



**MAESTRÍA EN SEGURIDAD Y SALUD
OCUPACIONAL**

ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERATIVIDAD (HAZOP) EN LA FABRICACIÓN DE CLINKER: IMPACTO EN LA SALUD Y SUS COSTOS.

Propuesta de artículo presentado como requisito para la obtención del título:

Magíster en Seguridad y Salud Ocupacional

Por la estudiante:

Devis Fernando ORRALA ARIAS

Rafael Vicente RUIZ GARCÍA

Bajo la dirección de:

José Luis SAÁ LOOR.

**Universidad Espíritu Santo
Maestría en Seguridad y Salud Ocupacional
Samborondón - Ecuador
Enero de 2019**

Análisis de peligros y operatividad (HAZOP) en la fabricación de Clinker: impacto en la salud y sus costos.

Analysis of hazards and operability (HAZOP) in the manufacture of clinker: impact on health and costs.

Devis Fernando ORRALA ARIAS¹

Rafael Vicente RUIZ GARCÍA²

José Luis SAÁ LOOR³

Resumen

La fabricación de cemento juega un rol importante en el desarrollo de infraestructuras en Ecuador y alrededor de todo el mundo, en orden de la demanda de este producto la industria cementera opera todo el año y durante las 24 horas del día. El uso continuo de las instalaciones, fallas de proceso o humanas, e incluso la falta de seguimiento de acciones a corto plazo pueden convertirse en factores preponderantes en la generación de accidentes e incidentes. Este estudio a través de la metodología de evaluación de peligros y operabilidad (HAZOP) ha contribuido en la detección de anomalías internas del proceso de producción, la determinación de las causas, consecuencias e implementación de las acciones correctivas. En la evaluación se estableció un total de 14 nodos, de aquellos, se identificó el nodo crítico con mayor cantidad de anomalías, siendo este el área de ciclones o precalentador. En esta área suele ser recurrente la realización de la limpieza de recámara a fin de evitar encostramientos de material en los conductos empleándose herramientas tales como lanza en comparación con el método propuesto de uso de bomba de alta presión, con este aporte se estima conseguir reducir del 80% el tiempo de exposición del operador asignado y sus costos de operación

Palabras clave:

HAZOP, PHA, Industria de cemento, Peligro, Seguridad

Abstract

Cement manufacturing plays an important role in the development of infrastructure in Ecuador and around the world, in order of demand for this product the cement industry operates throughout the year and 24 hours a day. The continuous use of the installations, process or human failures, and even the lack of follow-up of short-term actions can become major factors in the generation of accidents and incidents. This study through the hazard and operability assessment (HAZOP) contributes to the detection of internal anomalies in the manufacturing process, the determination of the causes, consequences and implementation of corrective actions. In the evaluation, a total of 14 nodes were established, of those, the critical node with the greatest number of abnormalities was identified, this being the preheater area. Additionally, the cost of implementation, the current method of chamber cleaning with manual use of lance, was analyzed, in comparison with the proposed method of use of high pressure pump, with this contribution it is estimated to reduce the exposure time of 80%. assigned operator and its operating costs

¹ Estudiante de Maestría en Seguridad y Salud Ocupacional, Universidad Espíritu Santo – Ecuador. E-mail dforralla@uees.edu.ec

² Estudiante de Maestría en Seguridad y Salud Ocupacional, Universidad Espíritu Santo – Ecuador. E-mail r Ruizg@uees.edu.ec

³ Magíster Seguridad Salud Ambiente. Profesor de la Maestría en Seguridad y Salud Ocupacional Universidad Espíritu Santo- Ecuador.

INTRODUCCIÓN

Tiempo atrás de la invención del cemento, las estructuras estaban constituidas por tierra y capas de bloque de piedra, la estabilidad de las paredes al no contar con un material que les brinde adherencia dependían únicamente del peso de los bloques (Tafunell, 2005). En la actualidad, el uso del cemento se estriba en el desarrollo económico, y a pesar de ser un producto que se ha estado usando desde hace más de 2000 años, sigue siendo una las alternativas más económicas como material de construcción, este material básico empleado de forma intensiva en la construcción de infraestructuras y otras obras civiles tales como carreteras, puentes, diques, y otros, está en constante innovación a fin de mejorar sus procesos tecnológicos que contribuyan con la reducción del consumo de energía y aumente la capacidad de producción (Tafunell, 2005; Troya, 2018).

