

Análisis de un Filtro Multiventuri para el Venteo del Contenedor Primario de un Reactor Nuclear

Alejandro Antonio Reyes García y Eduardo Sáinz Mejía
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Gerencia de Ciencias Aplicadas
Departamento de Automatización e Instrumentación
alejandroantonioreyess@gmail.com; eduardo.sainz@inin.gob.mx

Javier Ortiz Villafuerte
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Gerencia de Ciencias Aplicadas
Departamento de Sistemas Nucleares
javier.ortiz@inin.gob.mx

Resumen

Desde el accidente nuclear de Chernobyl, las Centrales Nucleares Europeas han optado por instalar filtros en las tuberías de venteo de la Contención, cuya función es ayudar a mitigar las consecuencias de un accidente severo, mediante la despresurización controlada de la contención en forma pasiva por medio de un Sistema de Venteo Filtrado de Contención. Estos sistemas están diseñados para aliviar la presión interna de la contención mediante la apertura deliberada de dispositivos de alivio de presión, ya sea una válvula o disco de ruptura durante un accidente severo y ser canalizado hacia la unidad de filtrado.

En el presente trabajo, se evalúa la respuesta hidráulica de un sistema de filtrado de lavado de gases por líquido, ya que esta información es necesaria para estimar el efecto que tiene el incremento de la presión de la contención sobre la capacidad de desfogue de las tuberías de venteo. Mediante simulación CFD, usando los programas con licencia de fuente abierta CAELINUX-2014 y OPENFOAM, se obtuvieron las características hidrodinámicas del Sistema Multi Venturi para el lavado de los gases provenientes de la contención, que pudieran incluirse en el modelo general de la tubería de venteo. Específicamente, se generaron modelos representativos de los tubos venturi de cada sector concéntrico que conforman el sistema de lavado y mediante cálculos paramétricos se estimó el gasto másico promedio que se establece a través de cada venturi, en función de sus dimensiones y profundidad a la que se ubica dentro del tanque. Del mismo modo se calculó la presión y gasto másico que se requiere para activar cada sector concéntrico en función de la presión y carga másica proveniente de la contención, para estimar el gasto máximo que se establece a través del filtro. También se calcularon los perfiles de velocidad y la presión característica a la que opera cada sector, así como la caída presión de descarga local y global.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el accidente nuclear de Chernobyl, las Centrales Nucleares Europeas han optado por instalar filtros en las tuberías de venteo de la Contención, cuya función es ayudar a mitigar las consecuencias de un accidente severo. En el caso de los Estados Unidos de América (USA, por sus siglas en inglés de United States of America), como resultado de evaluar las acciones regulatorias necesarias después del accidente de la central de Fukushima, la Comisión Reguladora Nuclear (NRC, Nuclear Regulatory Commission) emitió la orden EA-13-109 de 2013 [1], en la cual se requiere la instalación de un sistema de venteo en el contenedor primario que debe mantenerse operable para mitigar las consecuencias de un accidente severo, a los reactores BWR (Boiling Water Reactor) con contención primaria del tipo Mark I y Mark II. La orden provee dos fases de implantación. En la primera se debe instalar el venteo desde el pozo húmedo y en la segunda, o se instala el venteo desde el pozo seco o bien se demuestra que este último no es necesario. Y así, aunque explícitamente no se solicita la instalación de filtros, debe evaluarse la conveniencia de instalarlos, sobre todo en los posibles escenarios de venteo desde el pozo seco.

2. SISTEMAS DE VENTEO FILTRADO DE LA CONTENCIÓN (FCVS)

El concepto de Sistemas de Venteo Filtrado de la Contención (FVCS) surgió de los análisis de los resultados del informe WASH-1400 [2], el cual mostró que muchos de los accidentes de mayores consecuencias en las centrales nucleares implican el fallo de la contención causado por la sobrepresión [3]. Estos sistemas han sido implantados principalmente en las centrales nucleares de Europa y Canadá para la despresurización controlada de la atmósfera de la contención en caso de un accidente severo [4]. Están diseñados para aliviar la presión interna de la contención mediante la apertura deliberada de dispositivos de alivio de presión, ya sea una válvula o disco de ruptura durante el curso de un accidente severo [5].

2.1. Tipos de Sistemas Empleados Para el Venteo Filtrado de la Contención

Los filtros de venteo de la contención instalados actualmente utilizan diferentes tecnologías que involucran más de un medio de filtración. Los que utilizan el agua como primera etapa de filtración se llaman sistemas húmedos, y están equipados con etapas adicionales para eliminar las gotas y las emisiones de aerosoles finos, e incluso pueden además estar equipados con medios de absorción para la filtración de especies de yodo gaseoso. Otros diseños, basados en la filtración de lecho profundo como etapa de retención principal, los llamados filtros secos, utilizan medios de filtración de fibra metálica, cerámica o arena para la filtración de aerosoles. Los filtros secos de fibras metálicas están equipados con separadores de gotas y, opcionalmente, con tubos de enfriamiento y una etapa de absorción de especies de yodo [6].

3. SISTEMA DE LAVADO POR MÚLTIPLES TUBOS VENTURI PARA EL VENTEO FILTRADO DE LA CONTENCIÓN (FILTRA- MULTI VENTURI SCRUBBER SYSTEM)

El sistema de filtrado de éste tipo que se ofrece comercialmente se llama FILTRA-MVSS® (Multi Venturi Scrubber System). Ha sido desarrollado conjuntamente por ABB ATOM y Flakt Industries AB, ambos miembros del Grupo de compañías Asea Brown Boveri. Por este ingenioso diseño sus inventores Lennart Gustavsson y Leif Lindau fueron Galardonados con el prestigioso premio Polhem Sueco en 1988 por la innovación tecnológica de alto nivel [7] y [8].

