

CEIBO: UN SISTEMA INFORMÁTICO PARA EL DISEÑO, BASADO EN RIESGO, DE PROCESOS INDUSTRIALES

Diego M. Ponzzone¹, Paola Biscotti¹, Nicolas J. Scenna¹

¹ *CAIMI (UTN-Facultad Regional Rosario), E. Zeballos 1346, 2000 Rosario, Argentina*
diegomatias87@hotmail.com
paola_biscotti@yahoo.com.ar
nscenna@yahoo.com.ar

Resumen. La filosofía del diseño basado en riesgo trata de identificar y mitigar los riesgos desde una etapa temprana del diseño de procesos. En este trabajo se presentan los avances en el desarrollo de una herramienta informática para evaluación de riesgos en plantas químicas, durante la etapa de diseño conceptual, simulando los posibles escenarios peligrosos, para así tomar medidas tempranas que mitiguen la magnitud del riesgo, tendiendo así al diseño inherentemente seguro.

1 Introducción

Existen hoy preocupaciones crecientes acerca de la problemática asociada al desarrollo sustentable, creándose un ambiente propicio para la generación de nuevos métodos de diseño y gerenciamiento operacional.

Uno de los puntos más importantes para el éxito de una herramienta de diseño basado en riesgo es contar con adecuadas metodologías para el Cálculo de Distancias de impacto ante accidentes tecnológicos. La evaluación cuantitativa del riesgo tecnológico solo es completa cuando, además de determinarse la probabilidad de ocurrencia de un accidente o falla, se conoce la magnitud de los efectos físicos a través del daño provocado sobre las personas, el ambiente y/o los bienes materiales. En la actualidad, la evaluación de las consecuencias de incendios, explosiones y escapes de sustancias tóxicas se basa en la aplicación de modelos matemáticos de simulación que con frecuencia son complejos, dada la naturaleza estocástica de las variables involucradas (meteorología, caudales de fuga, etc.). Resulta claro que las técnicas de identificación y evaluación de riesgos, así como los estudios de vulnerabilidad son necesarios a la hora de implementar planes de emergencia, dado que nos permiten prevenir eventos catastróficos o mitigar sus efectos una vez producidos.

La mayoría de los incidentes con eventos indeseables que conducen a una situación de emergencia son provocados por pequeñas alteraciones o desviaciones de las condi-

ciones normales de operación o funcionamiento de una variable determinada del proceso. El problema es la evolución encadenada de eventos que concluyen, a veces, en accidentes mayores. Si es posible identificar las causas potenciales de un accidente y estimar sus consecuencias, pueden adoptarse diferentes cursos de acción para minimizar la probabilidad de ocurrencia de eventos que provocan emergencias o reducir el impacto del accidente u incidente sobre las personas, la propiedad y el medio ambiente en general.

Un simulador de procesos al disponer de bases de datos para la estimación de propiedades fisicoquímicas de sustancias, para la resolución de los balances de materia y energía, y por ende para el diseño de equipos entre otras posibilidades, permite obtener una gran cantidad de datos del proceso (como ser: flujo, temperatura, presión, composición, entre otras propiedades físicas, químicas y termodinámicas de las sustancias, y también parámetros de diseño de equipos, tales como áreas, volúmenes, presión y temperatura de operación, etc); siendo por lo tanto posible tomar toda esta información y compartirla adecuadamente, junto a otra necesaria que debe ingresarse por el usuario, para emprender por ejemplo simulaciones de consecuencias ante derrames y otros eventos peligrosos (evaluación del impacto y/o el riesgo para cada evento/escenario peligroso detectado).

Dentro de este contexto se desarrolla el sistema informático prototipo CEIBO que permite relacionar al “simulador de procesos convencional” con diversos módulos de evaluación de consecuencias y vulnerabilidad del entorno, la generación de árboles de eventos, al igual que el correspondiente riesgo en cada punto de interés; interactuar con un módulo de generación automática de la distribución de equipos en planta (layout), entre otras posibilidades. Todo ello hace posible disponer de una herramienta que almacena datos del proceso, de las propiedades de las corrientes y características de equipos, al igual que su distribución topológica y en planta, a los efectos de utilizarla para los cálculos de impacto y riesgo identificados por el usuario, en la etapa inicial de diseño conceptual.

