



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero aprovechar la ocasión para agradecer el apoyo de mis familiares y de mis compañeros. Asimismo no puedo olvidar en este momento a los profesores que pusieron verdadero empeño y esfuerzo en intentar que sus alumnos aprendieran.

## **RESUMEN**

La caracterización del aire extraído por los sistemas de extracción localizada es un campo complejo a la hora de ser estudiado. El flujo de aire en estas condiciones se ve alterado por varios factores que afectan su desarrollo.

Con el propósito de ampliar las bibliografías actualmente disponibles, se ha realizado el siguiente estudio: **CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE EXTRACCIÓN LOCALIZADA DE AIRE MEDIANTE MAPAS DE ISO-VELOCIDAD GENERADOS MEDIANTE TÉCNICAS CFD**

La documentación sobre este tema está basada en experimentos reales, los cuales implican altos costes y poca posibilidad de variación. Por lo que se procederá a practicar un estudio de diferentes modelos de extracción de aire mediante técnicas de CFD, Computational Fluid Dynamics, con la idea de ofrecer herramientas más versátiles a la industria.

Este estudio se realiza mediante mapas de iso-velocidad, estos nos proporcionarán ciertas curvas. Estas curvas se compararán con la información experimental estudiada por otros profesionales con el propósito de ratificar los CFD como medio para completar este trabajo.

**Palabras Clave:** CFD, Mecánica de Fluidos Computacional, Computational Fluid Dynamics, Mapas Iso-Velocidad, Curvas Iso-Velocidad, Ventilación, Extracción de Aire, Extracción Localizada, Campana Extractora, Ansys Fluent, ACGIH, Mecánica de Fluidos.

## **RESUM**

La caracterització de l'aire extret per un sistema de ventilació és un fenomen complex d'estudiar. La difusió de l'aire en estes condicions es veu alterada per diversos factors que afecten el seu comportament.

De cara a una millor documentació que complemente a la bibliografia disponible, es planteja el treball següent: **CARACTERITZACIÓ DE SISTEMES D'EXTRACCIÓ LOCALITZADA D'AIRE PER MITJÀ DE MAPES D'ISO-VELOCIDAD GENERATS PER MITJÀ DE TÈCNIQUES CFD**

La bibliografia d'esta matèria està basada en mètodes empírics, que generalment costosos i de baixa versatilitat. Pels que es procedirà a practicar una anàlisi de diferents configuracions d'extracció d'aire per mitjà de tècniques de CFD, Computational Fluid Dynamics, amb el propòsit d'oferir un mecanisme de disseny més polivalent per als professionals del sector.

Este estudi es realitza per mitjà de mapes d'iso-velocidad, amb els que s'obtindran una sèrie de corbes. Estes corbes es compararan amb la informació hallada empíricament per altres autors a fi de validar els CFD con una ferramenta per a fer el treball.

**Paraules clau:** CFD, Mecànica de Fluids Computacional, Computational Fluid Dynamics, Mapes de Iso-Velocitat, Curves de Iso-Velocitat, Ventilació, Extracció d'Aire, Extracció Localitzada, Campana Extractora, Ansys Fluent, ACGIH, Mecànica de Fluids.

## **ABSTRACT**

The characterization of the air drawn by a ventilation system is a complex phenomenon to study. Air diffusion in these conditions is altered by various factors that affect their behavior.

Looking ahead to better documentation to complement the available literature, the following work is proposed: **CHARACTERIZATION OF LOCALIZED AIR EXTRACTION SYSTEMS THROUGH ISO-VELOCITY MAPS GENERATED BY TECHNICAL CFD**

The literature of this field is based on empirical methods, which are generally expensive and low versatility. For those who will proceed to perform an analysis of different configurations air extraction using techniques CFD, Computational Fluid Dynamics, in order to provide a mechanism for more versatile for design professionals.

This study is conducted by maps iso-velocity, with a series of curves are obtained. These curves are compared with the information found empirically by other authors to validate the CFD as a means to do the job

**Keywords:** CFD, Computational Fluid Dynamics, Iso-Velocity Maps, Iso-Velocity Curves, Ventilation, Air Extraction, Localized Extraction, Hood Extractor, Ansys Fluent, ACGIH, Fluid Mechanics.

## Índice de la Memoria

### CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

1.1	Objetivo del documento .....	1
1.2	Introducción a la aspiración industrial .....	1
1.3	Datos del INSHT .....	2
1.4	Antecedentes.....	3
1.5	Objetivos.....	4
1.6	Estructura del Documento .....	5

### CAPÍTULO 2 - PROBLEMÁTICA DE LA VENTILACIÓN INDUSTRIAL

2.1	Introducción a la Ventilación.....	6
2.2	Ventilación Localizada .....	7
2.3	Eficacia en la Ventilación.....	7
2.4	Cálculo de Sistemas de Aspiración.....	8
2.5	Métodos CFD.....	11

### CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA

3.1	MODELADO DE LA GEOMETRIA .....	13
3.1.1	Geometrías 2D .....	13
3.1.2	Geometrías 3D .....	17
3.2	MALLADO DE LA GEOMETRIA .....	23
3.2.1	Estudio de malla.....	23
3.2.2	Mallado de modelos.....	27
3.2.2.1	Mallado 2D .....	29
3.2.2.2	Mallado 3D .....	31
3.3	Configuración de la simulación numérica.....	33
3.3.1	General.....	33
3.3.2	Modelos.....	33
3.3.3	Materiales.....	33
3.3.4	Cell zone conditions.....	33
3.3.5	Condiciones de Contorno.....	34
3.3.6	Métodos de Solución .....	35
3.3.7	Controles de Solución .....	36
3.3.8	Inicialización de la Solución .....	36

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

3.3.9	Ejecutar Cálculo.....	36
3.3.10	Residuos .....	36
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS		
4.1	RESULTADOS 2D.....	37
4.2	RESULTADOS 3D.....	46
CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES		
5.1	Conclusiones del modelo 2d.....	61
5.2	Conclusiones del modelo 3d.....	61

## Índice del Presupuesto

1.	INTRODUCCIÓN .....	64
2.	COSTE DE PERSONAL.....	64
3.	Material inventariable.....	65
4.	Material Fungible.....	65
5.	Otros costes.....	66
6.	PRESUPUESTO TOTAL.....	66

## Planos

Planos .....	66
--------------	----

# MEMORIA

---

# **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 OBJETIVO DEL DOCUMENTO**

La correcta ventilación de locales es fundamental para complacer las medidas de seguridad y confort de las personas en el ámbito industrial, es por ello por lo que se encuentra gran interés en su correcta caracterización, tanto en el entorno industrial como en la mecánica de fluidos.

El objetivo que se pretende alcanzar con este trabajo es caracterizar las corrientes de aire por medio de mapas de isovelocidad. Los cuales son planos de curvas que conectan todos los puntos donde encontramos el mismo valor de la velocidad. El aliciente a utilizar este método es la sencillez con la que se nos permite comparar los resultados obtenidos.

Para implementar la caracterización de el fluido, se ha utilizado la herramienta proveniente de una de las ramas de la mecánica de fluidos, los CFDs, Computational Fluid Dynamics. Programas que realizan miles de cálculos utilizando métodos numéricos y algoritmos basados en las leyes físicas y especialmente en la mecánica de fluidos para solucionar y analizar problemas que simulen la interacción de fluidos.

## **1.2 INTRODUCCIÓN A LA ASPIRACIÓN INDUSTRIAL**

Hoy en día los procesos industriales, con la variedad y complejidad de estos procedimientos, se ven obligados a inundar nuestras fábricas de múltiples compuestos de carácter dañino para la salud de los trabajadores. La utilización de estos químicos puede provocar la concepción de gases, vapores, polvos y partículas en cantidades que sobrepasen los límites de seguridad impuestos por las leyes nacionales e internacionales.

De igual manera es común que estos procesos incrementen la temperatura ambiental por su gran generación de calor. Estas altas temperaturas pueden contaminar la los puestos de trabajo de los operarios provocando estrés en el trabajador. Esto puede ocasionar falta de seguridad e incomodidades laborales.

La extracción de aire es una solución a este problema, con la seguridad del trabajador como máxima prioridad. Este proceso no solo nos permite enfriar grandes volúmenes como fábricas, sino que además elimina la humedad, posibles olores y otras condiciones no deseadas.

Un empleado a jornada completa se expondrá a estos ambientes tóxicos y dañinos para su salud a lo largo de 40 horas semanales, lo cual puede provocar efectos nocivos para la salud de los empleados. Promoviendo el control de estos contaminantes en el ambiente laboral las empresas pueden obtener beneficios indirectos tales como la disminución en enfermedades y asimismo en el ausentismo laboral, lo cual aumenta la producción y la calidad de vida de los trabajadores.

Este trabajo se centra en la extracción localizada de aire. Lo cual no es otra cosa si no la ventilación de una zona muy concreta, tratando de evitar la propagación de estos compuestos nocivos. Estos sistemas siempre van acompañados de una boquilla/campana para la aspiración local. Ejemplos de la extracción localizada de aire podrían ser estaciones en las que haya desprendimiento de partículas o vapores, como cocinas o talleres de soldaduras. A continuación en la Figura 1 se ve una ilustración de un sistema de extracción localizada.

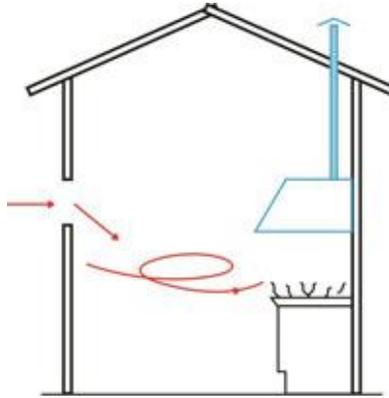


Figura 1- Ejemplo de Extracción Localizada. Fuente: ([www.mundohvacr.com](http://www.mundohvacr.com))

### 1.3 DATOS DEL INSHT

El Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, INSHT, es el organismo especializado, de carácter científico-técnico, perteneciente a la Administración General del Estado que tiene como función: El análisis y estudio de las condiciones de Seguridad y Salud en el trabajo, así como la fomentación y apoyo de las mismas. Esta misma institución advierte de los riesgos por estar expuestos a inhalar agentes químicos.

El INSHT recomienda realizar una evaluación de la exposición por inhalación a agentes químicos para diagnosticar en que maneras es un riesgo para la salud de los trabajadores y poder predecir que acciones han de ser tomadas a cabo para que este riesgo este bajo control sin que urja una evaluación más rigurosa y exacta , y consecuentemente, evitar costes innecesarios.

Ciñéndose a esta evaluación decretar de qué equipo e instalaciones se ha de disponer para evitar que tenga lugar dicha exposición en los trabajadores, es decir anticiparse a la exposición incluyendo nuestras prevenciones desde la fase inicial, el diseño.

Las quejas sobre la calidad del aire en el interior de edificios pertenecen al sector del confort térmico y ventilación. Conforme el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) en los estudios realizado en edificios más de la mitad de los problemas son causados por una ventilación inapropiada.

La ventilación se lleva a cabo de forma errónea cuando no existe un aporte suficiente de aire externo, aire limpio y fresco, lo cual puede producir una acumulación de contaminantes, de procedencia variada, hasta llegar a cantidades que incomoden a los ocupantes del edificio, llegando a mermar sus capacidades. La aportación de aire exterior ha de bastar para disolver los contaminantes hasta en nivel en el que dejen de ser perceptibles para el ser humano y por lo tanto a un nivel que ya no sea considerado dañino para la salud.

Un ser humano segrega de forma natural partículas, vapor de agua y dióxido de carbono, convirtiendo así a los ocupantes en fuentes contaminantes. Pese a ser esto cierto los ocupantes son una parte menor del problema, lo común es que la mayor parte del contaminante sea generado en el edificio. Estos tienden a ser de carácter más peligroso pero a su vez producirse de forma más localizada como combustiones o humos generados en la preparación de comidas.

#### 1.4 ANTECEDENTES

Existe la referencia del libro *Industrial Ventilation*, por parte de la ACIGH, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, es un manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos laborales. Este manuscrito ha sido traducido al español como *Ventilación Industrial* y utilizado de referencia para la conocida obra de Salvador Escoda S.A.: *Manual Práctico de Ventilación*.

Este manual dedicado a la ventilación industrial tiene un capítulo dedicado a la extracción localizada y puesto que se ha visto la gran importancia de esta materia para la seguridad y las buenas prácticas en el entorno industrial se ha decidido basar nuestro estudio en este escrito.

En este capítulo se centra principalmente en dos temas: El primero el estudio de las curvas de isovelocidad en las distintas bocas de extracción y en definir el comportamiento a seguir de las mismas. En la Figura 2 se muestra un extracto del manuscrito en el que se definen las velocidades de aspiración mediante mapas de iso-velocidad.

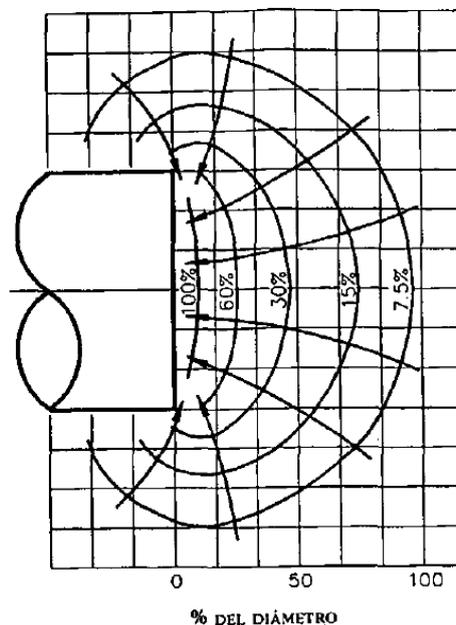
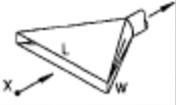
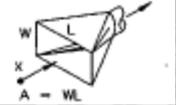
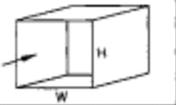
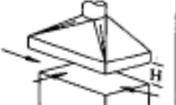
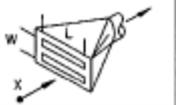
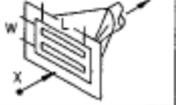


Figura 2- Perfiles de Velocidad de una Abertura Circular Simple. Fuente: ([www.medicinalaboraldevenezuela.com](http://www.medicinalaboraldevenezuela.com)) Pagina 49

El segundo de estos temas es el análisis de las distintas configuraciones de las campanas extractoras y la caracterización de su comportamiento mediante ecuaciones matemáticas. La siguiente tabla proviene del manual y describe los distintos tipos de campana y las ecuaciones que estas siguen.

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

Tabla 1- Distintas Configuraciones de Campanas con sus Respectivas Ecuaciones. Fuente: (www.medicinalaboraldevenezuela.com)  
Pagina 53

TIPO DE CAMPANA	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE FORMA W/L	CAUDAL
	RENDIJA	0,2 ó MENOS	$Q = 3,7 LVX$
	RENDIJA CON PESTAÑA	0,2 ó MENOS	$Q = 2,6 LVX$
	CAMPANA SIMPLE	0,20 ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = V(10X^2 + A)$
	CAMPANA SIMPLE CON PESTAÑA	0,2 ó SUPERIOR Y CIRCULAR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$
	CABINA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = VA = VWH$
	CAMPANA ELEVADA	ADAPTADA A LA OPERACIÓN	$Q = 1,4 PVH$ VER VS-903 P = PERÍMETRO H = ALTURA SOBRE LA OPERACIÓN
	RENDIJA MÚLTIPLE. 2 ó MÁS RENDIJAS	0,2 ó SUPERIOR	$Q = V(10X^2 + A)$
	RENDIJA MÚLTIPLE CON PESTAÑA. 2 ó MÁS RENDIJAS	0,2 ó SUPERIOR	$Q = 0,75V(10X^2 + A)$

Esta fuente será nuestra referencia y basaremos este trabajo en el estudio de estos dos apartados.

### 1.5 OBJETIVOS

Se plantean una serie de objetivos, generales y concretos que definirán este documento. Nuestro objetivo general es:

- Implementar y validar los estudios en CFDS como un mecanismo competente y eficaz a la hora de simular el comportamiento de los fluidos en sistemas de extracción localizada.

Este objetivo general se concreta en los siguientes objetivos específicos:

- Validar los apartados seleccionados de la bibliografía disponible.
- Comparar la aspiración entre modelos 2D de simetría plana y modelos 2D axisimétricos.
- Estudiar la influencia de las distintas geometrías 2D en la boca de aspiración.
- Estudiar la influencia de las distintas geometrías para una campana extractora en 3D.
- Estudiar la influencia de las distintas velocidades en la boca de aspiración 2D.
- Estudiar la influencia de las distintas velocidades para una campana extractora en 3D.

- Adquirir conocimientos sobre la utilización de *Ansys Fluent*.
- Favorecer el análisis y la puesta en funcionamiento de sistemas de ventilación localizada.
- Conceder mayor precisión a los modelos anteriores realizados por profesionales.

## 1.6 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Para cumplir con estos objetivos se ha dividido el trabajo en una serie de apartados. Se ha empezado con una introducción en la que se han comentado los aspectos más teóricos del documento: Introducción a CFDs, normativa del INSHT, mecánica de fluidos y fundamentalmente, de aspiración industrial.

A continuación se ha proseguido con la metodología de trabajo, en la que detallamos los modelos a estudiar en tres fases: Modelado de la geometría, mallado de la geometría y la configuración de la simulación numérica.

A esto le prosigue la exposición de los resultados obtenidos a partir de la simulación numérica. Esta se ha dividido en dos problemas principales: La simulación de un conducto de aspiración en 2D y el estudio de las campanas de extracción en 3D. Seguido de esto expondremos nuestros resultados con el mismo formato, separando ambos casos para un análisis más detallado y posteriormente las conclusiones.

Finalmente nuestro proyecto incluiremos detalles sobre los planos de nuestros diseños y un presupuesto que abale esta publicación. Esto se concluye adjuntando las referencias bibliográficas.

## **CAPÍTULO 2. PROBLEMÁTICA DE LA VENTILACION INDUSTRIAL**

### **2.1 INTRODUCCION A LA VENTILACION**

Renovar el aire en cualquier local es necesario para reponer el oxígeno y remover los subproductos generados por el proceso productivo o la actividad humana.

El vocablo “ventilación” es equivalente al de renovación del aire, reemplazar aire contaminado por aire limpio que generalmente procede del exterior. Para poder cuantificar la ventilación de un local debemos indicar el volumen de aire que es renovado por unidad de tiempo. Lo más común es calcular el cociente entre esta caudal y el número de ocupantes de la sala para obtener la renovación de aire por ocupante y unidad de tiempo.

La ventilación de un recinto puede ser de forma natural o bien de forma forzada. El término de ventilación natural se asocia a los sistemas de ventilación con un nulo aporte de energía exterior para alcanzar la renovación del aire. El formato más común de ventilación natural se alcanza dejando aberturas en el recinto, como puertas o ventanas, que están en contacto con el ámbito exterior.

En este caso, la variación de temperatura entre el interior y el exterior y el producto del viento son la causa que origina el movimiento de aire necesario para la ventilación.

La ventilación natural puede ser suficiente en locales donde los únicos focos contaminantes son las personas, de haber más fuentes de contaminación raramente resultara suficiente. Otro inconveniente es la falta de regulación, ya que nuestra ventilación dependerá exclusivamente de las condiciones meteorológicas y variara conforme estas varíen y de nuestras aberturas al exterior, las cuales no suelen dar cabida a mucho cambio.

Estos problemas desaparecen con la ventilación forzada, ya que el grado de ventilación es regulable y controlable. Otro punto a favor respecto a la natural es que esta puede ser aplicada en espacios cerrados que no dispongan o no queramos que entren en contacto con el espacio exterior, como sótanos o laboratorios con atmosferas controladas. A la vez nos permite extraer del ambiente la presencia de toxinas generadas por los distintos procesos productivos, esto solo se debería de aplicar para contaminantes de baja toxicidad repartidos a lo largo del local en bajas cantidades.

Existen normas y recomendaciones sobre el índice de ventilación que debería de existir en cada local según su uso y ocupación. Estos valores han sido ideados para mantener la calidad del aire de los locales, evitando así ambientes cargados y malos olores.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RD 1751/1998, RITE) nos indica las tasas de ventilación recomendadas para las distintas clases de local. Es necesario cumplir el

reglamento y las tasas de ventilación. Ante la obligación de controlar los procesos productivos y los agentes químicos que estos desprenden, se valorará la ventilación general como medida de soporte y prevención pero tendremos que proceder al cálculo del caudal necesario para extraer el contaminante y plantear mecanismos de ventilación localizada.

## 2.2 VENTILACIÓN LOCALIZADA

La extracción localizada es una clase particular de ventilación, cuyo propósito es captar partículas nocivas como el polvo, humos, vapores, etc. lo más cerca posible de la fuente que los genera, evitando que se dispersen estas partículas en el local.

Como ya se ha comentado anteriormente la ventilación es una herramienta de preventiva y protectora contra los peligros derivados de la exposición de agentes químicos. Vistas las limitaciones de la ventilación general, la extracción localizada es el método de ventilación más recomendado para regular la contaminación en los puestos de trabajo.

Los equipos más comunes de extracción localizada consisten de cuatro componentes principales:

- La campana, sobre este utensilio recae la función de captar los contaminantes de una manera más eficiente.
- El conducto, por aquí pasará el fluido extraído junto con las partículas del contaminante.
- El depurador, responsable de separar las partículas del aire.
- El ventilador, también conocido como extractor, provoca la circulación/aspiración. Es el elemento que proporciona la energía al sistema.

La eficacia en los sistemas de extracción localizada depende de su capacidad para generar corrientes de aire de suficiente magnitud en los puntos en los que se produce el contaminante. Esto se obtiene modificando el diseño: variando la distancia, distinta geometría o adaptación de la campana extractora al foco generador, comprobando y modificando el caudal de extracción y la limpieza o estado de los conductos y filtros. Por lo que como toda instalación se le tendrá que realizar un mantenimiento periódico.

## 2.3 EFICACIA EN LA VENTILACIÓN

Otro concepto de gran importancia es la Eficacia de la Ventilación, este parámetro es calculable y lo definimos como el ratio entre la concentración de contaminante en la extracción del aire y la zona respiratoria.

$$E_v = \frac{C_e}{C_v} \quad (1)$$

Siendo  $E_v$  la eficacia en la ventilación,  $C_e$  la concentración de contaminante en la extracción y  $C_v$  la concentración de contaminante en la zona respiratoria.

La eficacia dependerá del reparto de aire y de la localización de las fuentes de contaminantes en el edificio. Si la mezcla de aire y contaminantes es completa nuestra eficacia será igual a uno, si se diese el caso de tener un aire más puro en la zona respiratoria que en la zona de extracción tendríamos una eficacia por encima de la unidad y podemos lograr nuestra calidad de aire con una ventilación inferior. No obstante se necesitaran tasas de ventilación superiores en el caso de que nuestra eficacia sea menor a la unidad, tal caso se dará cuando la calidad de nuestro aire en la zona respiratoria este por debajo de la calidad del aire en la extracción.

Para un mejor estudio de la eficacia de ventilación es de utilidad dividir nuestro espacio en dos, una zona que marque la entrada de aire y la otra al espacio remanente en la habitación. Es habitual en los sistemas de ventilación por desplazamiento de aire que exista por encima una zona de extracción y aparte una zona de extracción ocupada por los humanos. Las condiciones óptimas se obtienen cuando menor es la mezcla entre las dos zonas.

La eficiencia de la ventilación depende principalmente de la ubicación y características de los componentes del suministro y extracción del aire a la par que de las fuentes de contaminación. A su vez es función del caudal de aire suministrado y la temperatura. El cálculo de la eficacia de nuestro sistema de ventilación es posible bien por medición o mediante la simulación numérica.

## 2.4 CALCULO DE SISTEMAS DE ASPIRACION

Como ya se ha comentado anteriormente este trabajo se basara en el estudio del libro Ventilación Industrial como guía para el análisis de la extracción localizada. El primero de ellos será el estudio en dos dimensiones de los mapas de isovelocidad en la salida de aberturas circulares para el caso de extracción.

Este apartado se centra principalmente en el estudio de perfiles de velocidad abertura circular con pestaña.