La unidad de lavado multi Venturi FILTRA-MVSS® es un sistema de filtración húmeda del venteo de la contención que utiliza múltiples venturis para crear una interacción entre los gases de ventilación y los medios de lavado que permiten la eliminación de aerosoles y yodo gaseoso de una manera muy eficiente. Este equipo se puede adaptar a una amplia gama de tasas de gasto másico, basado en una técnica pasiva automática que consiste en un número de boquillas venturi sumergidas a diferentes profundidades en una piscina de agua que son activadas de forma gradual por el aumento de presión.

3.1. Descripción del Sistema de Lavado Multi Venturi

El concepto de múltiples tubos venturi, es un dispositivo de filtrado y alivio de sobrepresión de la contención que constituye una de una serie de medidas instaladas con el fin de mitigar los efectos de un accidente severo. La configuración de un sistema simplificado típico se muestra en la Figura 1. El filtro se conecta mediante una penetración de la contención con diferentes configuraciones de válvulas. Se recomienda el uso de un disco de ruptura para permitir la activación del sistema de forma completamente pasiva.

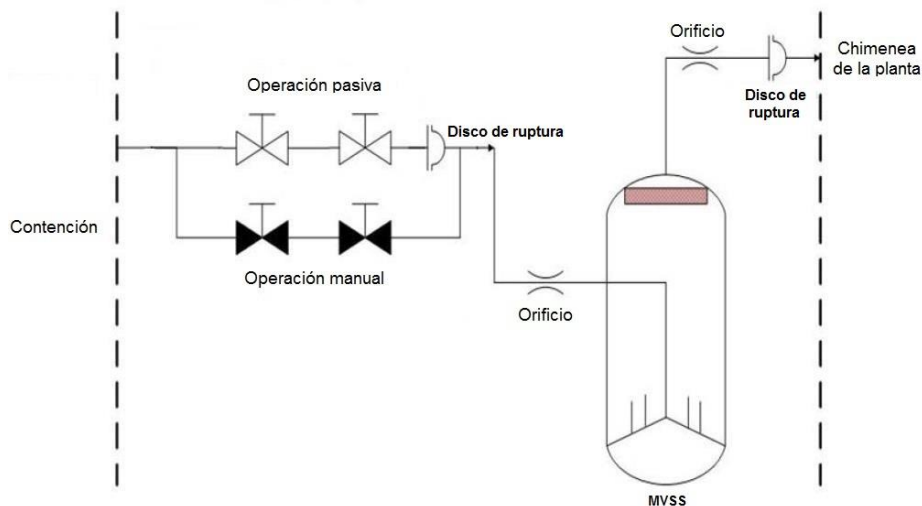


Figura 1. Configuración simplificada del sistema del lavado FILTRA-MVSS®

El equipo de filtrado cuenta con:

- Un sistema para alivio de presión automática o manual.
- Un sistema depurador Multi venturi.
- Una piscina para la absorción de gases radiactivos incluido el yodo elemental.
- Un dispositivo de separación de humedad.

El gas proveniente de la contención es conducido a través de un sistema de alivio de presión hacia un tubo central en la cámara del filtro parcialmente lleno con líquido. El tubo central se divide en 6 tubos distribuidores que se extiende oblicuamente hacia abajo y de estos mismos tubos se ramifican siete tuberías laterales de donde se tienen conectados verticalmente los tubos venturi, cuya longitud varía de acuerdo a la profundidad a la que se encuentran sumergidos y es aquí donde el gas es desfogado en el agua de la alberca de lavado en forma de pequeñas burbujas (Figura 2) [9].

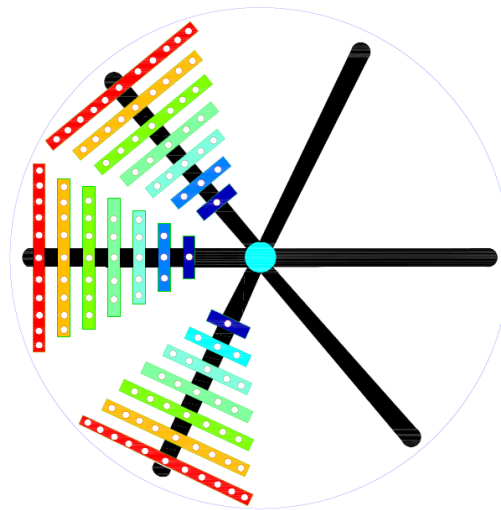


Figura 2. Arreglo de tubos distribuidores y tubos laterales

El gas llega por la red de tubos laterales, donde se encuentran los tubos venturi que son activados de forma gradual conforme aumenta la presión del contenedor. Cuando la presión es baja, se activa el primer sector concéntrico (primera sección de tubos laterales), localizado en la parte más alta de los tubos distribuidores. Del mismo modo, con el aumento de la presión, se activan los sectores concéntricos localizados a mayor profundidad hasta llegar al sector más profundo, el cual es activado cuando el dispositivo opera a su máxima capacidad (Figura 3).