Las cualidades del cemento dependen en gran parte de las del clinker, dado que este es considerado el núcleo de todo el proceso. Siendo así, la industria cementera se ha esforzado en mejorar la calidad de este material antes y durante su formación dentro del horno rotario, en el horno modificando parámetros tales como dimensiones, velocidad de rotación, temperatura, composición del gas y transferencia de calor. Mientras que en la fase previa al proceso de clinkerización, en el precalentamiento a fin de operar con temperaturas de 200 a 900 °C se emplean los gases provenientes del horno los que según su caracterización química pueden generar una problemática, dichos gases pueden contener altos niveles de volátiles inorgánicos como sulfatos y cloruros de sodio y potasio que se condensan en las paredes del sistema formando depósitos sólidos que impiden el movimiento del gas y del material. Es por ello que es menester realizar rutinas diarias de control de proceso, este trabajo específico se conoce como limpieza de recámara, en donde el personal

designado remueve el material que se adosa a las paredes proyectando agua y aire a presión por aproximadamente 3 horas de exposición directa a la línea de fuego, esta tarea concierne al recurso humano y pese al uso de equipos de protección personal en buenas condiciones y los medios técnicos necesarios para la operación, es importante que los operadores identifiquen los riesgos a los que están expuestos y con ello cobren conocimientos, experiencia y adiestramiento del labor que realizan (Sultan et al., 2004; Romina et al., 2015).

El análisis de riesgos de proceso (PHA) es de suma importancia en la industria, con esta herramienta se identifican todos los posibles escenarios que pueden generar eventualidades a personas, bienes, ambiente y reputación de la compañía ayudando de esta forma en la toma de decisiones (Khaviya et al., 2017). El estudio de riesgos y operabilidad (HAZOP) es uno de los más reconocidos y comúnmente usados dentro del análisis de riesgos de proceso (PHA), dado que está orientado al análisis en funciones de operación, así como revisión de estado de sistemas de temperatura, presión, flujo y otros. Se puede afirmar que más del 80% de las recomendaciones de este tipo de análisis, se vincula a dificultades de operación (Gonzalez et al., 2003). Este estudio se enfocó en determinar el nodo crítico según el mayor número de causas y consecuencias detectadas y aportar con soluciones que contribuyan en la prevención de eventualidades, sin embargo, al ser la limpieza de recámara una actividad cotidiana no se había considerado como un punto por mejorar, se busca lo siguiente:

1. Incrementar la seguridad y salud de las personas reduciendo el tiempo de exposición a superficies calientes que a su vez deriva hacia estrés térmico y potenciales enfermedades profesionales
2. Contribuir con el aumento de la productividad y disminución de costos

por el notable consumo energético y combustibles.

3. Aportar con información que apoye con el establecimiento de un mínimo de acciones básicas para el manejo seguro de fugas de material y gases calientes.

MARCO TEORICO

El estudio de peligros y operabilidad o HAZOP se basa en evaluar en forma metódica la operación, la ubicación de los equipos y las actividades humanas, las desviaciones en las variables de un proceso con respecto a las condiciones normales de operación determinan los riesgos potenciales causantes de accidentes menores e incluso mayores (Baybutt, 2014; Sabadi, 2009).

En principio esta metodología fue diseñada para su aplicación en la industria química, sin embargo, con el tiempo su uso se extendió a las demás industrias (Cameron et al., 2015), así también el estudio puede aplicarse a instalaciones nuevas, existentes o en caso de modificaciones de unidades de operación. En el caso de instalaciones nuevas, el HAZOP puede ser desarrollado en cualquier etapa desde el diseño conceptual hasta la puesta en marcha del proyecto (Tamayo et al., 2016). Mientras que en instalaciones ya establecidas la acción a implementarse tendrá un impacto en dimensión del avance del proyecto (Gavious et al., 2009).

La técnica HAZOP debe ser desarrollada por un grupo multidisciplinario y en donde se requiere la identificación de cuatro elementos (Fredman., 2003):

1. La causa del riesgo
2. La consecuencia producto de la exposición al riesgo
3. Las salvaguardas existentes o controles que prevengan la aparición de consecuencias
4. Las recomendaciones en caso de que los controles sean insuficientes

Para que esta metodología sea funcional se debe disponer de insumos tales como el diseño de la

estructura de la planta, de los equipos, descripción de los procesos e información relativa a estudios previos del nivel de peligrosidad de las operaciones (Cameron., 2015). Para el desarrollo del método es necesario emplear palabras guías con el fin de evaluar las respuestas del sistema ante un cambio (Mohammadfam., 2008). Estas palabras pueden variar de acuerdo al proyecto que se está analizando, con esto se desea representar el estado de un sistema (Almasi., 2017). En el anexo 1 se describe el sistema a aplicarse en un nodo