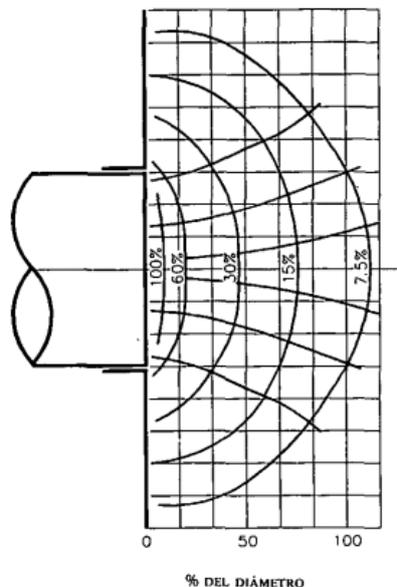


Figura 3- Perfiles de Velocidad Abertura Circular con Pestaña. Fuente: ([www.medicinalaboraldevenezuela.com](http://www.medicinalaboraldevenezuela.com))  
Pagina 49

El procedimiento para afrontar el análisis será reproducir estos modelos en *Ansys Fluent*, mostrar sus curvas de isovelocidades y comprobar si coinciden en forma y valor. Para ello se compararan tres puntos:

- El punto que este alejado de la abertura a una distancia equivalente al 20% del diámetro de la misma, cuya velocidad debería de equivaler al 60% de la velocidad registrada en la abertura del canal.
- El punto que este alejado de la abertura a una distancia equivalente al 50% del diámetro de la misma, cuya velocidad debería de equivaler al 30% de la velocidad registrada en la abertura del canal.
- El punto que este alejado de la abertura a una distancia equivalente al 100% del diámetro de la misma, cuya velocidad debería de equivaler al 10% de la velocidad registrada en la abertura del canal.

El otro caso de estudio dentro de las geometrías en dos dimensiones es el de perfiles de velocidad en abertura circular simple. La diferencia geométrica entre ambos casos es que el primero está rodeado de pestañas o cualquier superficie que impide el movimiento de aire en a través de ella. Estas pestañas estarán colocadas paralelas a la sección transversal de la abertura del tubo y a la misma altura que esta, impidiendo la aspiración de aire que esta por detrás de estas.

El siguiente caso no cuenta con esas pestañas y por lo tanto la evolución del flujo será distinta:

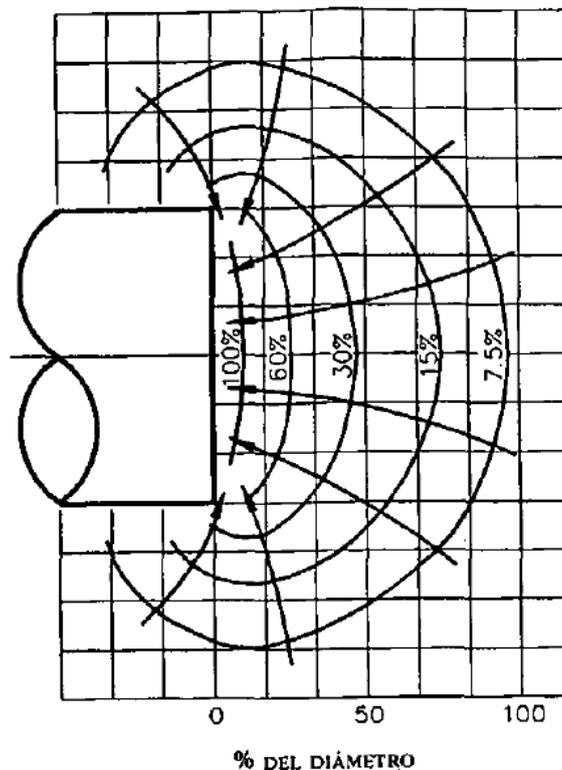


Figura 4- Perfiles de Velocidad Abertura Circular Simple. Fuente: ([www.medicinalaboraldevenezuela.com](http://www.medicinalaboraldevenezuela.com))  
Pagina 49

El procedimiento a seguir en el análisis de este caso será idéntico al anterior. Con las únicas variaciones de los modelos a estudiar, que serán más reducidos ya que no le se ha dado tanta importancia, y los resultados a obtener, los cuales serán los siguientes:

- El punto que este alejado de la abertura a una distancia equivalente al 20% del diámetro de la misma, cuya velocidad debería de equivaler al 70% de la velocidad registrada en la abertura del canal.
- El punto que este alejado de la abertura a una distancia equivalente al 50% del diámetro de la misma, cuya velocidad debería de equivaler al 30% de la velocidad registrada en la abertura del canal.
- El punto que este alejado de la abertura a una distancia equivalente al 100% del diámetro de la misma, cuya velocidad debería de equivaler al 7.5% de la velocidad registrada en la abertura del canal.

El otro caso principal de estudio es la comprobación de las ecuaciones definidas por el manual para las distintas geometrías de campanas extractoras. Las cuales hacen referencia a como varia la velocidad del aire en un punto en relación a su distancia respecto la abertura de la campana. Los modelos a estudiar son los siguientes:

- Campana Simple con factor de forma superior o igual a 0.2

$$Q = V(10x^2 + A) \quad (2)$$

- Campana Simple con Pestaña con factor de forma superior a 0.2

$$Q = 0.75V(10x^2 + A) \quad (3)$$

- Campana con Ranuras Múltiples, dos o más ranuras, con factor de forma superior o igual a 0.2

$$Q = V(10x^2 + A) \quad (4)$$

- Campana con Ranuras Múltiples con Pestaña, dos o más ranuras, con factor de forma superior o igual a 0.2

$$Q = 0.75V(10x^2 + A) \quad (5)$$

- Rendija con factor de forma inferior o igual a 0.2

$$Q = 3.7LVX \quad (6)$$

- Rendija con Pestaña con factor de forma inferior o igual a 0.2

$$Q = 2.6LVX \quad (7)$$

Q= Caudal de aspiración requerido ( $m^3/s$ )

X= Distancia desde la boca de la campana hasta el punto ( $m$ )

V= Velocidad de captura a distancia X ( $m/s$ )

L= Longitud de la campana ( $m$ )

W= Anchura de la campana ( $m$ )

A= Área de la boca de la campana ( $m^2$ )

## 2.5 METODOS CFDS

La Dinámica de Fluidos Computacional, CFD, es una rama de la mecánica de fluidos que se hace servir del análisis numérico y algoritmos para resolver y analizar problemas que involucren el movimiento de fluidos.

Como su nombre indica son utilizados ordenadores para realizar los cálculos requeridos para simular la interacción de líquidos y gases con superficies definidas por sus respectivas condiciones de contorno. Con computadoras de alto rendimiento se consiguen mejores soluciones.

Históricamente estos métodos fueron desarrollados por primera vez para resolver modelos bidimensionales en los años 30. No fue hasta finales de los años 50 que un grupo de investigadores de *Los Alamos National Lab* liderado por Francis H. Harlow que estos programas empezaron a cobrar importancia resolviendo los primeros modelos tridimensionales, con la introducción de modelos basados en las ecuaciones de Navier-Stokes y con el desarrollo de la tecnología que permitía la utilización de computadoras más potentes. Más tarde se implementaron las ecuaciones de Euler.

El continuo desarrollo del software utilizado para estas simulaciones también ha favorecido en la precisión y velocidad del cálculo. Estos avances son más visibles a la hora de calcular escenarios más complejos, tales como flujos turbulentos o transónicos. La validación experimental de los resultados iniciales del software se lleva a cabo en tuneles de viento o modelos a escala real.

La base fundamental a casi cualquier problema de CFD son las ecuaciones de Navier-Stokes, que definen múltiples movimientos de fluidos en una sola fase, gas o líquido pero no ambas. Se puede simplificar estas ecuaciones eliminando términos relativos a las acciones viscosas para ceder el paso a las ecuaciones de Euler. Para una posterior simplificación se eliminan los términos que describen la vorticidad y se deja paso a las ecuaciones de la teoría de flujo potencial. Finalmente para los casos con pequeñas perturbaciones en flujos subsónicos y supersónicos las ecuaciones pueden linealizarse con las ecuaciones de flujo potencial.

La estabilidad de la discretización generada suele establecerse numéricamente en vez de analíticamente como con problemas lineales simples. Se debe de tomar especial precaución de que la discretización pueda manejar soluciones discontinuas. Tanto las ecuaciones de Euler como las de Navier-Stokes permiten saltos y superficies de contorno.

Un método utilizado en los códigos del CFD es el del Volumen Finito Ya que tiene la ventaja en utilización de memoria y alta velocidad de cálculo, especialmente para problemas complejos, flujos turbulentos con un número de Reynolds elevado y problemas de combustión.

El método del volumen finito, las ecuaciones diferenciales parciales (ecuaciones de Navier-Stokes, de conservación de masa y energía y las ecuaciones de la turbulencia) son transformadas en una manera conservadora y resueltas sobre los volúmenes de control discretizados. Existen otros métodos de cálculo como el de elementos finitos, diferencias finitas, etc.

Las simulaciones en CFDs nunca pueden reemplazar a las mediciones tomadas en experimentos reales, aun así reducen en gran medida la cantidad de experimentos a realizar y reduce drásticamente los costes. Es por esto que se utilizan estos softwares: son más rápidos, mucho más asequibles económicamente, se pueden hacer varios experimentos en paralelo y su gran versatilidad, ya que se puede simular desde un automóvil hasta una tubería mientras que una maqueta a escala real solo servirá para un tipo de problema.

A esto hay que sumarle la facilidad de transporte y modificación del modelo, mientras que un modelo real puede ser difícil de transportar y requiere personal especializado. Bien es cierto que una simulación en CFD nunca es fiable al 100% ya que nuestros datos de entrada pueden ser imprecisos o elegidos al azar, el modelo matemático puede ser inapropiado para el problema en cuestión y la precisión de los resultados viene limitada por la capacidad de nuestra computadora.

Todo acercamiento al cálculo mediante CFD sigue el mismo procedimiento básico. Empezando por el preprocesado, cuyo primer paso es moldear la geometría a partir de la cual se define el problema, esta geometría nos marcará las barreras físicas del problema. Posteriormente el volumen ocupado por el fluido es dividido en diferentes celdas, la malla, la cual puede ser uniforme o no uniforme. A continuación se define el modelado físico, por ejemplo las ecuaciones de movimiento, entalpía y radiación. Para finalizar con el preprocesado se definen las condiciones de contorno. Esto requiere especificar el comportamiento del fluido y las propiedades en los límites o fronteras del problema.

Una vez finalizado el preprocesado empieza la simulación, se resuelven las ecuaciones mediante iteraciones según las condiciones impuestas. Todo esto se detalla en el Capítulo 3. Finalmente el postprocesado, se utiliza para analizar y visualizar los resultados de la simulación.

## CAPÍTULO 3. METODOLOGIA

El procedimiento que se ha utilizado en todos nuestros modelos a estudiar en este trabajo ha sido el mismo y se constituye por tres fases: Desarrollar la geometría, mallar la geometría y modelar el cálculo numérico. Todos estos procesos se enlazan mediante la plataforma *Workbench 15.0*, de manera que cada etapa tiene su propio módulo. Esto nos permite modificar cada etapa del proceso y que el programa actualice la nueva información en los módulos que la preceden. Todo esto nos permite crear un modelo válido para ser resuelto en ANSYS. En la Figura 5 vemos un ejemplo de cómo están entrelazadas las distintas etapas.

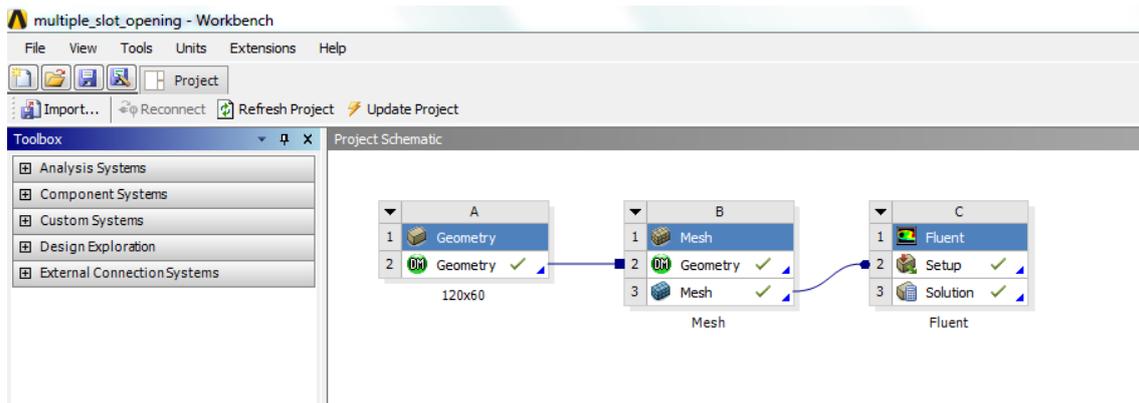


Figura 5- Interfaz del Workbench

### 3.1 MODELADO DE LA GEOMETRIA

Es imprescindible recalcar que en el desarrollo de este trabajo no nos hemos centrado en una geometría única, si no que comprende un amplio abanico de planteamientos. El trabajo se divide en dos problemas principales, el modelado en dos dimensiones y el modelado en tres dimensiones, que a la vez se subdividirán en diferentes casos alternando tamaño y dimensión del conducto, distintas dimensiones e incluso modelos de campanas extractoras diferentes.

#### 3.1.1 Geometrías 2D

En esta variante de nuestro estudio se ha optado por esbozar múltiples geometrías para un mejor estudio del problema planteado. Puesto que queremos simular una boca de aspiración de abertura simple nuestro modelo carecerá de complejidad, crearemos una superficie 2D que reproduzca un conducto de evacuación insertado en una habitación llena de fluido.

Nuestros modelos serán simétricos por lo que su representación estará seccionada por la mitad, juste en su eje de simetría, para posteriormente salir beneficiados en las opciones de mallado.

Para figuras de gran complejidad se suelen usar programas externos a ANSYS para su desarrollo y posteriormente importarlos, debido a la simpleza de su diseño se ha optado por construirlo en la plataforma integrada por ANSYS en su *Workbench 15.0* el DesignModeler.

El modelo general a partir del cual se harán modificaciones es un habitáculo de 3mx4m, 3mx2m al haber sido seccionado por la mitad, lo cual es suficiente para que el flujo se detenga antes de llegar a los límites y que estos no interfieran con nuestras corrientes de aire. Se ha situado un tubo de longitud diez veces la de su diámetro, para asegurarnos de que se establezca el flujo antes de salir del, posicionado en el centro del habitáculo para que el modelo sea simétrico. Toda la geometría será rellena con fluido. En la Figura 6 se muestra la Geometría básica a partir de la cual se harán modificaciones.

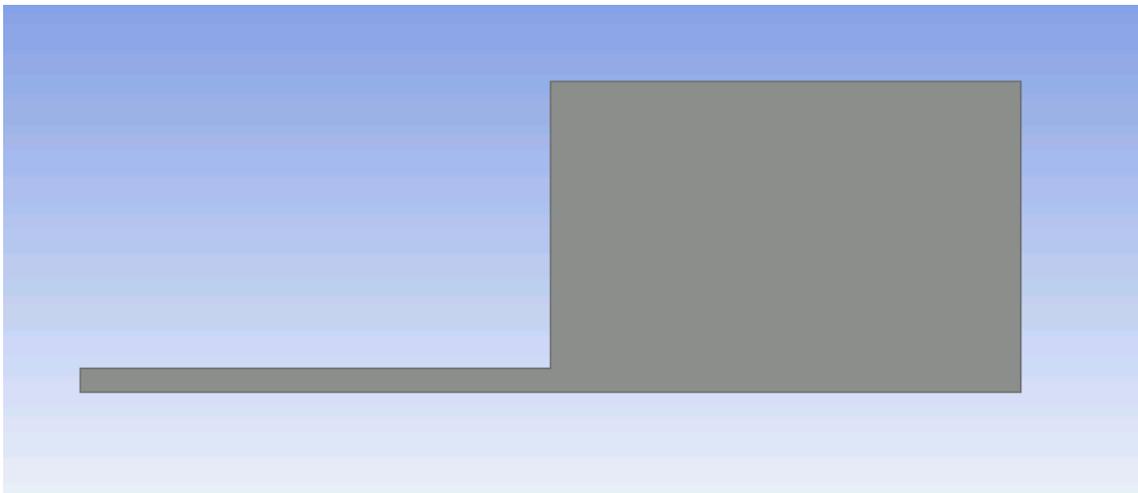


Figura 6- Geometría 2D Básica

Este modelo general será modificado experimentando con distintos diámetros, desde 20cm hasta 60cm, para ver sus efectos en nuestros resultados. También modificaremos el tipo de boca, inicialmente el conducto se situaba en el exterior y la boca coincidía con el inicio de la estancia, ahora el conducto se alargara provocando que nuestra boca aspire desde el interior. Finalmente variaremos las cotas de la habitación para ver si nuestros resultados están siendo afectados por ello.

Para el modelado del prototipo que cuenta con el tubo interior se ha optado por variar la geometría de forma que el conducto no tenga fluido por encima una vez entre al habitáculo. Eso lo conseguiremos al no rellenar con fluido esta zona, creando una geometría con una separación entre el conducto y el habitáculo. Esta geometría se muestra en la Figura 7.

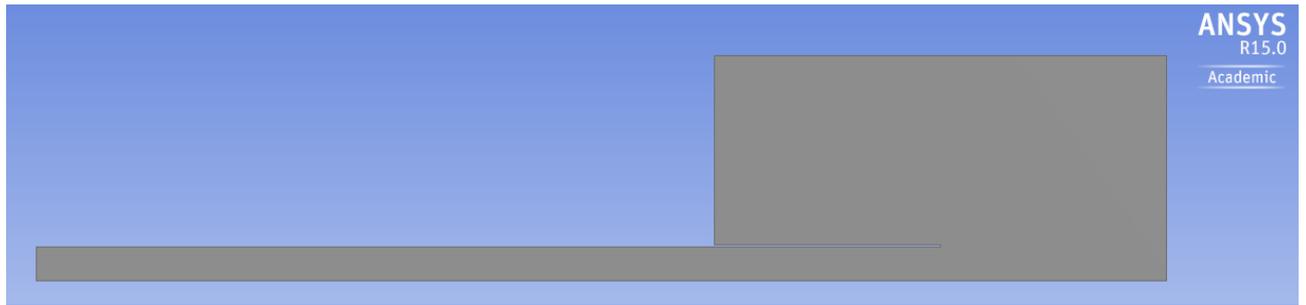


Figura 7- Geometría 2D con Tubo Interior

La distancia de separación entre el tubo y la parte superior es de vital importancia. Queremos que simule el grosor de un tubo comercial, el cual estaría sobre el orden de varios milímetros, pero el problema con el que nos encontramos es que estaremos condicionados por las dimensiones de los elementos de la malla. Si el espesor del tubo es inferior a la dimensión del elemento nos será imposible mallar esta zona con precisión y nos creará irregularidades en la malla como se puede ver en la Figura 8.

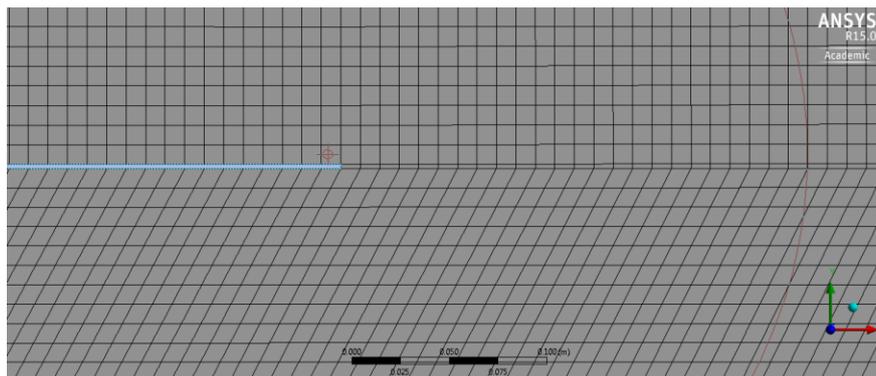


Figura 8- Malla Para Tubo de Grosor Milimétrico

Como se aprecia en la figura tenemos una malla muy irregular justo en la salida del tubo. Esta es la zona de de máximo interés pues es aquí donde estamos estudiando el flujo y donde se producirían mayor variedad de cambios. A esto se le suma el inconveniente de que las celdas ya no están en la dirección del flujo. Como veremos más adelante en la sección de mallado de la geometría, todo esto son problemas que dificultan nuestro calculo y disminuyen la precisión de nuestros resultados.

Es por esto que aumentaremos el espesor a 10mm para que coincida con nuestro tamaño de malla, el cual detallaremos más adelante la razón de su elección, así al coincidir con las medidas nos quedara un mallado más uniforme como el que vemos a continuación.

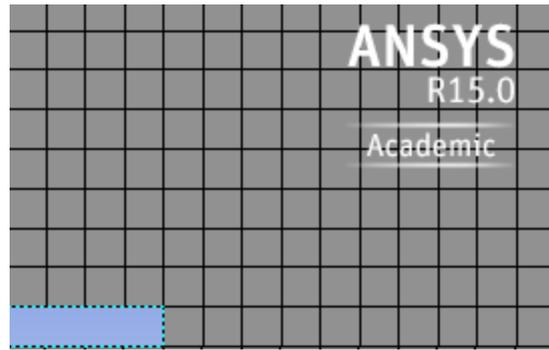


Figura 9- Malla en el Tubo Interior

A continuación se representa una geometría básica sin medidas y posteriormente la Tabla 2 con las variaciones en las cotas de la geometría para los distintos modelos calculados:

Tabla 2- Medidas Modelos

L (m)	R (m)	A (m)	B (m)
3	0.15	2	3
3	0.1	2	3
3	0.2	2	3
3	0.3	2	3
1	0.14	2	3
2	0.15	2	3
4	0.15	2	3
3	0.15	1	2
3	0.15	2	2
3	0.15	3	2
3	0.15	1	3
3	0.15	3	3

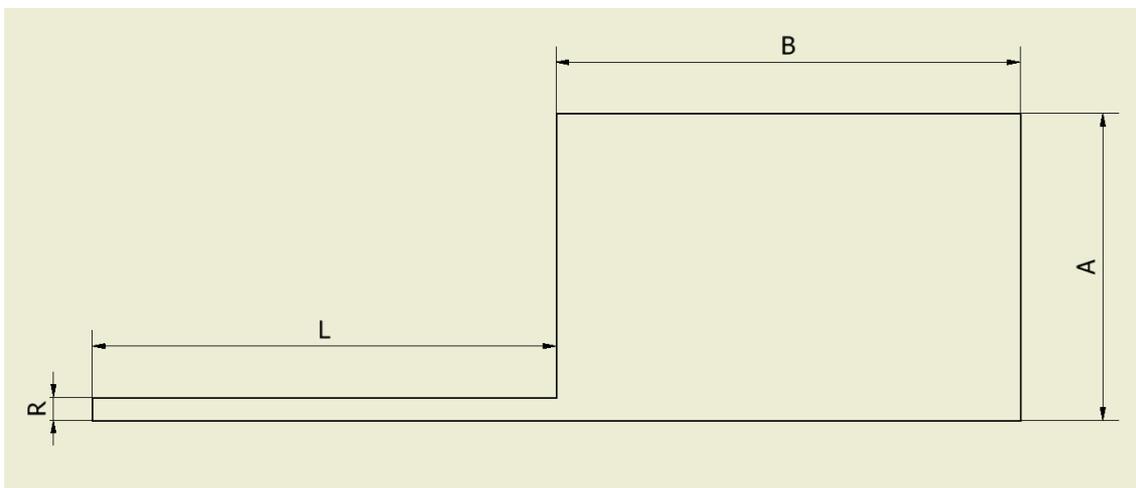


Figura 10- Cotas del Modelo

### 3.1.2 Geometrías 3D

Nuestro boceto principal, a partir del cual se basaran todas sus variaciones y por lo tanto el resto de geometrías de este apartado, ha sido modelado en base a campanas industriales y sus medidas reales. Para ello se ha rastreado el mercado online de campanas industriales en búsqueda de una campana extractora que se ajustara a los requisitos del documento *ACGIH: Industrial Ventilation Manual* y cuyo catálogo nos mostrase todas sus medidas con exactitud. El producto elegido fue una campana de tamaño medio, la *TurboCampana: PiraCenter*. Este modelo pertenece a la empresa VentDepot (VentDepot.com), especializada en HVAC/R (Heating, Ventilation, Air Conditioning and Refrigeration/Calefacción, Ventilación, Aire Acondicionado y Refrigeración). Las medidas y geometría se detallan a continuación:

Tabla 3 –Características Técnicas Específicas de la Campana Extractora. Fuente: (<http://www.ventdepot.com>)

Características Técnicas Específicas										
Material	Calibre	A	B	C	∅D		E	F	Peso y Dimensión con Empaque de Madera	
		mm	mm	mm	mm	pulg	mm	mm	Kg	cm
Galvanizado	18	1200	1190	470	152	6	100	51	48	125x125x65
Galvanizado	18	2000	1190	470	203	8	100	51	70	205x125x65
Galvanizado	18	2400	1190	470	254	10	100	51	81	245x125x65
Galvanizado	18	3000	1190	470	305	12	100	51	98	305x125x65



Figura 18- Imagen de la Campana.

