les conoce en forma general como **Capas Independientes de Protección (IPL por sus siglas en inglés)**.

También es muy importante entender a que nos referimos cuando hablamos de una función de seguridad. Función de seguridad se refiere a toda función cuyo objetivo es el de alcanzar o mantener un estado seguro del proceso con respecto a un evento peligroso específico. Cuando una función de seguridad es implantada a través del uso de una tecnología en base a sistemas E/E/EP, se le conoce como una Función Instrumentada de Seguridad (SIF por sus siglas en inglés), o también llamado Sistema Instrumentado de Seguridad (SIS). La figura No. 1 representa un ejemplo de un SIS.

Figura 1. Sistema Instrumentado de Seguridad



Otro concepto clave es el de **Nivel de Integridad de Seguridad**, conocido por sus siglas en inglés como SIL. Este concepto aplica al SIF y da una indicación de la fiabilidad de la función de seguridad. El SIL está clasificado en 4 niveles (1-4), siendo el SIL 4 el que indica el mayor nivel de fiabilidad. Para sistemas de parada en las plantas de proceso, estos cuatro niveles se definen en términos de la probabilidad de que el SIF falle cuando es demandado a operar. La tabla No. 1 presenta la definición de estos niveles de SIL

Tabla No. 1. Niveles de Integridad de Seguridad (SIL)

SIL	PFD (Modo de Operación en Demanda)	Factor de Reducción del Riesgo (RRF)
SIL 4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	100000 to 10000
SIL 3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	10000 to 1000
SIL 2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	1000 to 100
SIL 1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	100 to 10

De suma importancia es entender el concepto de ALARP, abreviatura de As Low As Reasonably Practicable, que podemos traducir como “Tan Bajo Como sea Razonablemente Posible”. Concepto que expresa que el nivel de riesgo ha sido reducido a través de un proceso sistemático y documentado, hasta un punto tal que no es posible identificar ninguna medida adicional de reducción del riesgo que sea económicamente efectiva.

Por su parte el Sistema de Control Básico del Proceso (BPCS por sus siglas en inglés), es un sistema que responde a señales de entrada del equipo de proceso bajo control y/o del operador y genera señales de salida causando que el equipo de proceso opere de la forma deseada.

Por último, veamos que se entiende por un Sistema de Protección de Alta Integridad, conocido por sus siglas en inglés HIPS. Se puede decir que un HIPS es un mecanismo de seguridad (normalmente una especie de SIS) que ofrece igual o mejor protección que una válvula de alivio o un disco de ruptura. Es aplicado cuando la planta o equipo no están diseñados para resistir las presiones a las cuales pueden estar expuestos en una condición de falla, y cuando:

- No existe un sistema mecánico de protección (válvula de alivio, disco de ruptura) para prevenir la sobrepresión y pérdida potencial de contenido.
- Existen tales sistemas mecánicos de protección pero son inadecuados por si mismos para prevenir tal sobrepresión y pérdida potencial de contenido, bajo ciertas condiciones que pueden ser razonablemente previsibles.

DESARROLLO DE LA SEGURIDAD FUNCIONAL

Desde principios de la década de los 1990, se hizo cada vez más evidente que los sistemas programables ofrecían mayor flexibilidad y funcionalidad que sus contrapartes no programables. No obstante, no existía prácticamente ninguna guía en cuanto a cómo los sistemas programables podían ser usados en aplicaciones relacionadas con la seguridad. Con esto en mente, comenzó el trabajo para desarrollar un estándar internacional que se conoce como IEC 61508 y que fue publicado en el año 2000. Posteriormente, en el año 2003 se publica el estándar internacional IEC 61511 que nace del anteriormente mencionado, y que aplica específicamente a la industria del proceso, incluyendo la industria de los hidrocarburos. IEC 61511 fue adoptado en Estados Unidos en el año 2004 a través de la publicación del estándar ANSI/ISA 84.00.01-2004.

Está claro que la publicación de estos estándares es de reciente data, pero a partir de su publicación, se ha comenzado a desarrollar en forma clara el concepto de seguridad funcional. Este concepto presenta una serie de aspectos clave que es importante conocer. En primer lugar el concepto aplica a la seguridad durante todo el ciclo de vida de un SIF, es decir el concepto considera desde el análisis de riesgos necesario para decidir sobre la necesidad de un SIF, pasando por su adecuado diseño, instalación, prueba, inspección y mantenimiento, hasta su desmantelamiento.

El concepto de seguridad funcional es un concepto claramente basado en riesgo, es decir, su aplicación exige la reducción del riesgo hasta un nivel tolerable (ALARP). Adicionalmente, el concepto aplica a la seguridad de la gente en primer lugar, pero se ha venido utilizando cada vez más, aplicado a la seguridad del ambiente y de los activos.

Por último, el concepto de seguridad funcional incorpora la estimación del SIL, cuya definición se incorpora en el punto anterior. No obstante, es importante aclarar que el concepto de SIL aplica a una función instrumentada de seguridad (SIF) como un todo, es decir desde el fluido del proceso en el sensor, hasta el fluido del proceso en el elemento final. Podemos por tanto hablar de un SIF SIL 2 o SIL 3, pero no es apropiado hablar de un sensor SIL 2.