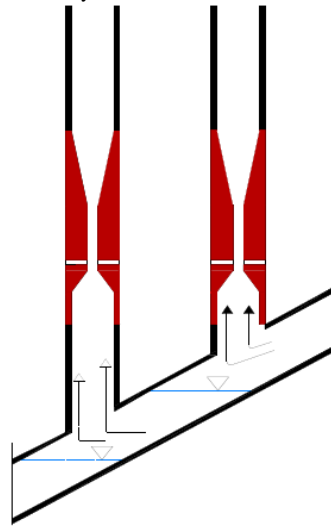


Figura 3. Instalación de tubos venturi en forma descendente sobre el tubo distribuidor

Por otro lado, el extremo final de cada uno de los seis tubos distribuidores se encuentra abierto y en contacto directo con el agua de la alberca, con el fin de amortiguar y aliviar un excesivo aumento de presión, así como eliminar el gas condensado que llegara a formarse. Cuando el gas sale del agua se envía hacia un separador de humedad (filtro de lecho de grava), donde las gotitas de líquido arrastradas se separan de él y el gas seco es conducido hacia la chimenea. Por otra parte el líquido atrapado por el separador de humedad se regresa a la piscina a través de un pequeño tubo de drenado (Figura 4) [9].

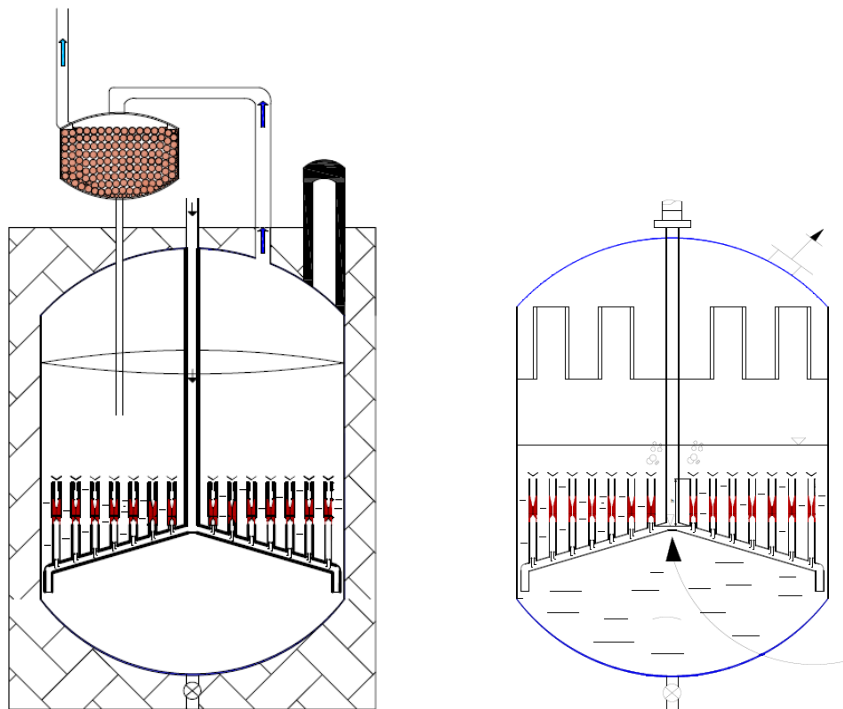


Figura 4. Diseños de FILTRA-MVSS® [7]

Todo el sistema se activa de forma pasiva, es decir que no necesita de un sistema automatizado o de alguna fuente de energía eléctrica para su operación, ya que por las características propias de diseño se adapta por sí mismo ante cualquier gasto másico o presión. Después de un ocurrir un accidente severo el dispositivo no requiere de suministros externos de energía o de actividad del operador durante un período de al menos 24 horas después de la activación del sistema. La recarga de agua o drenaje no es necesaria durante al menos 30 horas después de la activación del sistema [8].

3.2. Parámetros de Diseño

Los eventos de un accidente severo son analizados para definir los requisitos de diseño. Estos análisis han sido la base para la selección de los parámetros de diseño tales como gasto másico, la composición del flujo y la eficiencia de descontaminación. En la Tabla I se especifican los principales parámetros de diseño.

Tabla I. Parámetros típicos de diseño para BWR y PWR [8]

Gasto másico del gas	0.1-13 kg/s	
Composición del gas	Vapor de agua, nitrógeno e hidrógeno	
Temperatura del gas	70-150 °C	
Presión de apertura del disco de ruptura	0.5 – 0.6 MPa	
Volumen total	250 m ³	400 m ³
Volumen de agua	180 m ³	270 m ³
Diámetro interior	7 m	7 m
Volumen de lecho de grava	8 m ³	9 m ³

3.3. Función y Análisis Teórico

Cada tubo de escape en la unidad multiventuri tiene una tobera con una breve sección estrecha, donde la velocidad del gas es alta. Debido al estrechamiento, se produce la aceleración del gas y una importante zona de baja presión. Aprovechando este fenómeno, se ideó realizar una serie de orificios alrededor de la garganta del tubo con el fin de que el líquido que se encuentra en la alberca sea succionado a través de estos orificios y bombeado en la zona de alta velocidad donde se atomiza el líquido en pequeñas gotas. El gas proveniente de los tubos distribuidores y de los tubos laterales es canalizado a la sección convergente del venturi donde es acelerado para ser capaz de atravesar la densa nube de gotas de líquido atomizada en la garganta que actúan como un filtro. El diseño tiene la propiedad inherente de que la presión a la descarga en el colector de venturi es aproximadamente constante ante diferentes condiciones operacionales. La caída de presión a través de cada venturi está determinada por la diferencia de alturas entre los orificios de entrada y salida de cada tubo de desfogue. Una caída de presión de un metro de agua o mas es requerida en la mayoría de los casos con el fin de obtener una limpieza satisfactoria del gas. A fin de lograr la colección de yodo elemental radiactivo en estado gaseoso, a la alberca de lavado se le agrega tiosulfato de sodio y carbonato de sodio para controlar el pH. El contenido de gas contaminado con yodo elemental volátil se absorbe en el líquido y el yodo disuelto se convierte en iones de yodo y el tiosulfato se oxida.