2 Metodología de diseño basado en el riesgo

Al diseñar un proceso considerando el nivel de riesgo desde las primeras etapas (Rathnayaka, Khan & Amyotte, 2014) se cumple con el principal principio del diseño inherentemente seguro propuesto por Kletz (1991). Sin embargo, esta práctica de diseño es muy difícil de implementar. De hecho, una dificultad importante es la falta de compatibilidad entre las aplicaciones de diseño asistidos por computadora y los softwares de análisis y evaluación de riesgos. En general, los modelos y herramientas para el análisis de riesgos son tan sofisticados y requieren demasiada información, la cual que generalmente no está disponible en las primeras etapas del diseño conceptual.

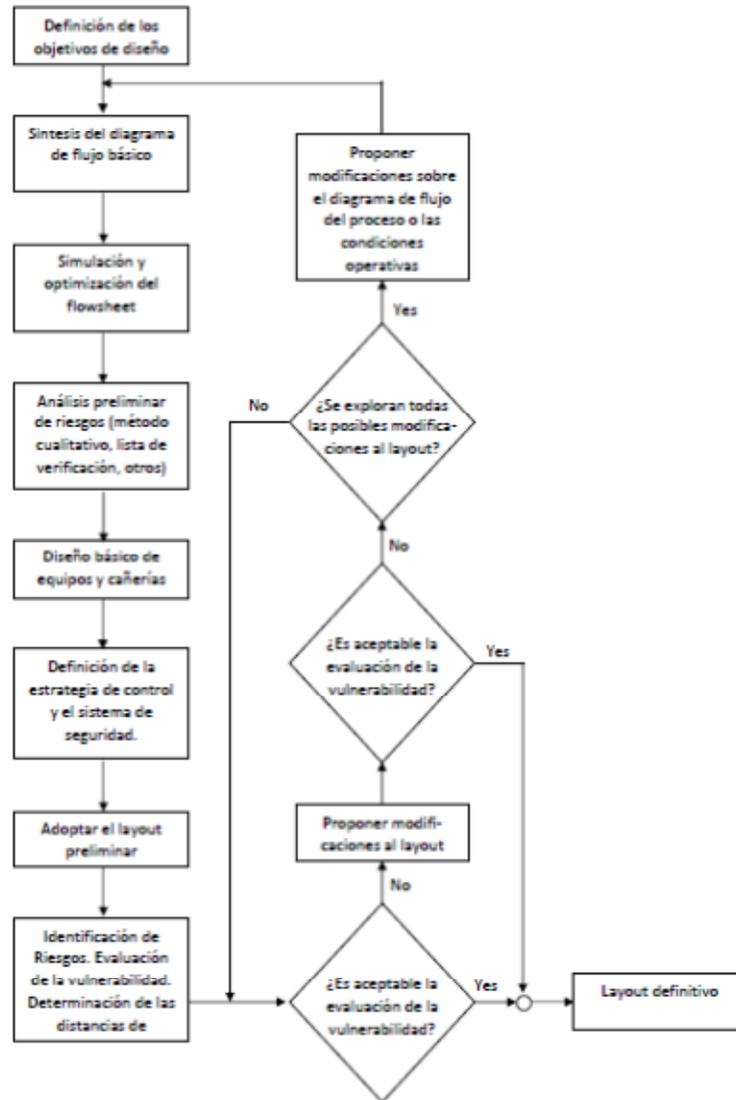


Fig. 1. Metodología de diseño basado en el riesgo

En una "metodología de diseño convencional", este problema se resuelve realizando el análisis de riesgo al final del diseño, cuando se han tomado muchas de las definiciones conceptuales de diseño y todos los datos están disponibles. Sin embargo, si se consideran medidas de seguridad al final del proceso de diseño, la adición de medidas de mitigación o control es la única opción disponible (si es posible). Khan y Amyotte (2002) enfatizaron que si los principios inherentes de seguridad se incorporan en las etapas más tempranas posibles del diseño, se obtienen los mejores resultados. En la Figura 1 se muestra el procedimiento propuesto para el diseño basado en riesgo de procesos químicos.

En primer lugar se adopta una estructura básica para el proceso (diagrama de flujo) considerando los objetivos de diseño y las materias primas que luego se simula y optimiza para resolver los balances de masa y energía y calcular los principales parámetros de equipos. Se realiza un análisis de identificación de peligros (HAZOP, listas de verificación, otros).