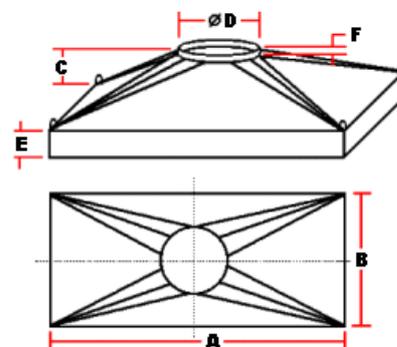


Figura 11- Dimensiones de la Campana.

Fuente: ([www.ventdepot.com](http://www.ventdepot.com))

Nos decidimos por el propio modulo del *Workbench* el *DesignModeler* cuya interfaz tiene mejor predisposición a sincronizarse correctamente con el resto de módulos de *Ansys* en comparación al importar la geometría simulada por otro software externo.

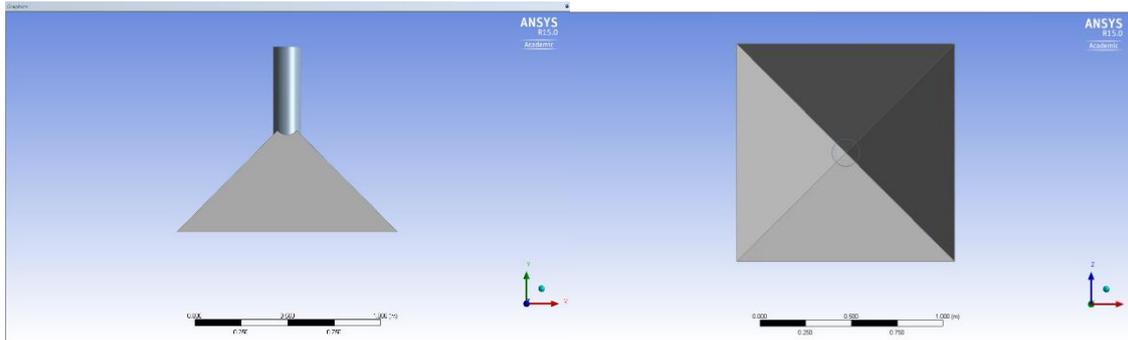


Figura 12- Campana Inicial

*Ansys Fluent* simula el movimiento de fluidos, por lo que se debe llenar nuestra campana de fluido, también crear un habitáculo lleno de este fluido, aire, para ver como evoluciona el flujo a la salida de la campana. Este habitáculo debe de ser lo suficientemente grande para que no influya en el flujo de la campana ni nos cree flujos turbulentos u otras corrientes nocivas.

Entre un modelo de estudio y el siguiente, lo único que variaremos en el boceto son las medidas y geometría de la campana, el habitáculo exterior será el mismo para todos nuestros casos. Este habitáculo se inspira en cualquier habitación de gran tamaño, sea una nave industrial, almacén, laboratorio, etc. Es un cilindro de 5m de diámetro por 3m de altura el cual representa solo un fragmento independiente y aislado el cual estaría dentro de nuestra nave, sin ser afectado por los alrededores de la habitación. Esto lleva a entender que los límites de nuestra geometría no son paredes si no la superficie externa de nuestro fluido, que a su vez estará en contacto con el resto del aire de nuestra nave pero no será necesario incluirlo en la simulación.

La creación del modelo 3D se basa en bocetos 2D que se han esbozado y más tarde extruido para generar estos volúmenes. El programa le asigna por defecto a toda superficie o volumen la condición de sólido, esto se deberá modificar y revertir a fluido, pues nuestra simulación trata con aire. No obstante las superficies, como nuestra campana extractora, no son concebidas con fluido en su interior, este relleno de objetos hemos de hacerlo nosotros delimitando el objeto con superficies y aplicándole una operación de relleno, *Fill*, la cual ya nos engendrara un volumen dentro de la campana.

Esto nos provoca otro contratiempo, al rellenar la campana con fluido y más tarde extruir el boceto 2D para crear nuestro habitáculo se crea una superposición de volúmenes. Esto es perjudicial para nuestra simulación ya que el programa no lo convierte en una sola magnitud, si no que simula ambos fluidos provocando errores en nuestra simulación, es por esto que se ha de aplicar una operación que le reste un cuerpo a otro manteniendo intacto uno de los dos para que deje de existir esta superposición.

Todas estas operaciones generan distintos cuerpos 3D, es importante unirlos en una sola parte ya que en la realidad todo nuestro aire en contacto, pero aquí de no hacer eso cabe la posibilidad de que el programa separe cada zona independientemente creando un contorno nada parecido al caso que queremos simular.

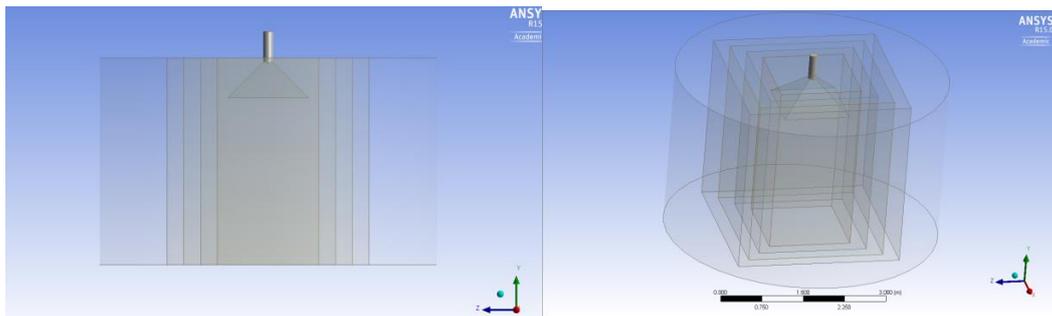


Figura 13- Geometría Inicial Antes de Aplicar Planos de Simetría

Otros factores que se han tenido en cuenta a la hora de definir la geometría es nuestra obligación de acondicionarla de la mejor manera al paso siguiente: El mallado. La razón de su forma cilíndrica es que una vez malleemos nuestra geometría, esta se subdividirá en miles de pequeñas celdas, estas deben de ser las mínimas posibles como detallaremos en el siguiente apartado, por lo que un volumen cilíndrico nos permite que los límites de nuestra simulación sean equidistantes al centro de ella y a su vez reducir el volumen, número de celdas, eliminando las esquinas que tendría de ser rectangular.

En las Figura 13 también podemos observar que el volumen ocupado por el fluido está dividido a capas, esto también ha sido concebido pensando en el número de celdas, permitiéndonos así variar el tamaño de las celdas de cada sector. Asimismo es importante recalcar que no hay separación real entre las distintas zonas. Las superficies fronterizas no son paredes u obstáculos si no límites o transiciones entre un tamaño de celda y otro. En la realidad estos límites serían invisibles a la vez que intangibles.

Finalmente ponemos en práctica la herramienta *Symmetry*. Este mecanismo permite dividir la geometría en dos partes idénticas a partir de un eje de simetría, eliminando una de las dos fracciones. Con esto se consigue reducir nuestro volumen a la mitad y a su vez también aminorar la cantidad de celdas en la misma proporción.

Esto acortará el tiempo de cálculo significativamente ya que cuantas menos celdas menos puntos ha de calcular el programa y más rápido podrá ser terminado el trabajo. Ya que más tarde tendrá en cuenta la parte faltante de la geometría conservando un reducido número de celdas. En nuestro caso tenemos dos ejes de simetría, el YZ y el XY, por lo que se ejecutará dos veces esta herramienta quedando una figura con una cuarta parte del volumen inicial.

El modelo se ha dividido a partir de sus planos de simetría tal y como se presenta en las Figuras 14 y 15.

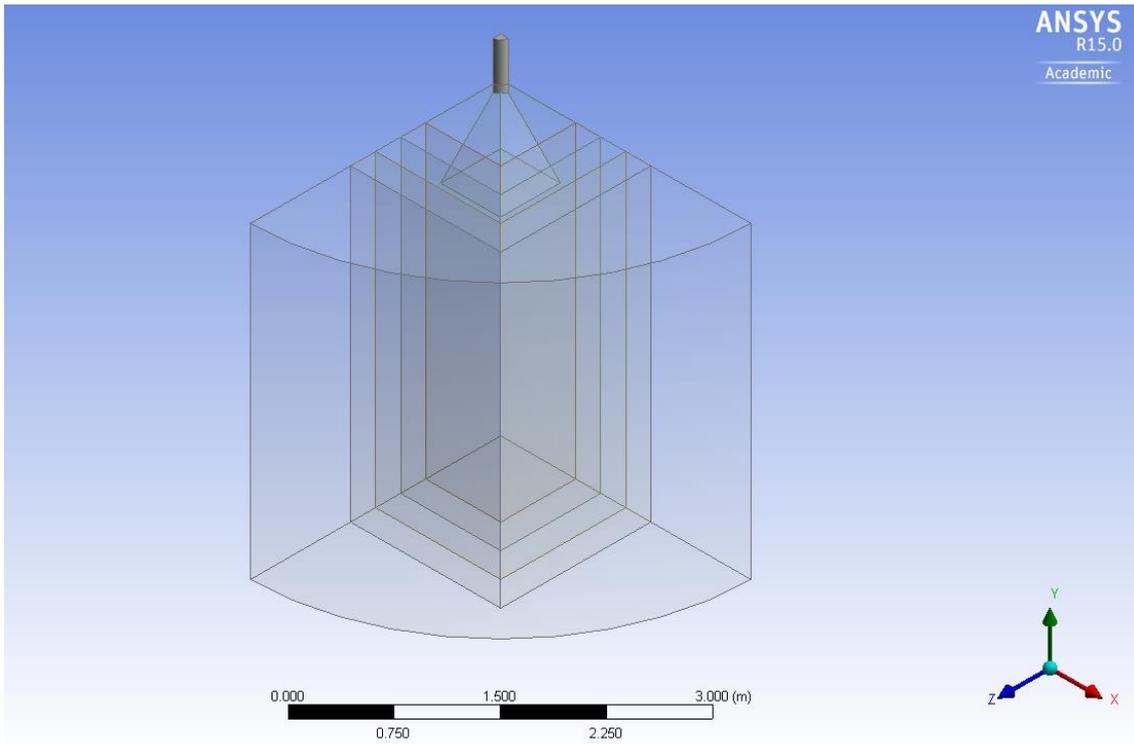


Figura 14- Geometria General Completa

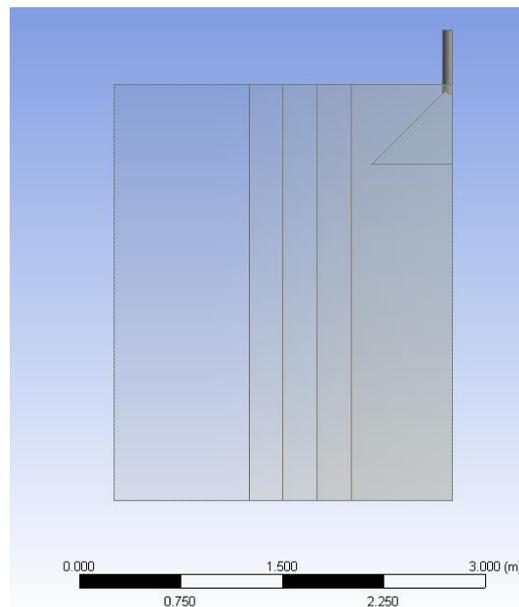


Figura 15- Vista Lateral de la Geometria General

Las capas iniciales tienen una forma rectangular ya que se persigue ocupar el menor volumen posible pero a la vez que los límites fuesen lo más equidistantes posibles a la simulación, puesto que nuestra campana es de forma rectangular optamos por que las primeras capas sean de estructura cuadrada. La primera capa tendrá una superficie de 1.5x1.5m, en esta se concentrará la mayor densidad de malla y esta lo más cerca posible a la campana.

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

Las siguientes capas desde el interior hasta el exterior de la figura serán de 2x2m, 2.5x2.5m y 3x3m respectivamente. Finalmente la capa exterior será de forma cilíndrica para que ocupe menos volumen manteniendo una distancia constante desde el borde exterior al núcleo de la simulación. Todas estas capas han de estar en contacto unas con las otras, compartiendo una misma altura de 3.1m.

Con esta misma base se ha modelado el resto de figuras. El modelado se basó en los casos de que estudiaremos del documento ACGIH y a esto se le ha sumado geometrías propias. Esto se ha hecho para que el estudio no se limite a un solo modelo por caso, si no tener varias geometrías para un mismo caso y así poder certificar su cumplimiento.

Estas variaciones se han tomado para el caso de la campana convencional. En el primer caso se ha variado la proporción entre sus lados obteniendo campanas de 1200x600mm y 1200x900mm. La segunda alteración ha sido variar el diámetro del conducto de evacuación, el modelo original de VentDepot tenía un diámetro de 150mm por lo que se ha optado por simular dos adicionales, de 200mm y 300mm. En la siguiente Figura se ve la campana básica de 1200x1190 mm a partir de las cuales se han hecho las modificaciones.

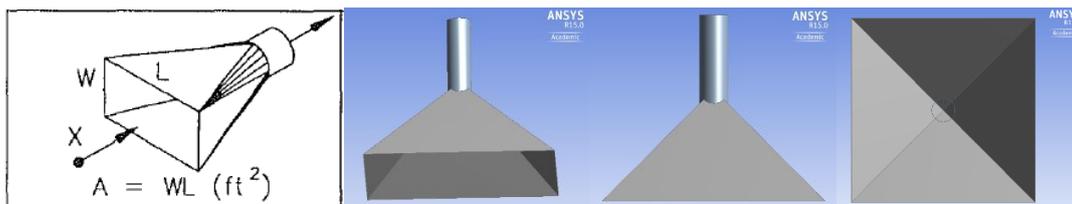


Figura 16- Campana Simple

A esta Campana Simple se le ha agregado una pestaña alrededor de la abertura como muestra la Figura 17.

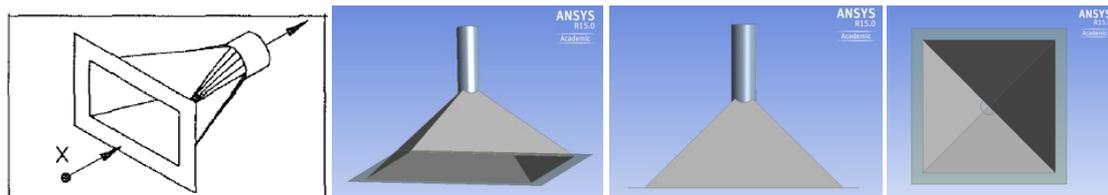


Figura 17- Campana Simple con Pestaña

La Campana simple también se ha alterado incorporando ranuras a la abertura como se indica en la Figura 18.

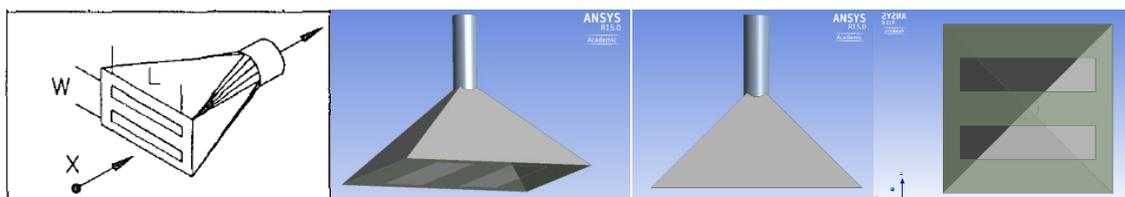


Figura 18- Campana con Ranuras

Finalmente a la Campana con Ranuras se le añade la pestaña en los bordes como representa la Figura 19.



Figura 19- Campana con Ranuras y Pestaña

Para el caso de las rendijas todo se ha mantenido igual que en el modelo general, solo que ha cumplir la condición de que la proporción entre la longitud y la anchura de la campana sea menos o igual a 0.2, en primera instancia optamos por gastar las medidas de nuestra campana general 1200x240mm, solo que al tener un tamaño tan reducido y similar al de nuestro diámetro nos creaba flujos turbulentos que no favorecían a la simulación. Por lo tanto optamos por una campana de 2000x400mm.

Esto deriva en el problema de que la campana sobrepasa las barreras de las capas iniciales que ocupara el fluido, dejando nuestra figura entre medias de distintas precisiones de mallado, lo cual no es posible si queremos obtener resultados precisos. Por lo que se han eliminado capas y variado sus dimensiones para dejar cabida a nuestra campana.

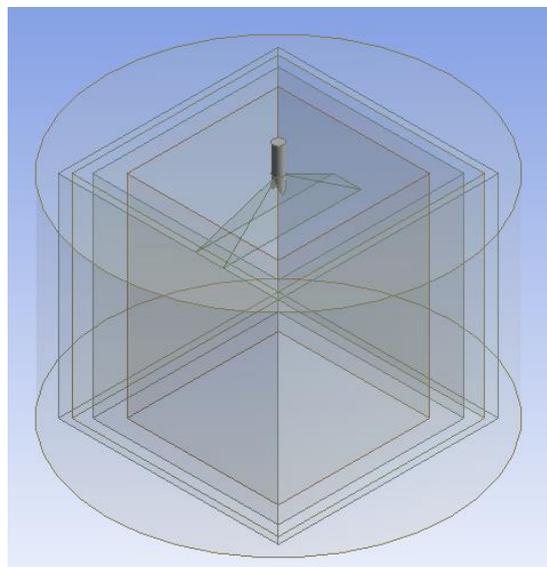


Figura 20- Rendija con Capas

Y estos son los modelos diseñados: La figuras 21 y 22 ofrecen representaciones del modelo de la Rendija y su variación con pestaña.

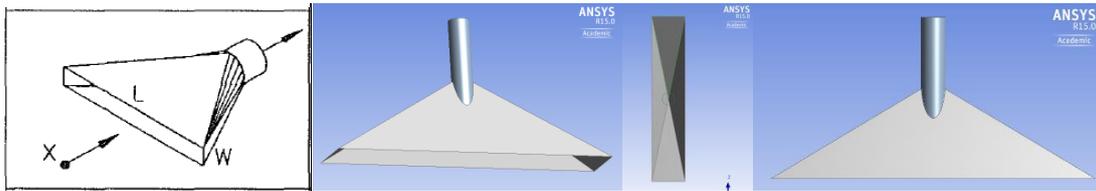


Figura 21- Rendija

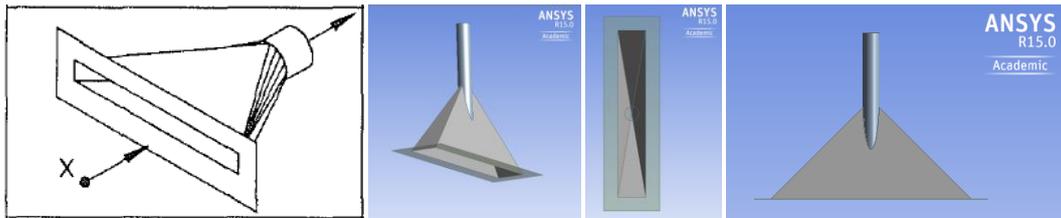


Figura 22-Rendija con Pestaña

### 3.2 MALLADO DE LA GEOMETRIA

Tanto el cálculo de movimiento de flujos como el de la transmisión de calor se rigen por la utilización de ecuaciones diferenciales parciales, raramente con soluciones analíticas dóciles excepto en casos sencillos. Para poder analizar el flujo de fluidos partimos el dominio del fluido en subdominios de menor tamaño en forma de polígono (3D) o cuadrilátero (2D) con la esperanza de conseguir casos menos complicados. Una vez tenemos estos subdominios el ordenador efectuara los cálculos para cada uno de ellos.

#### 3.2.1 Estudio de malla

La lógica incita a pensar que cuanto menor sea el tamaño de estos subdominios menos dificultad existirá para calcularlos obteniendo así una solución más precisa. Esto es correcto en cierta medida, la precisión aumentará con la reducción del volumen de las celdas pero habrá un momento en el que esta disminución en el tamaño de celda ya no se vea reflejado en la solución. Esto se debe a que ya se está ante la solución final y la relación entre el tamaño y la variación en el resultado sea prácticamente nula.

Además se ha de considerar que rebajar las dimensiones de las celdas provoca un crecimiento exponencial en el número de ellas. Esto se traduce en una mayor demanda de los recursos del ordenador y se multiplica el tiempo de cálculo necesitado. Siendo que tras cierto tamaño nuestra solución apenas fluctuará y no requerimos tal grado de precisión, nuestra meta será la de optimizar al máximo nuestro tiempo y nuestros recursos, siendo la eficiencia una de las bases de la ingeniería.

Es por todo ello que se precisa un estudio de malla para definir el tamaño óptimo de celda (número de elementos) a partir del cual obtengamos una solución precisa y estable. Es común que la mayoría de magnitudes estudiadas en CFDs presenten una curva asintótica en dicha gráfica, siendo nuestro objetivo encontrar ese punto.

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

El modelo elegido para realizar el estudio de malla es la geometría genérica de los diseños en 2D ya que ha sido el primer modelo en ser trazado y a partir del cual se han hecho modificaciones, por lo tanto para pequeñas variaciones el tamaño de celda escogido debería de cumplir a la perfección para los siguientes modelos.

ANSYS nos permite parametrizar valores, sea bien de la geometría o de la malla. Dándonos opción a realizar la simulación completa (Geometría, mallado y cálculo) para distintos valores de la magnitud parametrizada, obteniendo como salida los resultados de las medidas que deseemos.

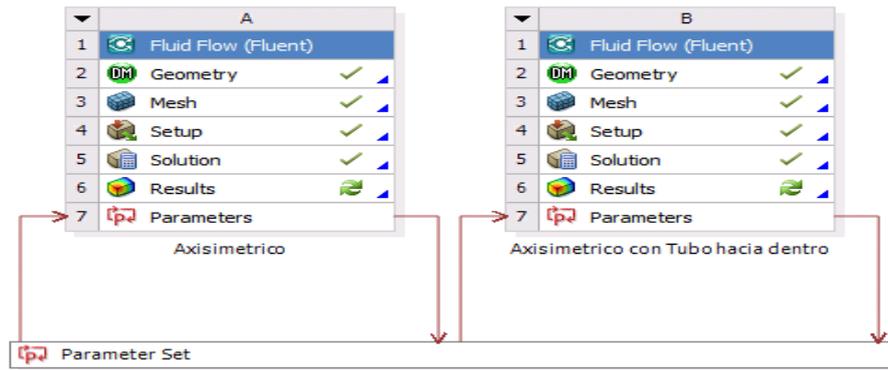


Figura 23- Interfaz de Workbench con Parametrización

La solución es parametrizar el tamaño de las celdas desde un tamaño de celda desmesurado y poco preciso (0.1m) hasta el tamaño mínimo (0.004m) que nos permita estar dentro de las 512.000 celdas de las que disponemos por ser una versión educacional del programa.

Obteniendo como respuestas el número de elementos en la malla, necesario para construir nuestra grafica y no exceder el límite marcado, y las velocidades en distintos puntos. La velocidad será nuestra variable controlada, por lo que la mediremos en distintos puntos para no depender de solo uno y los errores que se puedan cometer en el. Los puntos en los que mediremos la velocidad se repartirán uniformemente a lo largo del eje central del conducto desde la boca hasta una distancia de 0.3m.