DETERMINACIÓN DEL SIL

La determinación del SIL de un SIF se lleva a cabo durante la etapa del ciclo de vida correspondiente a la valoración del riesgo. El proceso consiste en identificar todos los eventos peligrosos significativos, y para cada uno de ellos se estima que cantidad de reducción del riesgo es necesaria para que la función instrumentada de seguridad alcance un nivel de riesgo tolerable (ALARP). El resultado de la determinación del SIL es la definición de la fiabilidad requerida por el SIF. Este es el llamado riesgo meta.

Existen distintas metodologías para la determinación del SIL, tales como Grafico de Riesgo, Matriz de Capas de Protección, pero el usado por el autor para llevar a cabo los proyectos descritos en este artículo, debido a su mayor exactitud y objetividad, y a su capacidad para llevar a cabo un análisis completamente cuantitativo, es el método conocido por sus siglas en inglés LOPA (Layers of Protection Analysis).

APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE SEGURIDAD FUNCIONAL

Un estudio del HSE del Reino Unido (referencia No. 6), determina claramente que los accidentes ocurren a través de todo el ciclo de vida de una instalación. Pero lo que llama más la atención es que en aquellos accidentes que de alguna forma están relacionados con un SIF, dicho estudio determina que el 59% de los mismos ocurrieron por un diseño inadecuado del SIS.

Este hecho indica a las claras que el proceso de seleccionar y diseñar la solución de seguridad más adecuada para una instalación es sumamente complejo, y además está en evolución permanente. Cada operación, instalación, actividad, y proceso son diferentes, y requieren por lo tanto un examen profundo de los aspectos críticos de seguridad funcional para implantar el nivel apropiado de reducción del riesgo, y no sobre-diseñar o sub-diseñar los sistemas de protección. Ambos extremos conducen a una desmejora de la seguridad de las instalaciones. Este artículo presenta a continuación un par de ejemplos prácticos traídos de la realidad propia del autor en su experiencia en la industria de los hidrocarburos.

Estos ejemplos pretenden demostrar como a través de la implantación del concepto de seguridad funcional en estos casos reales, se logró implantar una serie de medidas de reducción de riesgos proporcionales con los riesgos existentes, que redujeron los mismos hasta un nivel tolerable, proporcionando los niveles de disponibilidad y fiabilidad adecuados, y a la vez lograron altos niveles de rentabilidad para la empresa.

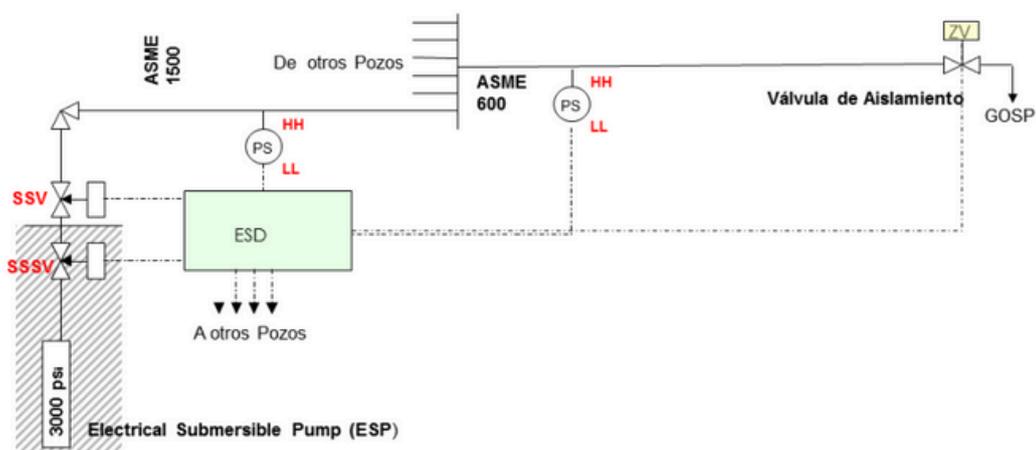
Ejemplo 1-Instalación de Sistemas de Protección de Alta Integridad (HIPS)

La empresa en la cual se desarrolla este proyecto, planeaba un incremento de producción de crudo en uno de sus campos costa-afuera de 300 mil barriles por día (MBPD) hasta 450 MBPD. Este desarrollo requería la instalación de bombas eléctricas sumergibles (ESP por sus siglas en inglés) en cada uno de los seis pozos asociados a siete plataformas de producción (cabezales). La presión de cierre de las nuevas ESP variaba, así tres de las plataformas dispondrían de ESP con presión de cierre que excedía el MAWP de ASME 600, siendo la máxima presión de cierre de 3000 psi.

El proyecto contemplaba además la instalación de dos nuevas líneas de flujo de 16" cada una, sirviendo a dos plataformas cada una, y enviando la producción a una plataforma de recolección nueva. Una nueva línea troncal de 42" transportaba la producción desde esta plataforma de recolección nueva hasta tierra firme.