En síntesis, los estudios HAZOP contribuyen de sobremanera minimizando los efectos de situaciones atípicas que pueden ser observadas durante las operaciones, reduciendo de esta forma potenciales peligros producidos por el diseño de la planta o provenientes de errores humanos (Taylor, 2017). En este mismo sentido, se debe mencionar los beneficios económicos que acarrea el uso de esta herramienta, al minimizar el tiempo y costos implementando nuevos equipos, instrumentos, medidas de control de operación y/o seguridad, entre otros (Krishnan et al., 2005).

METODOLOGÍA

El estudio fue conducido en una industria cementera en la ciudad de Guayaquil, usando el método cualitativo descriptivo HAZOP. Actualmente la planta cementera cuenta con 3 líneas de producción, de las cuales operan solo dos, cada línea de producción cuenta con un molino de harina cruda, el precalcinador donde hemos de encontrar una red de ciclones, sistema de horno, molinos de cemento, silos de almacenamiento para reservar harina cruda, clinker y cemento, y sistema de despacho. Para cumplir con un determinado stock de materiales a producir se cuenta con 36 empleados trabajando durante el día y la noche. La técnica de HAZOP fue diseñada con el objeto de identificar y evaluar problemas que pueden representar riesgos para el personal, equipos, y que a su vez pueden contribuir con una operación más eficiente. El análisis fue realizado

utilizando una guía de palabras tales como: no, más, menos, tanto como, parte de, opuesto a, y aparte de. El equipo HAZOP suele estar compuesto con un número de hasta 8 personas, en este estudio, el equipo de trabajo fue con conformado con 5 personas, en donde el líder acogiéndose a las directrices HAZOP poseía experiencia en el ámbito de seguridad y salud ocupacional. Para la detección de desviaciones fue necesario contar con mapas, detalles del sistema de operación, de equipos, cañerías e instrumentos identificando entre las áreas de estudio el sistema de molienda de crudo, filtro principal, ventiladores de tiro de filtro y horno, área de precalentador o ciclones, horno rotatorio, enfriador y filtro, ventilador principal enfriador, quemador principal, descarga de Clinker y el área de gases calientes.

Con esta información el equipo HAZOP evaluó las causantes de las desviaciones, su severidad determinando las consecuencias y la conformidad de las salvaguardas existentes. La información recogida es ordenada y con esto es posible determinar medidas para moderar los efectos que producen las desviaciones o eliminarlos definitivamente.

RESULTADOS

Estudio HAZOP

Se evaluó un total de 3 sistemas, a saber, área de molienda de crudo, fabricación de harina caliente, y Clinker, con esto se determinó 14 nodos. Con este fundamento los miembros del equipo se enfocaron en desviaciones que provocan impactos negativos sobre costos y daños personales, se decidió que el área de ciclones, el nodo 6, por tener la mayor cantidad de desviaciones y por consiguiente de causas, sería el área prioritaria a estudiar. En la figura 1. se puede observar el número de causas y consecuencias por nodo establecido.

En el área de ciclones se determinó un total de 70 desviaciones, tales como: a) exceso de temperatura en algún ciclón, b) presión muy positiva a la salida de uno de los ciclones, c) falla en la descarga del material desde uno de los ciclones. De aquellas desviaciones 64% se relacionan a variaciones de temperatura, 21% a presión, 7% flujo y 7% composición, identificando en total 215 causas.

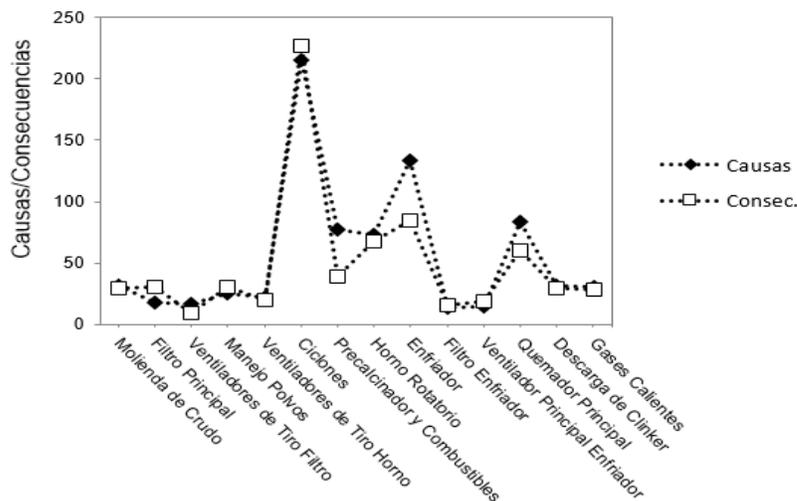


Figura 1. Descripción de nodos estudiados en industria cementera y su relación causas v consecuencias