4. METODOLOGÍA

Se empleó el programa SALOME MECA V6-6-0 incluido en el sistema operativo CAELINUX2013, el cual es una interfaz gráfica que integra el sistema Ingeniería Asistida por Computadora (CAE) que incluye módulos para la definición de geometría, generación de malla y despliegue gráfico de variables físicas, químicas, termodinámicas, etc. Se seleccionó el solucionador “reactingFoam” de la biblioteca de OPENFOAM para la solución de fluidos compresibles para la realización de cálculos hidrodinámicos, tales como caídas de presión vs gasto másico, visualización de campos de presiones, concentraciones de gases, etc., ante diferentes condiciones de operación.

4.1. Modelos Geométricos

Para poder realizar la simulación numérica se elaboraron modelos geométricos representativos de los tubos venturi de acuerdo a lo descrito en diversos reportes, para ello se ocuparon las herramientas que ofrece el paquete Salome 6, mediante el uso de la interfaz gráfica para elaborar dibujos 3D. La geometría de cada tubo Venturi se dividió en cinco partes: sección de entrada, convergente, garganta, divergente y de salida. Las dimensiones de la tobera se muestran en la Figura 5a. La sección de entrada en cada modelo de tubo venturi difiere en longitud de acuerdo a la profundidad a la que se ubique el sector al que pertenece.

4.2. Generación de Mallas y Sub-Mallas

Con el módulo Mesh de programa Salome 6 se generaron mallas de volúmenes finitos tipo prisma para los modelos geométricos utilizando la técnica de extrusión. Se definieron submallas para poder imponer en ellas diferentes condiciones de frontera en las distintas zonas del modelo (Figura 5b). Así mismo se realizaron estudios paramétricos para poder definir el tamaño y tipo de malla a utilizar.

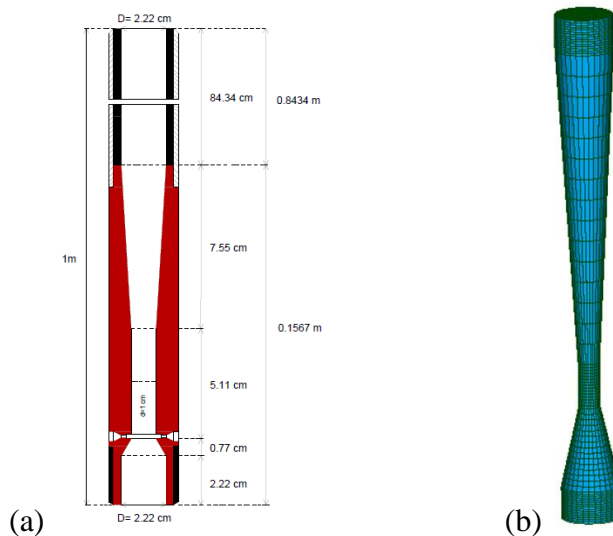


Figura 5. (a) Modelo geométrico. (b) Malla.

4.3. Definición de Grupos y Condiciones de Frontera

En los grupos de mallas definidas en las fronteras se definen las condiciones en cada zona para asignarles sus propiedades fisicoquímicas y de transporte. En las caras de la malla se establecieron tres agrupaciones: “entrada”, “salida” y “walls” (paredes).

4.4. Exportación de Mallas a OpenFOAM e Importación de Resultados Generados Hacia el Ambiente Grafico de Salome 6

Una vez generada la malla en Salome, se exporta a OpenFOAM mediante las herramientas de traducción de Salome.

Obtenida la solución con OpenFOAM, se procede a la conversión de los archivos VTK generados mediante sus herramientas de traducción hacia archivos MED, que es el formato nativo del sistema Salome para poder realizar con él un despliegue de gráficos y tablas.

Los recursos gráficos del sistema CAELinux contenidos en el módulo POST-PRO de Salome permiten generar gráficos 3D, así como la obtención de tablas de datos y planos de corte, perfiles de velocidades y mapas escalares (3D o en planos de cortes) de las variables involucradas en cada problema. Enseguida se muestra a modo de ejemplo algunos perfiles característicos de velocidad y caída de presión a lo largo del tubo venturi que se obtuvieron de sus respectivas tablas de datos (Figuras 6 y 7).