A continuación se muestra la tabla x con los parámetros dispuestos:

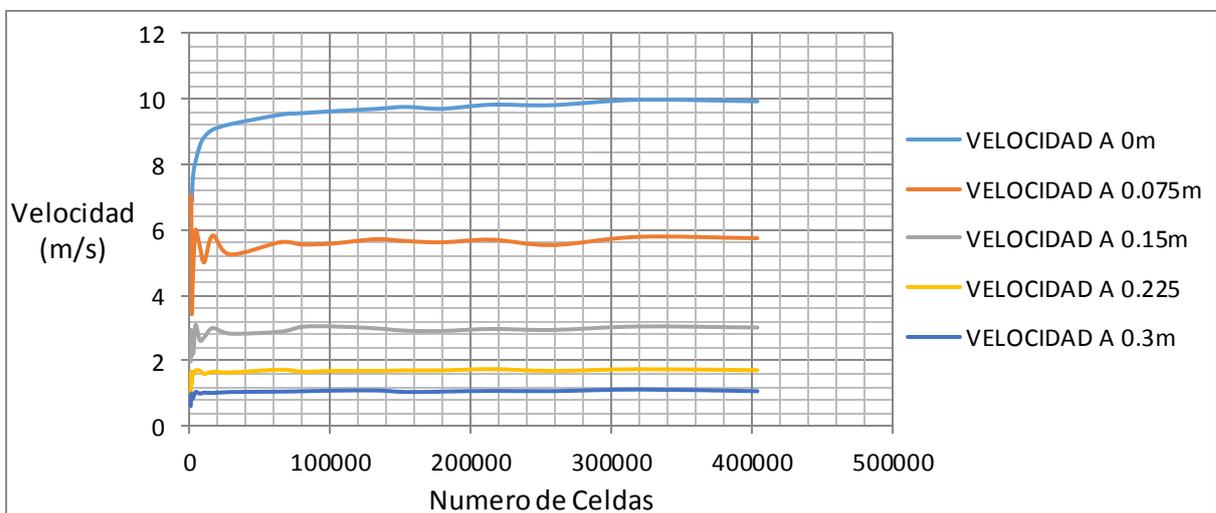
Tabla 4- Resultados estudio de malla

Tamaño de Elemento (m)	Número de Elementos	Velocidad a 0m (m/s)	Velocidad a 0.075m (m/s)	Velocidad a 0.15m (m/s)	Velocidad a 0.225m (m/s)	Velocidad a 0.3m (m/s)
0.1	690	6.57	6.57	1.98	0.99	0.62
0.09	850	6.84	6.84	2.46	1.29	0.78
0.08	1064	7.06	7.06	2.94	1.67	1.00
0.07	1419	6.88	3.42	2.16	1.29	0.88
0.06	1850	7.29	4.04	2.69	1.65	0.84
0.05	2580	7.75	4.95	2.23	1.57	0.88

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

0.04	4125	8.09	6.00	3.09	1.70	1.05
0.03	7200	8.58	5.49	2.62	1.70	1.00
0.025	10320	8.84	5.02	2.72	1.60	1.03
0.02	16350	9.07	5.83	3.00	1.66	1.02
0.015	28800	9.23	5.25	2.83	1.64	1.05
0.01	64500	9.52	5.63	2.89	1.73	1.06
0.009	80160	9.57	5.56	3.04	1.67	1.07
0.008	101250	9.63	5.59	3.05	1.69	1.09
0.007	132561	9.70	5.72	2.99	1.69	1.09
0.0065	153846	9.76	5.66	2.92	1.71	1.05
0.006	179500	9.71	5.62	2.91	1.71	1.06
0.0055	214578	9.83	5.70	2.97	1.74	1.08
0.005	258000	9.82	5.54	2.94	1.69	1.07
0.0045	320160	9.98	5.79	3.05	1.74	1.12
0.004	404250	9.94	5.75	3.02	1.71	1.07

Se observa que efectivamente los valores tienden a estabilizarse con el aumento de celdas en la malla, cumpliendo así la relación entre precisión y volumen de celdas. Al igual que vemos valores muy dispares para elementos de gran tamaño. Se trazar  una gráfica que compare las distintas velocidades con la cifra de celdas en orden de sacar más conclusiones. Los resultados se ven en la Gráfica 1.



Gráfica 1- Velocidad en los puntos de control en función del número de elementos

Como podemos observar las funciones tienen un comportamiento asintótico tal y como habíamos predicho. También era de esperar que al aumentar la distancia la velocidad vaya decreciendo. Más importante aún encontrar el punto en el que se estabiliza la velocidad, el cual parece ser algún punto entre las 5.000 y 10.000 celdas

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

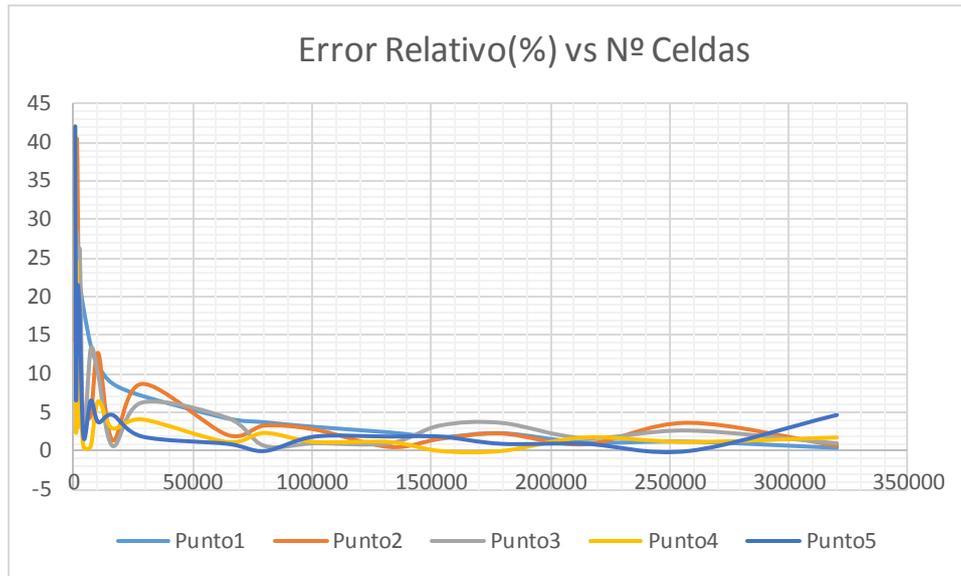
Para descubrir cuál será el tamaño exacto por el que optaremos calcularemos el error relativo para cada punto de la siguiente manera:

$$\varepsilon_r(\%) = \frac{|V - V_{real}|}{V_{real}} \cdot 100 \quad (8)$$

Siendo  $\varepsilon_r$  el error relativo,  $V$  la velocidad en cada punto y  $V_{real}$  la velocidad real, la cual supondremos que es el valor de la velocidad teóricamente más precisa, que no es otra que la calculada para la mayor cuantía de celdas. Estos son los resultados:

Tabla 5- Error relativo en cada punto

Tamaño Celda (m)	Nº Celdas	Error en P1 (%)	Error en P2 (%)	Error en P3 (%)	Error en P4 (%)	Error en P5 (%)
0.1	690	33.9	14.26	34.44	42.11	42.06
0.09	850	31.19	18.96	18.54	24.56	27.1
0.08	1064	28.97	22.78	2.65	2.34	6.54
0.07	1419	30.78	40.52	28.48	24.56	17.76
0.06	1850	26.66	29.74	10.93	3.51	21.5
0.05	2580	22.03	13.91	26.16	8.19	17.76
0.04	4125	18.61	4.35	2.32	0.58	1.87
0.03	7200	13.68	4.52	13.25	0.58	6.54
0.025	10320	11.07	12.7	9.93	6.43	3.74
0.02	16350	8.75	1.39	0.66	2.92	4.67
0.015	28800	7.14	8.7	6.29	4.09	1.87
0.01	64500	4.23	2.09	4.3	1.17	0.93
0.009	80160	3.72	3.3	0.66	2.34	0
0.008	101250	3.12	2.78	0.99	1.17	1.87
0.007	132561	2.41	0.52	0.99	1.17	1.87
0.0065	153846	1.81	1.57	3.31	0	1.87
0.006	179500	2.31	2.26	3.64	0	0.93
0.0055	214578	1.11	0.87	1.66	1.75	0.93
0.005	258000	1.21	3.65	2.65	1.17	0
0.0045	320160	0.4	0.7	0.99	1.75	4.67



Gráfica 2- Error relativo en función del número de elementos

Tanto de la gráfica como de la tabla se puede observar sobre las 20 000 celdas se reduce el valor del error a cifras aceptables, lamentablemente este se eleva hasta un nuevo máximo sobre los 35 000 elementos. Es poco después de las 50 000 celdas que nuestro error relativo se estabiliza y no supera el 5%, es a partir de este valor que consideraremos que la solución es bastante precisa. Esto nos lleva a elegir como dimensiones de la celda 0.01m, ya que es el primer punto a partir del cual el error no excede el 5%, como podemos ver en la Tabla 6, y continúa sin sobrepasarlo.

Tabla 6- Errores Relativos Para Tamaño de Celda 0.01m

Tamaño Celda (m)	Nº Celdas	Error en P1 (%)	Error en P2 (%)	Error en P3 (%)	Error en P4 (%)	Error en P5 (%)
0.01	64500	4.23	2.09	4.3	1.17	0.93

El estudio de malla solo se realizara para un modelo ya que es un proceso que consume mucho tiempo y que debería de darnos resultados similares en todos nuestros modelos al ser geometrías muy parejas. Por lo tanto el tamaño de celda utilizado en todas las simulaciones 2D será de 0.01m

### 3.2.2 Mallado de modelos

Este proceso es de los más importantes a la hora de conseguir una simulación de calidad. Necesitamos la malla porque esta designa las celdas o elementos en los que se resuelve el flujo,

permite juntar celdas para crear zonas límite o fronteras a las que posteriormente se le aplicaran las condiciones de contorno y es una representación discreta de la geometría.

La exactitud de nuestra malla tendrá un gran impacto tanto en el ritmo de la convergencia, pudiendo incluso conseguir que no converja nuestra solución, como el tiempo requerido por la CPU para el posterior cálculo, pero sobretodo afectara a la exactitud de nuestra solución.

Para tener una malla de calidad hay varios factores a tener en cuenta. Para el mismo número de celdas un mallado hexaédrico nos dará soluciones más precisas que cualquier otro tipo, sobre todo si las celdas están alineadas en la dirección del flujo. La densidad de la malla ha de ser lo suficientemente elevada para poder captar cualquier característica que sea relevante al flujo. La malla adyacente a las paredes o límites ha de ser lo suficientemente concisa para resolver el flujo de la capa exterior, en esta capa superficial también se prefieren formas similares a un cuadrilátero antes que formas triangulares.

Para conseguir esto existe la herramienta *Mapped Face Meshing/Mapped body sizing* cuyo funcionamiento explicaremos mas adelante.

Existen tres medidas que son indicativas de la calidad de la malla. La primera de ellas la asimetría para la cual existe una fórmula que cuantifique la medida, esta se basa en el ángulo de desvío de cada celda ( $\theta_e$ ) y se compara con el ángulo de mayor tamaño ( $\theta_{max}$ ) dentro de la celda y con el de menor dimensión ( $\theta_{min}$ ) de tal manera que obtenemos un valor numérico de la simetría con la siguiente ecuación:

$$\max \left[ \frac{\theta_{max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{min}}{\theta_e} \right] \quad (9)$$

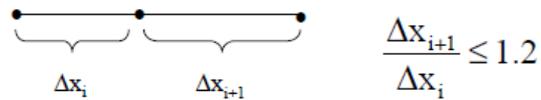
Esta ecuación nos dará un resultado comprendido entre 0 y 1, siendo 0 el mejor resultado posible y al que nos intentaremos acercar y 1 la peor solución. Según en que intervalo se encuentre la asimetría dentro de nuestro rango la calidad de la celda se considerara de una clase u otra como se ve en la **Tabla 6**.

Tabla 7- Valores de Asimetría

Valor de Asimetría	0.00-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.95	0.95-0.99	0.99-1.00
Calidad de la Celda	Excelente	Buena	Aceptable	Pobre	Bajo Nivel	Degenerada

El segundo método del cual disponemos para medir la calidad de la malla es la suavidad o grado en el que cambian las dimensiones de la celda, este debería de ser lo más gradual posible. Idealmente la separación entre celdas continuas no debería de superar el 20%. En las regiones que hay una transición entre mallados más densos que otros las dimensiones de celdas adyacentes no deben tener un factor superior a 2. Esta transición entre distintas densidades de

mallado es posible manteniendo este factor a lo largo de varias celdas consecutivas hasta alcanzar el tamaño de celda deseado.



The diagram shows a horizontal line with three points. The first two points are bracketed and labeled  $\Delta x_i$ . The next two points are bracketed and labeled  $\Delta x_{i+1}$ . To the right of the diagram is the inequality  $\frac{\Delta x_{i+1}}{\Delta x_i} \leq 1.2$ .

Finalmente el *Aspect Ratio* (Factor de Forma) es otra herramienta en la medida de la calidad de malla. Esto es el ratio entre el lado más largo de la celda y el más corto de una celda. En un cuadrado o triángulo ideal este ratio sería de 1 y pese a que es recomendable que no pase de 3 se permiten Aspect Ratios de hasta 5. En la Figura 24 se representa el cálculo del factor de forma y ejemplos geometrías con factores excesivos.

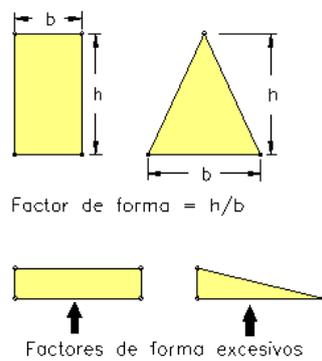


Figura 24 - Aspect Ratio. Fuente: [http://www.iberisa.com/soporte/femap/reglas\\_mallado.htm](http://www.iberisa.com/soporte/femap/reglas_mallado.htm)

### 3.2.2.1 Mallado 2D

El estilo de mallado ha sido idéntico tanto para el caso de simetría cilíndrica, el de simetría plana y las demás variaciones al modelo inicial, ya que son geometrías prácticamente idénticas. Nuestro objetivo es mallar la pieza para lograr la mejor relación entre recursos y precisión, por lo tanto fijaremos el tamaño de celda en 0.01m que subdividirá el modelo en 64500 elementos, una cantidad pequeña que nos permitirá calcular con poco tiempo cada simulación. La Figura 25 muestra una figura mallada.

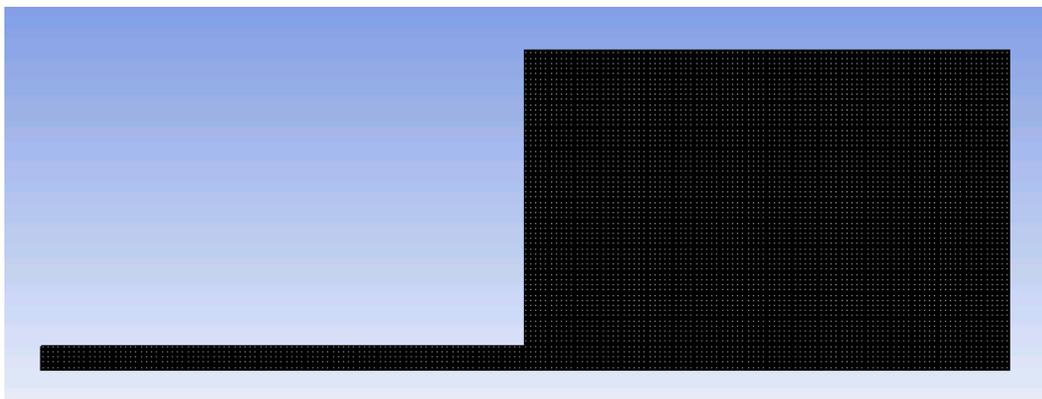


Figura 25- Mallado del Modelo

Tal y como se ha explicado anteriormente es preferible que los que los elementos de la malla tengan una forma rectangular y coincidan con la dirección del flujo, todo esto nos dará resultados más concisos. El problema es que el programa no malla automáticamente de esta manera, se ha de aplicarle un proceso, *Mapped Face Sizing* o *Mapped Body Sizing*, que nos permita elegir nuestra preferencia en cuanto a la forma de las celdas y aplicarla en la malla. Esto es lo que se ha hecho y se ha elegido la opción de convertirlo en cuadriláteros. La diferencia entre resultados se puede ver a continuación, siendo la Figura 26 el modelo sin aplicar el tratamiento y la Figura 27 tras ser aplicado:

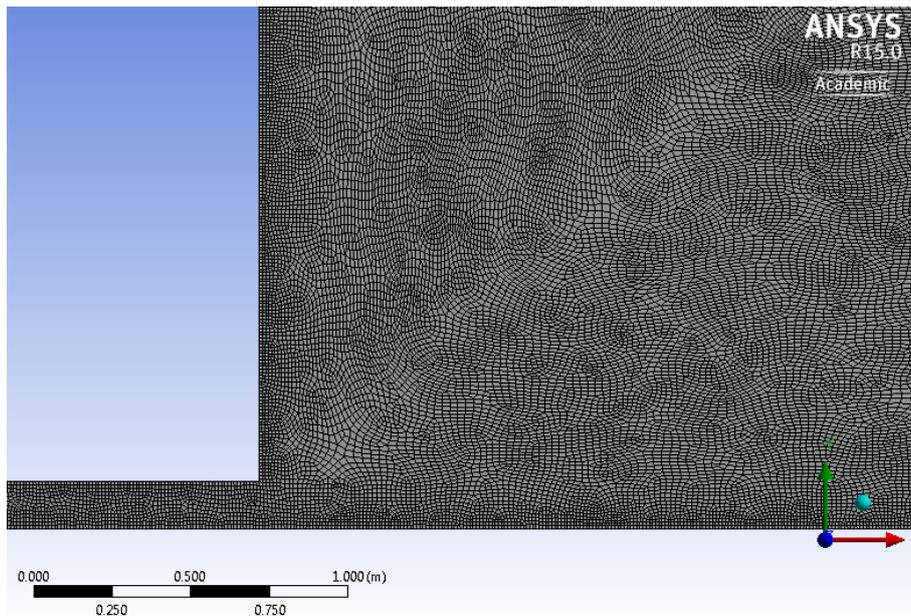


Figura 26- Malla sin aplicar corrección a formato cuadrilátero

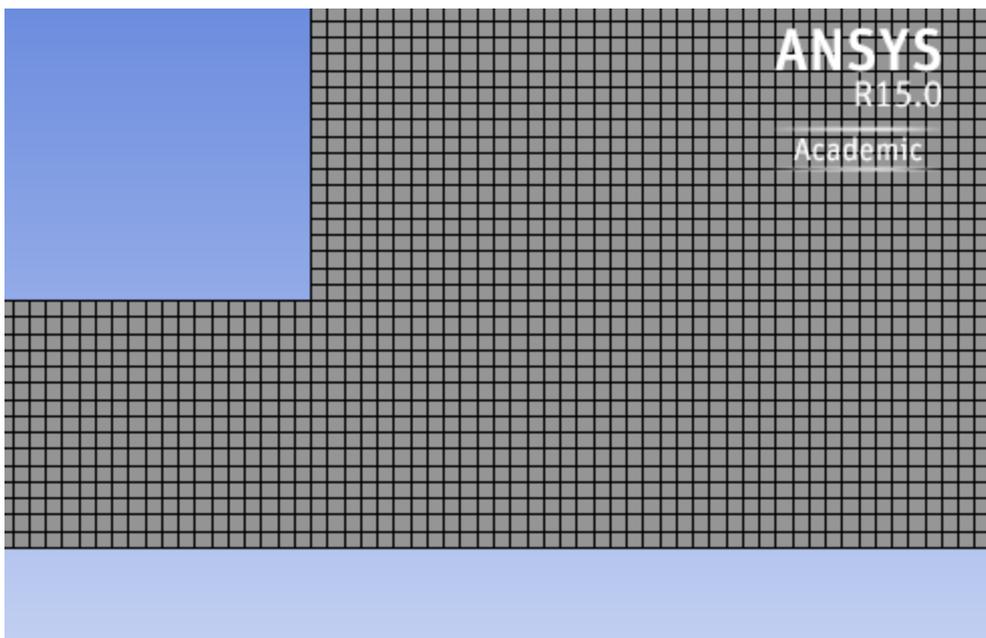


Figura 27- Malla tras aplicar *Mapped Face Sizing*

Se ve con claridad un mallado con cuadrados con un Factor de Forma de 0 y una asimetría de 1. Valores ideales que se unen para crear una malla perfecta.

Evidentemente este procedimiento ya se había aplicado para el estudio de malla. Ya que sin él los resultados obtenidos carecerían de precisión y al aplicarle más tarde este proceso al tamaño proveniente del estudio variaría totalmente tanto el número de celdas como nuestros resultados.

### 3.2.2.2 Mallado 3D

En el apartado de la geometría ya se ha visto una breve introducción a las bases a como se mallaran estas piezas. El mayor problema al que nos afrontamos en el modelo 3D es el número de celdas. Al estar trabajando con la versión educacional de Ansys Fluent la cifra máxima de elementos a la hora de mallar es de 512.000, esta aunque puede parecer bastante generosa es bastante restringente a la hora de trabajar con grandes volúmenes. Es por esto por lo que para el modelo 3D no se ha realizado un estudio de malla, estamos limitados a no poder calcular con celdas más acotados y realizar el estudio para celdas de mayor tamaño sería ilógico ya que los resultados prescindirían precisión.

Para disminuir el número de celdas se ha optado por mallar a capas el fluido exterior a la campana, como se observa en la Figura 28, disminuyendo las medidas de las celdas conforme avanzamos hacia la campana. Así se conseguirá una simulación precisa en el interior y la salida de la campana extractora, dejando de lado la exactitud en las zonas más alejadas. Esto nos permite tener celdas con cotas superiores en las capas exteriores que a su vez ocupan un volumen muy superior a las del interior del modelo, reduciendo así el número de celdas que necesitamos para mallar las capas exteriores, teniendo más celdas para el mallado de nuestra zona de interés donde tomaremos los datos para nuestros cálculos.

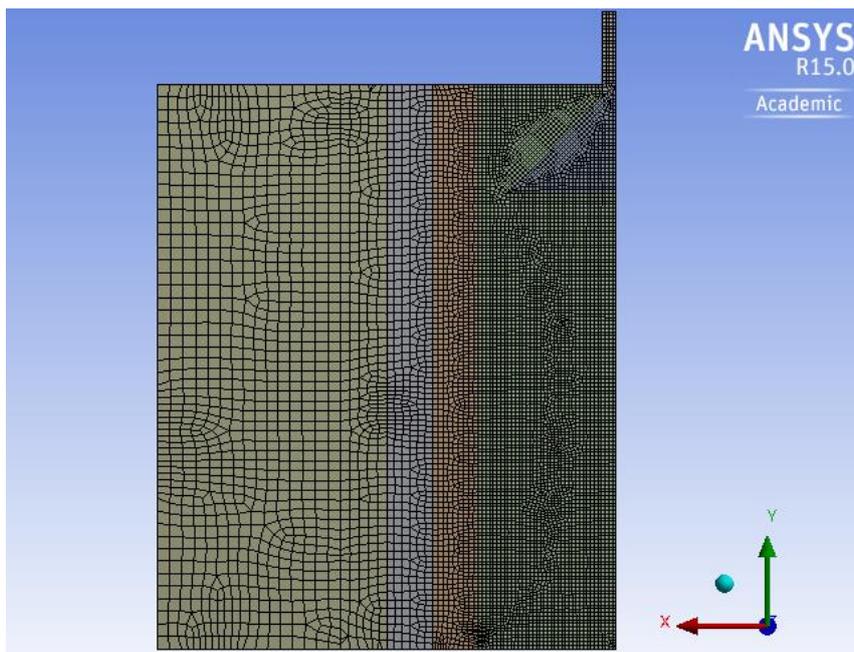
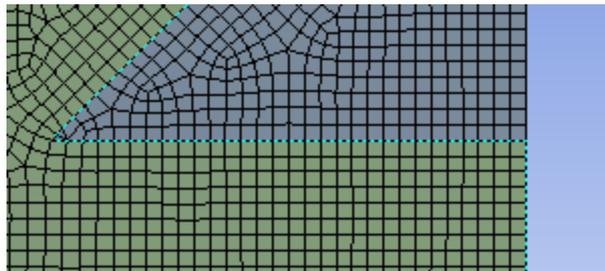


Figura 28- Mallado a capas

La capa interior dispone de una malla uniforme de 0.02cm, esta es la zona con más densidad en el mallado. A partir de aquí la densidad se reduce aumentando el tamaño de las celdas del interior al exterior de la pieza, las dimensiones de las celdas son: 0.03m, 0.045m, 0.055 y 0.07m.