Todo el sistema nuevo de tuberías estaba diseñado para una presión máxima de trabajo permitida (MAWP) de 1350 psi a 160° F. Esta presión corresponde al MAWP ASME, Clase 600. La tubería de los pozos hasta las plataformas existentes para el momento del proyecto era ASME 1500. Como es obvio, durante la revisión técnica del proyecto se identificó la posibilidad de sobre-presurizar los cabezales de descarga, así como los risers, líneas de flujo y la línea troncal asociadas a estas plataformas, como el mayor peligro del proyecto desde el punto de vista de seguridad y ambiente. Las prácticas de ingeniería aplicadas por la empresa dueña de este campo indicaban que toda la tubería debía ser diseñada para la presión máxima de cierre de los pozos. La figura No. 2 representa esquemáticamente la situación descrita.

Figura 2. Esquemático de una Plataforma Típica



Como consecuencia de esta situación, se imponía reemplazar una extensa cantidad de tubería con especificación ASME Clase 600 a ASME Clase 1500, incluyendo las válvulas submarinas, para cumplir con la norma de la empresa. El coste de diseño, materiales, etc. para llevar a cabo esta solución era de unos 300 millones de US\$, sin incluir la producción diferida por unos 18 meses al precio del barril de crudo para el año 2004.

Dado el alto impacto económico representado por la opción de reemplazo de la tubería, se decidió buscar y estudiar otras opciones para lograr reducir el coste de cumplir con regulaciones y normas, reduciendo a la vez el riesgo a niveles tolerables. Una de las opciones planteadas estaba referida a la instalación de un sistema de HIPS. El diseño del sistema de HIPS planteaba tres niveles de parada de emergencia configurados de la siguiente manera (ver figura No. 3):

- Un nivel de parada por alta presión instalado aguas abajo de la válvula choke, y que cierra las SSV y SSSV.
- Un segundo nivel de parada por alta presión instalado aguas arriba de la válvula de bloqueo de la plataforma (ZV), el cual cierra la válvula ZV, y las válvulas SSV y SSSV y para todas las ESP de la plataforma.
- Un tercer nivel de parada por alta presión que corta la energía eléctrica a las ESP

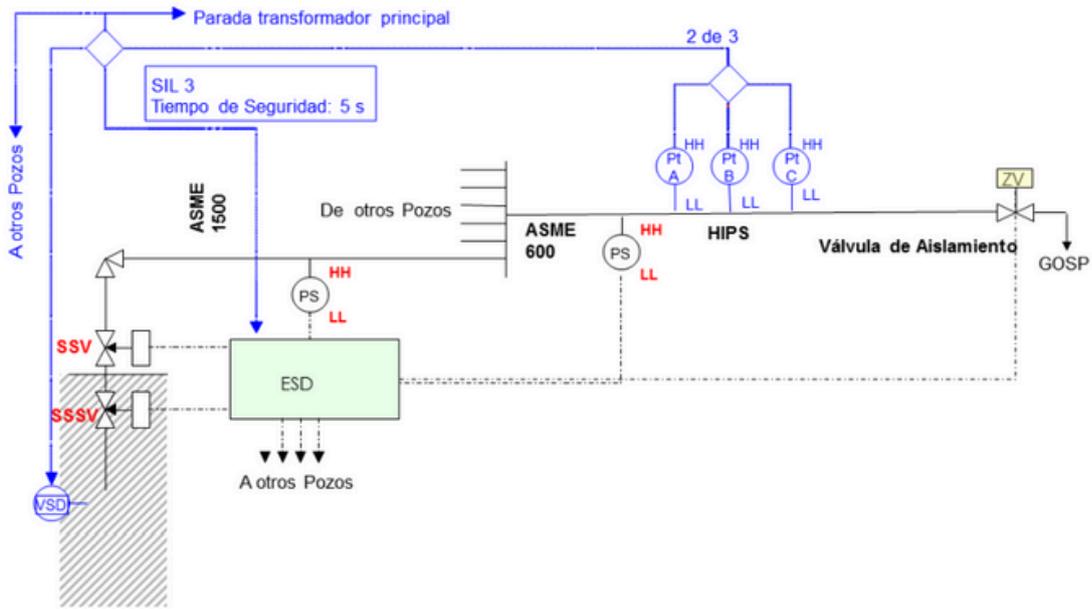
Con el fin de estudiar todas las opciones posibles de solución, se desarrolló un proceso innovador para la época, y que sigue siendo aplicado con éxito por esta empresa, habiendo pasado a formar parte de su normativa técnica. Este proceso se presenta y describe brevemente más adelante en este artículo. El proceso definió la opción de la instalación de un sistema de HIPS, como la más prometedora, y en consecuencia, se siguió un enfoque global referido a la seguridad del ciclo de vida, lo cual incluyó llevar a cabo un estudio cuantitativo de SIL.