Teniendo en cuenta los peligros identificados, es posible diseñar (o adoptar) la tubería y el diagrama isométrico, el sistema de control y los dispositivos de seguridad (activos, pasivos y sistemas de seguridad instrumentados). El sistema de seguridad debe estar diseñado de acuerdo con las condiciones de operación del proceso, las regulaciones existentes y los eventos peligrosos identificados.

Hasta este punto, el procedimiento de diseño es muy similar a las metodologías de diseño convencional existentes.

En este paso, se propone una disposición preliminar que tenga en cuenta toda la información de proceso y heurísticas específicas para el diseño del layout.

Una vez definido el layout preliminar, el diseño se evalúa considerando los eventos peligrosos y la vulnerabilidad ambiental. Se evalúan las consecuencias asociadas a los eventos identificados como peligrosos y se calculan las distancias de seguridad. Si las distancias de seguridad son satisfactorias, la disposición preliminar se convierte en definitiva. Si no es así, deben hacerse modificaciones adecuadas en el diseño. El nuevo layout modificado se evalúa iterativamente, como se muestra en la Figura 1.

En caso de lograr un diseño adecuado, este nuevo layout se convierte en el definitivo. De no ser así, y después de explorar un número dado de alternativas o de modificaciones deben proponerse cambios en la estructura del diagrama de flujo o en condiciones operativas de proceso (tales como presiones y temperaturas), comenzando de nuevo el bucle de iteración desde el inicial (figura 1).

Para dar soporte a la metodología planteada es que se desarrolla CEIBO.

3 Descripción general del sistema

CEIBO (actualmente en fase de desarrollo) es un sistema informático, desarrollado en C#, utilizando el marco de trabajo de interfaz Windows Presentation Foundation (WPF).

Como requisito se debe contar con un caso de HYSYS convergido. Esto garantiza tener el flowsheet del proceso con toda la información necesaria de las sustancias intervinientes en el mismo y de las condiciones que soportan los equipos a través de dicho proceso.

CEIBO interactúa con softwares de simulación de procesos (por ejemplo, HYSYS), importando información disponible sobre las sustancias y equipos presentes en el caso de estudio ya convergido. Esta información es utilizada para realizar los diferentes cálculos de riesgos ante potenciales accidentes, evaluar los factores críticos para el cálculo, la frecuencia de ocurrencia y las consecuencias o vulnerabilidad del entorno en forma independiente. La herramienta permite exportar datos para ser procesados por otros sistemas independientes, como por ejemplo: aplicaciones para el cálculo de consecuencias, vulnerabilidad, frecuencias o riesgo.

CEIBO cuenta con 4 módulos principales: módulo de cálculo de riesgo, módulo de datos ambientales, generador de layout y módulo de árboles de evento. La arquitectura del software se muestra en la Fig. 2.

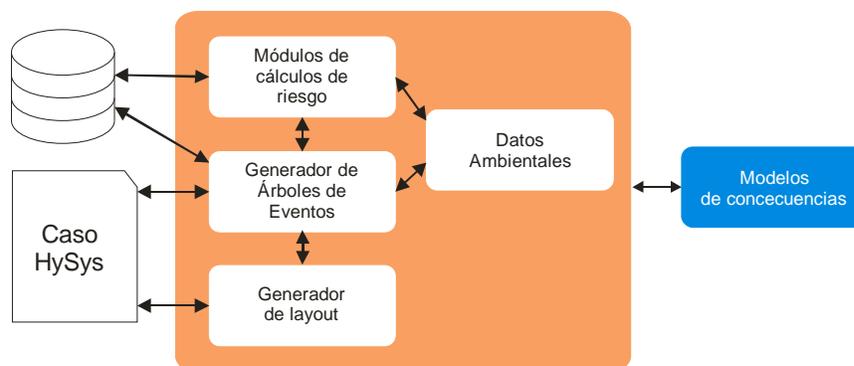


Fig. 2. Arquitectura de CEIBO

CEIBO se conecta a HYSYS mediante una DLL proporcionada por el mismo HYSYS (diseñada originalmente para Visual Basic 6.0), que permite programar algoritmos para leer, modificar y correr las simulaciones, tanto en VB.NET como en C#.

3.1 Módulo generador de Layout

Al iniciar, CEIBO solicita que el usuario seleccione un caso de HYSYS y defina las dimensiones del terreno.