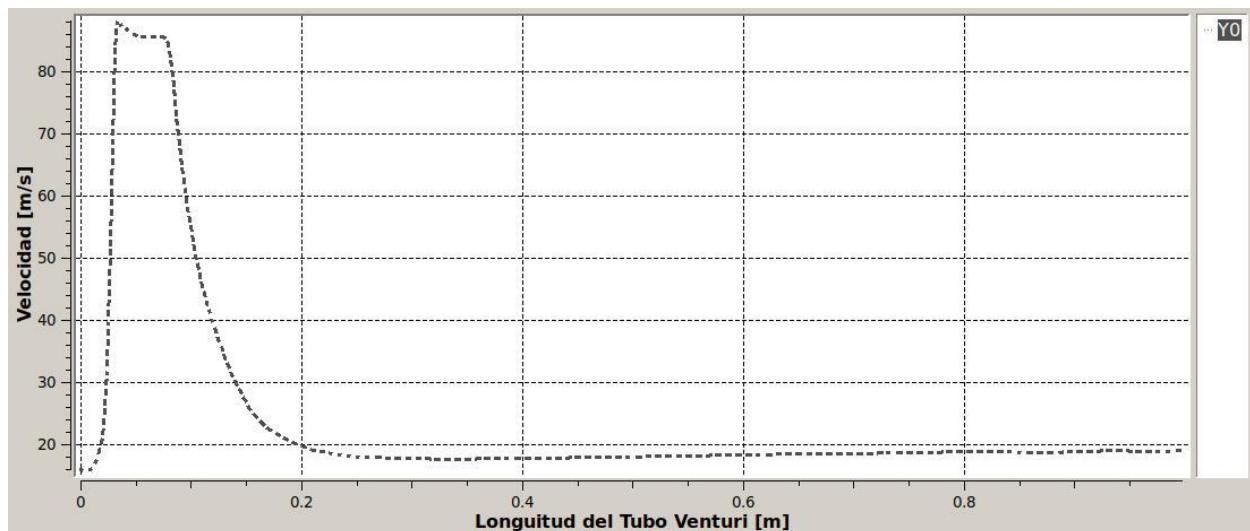


Figura 6. Perfil de velocidad a lo largo del venturi instalado en el primer sector concéntrico con un gasto másico de 0.018 kg/s

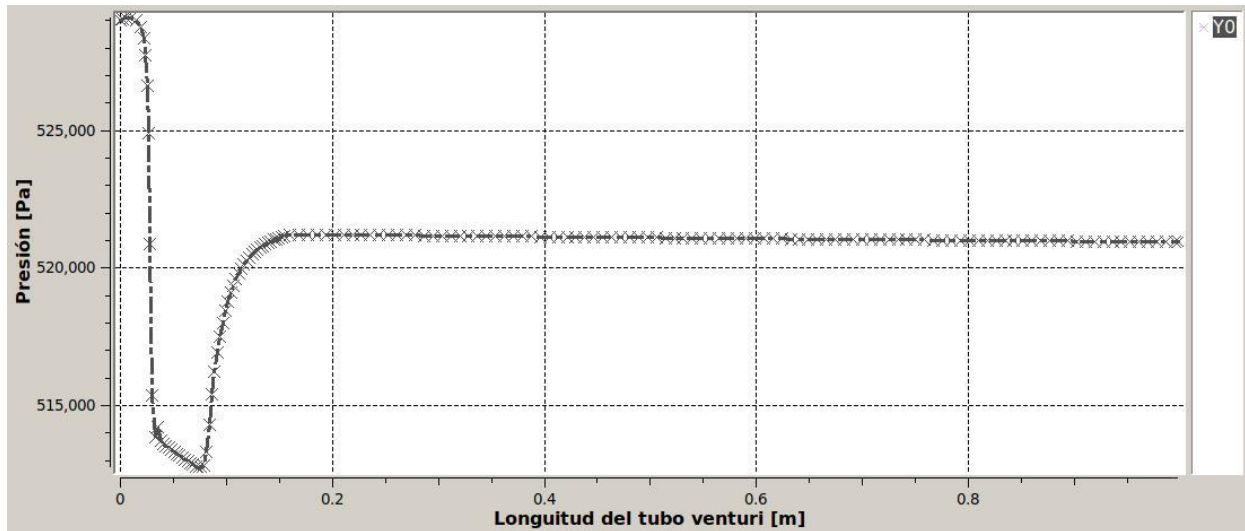


Figura 7. Distribución de presión a lo largo del tubo venturi que se encuentra en el primer sector concéntrico con un gasto másico de 0.018 kg/s

4.5. Condiciones de Operación del Caso Simulado

En seguida se especifican las condiciones de operación empleadas que se establecieron de acuerdo a información obtenida en la literatura [7] y [8]. La composición molar promedio de la mezcla gaseosa que ingresa por el tubo de alimentación a la unidad de lavado es del 3.9% de hidrógeno, 38.7% de nitrógeno y 57.4% de vapor de agua [10]. La temperatura a la que ingresa el gas es de 177 °C y la presión absoluta a la que opera el contenedor del filtro es de 520,945 pascales.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DEL SISTEMA MULTI VENTURI

Con los resultados de OpenFOAM se calcula el gasto másico a través de cada venturi, en función de su dimensión y profundidad a la que se encuentre ubicado su sector. De esta manera se define tanto la presión necesaria para activar a los tubos venturi de cada sector, como el gasto másico que se establece a través de ellos y con esto se estima el gasto másico total que se puede procesar en el filtro ante diferentes presiones de descarga del contenedor.

5.1. Calculo de Gasto Másico Procesado por Unidad Venturi Por Cada Sector Concéntrico Activado

En la Tabla II se muestran los gastos másicos obtenidos para cada tubo venturi representativo de cada uno de los 7 sectores concéntricos mostrados en la Figura 2 y cuyas profundidades estimadas se muestran en la Figura 8. Mientras que en la Tabla III se muestra la capacidad de operación del sistema multiventuri por sectores.