Dadas las condiciones que anteceden, la obstrucción de recámara es una de las causas y consecuencias que más se replican en la operación siendo la limpieza de recámara una salvaguarda empleada a diario. En este mismo sentido, se realizó un segundo HAZOP considerando la exposición del personal a superficies calientes por tiempos dilatados y el impacto de la productividad como notorias consecuencias, en la tabla 1 se describe lo ocurrido por nodo. Dicho de otra forma, el operador podría sufrir quemaduras, estrés térmico, deshidratación y entre incidentes derivados de la exposición y al reducir la producción se suman altos costos por su consumo en recursos.

Se diseñó un programa de prevención de estas consecuencias al cambiar o mejorar equipamiento y capacitando al personal.

Se sugirió la implementación de una bomba de alta presión para minimizar el tiempo que toma la ejecución de la tarea de limpieza, reduciendo de este modo de 180 a 40 minutos.

Estudio de costos

El sistema de horno opera a altas temperaturas y baja presión, sin embargo en un momento dado dicho sistema por las características propias de la operación se empieza a presurizar, la limpieza de recámara es una actividad que se realiza en forma rutinaria con el afán de eliminar costras y con esto despresurizar el sistema, una vez que la tarea comienza, en el sistema ingresa aire falso lo que a su vez provoca una disminución en la temperatura del horno, y a fin de evitar proyecciones de material que podría perjudicar gravemente al operador que realiza la limpieza se baja la alimentación, consecuentemente disminuye la producción. Para compensar estas desviaciones operativas aumenta el consumo energético y térmico, al incrementar el consumo de coque o el combustible que emplee la planta, y, el eléctrico al demandar más la capacidad del ventilador de tiro, de este modo se trata de mantener estable el sistema, todos estos cambios operacionales contribuyen acrecentando los costos de producción.

Tabla 1.
Resumen análisis segundo HAZOP

NODO	PALABRA GUÍA	PARAMETRO	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	SALVAGUARDAS	ACCION
1	Mas	Temperatura	Temperatura alta en precalcinador	Falla de Alimentación al Horno. Exceso de ventilación en el sistema	Daño a refractario Encostramiento excesivo en recámara.	Monitoreo de temperatura Seguimiento en línea de calidad (Guías) y en guillotina de apertura bypass para procedimiento de ajuste de parámetros. Control de Oxigenación de Horno mediante analizador en línea.	Colocar candados en LIS de compuertas de distribución congelando la última indicación de Instalar accionamiento moto-reductor para evitar apertura manual y regulaciones en campo.
2	Menos	Temperatura	Temperatura baja en precalcinador	Falla de dosificador de combustibles Deficiente ventilación del horno. Recámara obstruída por acumulación de material. Aire terciario deficiente	Baja preparación de material (GC) en alimentación a horno.	Seguimiento en línea de las variables del proceso en pantalla CC. Cumplimiento de PMR de verificación (1M) y calibración (PMH3). Control de Oxigenación de Horno mediante	Limpieza por turno de recámara.
3	Mas	Flujo	Perfil de velocidad de gases alto en calcinador	Recámaras obstrucción por pegaduras. Exceso de tiro en el sistema.	Baja preparación de material (GC) en alimentación a horno. Calidad de clinker con baja resistencia (CaOL).	Limpieza por turno de recámara. Control de Oxigenación de Horno mediante analizador en línea. Sistema big blaster.	

El análisis de costos se realizó en un periodo en donde no se presentaron problemas operacionales y el proceso se mantuvo constante.

Se consideraron costos por el año de energía eléctrica, térmica, factor clinker, número de turnos y el tiempo que toma la limpieza en la recámara. Finalmente se comparó el costo total atribuido a la limpieza de recámara que toma un tiempo de tres horas, y por otro lado dicha limpieza empleando una nueva salvaguarda que disminuye el tiempo de: exposición del operador, de baja producción y de un mayor consumo de energía.