Luego, genera un listado de todos los equipos presentes en el caso de HYSYS y permite que el usuario agregue uno a uno dichos equipos en el terreno definiendo su posición y dimensión.

Para completar el diseño del Layout, es conveniente contar previamente con una distribución tentativa de cañerías, válvulas y equipos conexos. En este punto CEIBO interactúa con el módulo “piping” de HYSYS, el cual permite realizar los cálculos de las cañerías con sus accesorios asociadas al caso de estudio simulado.

Toda la información recopilada desde HYSYS, de los diferentes equipos, como así también la información ingresada por el usuario (posición, dimensión, etc.), junto con los datos del terreno donde se encuentra la planta, se puede guardar en un archivo específico del software, para su posterior reutilización y/o modificación.

CEIBO ofrece la posibilidad de simular un evento en cualquiera de los equipos presentes en el layout para ver cuáles serían las consecuencias que sufrirían las personas, los demás equipos de la planta, los edificios y el ambiente que lo rodean. Para este fin, se genera un árbol de eventos.

3.2 Módulo de Árboles de eventos

Un árbol de eventos muestra las secuencias posibles en que pueden suceder distintos eventos a partir de un evento desencadenante.

Este tipo de árboles utiliza probabilidades bayesianas ya que la probabilidad de ocurrencia de un evento depende de la de su antecesor.

Diversos autores han propuesto árboles de eventos para sucesos peligrosos. CEIBO cuenta con una serie de árboles de evento genéricos precargados basados en la norma (API 581, 2000). La fig. 3. Muestra un ejemplo de estos.

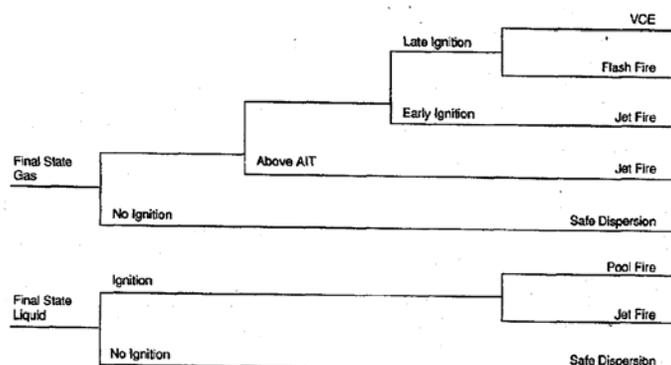


Fig. 3. Árbol de eventos para fugas continuas propuesto por la norma API 581.

La probabilidad de ocurrencia de cada evento puede ser ingresada por el usuario o se asigna por defecto para cada tipo de equipo. En la bibliografía existe información empírica recopilada.

Dependiendo de las condiciones iniciales en que se produzca el evento desencadenante, CEIBO recupera el árbol de evento correspondiente y evalúa las probabilidades para cada uno de los eventos peligrosos. Esto da lugar a un sistema de probabilidades bayesianas que luego se utiliza junto al cálculo de consecuencias para evaluar el riesgo y definir distancias de afectación.

El usuario puede definir si está interesado en explorar todos los posibles escenarios o solamente alguno de ellos.

3.3 Módulo de datos meteorológicos

Este módulo no realiza cálculos, sirve para definir las condiciones meteorológicas correspondientes a la evaluación de las consecuencias de los eventos. Los principales parámetros a definir son: temperatura ambiente y del suelo, humedad relativa y absoluta, presión, velocidad y dirección del viento y rugosidad de la superficie.

3.4 Módulo de cálculo de riesgo

Este módulo contiene varios submódulos. Actualmente CEIBO cuenta con los submódulos de Fuga (líquida y/o gaseosa; continua o instantánea), Incendio de Charco, Evaporación, JetFire, Bola de fuego, Explosión BLEVE, Explosión Confinada, Difusión Gaseosa (modo Pluma y Modo Puff)

Todos los modelos matemáticos utilizados para el cálculo de las distintas consecuencias en estos submódulos son los descriptos en Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis (2000).