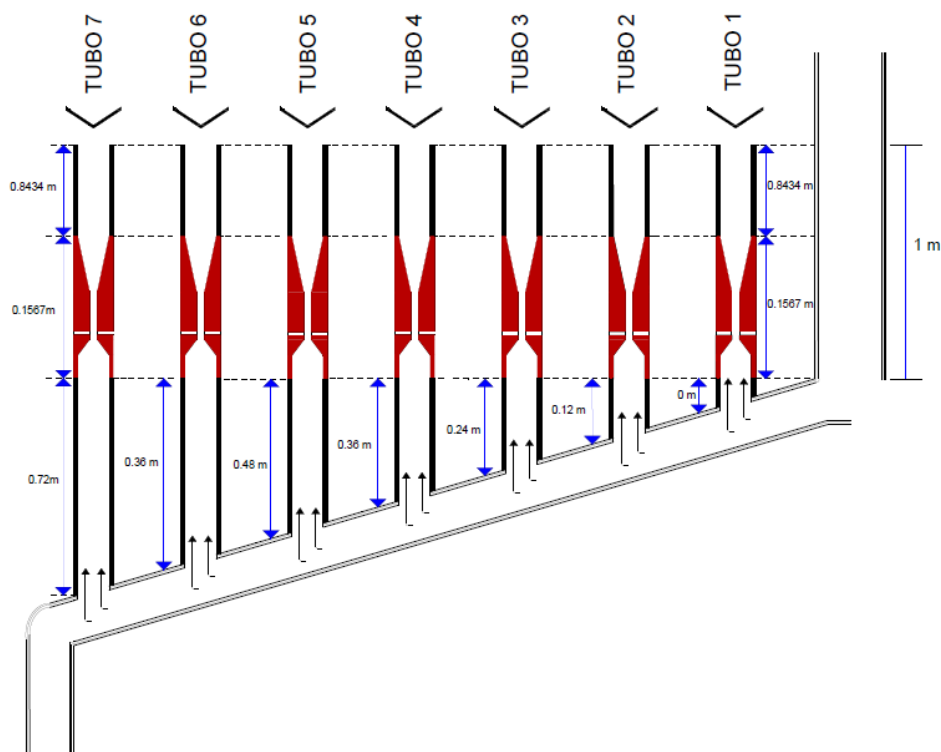


Figura 8. Dimensiones de los tubos venturi por sectores

Tabla II. Gasto másico característico de un venturi por sector

No. de sector	No. de Tubo	Gasto másico por tubo kg/s
1	1	0.018187062
2	2	0.023557381
3	3	0.025944377
4	4	0.027420851
5	5	0.028507576
6	6	0.029399960
7	7	0.030159957

Tabla III. Capacidad de operación del sistema multiventuri por sectores

No. de sector	Masa tratada por el filtro (kg/s)	Capacidad empleada
1	0.1091	2.43 %
2	0.8480	9.75 %
3	2.3349	21.95 %
4	3.2905	34.14 %
5	5.9865	51.21 %
6	9.5255	73.17 %
7	13.933	100 %

En la Figura 9 se muestra la masa tratada por sector, pero ahora en términos de la presión de entrada (presión del contenedor).

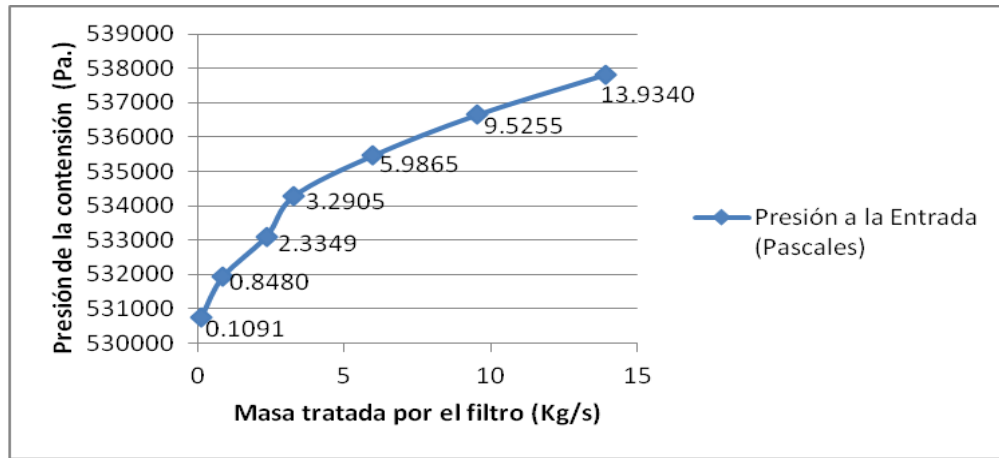


Figura 9. Masa tratada por el filtro vs presión a la entrada

5.2 Caída de Presión en las Gargantas

Otro aspecto importante a contemplar es lograr una caída de presión constante en la garganta del venturi, ya que al lograr esto se asegura un factor de descontaminación constante en toda la unidad de lavado.

Una considerable caída de presión a través de la garganta es de gran importancia debido a que es en esta zona de baja presión donde se succiona y atomiza el líquido de lavado por los orificios presentes, y el gas contaminado que circula dentro de cada venturi es descontaminado al interactuar con las gotas del líquido que circulan a alta velocidad dentro de la tobera.

En la Figura 10 se muestra la gráfica de cada sector concéntrico operando a un gasto másico máximo de operación, así como el comportamiento de la caída de presión casi constante a través de los orificios de succión.