Para el caso de la rendija los tamaños de celda del interior al exterior son 0.03, 0.04, 0.055 y 0.075m respectivamente.

Al modelo en tres dimensiones también le se ha aplicado el proceso corrector Mapped Body Sizing lo cual genera mayor homogeneidad en el mallado. Esta opción también provoca que las celdas coincidan con la dirección del flujo a la salida de la campana.



*Figura 29- Malla a la Salida de la Campana*

### **3.3 CONFIGURACION DE LA SIMULACIÓN NUMÉRICA**

Para la mayoría de casos el solucionador single-precision será suficientemente preciso, hay ciertos problemas en los que el double-precision puede ser beneficioso como en geometrías con dimensiones dispares, tuberías de pequeños diámetros o cambios de presión elevados. Al no ser ese nuestro caso seleccionaremos el single-precision que se adecua a nuestro caso sin mermar los recursos de nuestro procesador. En cuanto a seleccionar si el modelo es 2D o 3D dependerá de cada caso.

#### **3.3.1 General**

En esta sección se configuran las opciones mas generales. En el caso bidimensional aquí escogeremos si la simulación se llevara a cabo considerando un modelo axisimetrico o si optaremos por la simetría plana. No obraremos ningún otro cambio.

#### **3.3.2 Modelos**

Aquí seleccionamos los modelos que queremos tener en cuenta para nuestra simulación. Se ha optado por el modelo K-Epsilon realizable.

#### **3.3.3 Materiales**

En este apartado fijamos los materiales de los que están formados los componentes de nuestro sistema, desde los fluidos del habitáculo hasta sólidos como nuestra campana. Fluent nos permite incluso configurar cada material añadiendo parámetros como su densidad, viscosidad y formula química. A su vez disponemos de una base de datos con gran variedad de materiales genéricos para no tener que configurar las propiedades de nuestro material cada vayamos a hacer una simulación.

En nuestro caso no se ha modificado ningún dato, ya que automáticamente Fluent le asigna el material aire y sus características a cualquier fluido del modelo y al ser con aire con lo que trabajamos no era necesario modificarlo. En cuanto a nuestra campana se le ha mantenido el material por defecto que tiene Fluent para los sólidos, el aluminio, ya que no sabíamos la composición exacta de la campana seleccionada en VentDepot y las propiedades de este no influirán en el movimiento del aire.

#### **3.3.4 Cell zone conditions**

Aquí podemos modificar la naturaleza de nuestro solido interior, el volumen interior, dándole la función de fluido o de solido. Se ha optado por fluido ya que nuestro estudio se centra en el estudio del aire.

### 3.3.5 Condiciones de Contorno

En esta sección se implementan las condiciones de contorno de nuestro modelo. Esta es una de las partes más importantes ya que aquí se definen los parámetros necesarios para concretar la función de cada cuerpo o superficie, que son y que están haciendo. Lo que se detalle en este apartado determinara las bases y el resultado de nuestra simulación.

Nuestro estudio se divide distribuye en dos casos principales, el 2D y el 3D, cada uno con sus múltiples variantes. Esto requiere que la explicación sobre las condiciones de contorno se fraccione en dos apartados. Empezaremos por describir el caso en 3D.

En el apartado del mallado se ha configurado las mencionadas named selections, las cuales se dividían en *Symmetry\_1*, *Symmetry\_2*, *Wall\_campana*, *Pressure\_Outlet* y *Velocity\_Inlet*. Las superficies a las que no se les asigna un Named Selection Fluent por defecto tiende a eliminarlas o a convertirlas en Wall, excepto el relleno interior que independientemente de su naturaleza, fluido o sólido, será catalogado como 'interior'.

Las regiones definidas como Wall hacen la función de un muro solido a través del cual no existen intercambios de ningún tipo. Es por ello que a nuestra campana extractora se le ha asignado la función de Wall, para que haya una superficie sólida que no pueda ser traspasada por el aire y a la vez no provoque ninguna otra alteración. La configuración de Wall es la predeterminada por Fluent.

*Symmetry\_1* y *Symmetry\_2* son los planos de simetría de nuestra pieza. Aunque hayamos fraccionado nuestra geometría inicial con planos de simetría para reducir el número de celdas, el programa no importa estos planos a los distintos módulos que lo preceden, por lo que se ha de volver a definir estos ejes para que el programa sepa que en realidad está tratando con un habitáculo mayor y realice sus cálculos para toda la geometría. La configuración de *Symmetry* también corresponde a la predeterminada por *Fluent*.

*Velocity\_inlet* es la superficie por la que se aspira el aire en la campana, ocupará el área transversal del tubo de extracción ya que es por aquí por donde se aspira el aire. Empezaremos dando un valor a la *Velocity Magnitude* que no es otra cosa que la velocidad absoluta que tienen los elementos en esa superficie, aplicándole velocidades desde -5m/s hasta -20m/s. Como se puede observar las magnitudes de la velocidad tienen signo negativo, esto se debe a que así definimos la dirección en la cual se moverá el aire para que el proceso sea de aspiración y no de impulsión.

Se han definido las superficies exteriores que no forman parte del eje de simetría como *Pressure-Outlet*. Las condiciones de contorno de tipo 'Outlet' son muy comunes y suelen ser empleadas en los casos en los que conoce la velocidad de salida. El flujo alcanza un estado completamente desarrollado donde no se produce cambio en la dirección del flujo cuando seleccionamos la salida, lejana a las alteraciones geométricas. Por lo tanto lo que nos permite esta función es fijar una presión constante en una superficie cuando estemos en régimen permanente.

El programa nos exige insertar una medida para la presión relativa en la superficie marcada por el *pressure-outlet*, ya que nosotros queremos simular cualquier edificio industrial en condiciones normales, la presión en los alrededores será la presión atmosférica y por

consiguiente al ser la presión relativa la presión absoluta menos la presión atmosférica esto nos dará cero y este será el valor que insertemos.

En el caso de Velocity\_inlet y Pressure\_Outlet se necesita configurar parámetros adicionales, que son los mismos para ambos. En la Figura 30 se observa la casilla de Fluent en la que se introducen estos valores, estos son el diámetro hidráulico y la intensidad turbulenta.

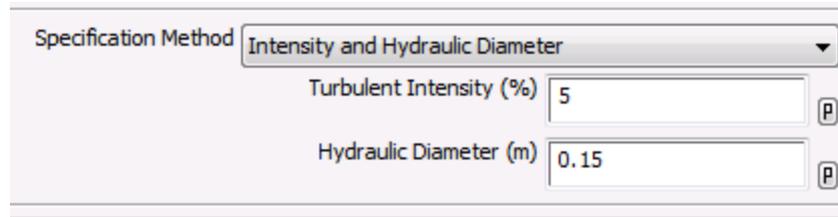


Figura 30- Interfaz de Fluent para los Parámetros Velocity Inlet y Pressure Outlet

La intensidad turbulenta se define como la relación entre la desviación típica de la velocidad del aire y la velocidad media del aire, para valores de desviación típica y velocidad media tomados del mismo conjunto de aire en el mismo espacio de tiempo. Se ha mantenido en su valor predeterminado del 5%.

El diámetro hidráulico, uno de los términos más comunes dentro de la hidráulica se ha calculado de la siguiente manera:

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (10)$$

Siendo  $D_h$  el diámetro hidráulico, A el área de la sección del conducto y P el perímetro mojado. Para cada caso se calculara su diámetro hidráulico pertinente.

Finalmente las partes a las que el programa le asigna 'Interior' no serán modificadas. Las zonas etiquetadas con esta función no tendrán ninguna característica quitando de la del material del que estén formados e interactuaran con el resto de objetos. En nuestro caso el 'interior' se asigna al aire interior que estamos estudiando.

### 3.3.6 Métodos de Solución

En este apartado, Métodos de Solución, se seleccionan los algoritmos de simulación y el mecanismo de discretización del sistema. Las opciones seleccionadas han sido:

- SIMPLE, en el esquema.
- Least Squares Cell Based para el gradiente.
- Second Order en el apartado de la presión.
- Second Order Upwind para el cálculo del momento
- Second Order Upwind en el desarrollo de la energía cinética turbulenta.
- Second Order Upwind también para el índice de disipación turbulenta.

### 3.3.7 Controles de Solución

En este apartado se le da valor a los factores de sub-relajación, tales como la presión, densidad, momento, energía cinética turbulenta. Se han mantenido los valores de Fluent.

### 3.3.8 Inicialización de la Solución

En este punto le asignamos los valores iniciales de las variables, como la presión o velocidad, a partir de los cuales el programa empezara a calcular, iterando a partir de ellos para encontrar una solución.

### 3.3.9 Ejecutar Cálculo

Finalmente, solo queda seleccionar el número de iteraciones en las cuales queremos que el programa deje de calcular de no haber encontrado una solución, en caso de no converger, antes de llegar a esta cifra. Una vez esto seleccionamos *Run Calculation* y el programa empezara a calcular nuestra solución.

### 3.3.10 Residuos

Una vez empieza el cálculo de la solución el programa itera entre distintos valores hasta que halla una solución que converja. Se dice que la solución converge cuando nuestros residuos están por debajo de un valor que se ha marcado. Este has de ser de una dimensión reducida para que se considere preciso.

Se llama residuo a la variación entre los valores de la variable dependiente que se han observado y los valores que se predicen a partir de una recta de regresión. Sería el equivalente al error absoluto entre los valores calculados y el valor que se predice que debería de ser el correcto. Por lo tanto a menos valor del residuo más precisa es nuestra solución.

Los residuos calculados por el programa se componen de: La continuidad, la energía, la turbulencia y las velocidades en X e Y.

A continuación en la Figura 31 se expone el resultado de los residuos conforme avanza la simulación numérica en Fluent:

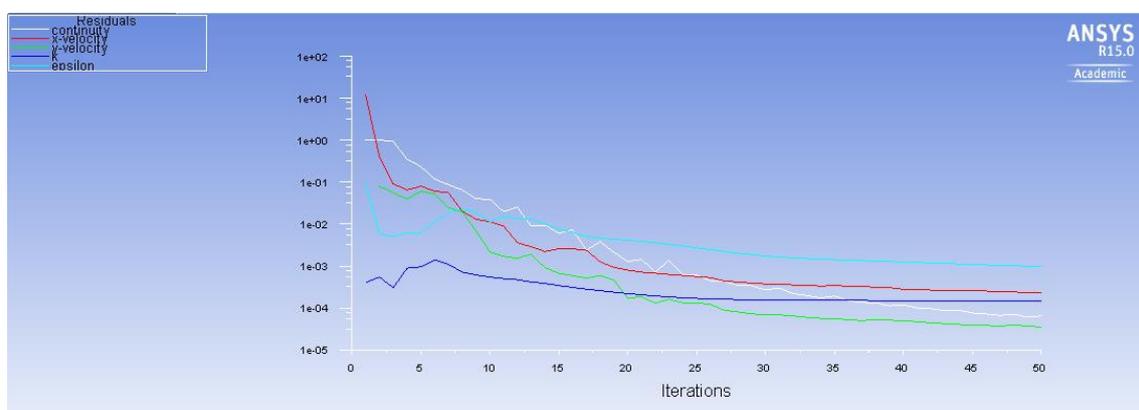


Figura 31- Residuos de la Simulación Numérica

## **CAPÍTULO 4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES**

En el siguiente apartado hablaremos de los resultados de nuestras simulaciones, representados en tablas, figuras y gráficas, que se han obtenido de los distintos modelos configurados. En sintonía con el resto de este documento, se dividirá esta sección en dos casos principales, con sus respectivos subapartados, el caso en dos dimensiones y la geometría en tres dimensiones.

### **4.1 RESULTADOS 2D**

Dentro del estudio en dos dimensiones hemos separado el análisis en distintos casos, según las comparaciones de los distintos caso, ya que se ha comparado el efecto del cambio en el diámetro, las consecuencias de variar la longitud del tubo, las variaciones que provocan las distintas velocidades aplicadas al inicio del tubo, como afectan las diferentes dimensiones de nuestro habitáculo a la solución y finalmente las diferencias entre la simetría plana y la axisimétrica.

Para comparar los distintos casos se ha optado por definir varios puntos equidistantes a lo largo del eje de simetría y medir la velocidad en ellos. Estos puntos empiezan en la boca del tubo de extracción y terminan a 30cm de ella, con una separación entre puntos de 2cm. Con estos datos y las curvas de isovelocidad podemos comparar

#### **Diferentes Diámetros de la Boca de Aspiración**

Se han representado los resultados en una tabla comparando las velocidades para los distintos modelos en cada punto. A continuación para una mejor interpretación los se han comparado en una grafica. Finalmente se observan sus distintas curvas de isovelocidad.

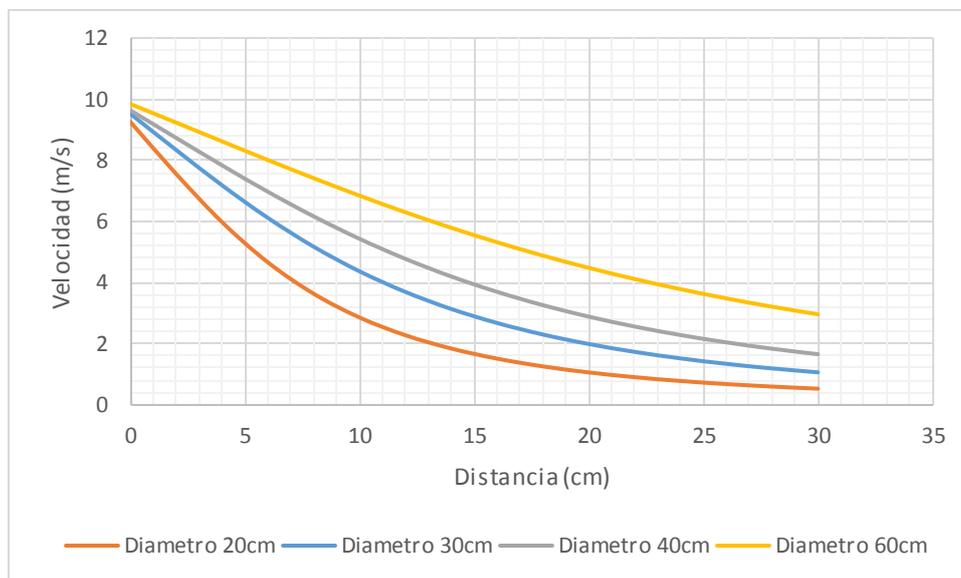
*Tabla 8- Velocidades en Diferentes Puntos Para Distintos Diametros*

Longitud Tubo (m)	3	3	3	3
Longitud Ancho Habitación (m)	3	3	3	3
Radio Tubo (m)	0.15	0.1	0.2	0.3
Largaría Habitación (m)	2	2	2	2
Velocidad a 0cm (m/s)	9.53	9.26	9.64	9.85
Velocidad a 2cm (m/s)	8.34	7.56	8.74	9.24
Velocidad a 4cm (m/s)	7.18	5.98	7.84	8.62
Velocidad a 6cm (m/s)	6.12	4.66	6.97	8.01
Velocidad a 8cm (m/s)	5.17	3.63	6.17	7.42

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

Velocidad a 10cm (m/s)	4.37	2.85	5.43	6.85
Velocidad a 12cm (m/s)	3.69	2.27	4.78	6.3
Velocidad a 14cm (m/s)	3.13	1.84	4.2	5.79
Velocidad a 16cm (m/s)	2.67	1.51	3.69	5.32
Velocidad a 18cm (m/s)	2.3	1.25	3.26	4.88
Velocidad a 20cm (m/s)	1.99	1.06	2.88	4.48
Velocidad a 22cm (m/s)	1.73	0.9	2.56	4.12
Velocidad a 24cm (m/s)	1.52	0.77	2.28	3.78
Velocidad a 26cm (m/s)	1.34	0.67	2.04	3.48
Velocidad a 28cm (m/s)	1.19	0.59	1.83	3.21
Velocidad a 30cm (m/s)	1.06	0.52	1.65	2.96

En la gráfica 3 se han comparado las velocidades para los distintos diámetros para una mejor comparación de los resultados.



Gráfica 3- Comparativa de la Evolución de la Velocidad en Modelos de Distinto Diámetro

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

Para las Figuras 32-35 vemos representadas sus respectivas curvas de velocidad para los distintos diámetros. Así se podrá comparar si los modelos generan curvas de iso-velocidad que se asemejen

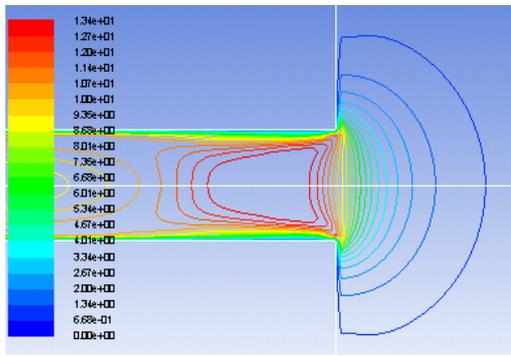


Figura 32-Curva Isovelocidad D20

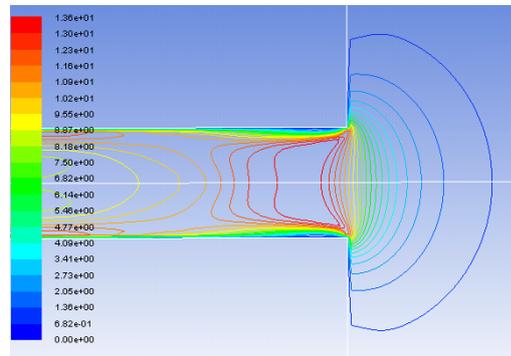


Figura 33- Curva Isovelocidad D30

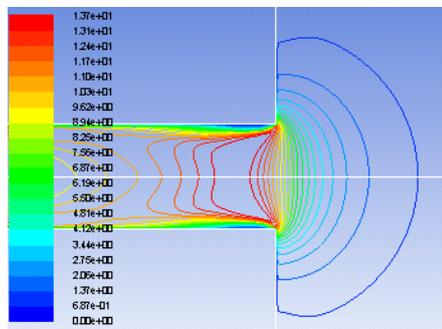


Figura 34-Curva Isovelocidad D40

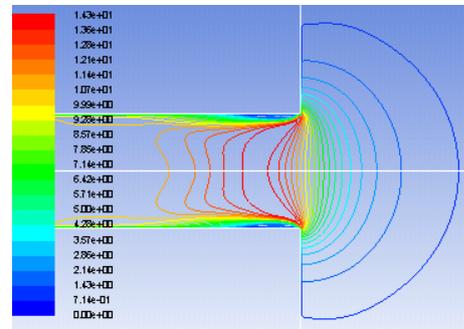


Figura 35- -Curva Isovelocidad D60

A continuación se muestran los resultados para distintas longitudes del tubo de aspiración. El procedimiento a realizar en este apartado es exactamente el mismo que en el anterior. A continuación en la tabla se muestran los resultados.

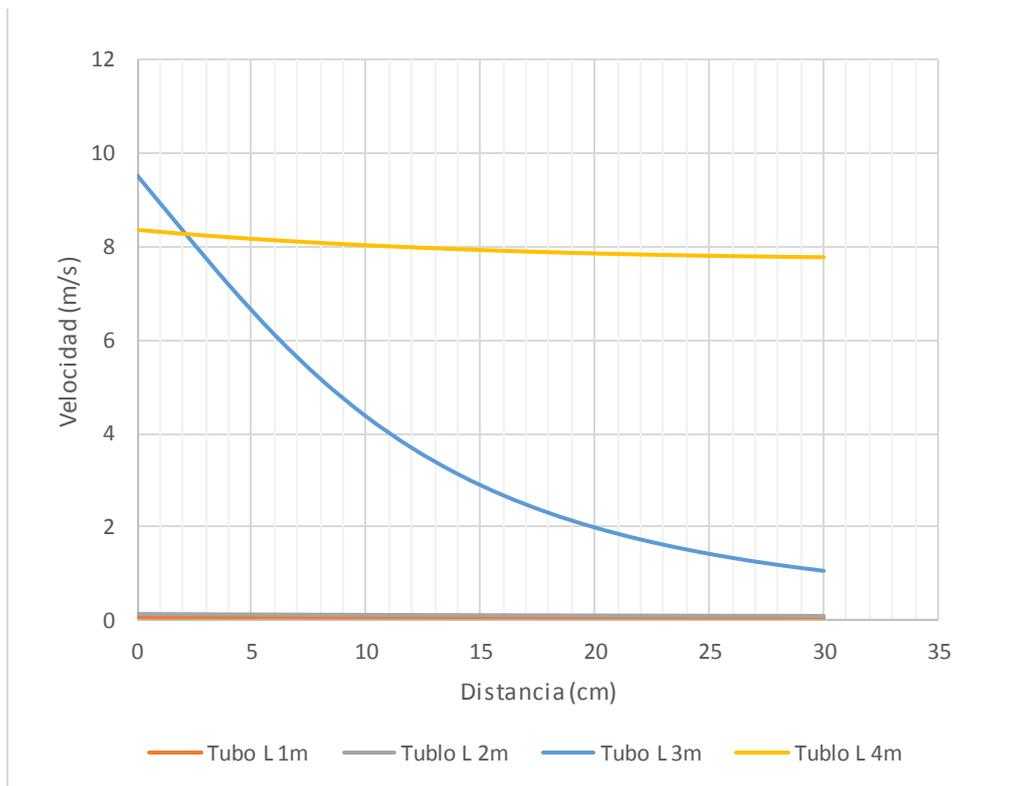
Tabla 9-Velocidades en Diferentes Puntos Para Distintas Longitudes de Tubo

Longitud Tubo (m)	1	2	3	4
Longitud Ancho Habitación (m)	3	3	3	3
Radio Tubo (m)	0.15	0.15	0.15	0.15
Largaría Habitación (m)	2	2	2	2
Velocidad a 0cm (m/s)	0.07	0.13	9.53	7.78
Velocidad a 2cm (m/s)	0.07	0.13	8.34	7.79
Velocidad a 4cm (m/s)	0.07	0.13	7.18	7.8
Velocidad a 6cm (m/s)	0.06	0.12	6.12	7.82
Velocidad a 8cm (m/s)	0.06	0.12	5.17	7.83
Velocidad a 10cm (m/s)	0.06	0.12	4.37	7.86
Velocidad a 12cm (m/s)	0.06	0.11	3.69	7.88

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

Velocidad a 14cm (m/s)	0.06	0.11	3.13	7.91
Velocidad a 16cm (m/s)	0.06	0.11	2.67	7.95
Velocidad a 18cm (m/s)	0.06	0.11	2.3	7.99
Velocidad a 20cm (m/s)	0.06	0.1	1.99	8.03
Velocidad a 22cm (m/s)	0.06	0.1	1.73	8.08
Velocidad a 24cm (m/s)	0.06	0.1	1.52	8.14
Velocidad a 26cm (m/s)	0.06	0.1	1.34	8.2
Velocidad a 28cm (m/s)	0.06	0.09	1.19	8.28
Velocidad a 30cm (m/s)	0.06	0.09	1.06	8.36

En la gráfica 4 se comparan estos resultados obtenidos para las distintas longitudes de tubo, estudiando la variación de la velocidad con la distancia.