El método actual de la limpieza de la recámara empleando lanza de agua proyectada a presión regular y que es realizada durante 180 min. ha reportado pérdidas de producción hasta 11.0% durante la tarea de limpieza, que al año representan un 2,87% de la producción total, mientras que la misma operación empleando el método propuesto utilizando una bomba de agua a presión máxima (1000 PSI) logra de forma concatenada reducir el tiempo de la tarea hasta en un 80% del tiempo originalmente utilizado y bajar la pérdida de producción a 0,6%, con la implementación de este nuevo sistema de limpieza de recámara es posible un ahorro de \$600.000 dólares anuales en términos de consumo energético y factor de Clinker.

CONCLUSIÓN

Se considera que el estudio HAZOP es uno de los métodos de tipo PHA más completos y comprensibles, en efecto, propone a través de la clasificación del proceso un mayor discernimiento de las desviaciones, sus causas y las consecuencias. Si bien es cierto, los costos iniciales que acarrea su implementación pueden ser altos siempre que el HAZOP se aplique en una industria ya establecida, por ello se recomienda aplicarlo en la etapa de diseño del proceso con esto los costos se reducen, indiferentemente de lo expuesto con antelación, es importante indicar que los beneficios son cuantiosos. En la industria cementera, la implementación de acciones correctivas y

salvaguardas derivadas del HAZOP, han contribuido considerablemente en la calidad de las operaciones, al emplear la bomba de agua y no una lanza en la limpieza de recámara mejora el ambiente laboral del operador al estar menos tiempo expuesto a superficies calientes.

En este mismo sentido se han definido las siguientes acciones claves para el manejo seguro de fugas de material y gases calientes:

- 1) Evaluación de riesgos (ubicación, condiciones del proceso y severidad de la fuga)
- 2) Eliminar riesgo de fuga al cambiar el procedimiento de operación
- 3) Aportar con procedimientos para el manejo de materiales calientes
- 4) Difundir los procedimientos
- 5) En situaciones apremiantes parar el sistema de horno
- 6) Garantizar que el personal que esté relacionado a operaciones con materiales calientes este entrenado y posea los EPP adecuados.

Adicionalmente otro de los beneficios que conlleva el uso de esta herramienta es la reducción de costos de operación. La seguridad generalmente es considerada un gasto y no una inversión, sin embargo, con la utilización de esta herramienta y haciendo un análisis detallado a los riesgos asociados en las actividades, se puede observar con el factor tiempo que los costos destinados a seguridad son justificados.

Referencias Bibliográficas

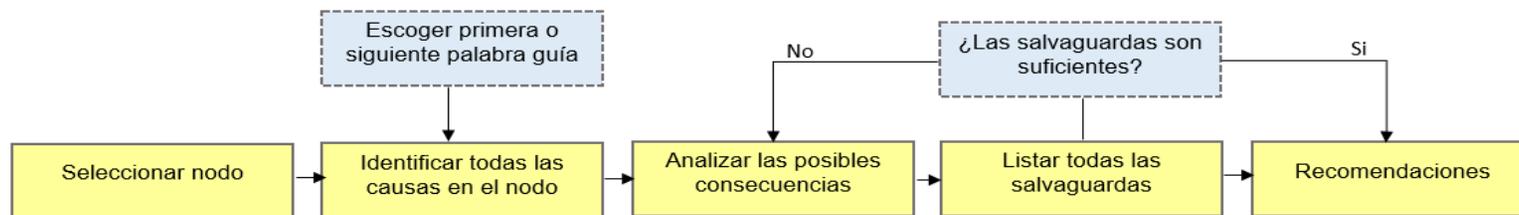
Referencias Bibliográficas

- Tafunell, X., 2005. En los orígenes de la ISI: La industria del cemento en Latinoamérica, 1900-1930.
- Troya, W., 2008. Diseño de un sistema de gestión de seguridad y salud ocupacional preventiva, para la empresa "Hormigones del Valle", como una alternativa de