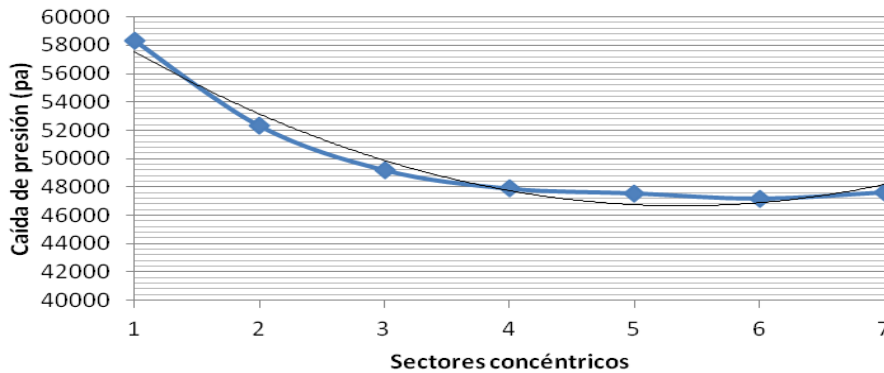


Figura 10. Caída de presión en la garganta

5.3. Análisis del Comportamiento de la Velocidad a la Entrada y a la Salida por Sector Activado

En la Figura 11, se presenta la velocidad máxima alcanzada en la garganta y la velocidad con la que descarga cada uno de los sectores concéntricos en la alberca. Como se puede ver al incrementar la capacidad de operación del filtro la velocidad en la garganta se incrementa en igual medida. En el primer sector concéntrico se alcanza una velocidad media de 89.35 m/s y en último sector una velocidad promedio de 159.86 m/s. El intervalo de velocidades calculadas para la garganta es muy cercano con las ensayadas en laboratorios y plantas piloto en donde se ocupan tubos venturi para la limpieza de gases [11], [12] y [13].

En lo que respecta a la velocidad con la que se descarga en la alberca es prácticamente constante ante diversas cargas de gas. Cabe resaltar que el intervalo de descarga oscila entre los 20 y 30 m/s, las cuales son considerablemente altas y pueden generar turbulencia en la superficie de la alberca y afectar a los separadores de humedad. Es por ello que varios diseños de este tipo de filtros proponen utilizar deflectores o mallas metálicas en la zona en la de descarga con el fin de disminuir turbulencia en la superficie y evitar un arrastre excesivo de humedad.

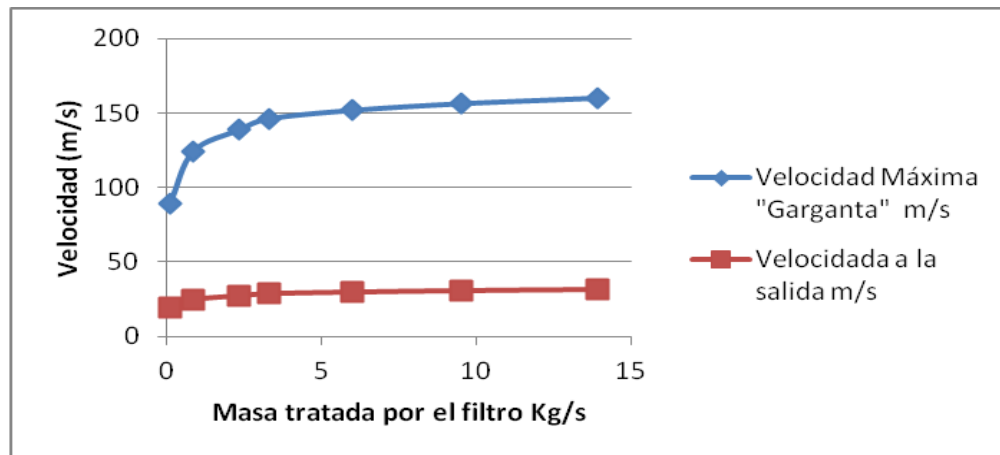


Figura 11. Velocidad en la garganta y a la salida

6. CONCLUSIONES

Se evaluó la respuesta hidráulica de un sistema de filtrado y lavado de gases con líquidos para estimar el efecto que tiene el incremento de la presión en la contención sobre la capacidad de desfogue de las tuberías de venteo. Mediante simulación CFD, usando los programas con licencia de fuente abierta CAELINUX-2014 y OPENFOAM, se obtuvieron las características hidrodinámicas del Sistema Multi Venturi para el lavado de los gases provenientes de la contención, que pueden ser incluidas en el modelo general de la tubería de venteo.

Los reportes consultados afirman que este dispositivo es capaz de adaptarse por sí sólo ante diferentes tasas de flujo y que su operación es totalmente pasiva, ya que esto se logra gracias a la ingeniosa distribución de los tubos venturi en los sectores concéntricos. Para corroborar esta aseveración, se generaron modelos representativos de los tubos venturi de cada sector concéntrico

que conforman el sistema de lavado y se probaron con las condiciones que debería tener el gas ante un accidente severo.

A continuación, se discutirá el comportamiento hidrodinámico del sistema de lavado ante lo reportado en la literatura.