El riesgo estudiado en este estudio cuantitativo de SIL fue el de la posibilidad de sobrepresurización de los nuevos sistemas Clase ASME 600, debido a los diversos escenarios de alta presión en el sistema, producida por eventos de cierres de válvulas, obstrucciones, etc. El riesgo se estudió para tres escenarios básicos, a saber:

- El sistema de tuberías Clase ASME 600, dotado con un sistema de protección estándar que actúe sobre las válvulas de seguridad de sub-superficie (SSSV), y de seguridad de subsuperficie (SSV)
- El sistema de tuberías Clase ASME 600, dotado con un sistema de protección estándar que actúe sobre las válvulas de seguridad de sub-superficie (SSSV), y de seguridad de subsuperficie (SSV), y un sistema de HIPS adicional.
- El sistema de tuberías Clase ASME 1500, dotado con un sistema de protección estándar que actúe sobre las válvulas de seguridad de sub-superficie (SSSV), y de seguridad de sub-superficie (SSV).

La figura No. 3 presenta un esquema de una plataforma típica con la solución de HIPS incorporada.

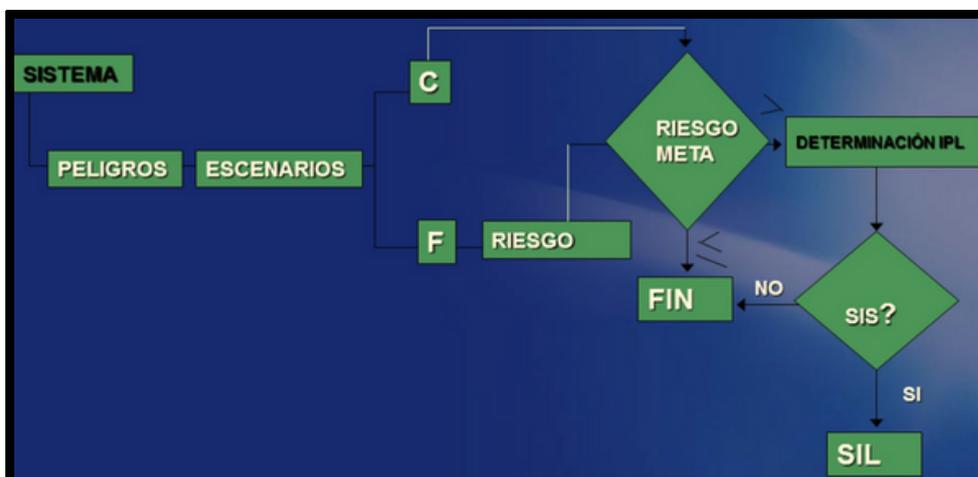
Figura No. 3. Esquemático de una Plataforma Típica con HIPS



El proceso del estudio cuantitativo de SIL, a diferencia de los estudios normales basados en LOPA u otra metodología usada para la determinación de SIL, consistió en una combinación de la estimación cuantitativa de la frecuencia de los escenarios de sobre-presión usando las metodologías de Árbol de Eventos y del Árbol de Fallas, y la estimación de las consecuencias de dichos escenarios utilizando modelos de simulación de consecuencias cuantitativos y computarizados.

El resultado fue que la metodología desarrollada para la determinación del SIL fue 100% cuantitativa, altamente objetiva y representó también una innovación para la época. Un esquema de esta metodología se presenta gráficamente en la figura No. 4.

Figura No. 4. Proceso de Estudio Cuantitativo de SIL



El criterio de tolerancia establecido para la reducción del riesgo en este caso particular (riesgo meta), estuvo fundamentado en el riesgo de ruptura del sistema de tubería suponiendo que el mismo hubiese sido diseñado basado en las prácticas de diseño de la empresa, es decir, si el sistema hubiese sido diseñado para cumplir ASME/ANSI Clase 1500. En concordancia con este criterio, los objetivos del estudio fueron fijados en el sentido de estimar y valorar en forma totalmente cuantitativa el riesgo diferencial entre los tres escenarios básicos establecidos arriba.

La información de fallas de equipos fue tomada de la base de datos recolectada por el HSE (Health & Safety Executive) del Reino Unido, la cual es reconocida a nivel mundial, y considerada como la más completa y exacta. Para la estimación de la probabilidad de falla en demanda (PFD), se consideraron los factores de Modo Común de Fallas, y Factor de Cobertura.

Como resultado del estudio cuantitativo de SIL se determinó que la solución planteada (implantación de un sistema de HIPS), no solo cumplía con el criterio de tolerancia de riesgos establecido, sino que lo mejoraba, tal y como se demuestra en la tabla No. 2.

Estos resultados favorables a la opción de Clase 600 y HIPS, se lograban con la configuración (arquitectura) para el sistema de HIPS mostrada en la figura No.3, y estableciendo un periodo de prueba de una vez cada seis meses.

En consecuencia la probabilidad de falla en demanda (PFD) del sistema de HIPS presentó los siguientes valores:

- 5.57E-06 con respecto a la plataforma
- 4.00E-06 con respecto a las líneas de flujo, y
- 4.64E-08 con respecto a la línea troncal.