- mejoramiento en el ambiente de trabajo. Escuela Politécnica Nacional.
- Khaviya, S., Kavitha, S., Manoj, S., 2017. A risk assessment study on occupational hazards in cement industry. International research journal of engineering and technology (IRJET), 534-538.
- Gonzalez, P., Diaz, H., Gonzalez, R., Hernandez H., Ancéame T., 2003. Exposición ocupacional a polvo en una planta productora de cemento con tecnología por vía húmeda. Revista Cuba de Salud y Trabajo.
- Sultan, A., 2004. Health hazards of cement dust. Occupational risk of cement dust, 1153-1159.
- Romina, D., Olivares, C., Rivera, S., Nuñez, J., 2015. Database for accidents and incidents in the fuel ethanol industry. Journal of loss prevention in the process industry, 276-297.
- Wu, H., Peñarrubia, I., Cui, L., Zhao, J., 2017. Process safety management considerations for biofuel production. Fron. Eng. Manag, 357-367.
- Baybutt, P., 2014. A critique of the Hazard and Operability (HAZOP) study, Journal of Loss Prevention in the Process Industries.
- Sabadí, R., Rostgaard, L., Pavón, J., 2009. Analisis de riesgos y operabilidad como soporte de la programación de operaciones en la casa de calderas del ingenio azucarero. ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar, 33-39.
- Cameron, I., Mannan, S., Németh, E., Park, S., Pasman, H., Rogers, W., Seligman, B., 2015. Process hazard analysis, hazard identification and scenario definition: Are the conventional tools sufficient, or should and can we do much better?. Process Safety and Environmental Protection, 53-70.
- Baybutt, P., 2017. Key issues in performing hazard and operability (HAZOP) studies. Loss Prevention Bulletin, 26-29.
- Taylor, R., 2017. Automated HAZOP revisited. Process Safety and Environmental Protection, 53-70.
- Almasi, T., 2017. HAZOP and safety studies for machineries and equipment in industrial and manufacturing facilities. Engineering Manufacturing, 24-26.
- Baybutt, P., 2014. Design intent for hazard and operability studies. Process Safety Progress, 36-40.
- Montero, R. (2013). Sistema para la gestión de la seguridad de procesos : prevención de accidentes catastróficos. Seguridad Industrial, 6-20.
- Krishnan, G., Kuwait, O., 2005. Safety experts have extensively used this investigative methodology to identify possible hazards with new design and operating units however, these studies do have limits. Hydrocarbon processing, 93-96.
- Freedman, P., 2003. HAZOP como metodología de analisis de riesgo. Petrotecnia, 60-64.
- Mohammadfam, I., Sajedi, A., Mahmoudi, S., Mohammadfam, F., 2008. Application of hazard and operability study (HAZOP) in evaluation of health, safety and environmental (HSE) hazards. International journal of occupational hygiene, 17-20.
- NSW Government., 2011. HAZOP guidelines. State of new south wales through the department of planning.
- Wayne, J., Delanoy, P., Devlin, C., Mueller, T., Study, K., 2016. Beyond HAZOP and LOPA: Four different company approaches. Process Safety progress, 38-53.
- Tamayo, D., HINCAPIÉ, M., 2016. Un estado del arte del análisis cualitativo y cuantitativo

- de riesgos en proyectos, Universidad EAFIT.
- Gavious, A., Mizrahi, S., Shani, Y., Minchuk, Y., 2009. The cost of industrial accidents for the organization: Developing methods and tools for evaluation. Journal of loss prevention in the process industries, 424-428.
- Trujillo, P., W. S., 2015. Common Mistakes When Conducting a HAZOP and How to Avoid Them. chemical engineering, 54-58.
- Aziz, H. A., 2017. Application of analytical hierarchy process (AHP) in prioritizing HAZOP analysis for pilot plant. Chemical Engineering Research Bulletin(87), 19.
- Chastain, J. W., 2017. Beyond HAZOP and LOPA: Four Different Company Approaches. American Institute of Chemical Engineers, 36(1), 38-53.
- Li, X. G., 2015. Hazard and Operability (HAZOP) Analysis of Safety-Related Scientific Software. International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, 01(43), 22.
- Mantuano, E. V., 2012. Análisis del riesgo mediante el método HAZOP en las áreas de almacenamiento, patio de bombas y despacho del terminal de productos limpios del terminal del beaterio de EP Petroecuador.
- Marlair, G. R., 2008. Booming development of biofuels for transport: Is fire safety of concern. Fire and Materials(33), 1-19.
- Mohammadfam, I. S., 2012. Application of Hazard and Operability Study (HAZOP) in Evaluation of Health, Safety and Environmental (HSE) Hazards. International Journal of Occupational Hygiene, 2(4), 17-20.
- Virginia, E. &, 2012. Análisis del riesgo mediante el método Hazop en las áreas de almacenamiento, patio de bombas y despacho del terminal de productos limpios El beaterio de PetroEcuador. Universidad Técnica del Norte. Universidad Técnica del norte.

Anexo 1



Anexo 1. Diagrama del proceso HAZOP