Gráfica 4- Comparativa de Velocidades Para Distintas Longitudes de Tubo

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

Las Figuras 36-39 representan las curvas de iso-velocidad para los modelos con distintas longitudes de tubo y se puede apreciar que siguen el mismo patrón que los

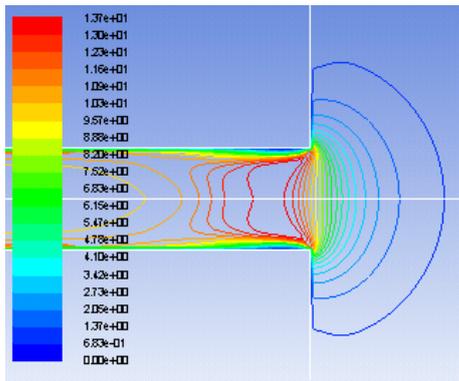


Figura 36-Curva Isovelocidad L=1m

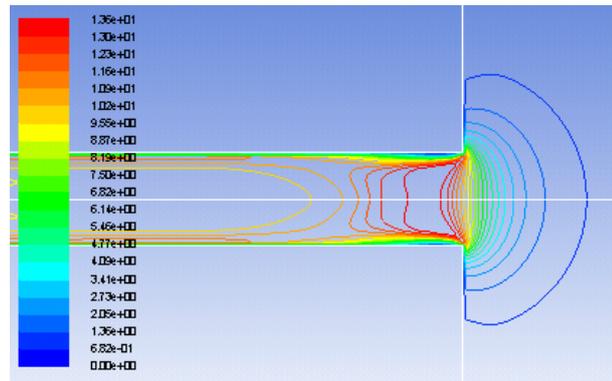


Figura 37-Curva Isovelocidad L=2m

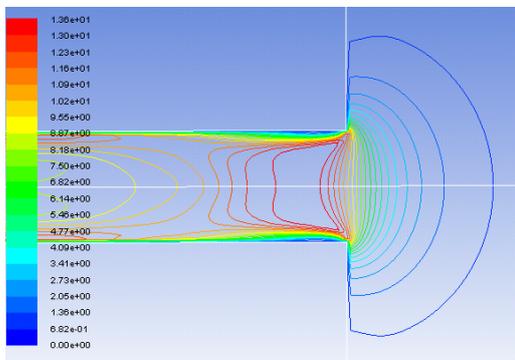


Figura 38-Curva Isovelocidad L=3m

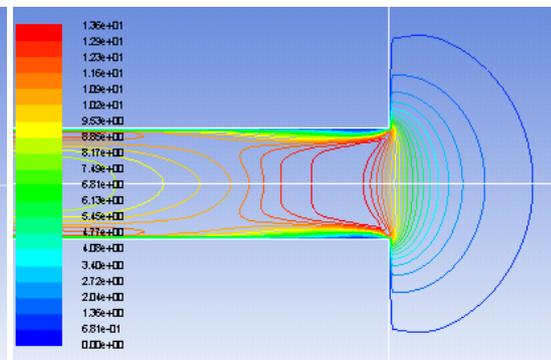


Figura 39-Curva Isovelocidad L=4m

En cuanto a la longitud de nuestro conducto vemos un efecto devastador en los cambios realizados. Siendo 10 m/s la succión a la entrada de nuestro conducto podemos observar distintos resultados en la abertura:

Longitud (m)	1	2	3	4
Velocidad (m/s)	0.07	0.13	9.53	8.36

Con lo que podemos concluir que la longitud optima del conducto para que se establezca el flujo ronda diez veces el diámetro del conducto, teniendo un diámetro de 30cm la longitud ideal sería de 3 m.

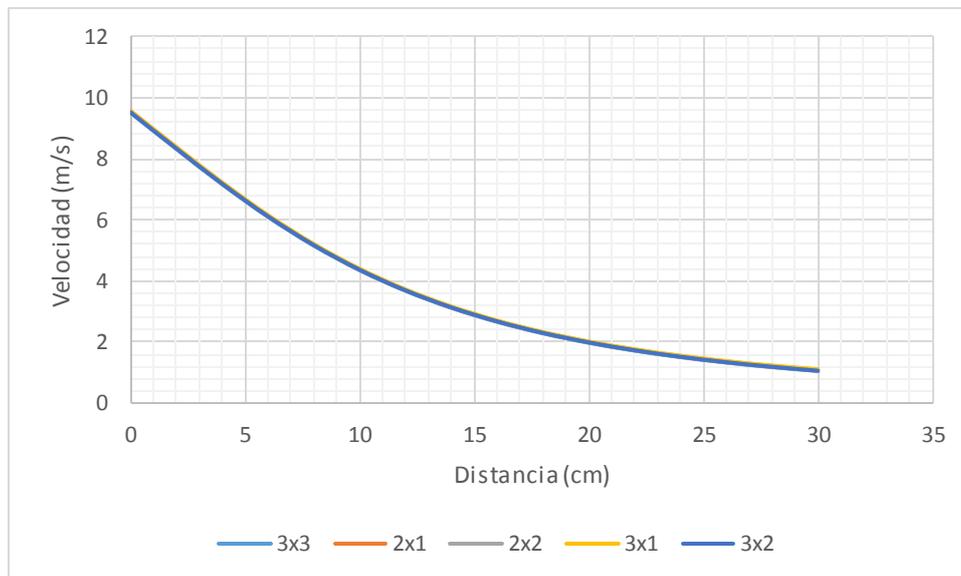
La Tabla 10 presenta los resultados obtenidos para los habitáculos con distintas cotas.

Tabla 10-Velocidades en Diferentes Puntos Para Distintos Tamaños de Habitación

Longitud Tubo (m)	3	3	3	3	3
Longitud Ancho Habitación (m)	3	3	3	2	2
Radio Tubo (m)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Largaría Habitación (m)	2	1	3	1	2
Velocidad a 0cm (m/s)	9.53	9.57	9.52	9.57	9.53

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

Velocidad a 2cm (m/s)	8.34	8.38	8.33	8.38	8.34
Velocidad a 4cm (m/s)	7.18	7.22	7.17	7.22	7.18
Velocidad a 6cm (m/s)	6.12	6.15	6.1	6.15	6.11
Velocidad a 8cm (m/s)	5.17	5.21	5.16	5.2	5.17
Velocidad a 10cm (m/s)	4.37	4.4	4.35	4.39	4.36
Velocidad a 12cm (m/s)	3.69	3.72	3.68	3.71	3.69
Velocidad a 14cm (m/s)	3.13	3.16	3.12	3.15	3.13
Velocidad a 16cm (m/s)	2.67	2.7	2.66	2.69	2.67
Velocidad a 18cm (m/s)	2.3	2.33	2.28	2.31	2.29
Velocidad a 20cm (m/s)	1.99	2.02	1.97	2	1.98
Velocidad a 22cm (m/s)	1.73	1.76	1.72	1.75	1.72
Velocidad a 24cm (m/s)	1.52	1.55	1.5	1.54	1.51
Velocidad a 26cm (m/s)	1.34	1.37	1.33	1.36	1.33
Velocidad a 28cm (m/s)	1.19	1.23	1.18	1.21	1.18
Velocidad a 30cm (m/s)	1.06	1.1	1.05	1.09	1.05

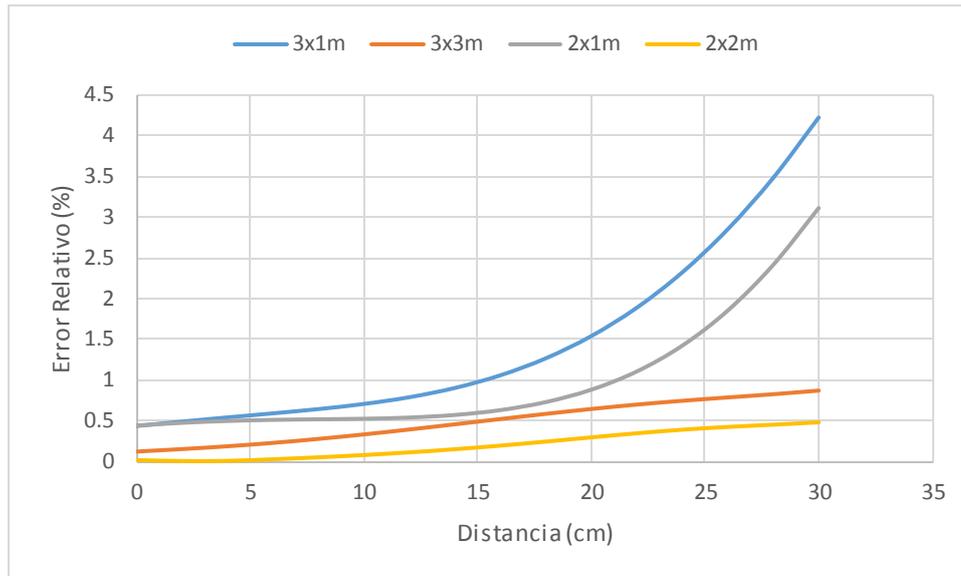


Gráfica 5- Comparativa Entre las Velocidades de Distintos Tamaños de Habitación

Ya que los resultados son prácticamente idénticos para los distintos cambios en las medidas del habitáculo no sea procedido a mostrar sus diferentes mapas de isovelocidades.

Para respaldar nuestro cálculo se ha representado la siguiente grafica con el error relativo entre las distintas velocidades para los distintos tamaños de habitación. En la Grafica 6 vemos los errores relativos correspondientes a los distintos habitáculos. Como se puede ver ninguno sobrepasa el 5%, por lo que vemos que los resultados son prácticamente idénticos pese a haber modificado las medida.

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD



Gráfica 6- Errores Relativos

Como podemos ver la variación entre velocidades en los distintos modelos nunca llega a superar un 5% de error, lo cual es un resultado bastante razonable. Incluso en las inmediaciones de la abertura, hasta los 20 cm, no llega a superar el 2%. Por lo tanto es justo decir que las dimensiones de la habitación no afectan a nuestro cálculo.

Aquí se muestran las tablas de resultados para los distintos diámetros en función de la distancia a la que se encuentran de la abertura y la velocidad correspondiente a ese punto. Estas se comparan con las velocidades teóricas calculadas a partir de manual.

Tabla 11- Comprobación Velocidades Diámetro 20cm

Posicion	Velocidad Real(m/s)	Velocidad Teorica(m/s)	Error Relativo(%)
Salida	9.2637243	9.2637243	0
20% Diametro	5.9785113	6.48460701	8.47
50% Diametro	2.8545654	2.77911729	2.64
100% Diametro	0.521954	0.694779323	33.11

Tabla 12- Comprobación Velocidades Diámetro 30cc

Posicion	Velocidad Real(m/s)	Velocidad Teorica(m/s)	Error Relativo(%)
Salida	9.53	9.53	0
20% Diametro	6.12	5.72	6.54
50% Diametro	2.89	2.86	1.04
100% Diametro	1.06	0.95	10.38

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

---

Tabla 13- Comprobación Velocidades Diámetro 40cm

Posicion	Velocidad Real(m/s)	Velocidad Teorica(m/s)	Error Relativo(%)
Salida	8.74	8.74	0
20% Diametro	6.17	6.11	0.81
50% Diametro	2.88	2.62	9.03
100% Diametro	1.04	0.87	16.35

Tabla 14 - Comprobación Velocidades Diámetro 60cm

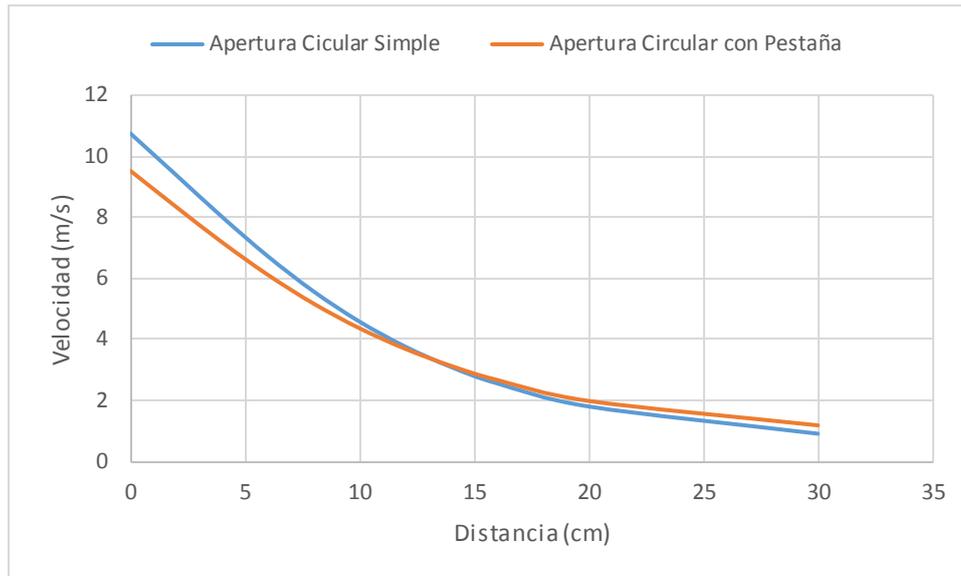
Posicion	Velocidad Real(m/s)	Velocidad Teorica(m/s)	Error Relativo(%)
Salida	9.24	9.24	0
20% Diametro	6.30	6.47	2.61
50% Diametro	2.96	2.77	6.42
100% Diametro	1.11	0.92	17.12

Tabla 15- Comprobacion Velocidades Apertura Simple

Posicion	Velocidad Real(m/s)	Velocidad Teorica(m/s)	Error Relativo(%)
Salida	10.751357	10.751357	0
20% Diametro	6.7248287	7.5259499	11.91
50% Diametro	2.8137276	3.2254071	14.63
100% Diametro	0.91271049	0.80635178	11.65

A continuación analizaremos las diferencias entre la apertura circular simple y la apertura circular con pestaña.

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD



Gráfica 7- Comparación apertura simple y apertura con pestaña

Otro de los objetivos de este documento era la comparación del caso axisimétrico con el caso de simetría plana. Como se observa en la figura 40 el caso axisimétrico no sigue el mismo patrón geométrico que el marcado por las curvas del manual.

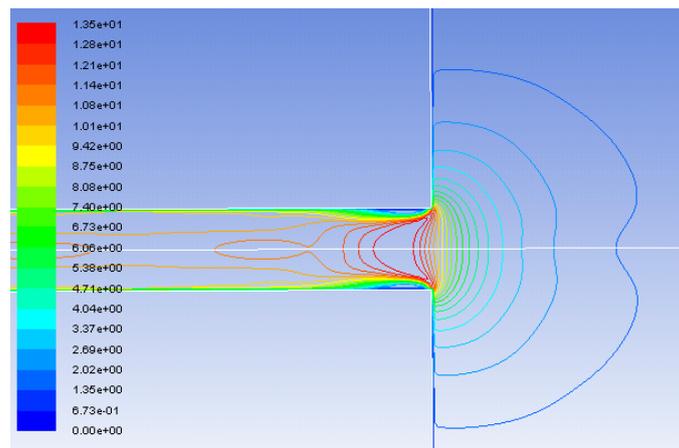
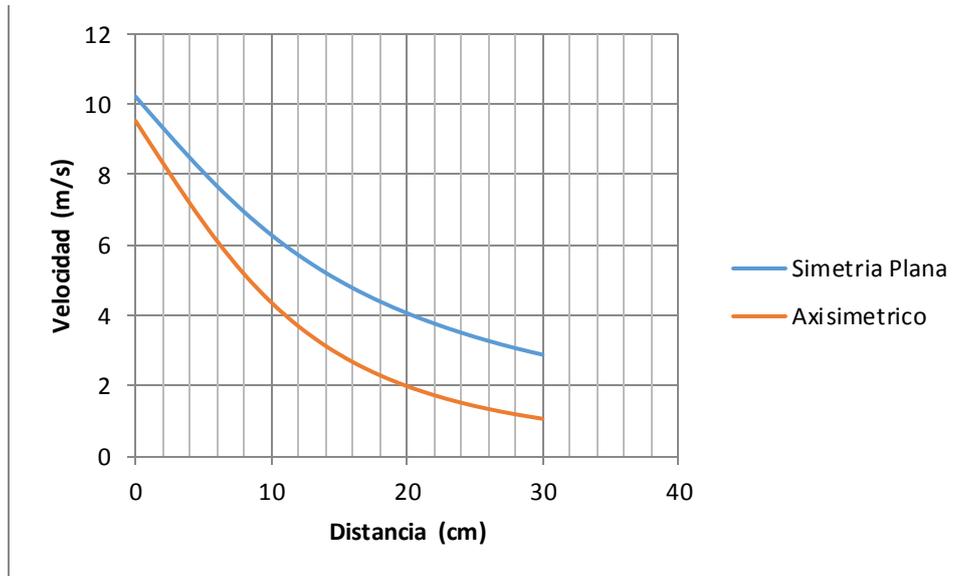


Figura 40- Curva isovelocidad para Simetría Plana

En la Gráfica 8 se comparan las velocidades para ambos casos, viendo una gran diferencia en los resultados, siendo que el caso axisimétrico sí se ajustaba a los valores de la curva de iso-

velocidad del manual, es lógico concluir que la simulación mediante simetría plana no cumple estas condiciones.



Gráfica 8- Comparacion entre Simetria Plana y Axisimetrica

#### 4.2 RESULTADOS 3D

Los resultados de las simulaciones en 3D también se subdividen en los distintos casos. Para comparar los resultados mostramos sus mapas de isovelocidad. También se ha exportado nuestras soluciones en formato ASCII, coordenadas, con los valores de la velocidad y su posición. Estos datos se procesan en Excel y se filtran para sacar solo la información deseada.

El punto más fácil de calcular es el centro de la campana, pues sus coordenadas son más fáciles de filtrar ya que Fluent nos devuelve los resultados calculados en los nodos de las celdas de la malla. Al coincidir con el eje de simetría hace que este proceso de selección sea mucho más sencillo.

Con Fluent calculamos la velocidad media a la salida de la campana y con esto y el área podemos calcular el caudal que sale por la campana. Con los datos de caudal, área, distancia del punto medido a la campana y velocidad en el punto medido podemos comprobar todas las ecuaciones del Capítulo 2.

A continuación en la Figura 41 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana simple de 1200x1190 mm.

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

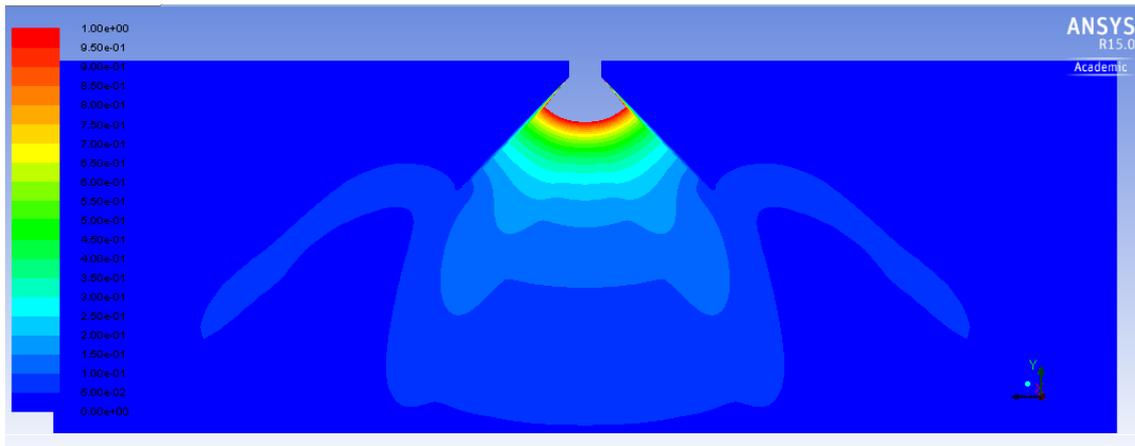
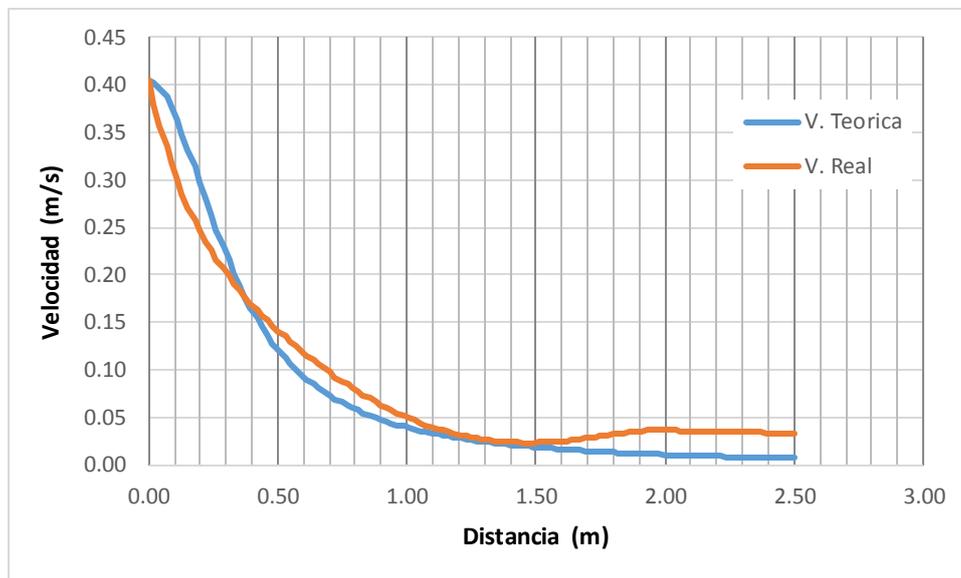


Figura 41- Campana Simple 1200x1900 mm

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 9- Resultados Campana 1200x1190mm

A continuación en la Figura 42 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana simple de 1200x900 mm.

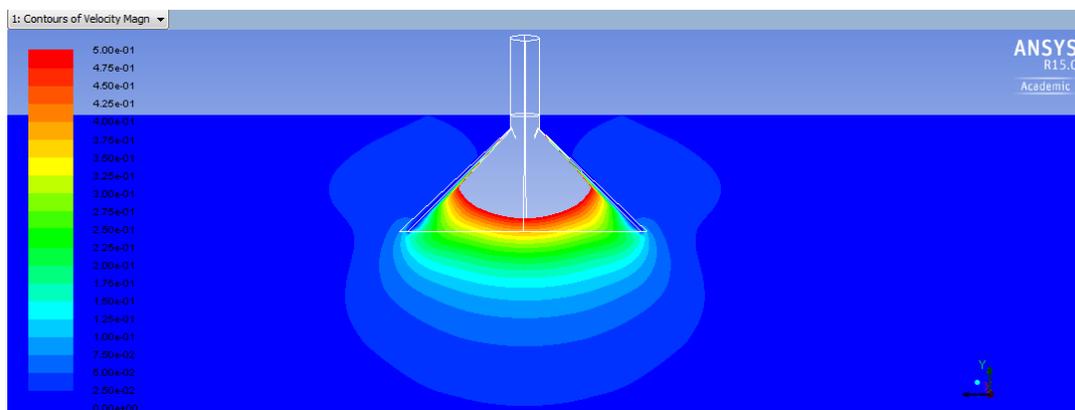
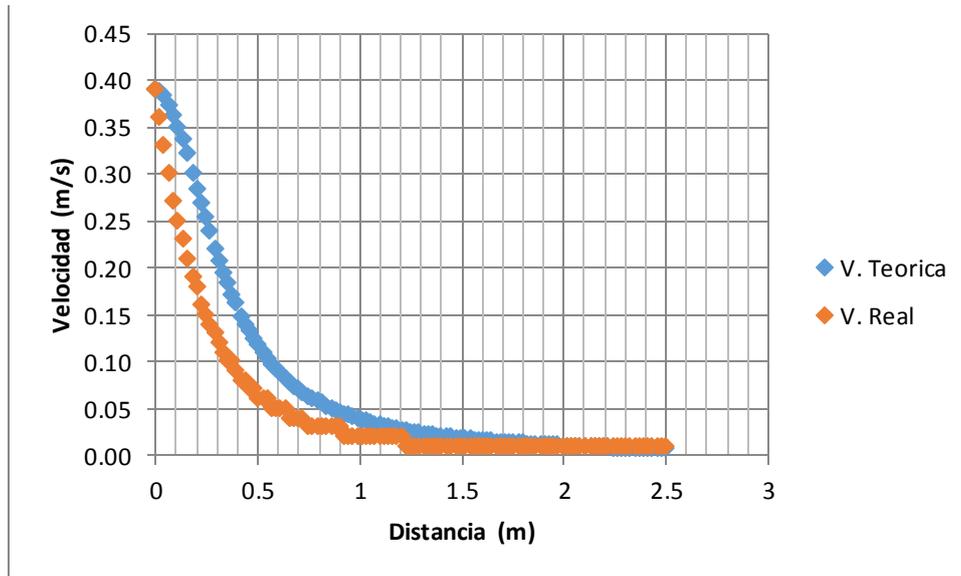


Figura 42- Curva Iso-Velocidades para la campana de 1200x900mm

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 10- Resultados Campana 1200x900

A continuación en la Figura 43 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana simple de 1200x600 mm.