Estos submódulos son capaces de obtener la información necesaria de distintas fuentes:

- ✓ Del caso HYSYS,
- ✓ Otros módulos de CEIBO como por ejemplo el de datos ambientales
- ✓ De la propia base de datos de CEIBO donde se encuentran tabuladas las sustancias con sus parámetros característicos, tales como límite inferior y superior de inflamabilidad y explosividad, concentraciones tóxicas (IDLH, ERPG1, ERPG2 y ERPG3) y los parámetros correspondientes para la ecuación probit por muerte por inhalación
- ✓ Y de ser necesaria más información que la disponible en estas fuentes, el usuario debe ingresarla manualmente

4 Diagrama de flujo funcional

En la fig. 4 se presenta el diagrama funcional de CEIBO donde se puede observar la secuencia lógica del camino principal de ejecución del mismo.

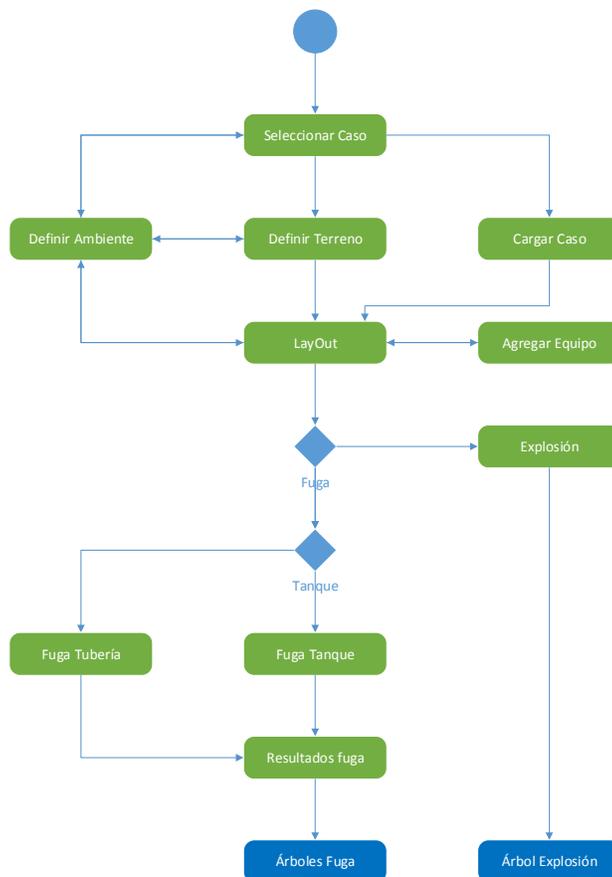


Fig. 4. Diagrama de flujo funcional de CEIBO.

5 Ejemplo de aplicación

En esta sección se muestra la aplicación del sistema desarrollado, a un caso de estudio correspondiente a la simulación de una fuga desde un tanque de almacenamiento de metanol de un proceso continuo de obtención de biodiesel a partir de aceite de soja.

A continuación, se presentan algunas de las interfaces gráficas de ingreso de información a los distintos módulos, así como la visualización de resultados obtenidos al ejecutar el sistema desarrollado (CEIBO) para el caso de estudio.

Al iniciar el software CEIBO el usuario selecciona el archivo de HYSYS que corresponde al caso de estudio convergido, Luego ingresa al módulo generador de layout para especificar las dimensiones del terreno y la ubicación de los distintos equipos (Fig. 5). Este módulo genera un listado con todos los equipos presentes en el archivo de HYSYS. Cada uno de los tipos de equipos tiene una forma predefinida (proyección simplificada).

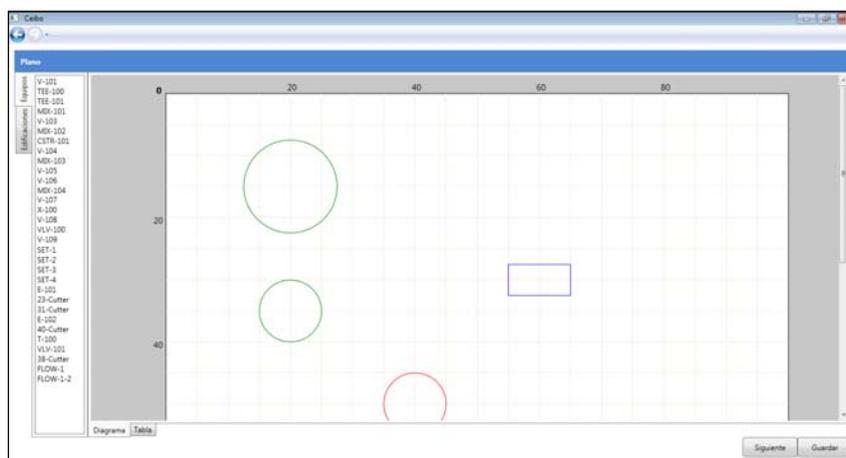


Fig. 5. Módulo generador de layout

A continuación se especifican los datos meteorológicos en el módulo correspondiente.