Estos PFD corresponden a un SIL bastante superior a SIL 4. La decisión final tomada por la empresa operadora de este campo productor costa-afuera, consistió por tanto, en adoptar la opción del uso del HIPS para la protección del sistema de tuberías a ser instalado en este campo.

Este ejemplo de un caso real demuestra claramente como una adecuada implantación del concepto de seguridad funcional a través del ciclo de vida, permite lograr una reducción apropiada del nivel de riesgo en este campo productor costa-afuera, y a la vez reducir el CAPEX del proyecto en 300 millones de US\$ y evitar producción diferida por 18 meses. Todo esto sin afectar de forma significativa el OPEX (Gasto Operacional) de las instalaciones. Demuestra también que este enfoque provee la mejor protección legal, puesto que incorpora el uso de las mejores prácticas de ingeniería, representadas en este caso por la aplicación de IEC 61511.

Tabla No. 2. Comparación de los Resultados de Riesgos.

Área	Riesgo Tubería ASME 1500 (año ⁻¹)	Riesgo Tubería ASME 600 y HIPS (año ⁻¹)
En la Plataforma	9.83 x 10 ⁻⁵	6.78 x 10 ⁻⁵
Línea de Flujo	1.07 x 10 ⁻³	5.66 x 10 ⁻⁵
Línea Troncal	1.50 x 10 ⁻⁴	1.97 x 10 ⁻⁶

Ejemplo 2-Revisión del Diseño de Sistemas de Parada de Emergencia.

Este proyecto consistía en revisar los Sistemas de Parada de Emergencia (ESD) de las instalaciones mencionadas a continuación:

- 14 Estaciones de Flujo Costa-Afuera. • 1 Planta de Compresión de Gas.
- 2 Plantas de Fraccionamiento de GLP.
- 1 Planta de Refrigeración de Gas.
- 1 Estación de Flujo en Tierra.

En esta empresa los ESD se venían diseñando basándose en análisis cualitativos de los niveles de seguridad de integridad de las instalaciones, lo que por su grado de subjetividad, resultaba en sistemas por lo general costosos y con frecuencias de fallas indeseables que impactaban la producción.

Como ejemplo de ello en las Estaciones de Flujo se producían paros no programados con una producción diferida asociada muy alta, o fallas en la actuación del ESD con riesgos de daños al ambiente por efecto de derrames. En el caso de las plantas de procesamiento de gas, la integridad de los ESD no obedecía al nivel de riesgo de la instalación y en consecuencia, las plantas estaban sub-protegidas, lo cual obviamente incrementaba el riesgo.

Se decide entonces hacer una revisión de todos los ESD disponibles en las instalaciones mencionadas, con el fin de determinar en primer lugar su necesidad, y en segundo lugar definir si su integridad se correspondía con el riesgo protegido.

Así mismo, como parte de esta revisión se incluyó la determinación de SIF adicionales en aquellos casos en que se justificase su instalación.

En este caso se utilizó exactamente el mismo enfoque y concepto utilizado en el ejemplo No. 1. La tabla No. 3 presenta los resultados del estudio.

Estos resultados representaron una mejora substancial en el diseño de los ESD de estas instalaciones, ofreciendo una reducción del riesgo hasta un nivel tolerable y ALARP, y permitieron una reducción en CAPEX de 40 millones de US\$. Adicionalmente, esta empresa fue la pionera en la aplicación de esta metodología en el país donde se encuentra asentada.

Descripción de la Metodología Utilizada

El enfoque generalizado para el diseño de tuberías de producción de petróleo es el de diseñarlas para la máxima presión de cierre. No obstante, en este caso que nos ocupa, se presentó una necesidad clara de balancear los requerimientos de seguridad y ambientales contra limitaciones técnicas y económicas.