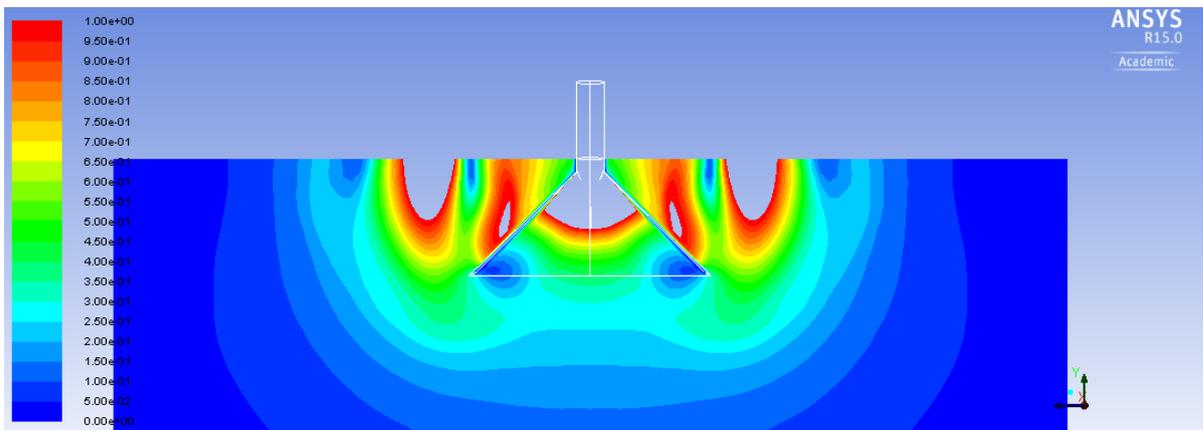


Figura 43- Curva de Iso-Velocidad de la campana 1200x600mm: Vista Frontal

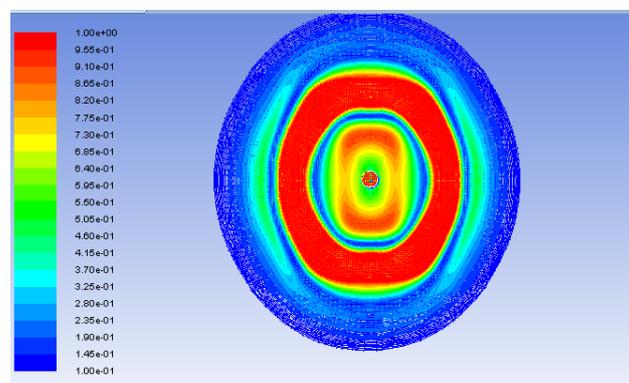
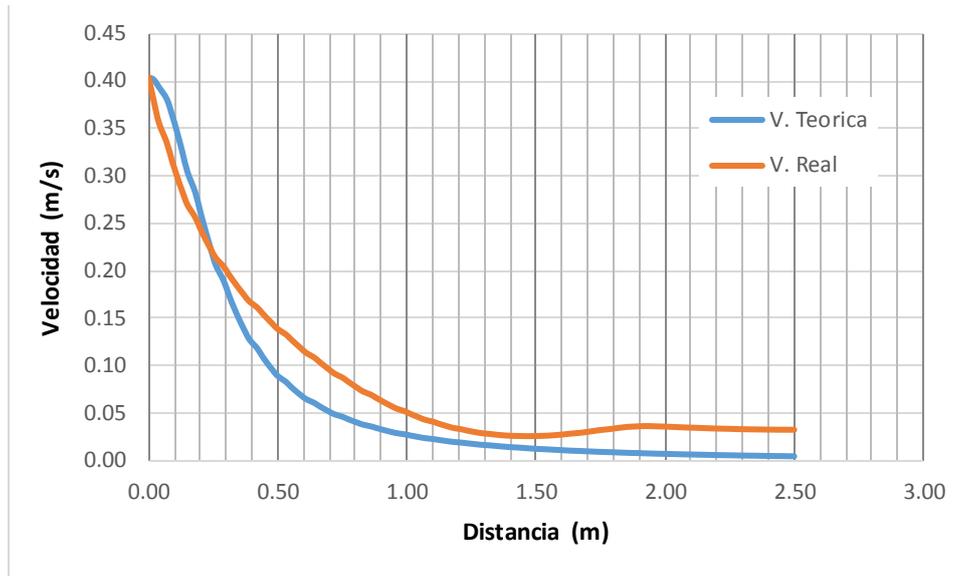


Figura 44 Curva de Iso-Velocidad de la campana 1200x600mm: Vista Superior

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 11- Resultados Campana 1200x600mm

A continuación en la Figura 45 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana simple de 1200x1190 mm ncon diámetro de 20 cm.

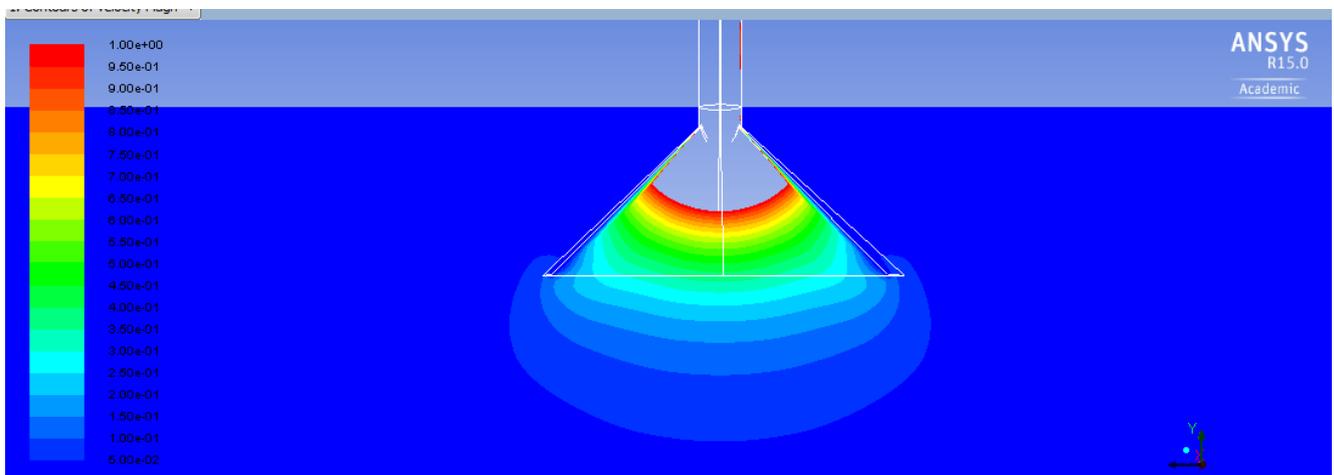


Figura 45- Curva de Iso-Velocidad para la Campana de Diámetro 20cm

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

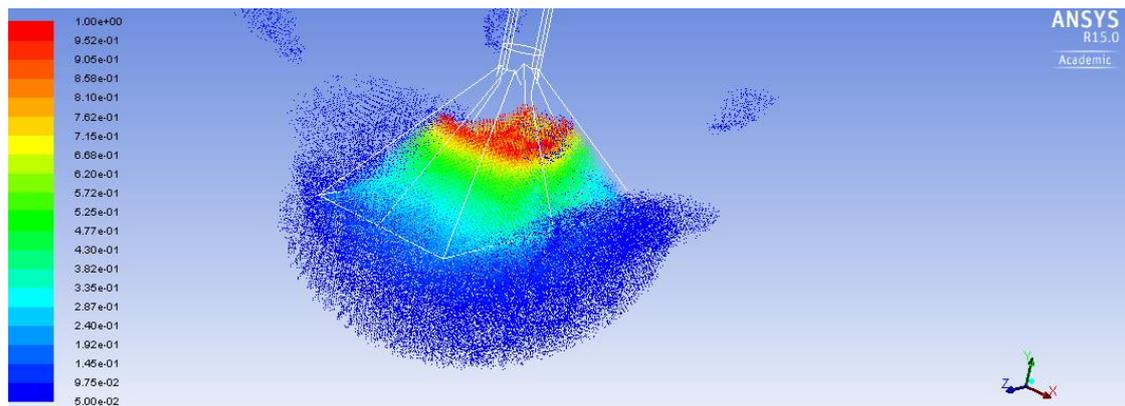
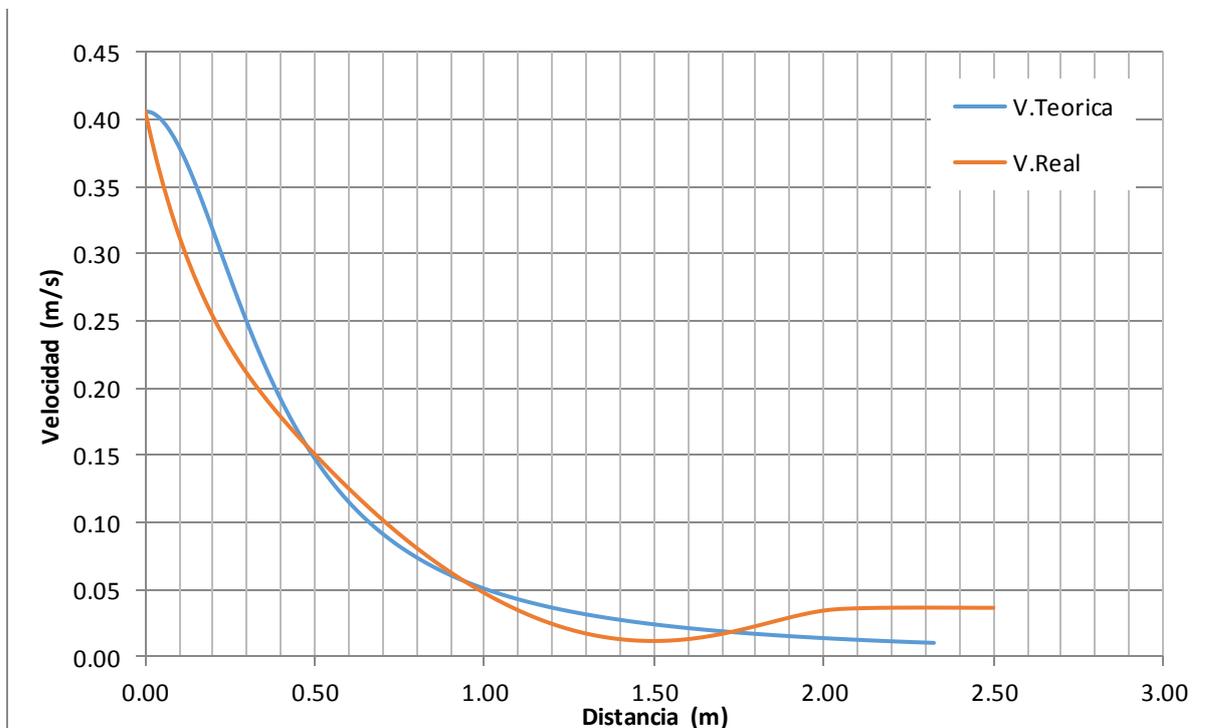


Figura 46- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la campana de Diámetro 20cm

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 12-Resultados Campana Diámetro 20cm

A continuación en la Figura 47 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana simple de 1200x1190 mm con diámetro de 30cm.

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

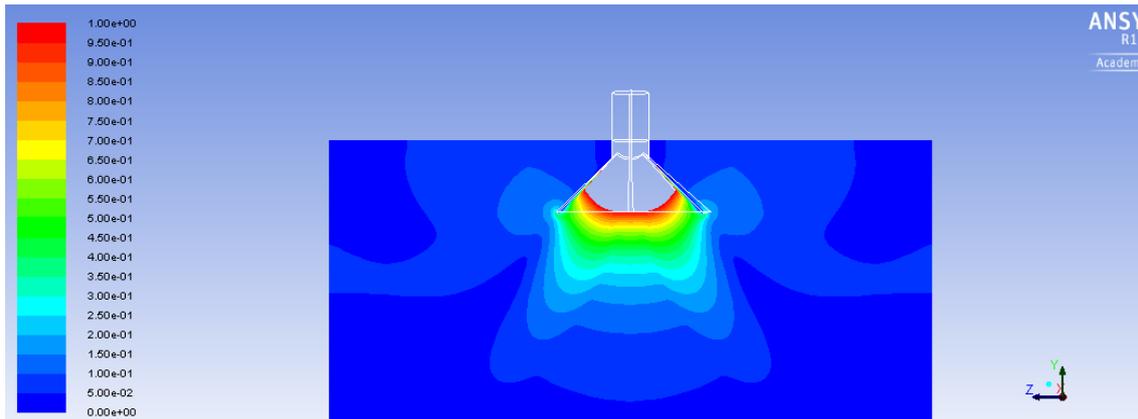


Figura 47-Curva de Iso-Velocidad para la Campana de Diámetro 30cm

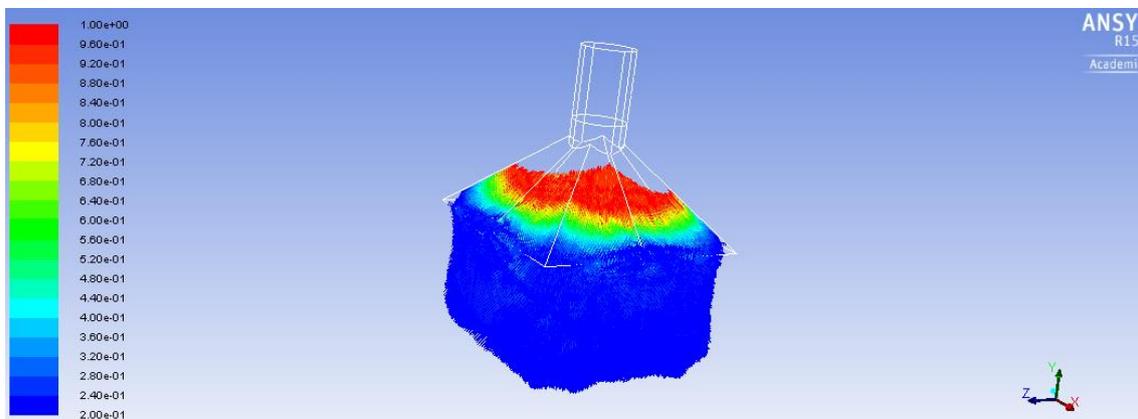
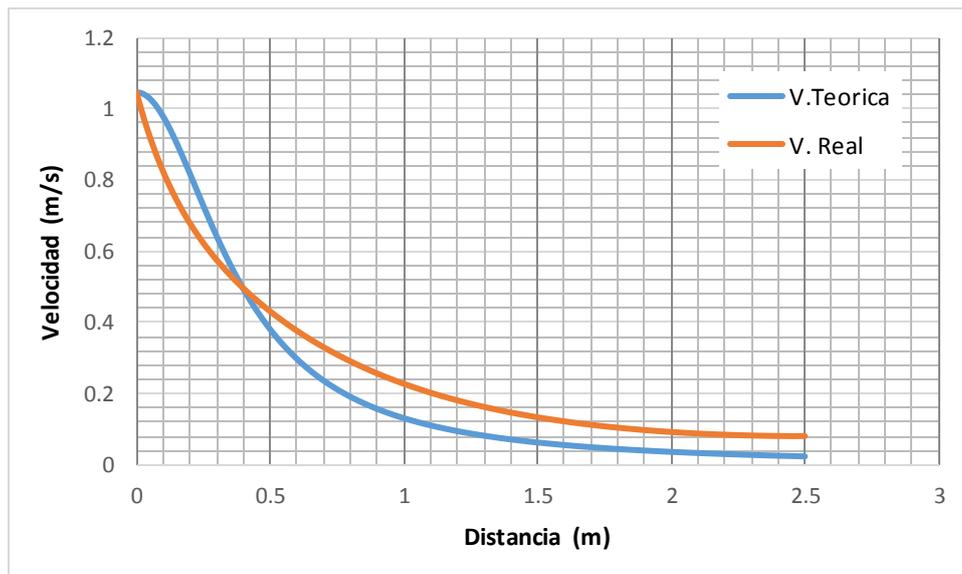


Figura 48- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la campana de Diámetro 30cm

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 13- Resultados Para Diámetro 30cm

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

A continuación en la Figura 49 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana simple de 1200x1190 mm con velocidad de entrada de 5 m/s.

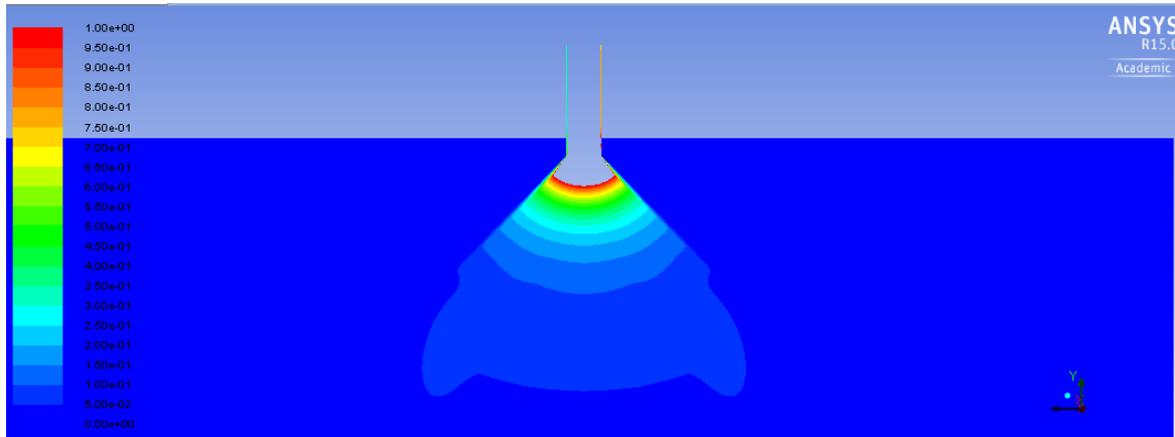


Figura 49- Curva de Iso-Velocidad para la Campana con Velocidad de Entrada: 5m/s

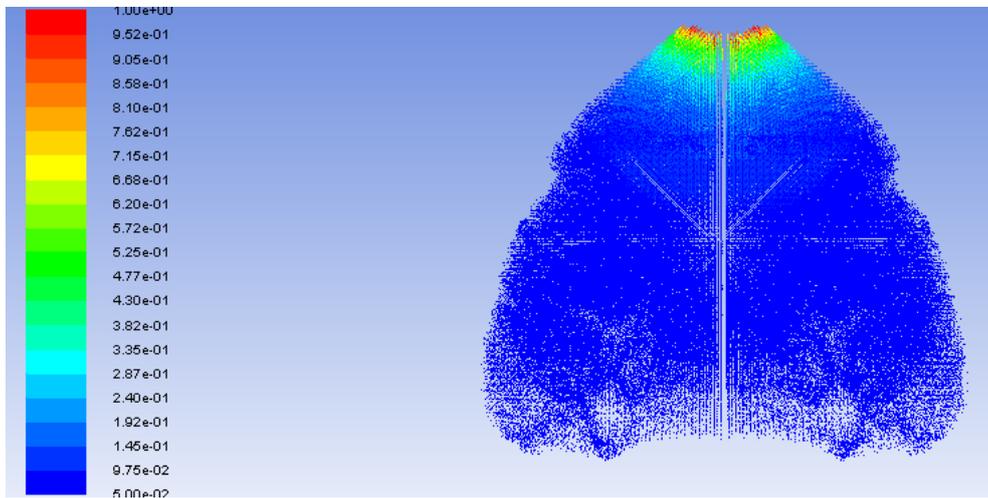
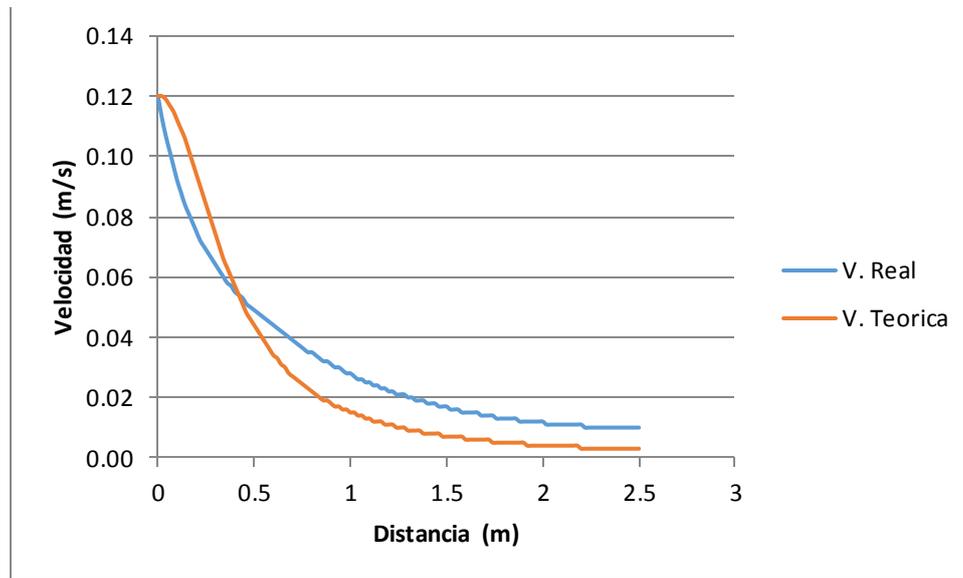


Figura 50- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la Campana con Velocidad de Entrada: 5m/s

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 14- Resultados para la Campana con Velocidad de Entrada: 5m/s

A continuación en la Figura 51 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana simple de 1200x1190 mm con velocidad de entrada de 5 m/s.