Para iniciar la simulación de los eventos peligrosos que se desean evaluar se elige el o los equipos donde se van a generar los mismos, en este caso de estudio el tanque de metanol, luego se selecciona el evento iniciador para poder asociar el correspondiente árbol de eventos. El usuario debe especificar los tamaños de los agujeros, la ubicación de los mismos y sus probabilidades (o dejar las sugeridas por defecto) Para este caso se asumen que las fugas en cada tanque provienen de orificios ubicados en la base de los mismos, y se simulan dos tamaños de agujeros también basados en valores propuestos por la Norma API 581 (API, 2000).

Según el árbol de eventos que se muestra en la Figura 3, los escenarios finales a estudiar corresponden a la posible ignición o no ignición de una fuga líquida. En el caso de ignición, se analiza la posibilidad de incendio del charco o chorro de fuego (Jet-Fire), ver figura 6

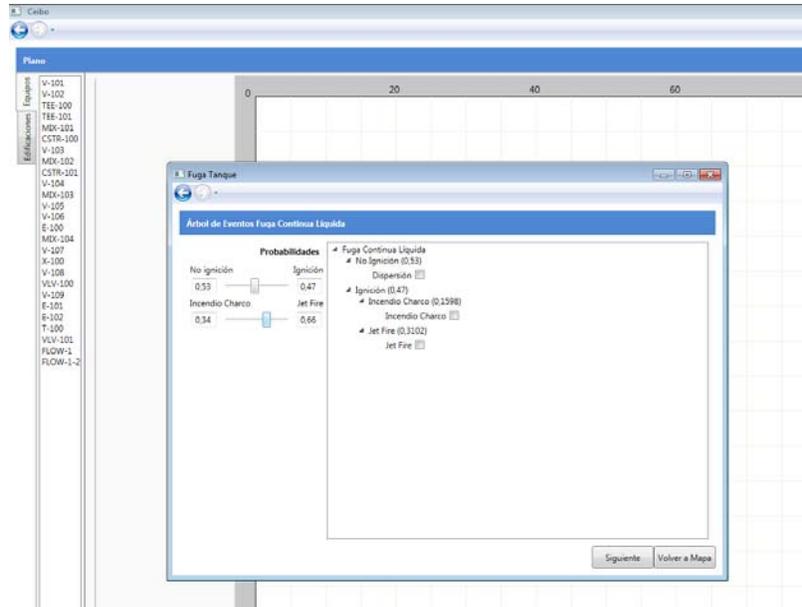


Fig. 6. Módulo árbol de eventos

Como resultado de la evaluación de los eventos anteriores se obtienen las curvas de intensidad de radiación en función de la distancia para cada uno de los casos (Figura 7).

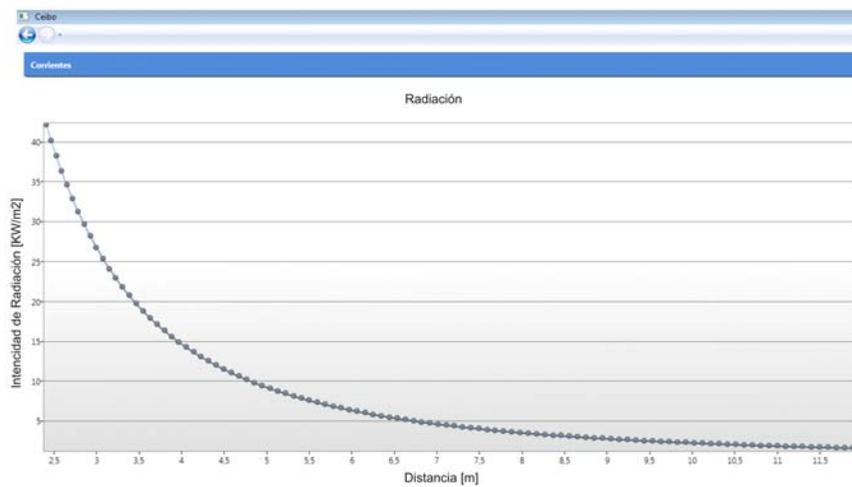


Fig. 7. Módulo generador de layout

Definiendo previamente los niveles de daño de interés y según la intensidad de radiación recibida pueden obtenerse distancias de impacto mediante la utilización de la ecuación probit correspondiente y volcarse en el gráfico generado por el Módulo Layout (Figura 8).