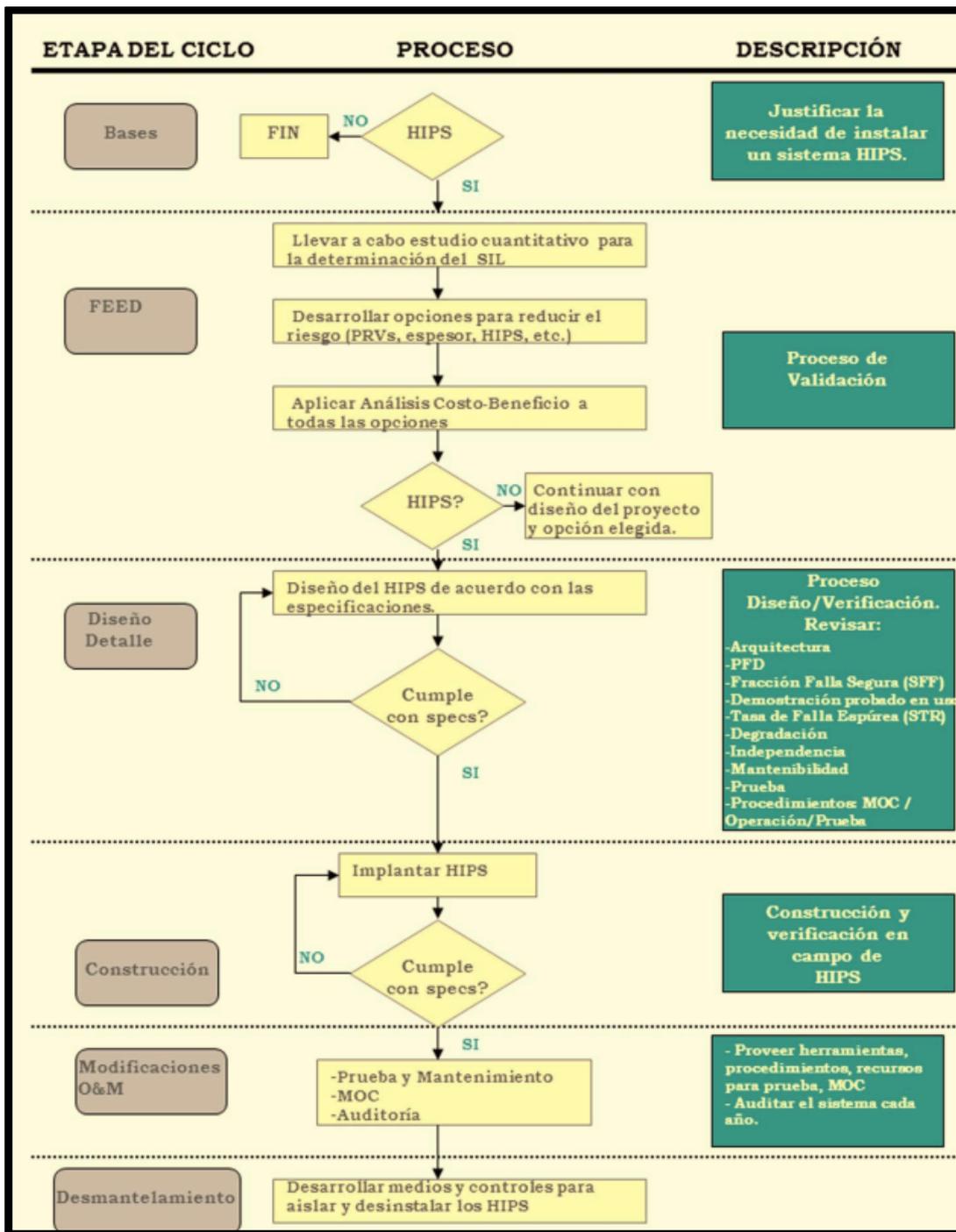
De ahí surge la necesidad de desarrollar una metodología que permitiese balancear todos estos aspectos críticos, reduciendo el riesgo hasta un nivel tolerable (ALARP), y permitir así llevar a cabo el proyecto de incremento de producción de forma exitosa.

Tabla No. 3. Comparación de los Resultados de Riesgos

Proyecto/Planta	SIL Propuesto en la Ingeniería Conceptual	SIL Obtenido por la Revisión.
Plantas de Fraccionamiento	3	1 y 2
Estaciones de Flujo Costa-Afuera	3	1
Estación de Flujo en Tierra	1	1
Planta de Compresión	3	1 y 2
Planta de Refrigeración.	3	1 y 2

Como se puede observar en la gráfica No. 5, la metodología desarrollada cubrió todo el ciclo de vida tanto del proyecto, como de la solución planteada (HIPS o ESD en este caso), desde la conceptualización de la solución hasta su desmantelamiento. Para cada etapa del ciclo de vida se establecieron los requerimientos necesarios para que la solución fuese técnica y económicamente viable, y permitiese reducir el riesgo hasta el nivel tolerable planteado por la empresa.

Figura No. 5 Esquema de la Metodología Utilizada



Contribuciones Técnicas y Económicas

Este artículo ha descrito la importancia y el rol del concepto de la seguridad funcional como parte de un sistema de Gestión de Riesgos, para lograr la reducción de los riesgos hasta un nivel tolerable. Se ha descrito así mismo, la aplicación de una metodología innovadora desarrollada por el autor basada en ese concepto de seguridad funcional, que permite la aplicación de las mejores prácticas de ingeniería para el desarrollo de SIS a través de todas las etapas de su ciclo de vida.

La aplicación de la metodología ha quedado demostrada en dos ejemplos prácticos reales, descritos en este artículo. Se ha demostrado así mismo que a través de la aplicación efectiva de la seguridad funcional enmarcada en un sistema de Gestión de Riesgos formal y adecuado, se logra un enfoque riguroso y práctico en el diseño de los SIS y/o HIPS, y permite la aplicación de nuevas técnicas de seguridad, así como nuevas tecnologías.

La metodología desarrollada es una metodología basada en riesgo, y tiene su fundamento básico en IEC 61508 e IEC 61511, reconocidas a nivel mundial como las mejores prácticas en el tema de seguridad funcional. Se ha demostrado por tanto que esta metodología asegura la correcta aplicación del concepto de seguridad funcional en el ciclo de vida, y permite identificar las causas de los accidentes para lograr la reducción de los riesgos, y permite además, cuantificar y justificar el valor real de la seguridad de una manera más fácil y entendible. Esta metodología utiliza un enfoque metódico que ofrece la posibilidad de ajustar las funciones de seguridad al riesgo de la aplicación bajo estudio. De esta forma ayuda a reducir tanto el riesgo como el coste y la complejidad, mejora la sostenibilidad, y ayuda a lograr un nivel de seguridad óptimo que resulta en una mejora de la utilidad.