Del análisis de los resultados de las simulaciones realizadas de cada sector concéntrico se obtuvo la masa y presión de activación. En efecto, el sector concéntrico localizado a menor profundidad actuó primero ante un gasto másico de 0.1091 kg/s y una presión activación del sistema de 530,756 pascales. Los sectores localizados a mayor profundidad respondieron de manera gradual conforme aumentaba la presión y el gasto másico proveniente de la contención, hasta alcanzar el gasto másico máximo de operación de 13.93 kg/s a una presión de entrada de 537,823 pascales; lo que se apega a los intervalos de operación reportados en la literatura, que oscilan entre 0.1 kg/s como mínimo y 13 kg/s como máximo para este dispositivo. Los resultados generados de la simulación de cada sector multiventuri se encuentran dentro de la capacidad de procesamiento mínima y máxima de operación especificada en los reportes emitidos por sus diseñadores y fabricantes. Por lo anterior, se puede decir que su gran adaptabilidad ante diversas tasas de flujo radica en la colocación escalonada de los sectores concéntricos.

Por otro lado, se notó que la presión de descarga de los tubos venturi en la alberca de lavado permanece constante independientemente del gasto másico alimentado, lo cual es de gran importancia para garantizar una presión uniforme y estable dentro del recipiente del Sistema Multi Venturi ante un súbito aumento de flujo.

Otra variable de diseño importante que no se puede perder de vista es la velocidad a la que se descargan los venturi en la alberca de lavado. La velocidad promedio de descarga oscila entre los 20 a 30 m/s, las cuales son considerablemente altas y capaces de generar turbulencia en la superficie de la alberca, afectando a los separadores de humedad que se encuentra instalados en la parte superior del filtro. Es por ello que varios diseños de este tipo de filtros proponen utilizar deflectores o mallas metálicas en la zona de descarga con el fin de disminuir la turbulencia en la superficie y evitar un arrastre excesivo de humedad y de material radioactivo.

En lo que concierne a las caídas de presión en las gargantas de los tubos venturi se encuentran entre los 58,316 hasta los 47,642 pascales, con lo cual se garantiza una zona de succión con una caída de presión realmente alta para el ingreso del líquido circundante a través de los orificios presentes en el tubo venturi. Teniendo en cuenta lo anterior, se corrobora que el Sistema Multi Venturi es capaz de dosificar por sí mismo la cantidad de agua inyectada en función del gas a tratar.

En general, el Sistema Multi Venturi puede usarse para cualquier tipo de contenedor primario, pero debe tomarse en cuenta las demisiones mínimas del sistema, en orden de asegurar su funcionamiento adecuado y lograr el filtrado que se requiera en cada caso.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares por la beca otorgada a través del proyecto CA-507. También, este trabajo se desarrolló como parte de los objetivos y entregables del proyecto del **Fondo Sectorial SENER-CONACYT Sustentabilidad Energética 213519 Desarrollo de una metodología basada en licenciamiento aplicable para la evaluación de la seguridad de la Central Nucleoeléctrica Laguna Verde ante eventos más allá de las bases de diseño** (2014- 2018), de la Convocatoria para proyectos encaminados a atender demandas específicas en tecnologías no fósiles para la diversificación de fuentes primarias de energía 2013-04.

REFERENCIAS

1. United States Nuclear Regulatory Commission, “Issuance of Order to Modify Licenses with Regard to reliable Hardened Containment Vents Capable of Operation Under Severe Accident Conditions”, EA-13-109, (2013).
2. United States Nuclear Regulatory Commission, “Reactor safety Study. An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants”, WASH-1400, NUREG-75/014, (1975).
3. Schechtman R. & Heising C.D., “Risk Assessment of the Beneficial Impact of a Filtered Venting Containment System in a PWR with Large, Dry Containment”, *Annals of Nuclear Energy*, 23, p. 641-661, (1996).
4. Song et al, “Overview of Containment Filtered Vent under Severe Accident Conditions at Wolsong NPP UNIT 1”, *Nuclear Engineering and Technology*, 45, pp. 597-604, (2013).
5. “Containment Research Overview”, The Second International Conference on Containment Design and Operation, Toronto, Ontario, Canadá, October, p.14-17, (1990).
6. Working Group on Analysis and Management of Accidents (WGAMA), “OECD/NEA/CSNI Status Report on Filtered Containment Venting”, OECD (2014).
7. Nilsson P. O, “FILTRA-MVSS (Multi Venturi Scrubber System)”, *Memorias del congreso presentado por la NRC, Washington DC, 11 de octubre del 2012, Vol. 1, pp. 3-10, (2014).*
8. Organization for Economic Co-operation and Development & Nuclear Energy Agency “OECD/NEA/CSNI "Specialist Meeting on Filtered Containment Venting Systems”, OECD pp. 233-239 (1988)
9. Lindau, L. G. y. L., 1988. A method for cleansing gas and apparatus herefor. Suecia, Patente n° WO 88/01901. pp. 2-30.
10. Sainz Eduardo, Obtención de las fuentes de masa y energía hacia el contenedor primario calculadas previamente con el programa MELCOR (CNSNS), ININ, Ocoyoacac, Estado de México, México (2014).
11. Boll R.H, “Particle collection and pressure drop in Venturi scrubbers”, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, 12, pp. 40–50 (1973).
12. Pak S.I., Chang K.S, "Performance estimation of a Venturi scrubber using a computational model for capturing dust particles with liquid spray", *Journal of Hazardous Materials*", B138, pp. 560–573, (2006).
13. Goncalves J.A.S., “Evaluation of the models available for the prediction of pressure drop in Venturi scrubbers”, *Journal of Hazardous Materials*, 81, pp. 123–140, (2001).