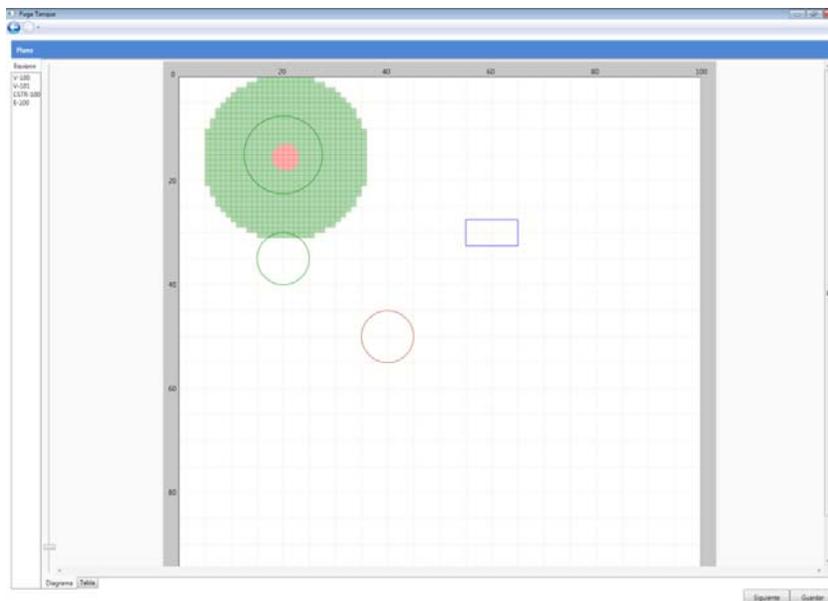


Fig. 8. Distancia de impacto en el módulo generador de layout

Los pasos descriptos hasta aquí pueden repetirse en otros equipos del layout.

En caso de que la distancia de impacto obtenida para los eventos simulados en algún equipo no sean aceptables (por ejemplo se afecta el exterior del terreno de la planta u otro equipo crítico del proceso) se puede proponer una nueva ubicación en el layout para este ítem. De no encontrarse una ubicación adecuada para este equipo se deben modificar en las especificaciones del caso de HYSYS como por ejemplo temperatura, presión, capacidad del equipo, entre otras y volver a realizar la evaluación de las distancias de impacto sobre el layout con las nuevas condiciones.

6 Conclusiones

En este trabajo se propone y se implementa un procedimiento de diseño para lograr un diseño de planta basado en el riesgo.

El software que se presenta integra un simulador de procesos comercial (habitualmente utilizado en la tarea de diseño de un proceso) con módulos de análisis de riesgos para la evaluación de las distintas alternativas de diseño. La información que brinda la herramienta le permite al usuario comparar y juzgar cual es la mejor alternativa o cual considera satisfactoria.

Se muestra que en el caso de estudio fue posible estimar las distancias de impacto ante eventos peligrosos durante la tarea de diseño preliminar; proporcionando así información crucial que se puede utilizar para mejorar la seguridad inherente de la planta en las primeras etapas del diseño.

Como trabajo futuro se quiere incorporar a la herramienta un módulo para la optimización de la distribución del layout teniendo en cuenta la minimización del riesgo en el interior y/o exterior de la planta.

7 Referencias

- AIChE (2000). *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*: American Institute of Chemical Engineers.
- API 581. (2000). *API 581*. Washington DC: American Petroleum Institute.
- Khan, F. I. & Amyotte, P. R. (2002). Inherent safety in offshore oil and gas activities: a review of the present status and future directions". *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 15, 279–289
- Kletz, T. A. (1991). *Plant design for safety - A user friendly approach*.
- Rathnayaka, S., Khan, F., & Amyotte, P. (2014). Risk-based process plant design considering inherent safety. *Safety Science*, 438–464.