En términos de la contribución económica, se demostró cómo a través de la aplicación de esta metodología se lograron ahorros de hasta US\$ 340 millones en dos proyectos distintos, lográndose al mismo tiempo, mantener y aun superar los niveles requeridos de reducción del riesgo. Esto pone de manifiesto que la aplicación correcta de la seguridad funcional presenta beneficios de tan largo alcance que no deberían ser pasados por alto por ninguna empresa.

Aplicando el concepto de la seguridad funcional a través de metodologías iguales o similares a la desarrollada, ayudaría a las empresas, además de lograr un diseño, operación y mantenimiento seguro de sus instalaciones, a mejorar su productividad y rentabilidad.

Una investigación llevada a cabo por el Grupo Aberdeen, demuestra que las empresas con mejores resultados en seguridad, salud y ambiente a nivel mundial, han alcanzado niveles de reducción de consumo de energía de hasta 10%, tasa de repetición de accidentes del 1% y tasas de frecuencia de lesiones del 0.1%. Todo ello comparado con los niveles obtenidos por las empresas con peores resultados que reflejan un incremento (no reducción) del consumo de energía del 0.5%, tasa de repetición de accidentes del 11% y tasas de frecuencia de lesiones del 1.3%.

El factor fundamental que diferencia a las mejores empresas, entre otros muy importantes, es que en todas ellas existe un sistema de Gestión de Riesgos formal, bien diseñado, y que provee una visión a largo plazo, invirtiendo en tecnología para gestionar desempeño en todas sus operaciones.

Referencias

- BSI/IEC 61511-1, "Functional Safety. Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Part 1: "Framework, Definitions, Systems, Hardware and Software Requirements", British Standards Institution, London, 2003.
- BSI/IEC 61511-2, "Functional Safety. Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Part 2: "Guidelines for the Application of IEC 61511-1", British Standards Institution, London, 2003
- ANSI/ISA 84.00.01, "Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Part 1: Framework, Definitions, System, Hardware and Software Requirements", The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA), North Carolina (USA), 2004.
- ANSI/ISA TR-84.00.01, "Safety Instrumented Functions (SIF). Safety Integrity Level (SIL) Evaluation Techniques. Part 2: Determining the SIL of a SIF Via Simplified Equations", The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA), North Carolina (USA), 2004
- ANSI/ISA 84.00.01, "Functional Safety: Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector. Part 3: Guidance for the Determination of the Required Safety Integrity Levels", The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA), North Carolina (USA), 2004.
- Health and Safety Executive, "Out of Control, Why Control Systems Go Wrong and How to Prevent Failure", Sheffield, (UK), 2nd Edition, 2007.
- Rodríguez, J.A; Preliminary Major Hazard Analysis of the New Eastern Refinery, The University of Sheffield, Sheffield (U.K.), 1992.
- Lees F. P, Loss Prevention in the Process Industries: Hazard Identification, Assessment and Control, Edited by Sam Mannan, Butterworth-Heinemann Ltd, 2005, ISBN 0750675551
- Rodríguez, J. A., El Rol del Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) en la Gestión de Riesgos, Instituto Argentino del Petróleo y el Gas, Buenos Aires, Argentina, 2010.
- Summers, A., "Techniques for Assessing a Target Safety Integrity Level", Transactions 37 (1998), The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA) North Carolina (USA), 1998.
- Beckman, L., "Determining the Required Safety Integrity Level for your Process", Transactions 37 (1998), The Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA), North Carolina (USA), 1998.
- Marzal, E. M. et al, "Comparison of Safety Integrity Level Selection Methods and Utilization of Risk Based Approaches", Process Safety Progress, Volume 18, No. 4, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1999.
- Rodríguez, J. A., Aplicación de Criterios de Tolerancia de Riesgos y Costo-Beneficio en los Estudios de Análisis de Riesgos de la Industria Petrolera y Petroquímica Venezolana, ARPEL, México, 1991.
- Gruhn, P., "Safety Instrumented Systems Design: Lessons Learnt", Process Safety Progress, Volume 18, No. 2, American Institute of Chemical Engineers, New York, 1999.

CUIDAR LA MENTE EN LA INGENIERÍA: EL BURNOUT EN ENTORNOS EXIGENTES

La exigencia en el mundo laboral puede llegar a niveles de estrés tan altos que terminar agotado mentalmente puede llegar a ser una posibilidad. En este espacio, AIChE Perú comparte los riesgos que el burnout conlleva en el mundo laboral.

Rodrigo Niño de Guzman Miraval
Ingeniero Químico

El burnout, reconocido por la Organización Mundial de la Salud en la CIE-11 como un síndrome resultante del estrés crónico en el trabajo que no ha sido gestionado adecuadamente. Se suele manifestar de tres formas: agotamiento físico y mental, desapego o falta de interés hacia las tareas laborales, y una notable disminución del rendimiento laboral. En los últimos años, su presencia en el ámbito laboral ha cobrado relevancia, especialmente en ámbitos laborales de alta exigencia, donde las jornadas prolongadas, la presión por cumplir estándares técnicos y normativos, y la exposición a ambientes potencialmente peligrosos pueden generar un entorno propicio para su aparición.

En el Perú el burnout no está representado tal cual como una enfermedad laboral, sin embargo en la ley de seguridad y salud en el trabajo Ley N° 29783 se reconocen los riesgos psicosociales, donde indica que el empleador debe prever la exposición a los agentes químicos, físicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales ocurrientes en el centro de trabajo, por lo que dentro del plan integral de prevención de riesgos, se debe tener en cuenta los factores de riesgo que puedan influir en las funciones de los trabajadores con el fin de adoptar las medidas necesarias para prevenir estos factores de riesgo, pero como podemos identificar el burnout en algún compañero de trabajo o en nosotros mismos.

El burnout, reconocido por la Organización Mundial de la Salud en la CIE-11 como un síndrome resultante del estrés crónico en el trabajo que no ha sido gestionado adecuadamente. Se suele manifestar de tres formas: agotamiento físico y mental, desapego o falta de interés hacia las tareas laborales, y una notable disminución del rendimiento laboral. En los últimos años, su presencia en el ámbito laboral ha cobrado relevancia, especialmente en ámbitos laborales de alta exigencia, donde las jornadas prolongadas, la presión por cumplir estándares técnicos y normativos, y la exposición a ambientes potencialmente peligrosos pueden generar un entorno propicio para su aparición.

En el Perú el burnout no está representado tal cual como una enfermedad laboral, sin embargo en la ley de seguridad y salud en el trabajo Ley N° 29783 se reconocen los riesgos psicosociales, donde indica que el empleador debe prever la exposición a los agentes químicos, físicos, biológicos, ergonómicos y psicosociales ocurrientes en el centro de trabajo, por lo que dentro del plan integral de prevención de riesgos, se debe tener en cuenta los factores de riesgo que puedan influir en las funciones de los trabajadores con el fin de adoptar las medidas necesarias para prevenir estos factores de riesgo, pero como podemos identificar el burnout en algún compañero de trabajo o en nosotros mismos.

Manifestacion es del burnout	Síntomas principales	Descripción
Agotamiento emocional	Fatiga persistente	Sensación de estar emocional
Cinismo o despersonalizac	Actitudes negativas o	Distanciamient o afectivo; el
Bajo rendimiento en	Sentimiento de ineficacia	Se percibe una disminución de

Tabla realizada en base a el articulo realizado por Maslach & Leiter, 2016.

Varios estudios indican niveles elevados de estrés debido a cargas de trabajo exigentes y plazos ajustados. Un estudio destaca que alrededor del 50% de los profesionales del sector tecnológico reportan sentirse agotados. Factores como el desequilibrio entre la vida laboral y personal, así como la falta de apoyo, contribuyen significativamente a este problema.

Según Jellyfish ,2024 en su Informe sobre el estado de la gestión de la ingeniería, reveló que el 15% de los equipos de ingeniería encuestados mencionó el burnout entre sus principales desafíos de cara al próximo año, el 65% de los encuestados durante 2024, indicaron haber experimentado burnout durante ese periodo. El 85% de los gerentes y el 92% de los ejecutivos afirmaron estar experimentando (o haber experimentado) burnout, el 85% de los ingenieros que forman parte de equipos con menos de 10 integrantes también reportaron tasas similares de burnout.

El burnout es una realidad creciente en la ingeniería, especialmente en áreas de alta exigencia como la ingeniería química. Aunque no está formalmente reconocido como enfermedad laboral en el Perú, su impacto es evidente y requiere acciones concretas. Identificar sus síntomas y promover entornos laborales saludables es clave para prevenirlo. Cuidar la salud mental de los profesionales no solo es una responsabilidad ética, sino también una estrategia para fortalecer la productividad y sostenibilidad en el sector.



Referencias

- Organización Mundial de la Salud. (2019). Clasificación Internacional de Enfermedades (11.ª edición).
- Gobierno del Perú. (2011). Ley N° 29783: Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo. Diario Oficial El Peruano.
- Maslach, C., & Leiter, M. P. (2016). Burnout: A Multidimensional Perspective. In R. J. Burke & C. L. Cooper (Eds.), The Fulfilling Workplace: The Organization’s Role in Achieving Individual and Organizational Health (pp. 15–32). Gower Publishing.
- Jellyfish. (2024). State of Engineering Management Report 2024. Jellyfish. <https://engineering-management.jellyfish.co/state-of-engineering-management-2024>



Actividad	Fecha	Ganador
Chem-E-Car	29.08.2025	AICHe Un Bogota
K - 12	29.08.2025	AICHe UNI
Jeopardy	30.08.2025	AICHe UTEC

Para mayor información contactar a: eventos@aiCHE.org.pe