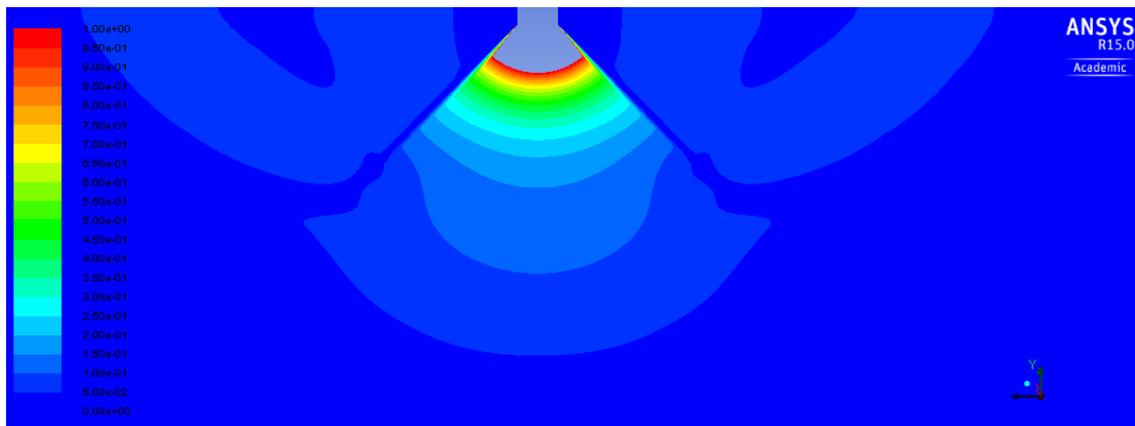


Figura 51- Curva de Iso-Velocidad para la Campana con Velocidad de Entrada: 7.5m/s

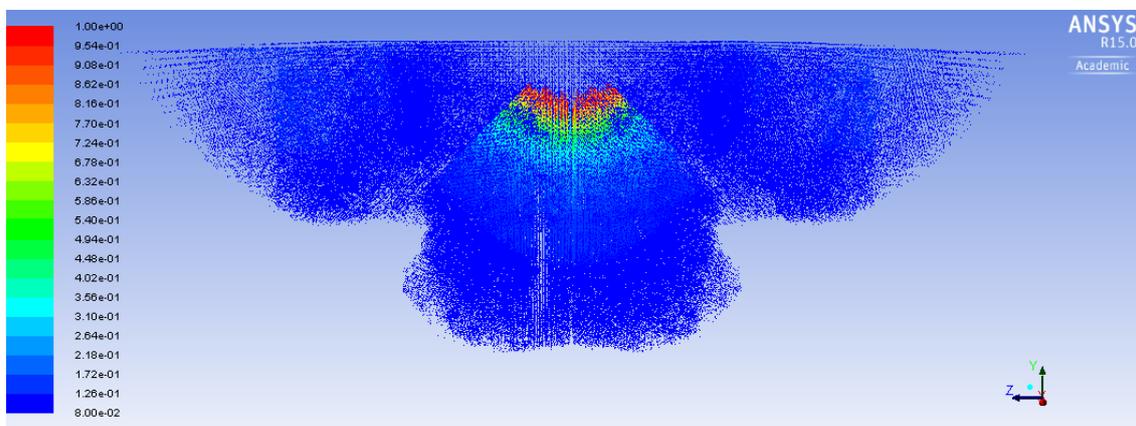
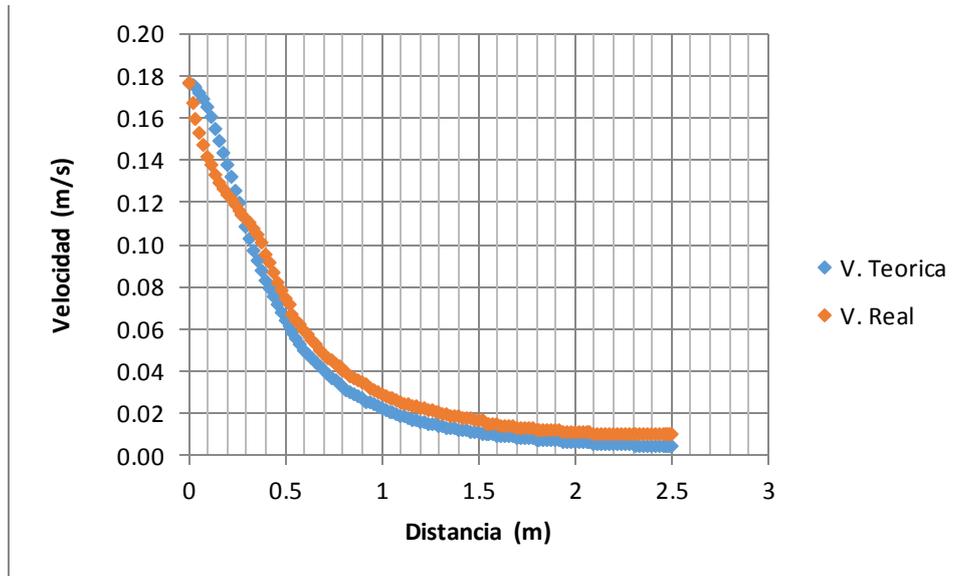


Figura 52- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la Campana con Velocidad de Entrada: 7.5m/s

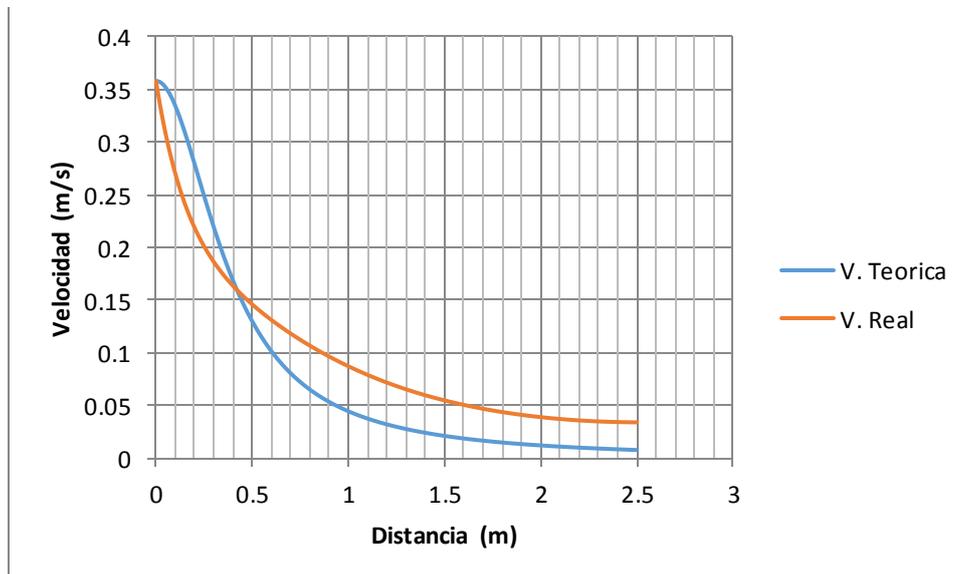
Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 15- Velocidad 7.5m/s

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 16- Velocidad 15m/s

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

A continuación en la Figura 53 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de ranura simple.

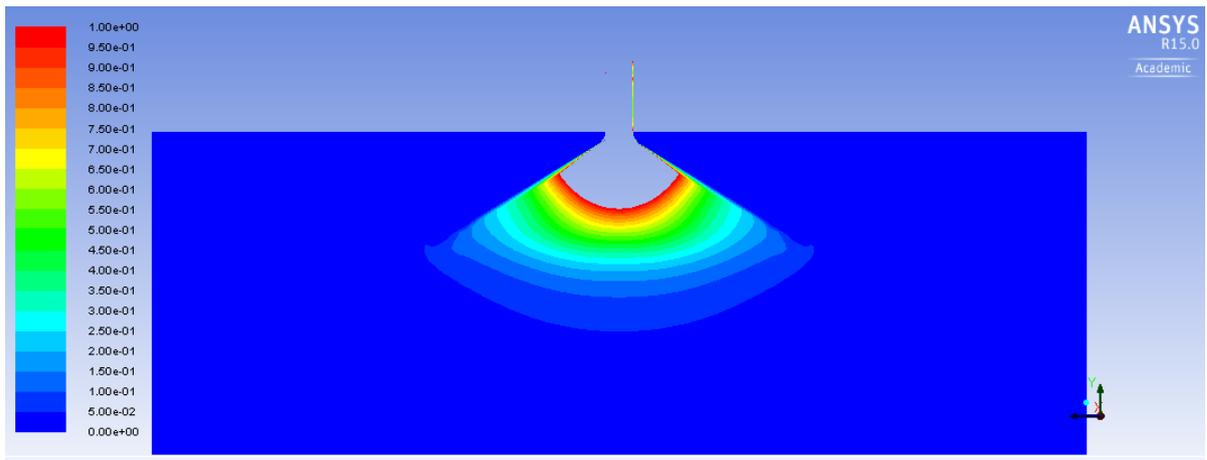


Figura 53- Curva de Iso-Velocidad para la Campana de 2000x400mm

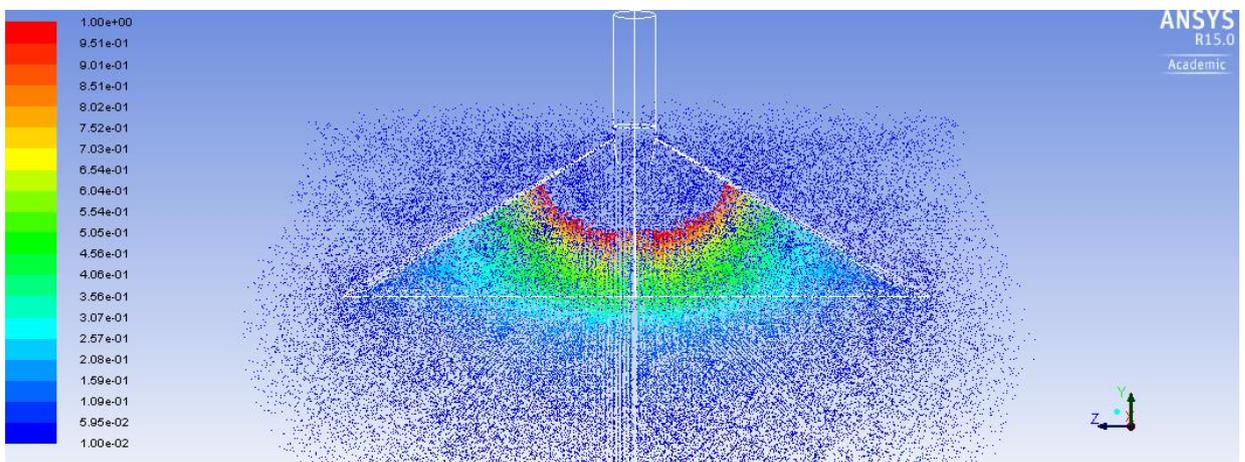
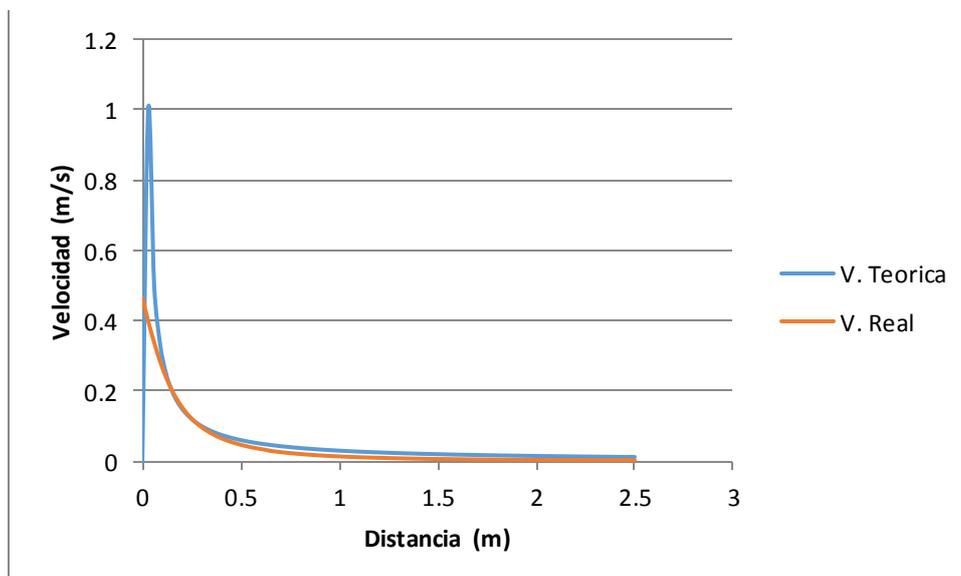


Figura 54- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la Campana de 2000x400mm

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 17- 2000x400mm

A continuación en la Figura 55 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de ranura aleteada.

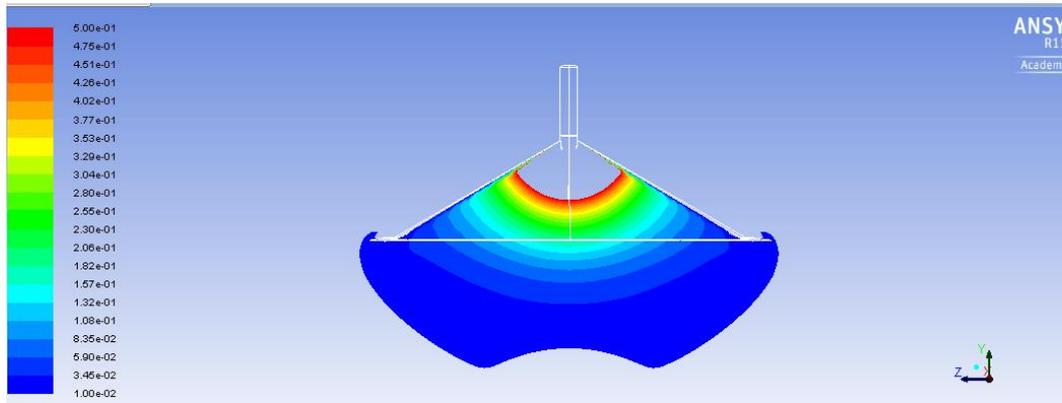


Figura 55- Curva de Iso-Velocidad para la Campana de 2000x400mm Aleteada

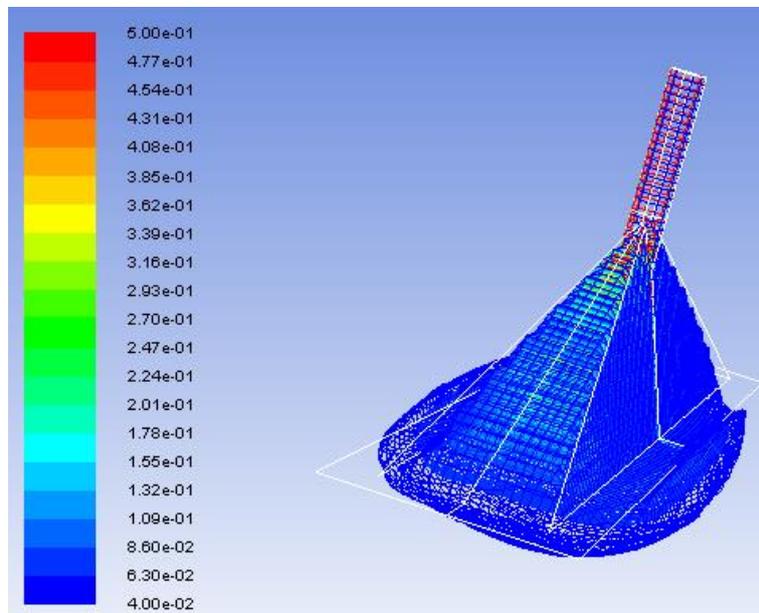


Figura 56- Mapa de Iso-Velocidad 3D

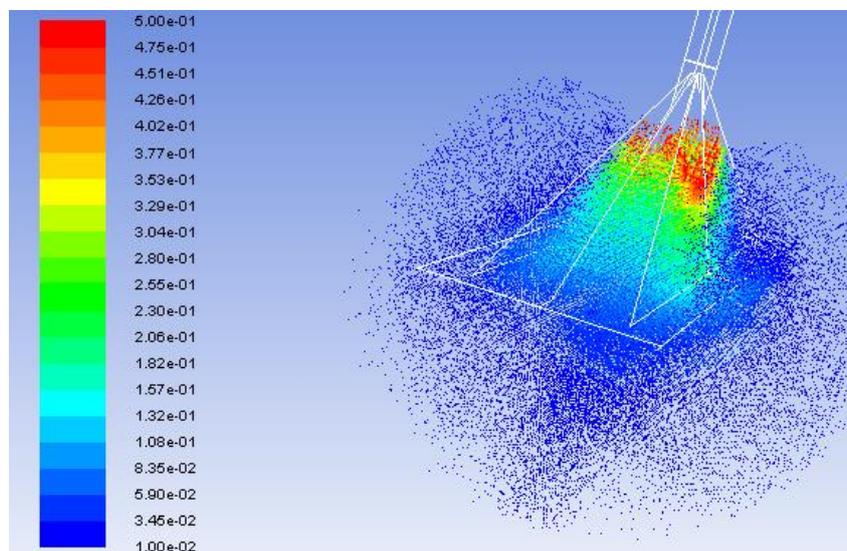
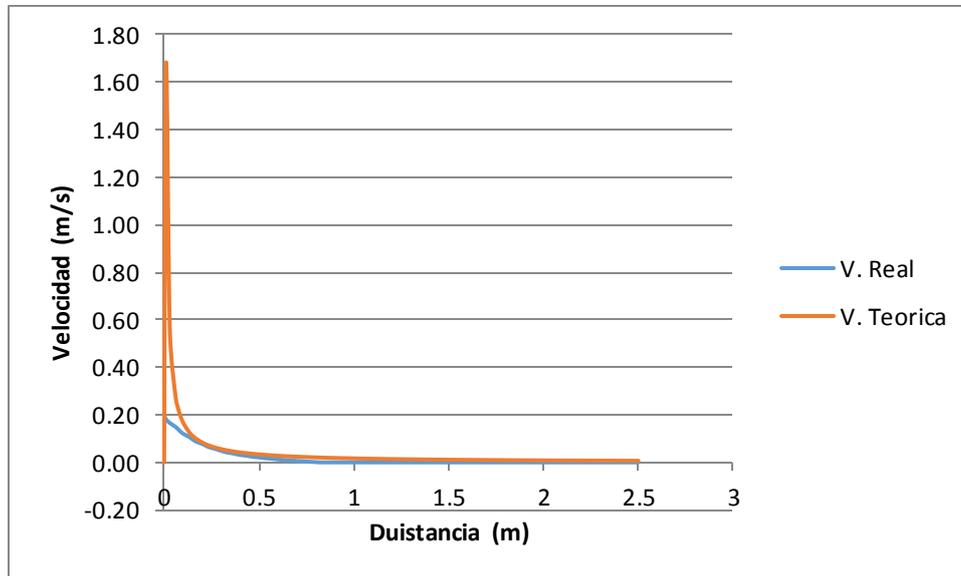


Figura 57- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la Campana Aleteada

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 18- Resultados 2000x400mm Flanged

En el caso de las rendijas vemos que la velocidad a la salida de la campana es muy reducida, lo que dificulta nuestro estudio. No solo eso si no ya la ecuación para ambas es del carácter de:

$$Q = KLVX \quad (11)$$

Siendo Q el caudal, K una constante que variara según el caso, L la longitud de la campana, X la distancia desde la abertura de la campana y V la velocidad en X.

Al reordenar al ecuación e igualarla a la velocidad nos encontramos con que

$$V=Q/KLX \quad (12)$$

Por lo que al ser X la distancia, cuando nos encontramos en la abertura de la campana o a distancias pequeñas, el valor de la velocidad se dispara a valores infinitos.

Es lógico pues que no coincidan el valor teórico y el valor real en las primeras fases.

A continuación en la Figura 58 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana con aletas.

Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

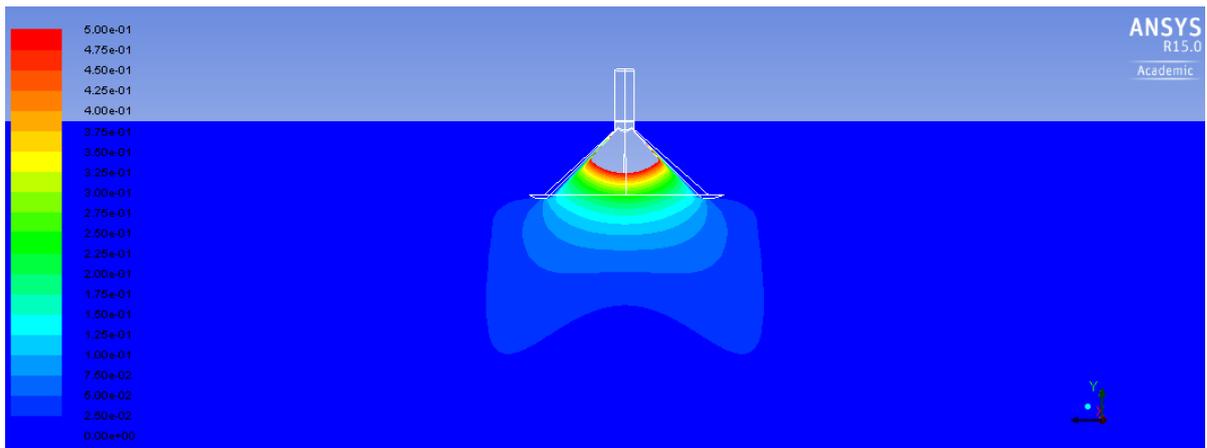


Figura 58- Curva de Iso-Velocidad para la Campana de 1200x1190mm con Aletas

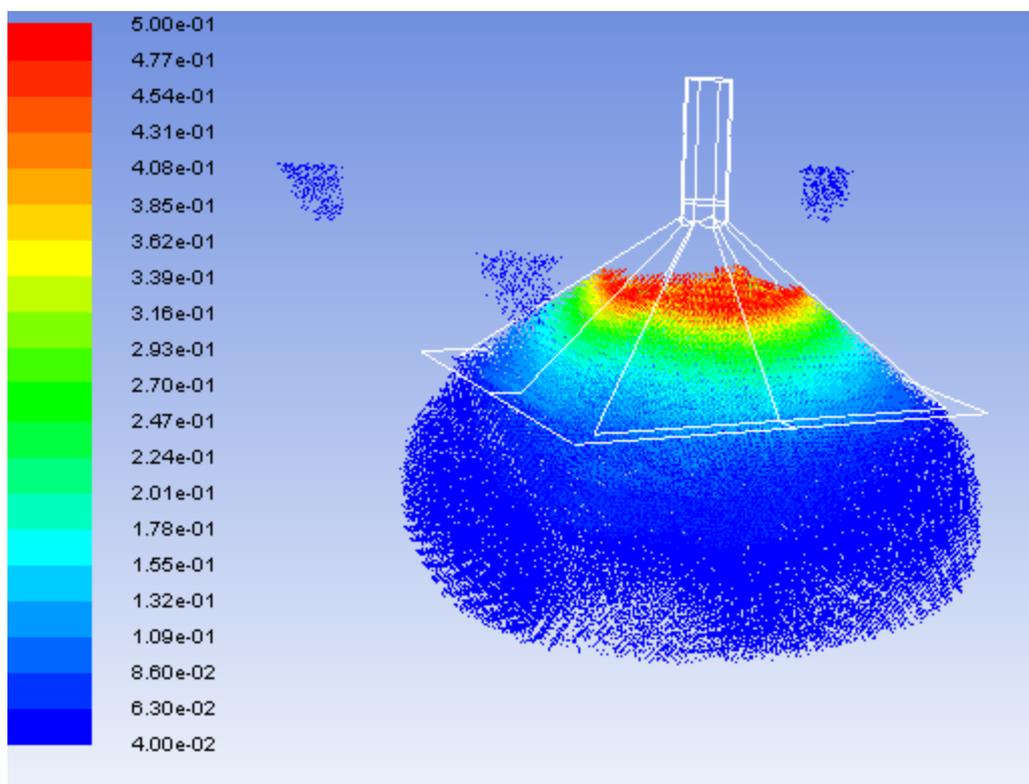
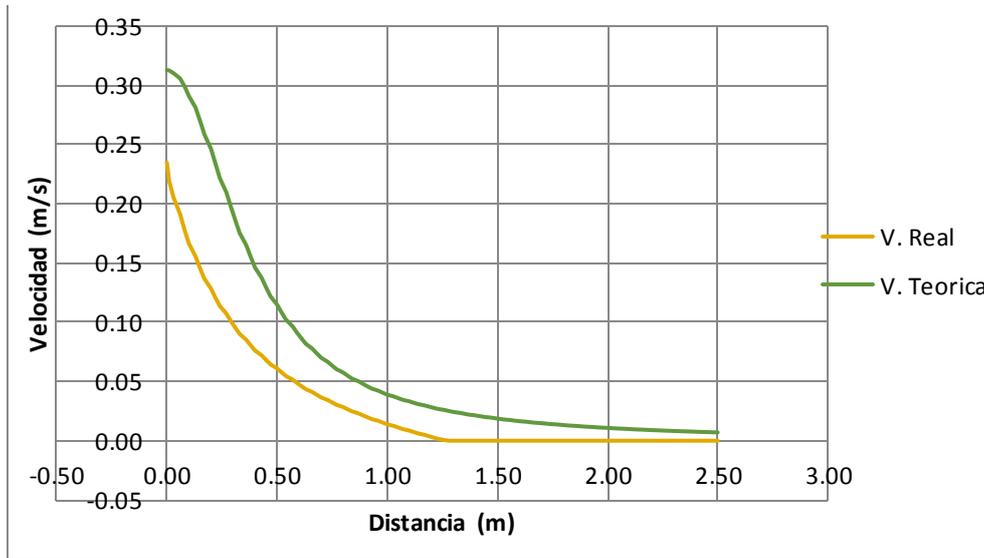


Figura 59- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la Campana Aleteada

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 19- Resultados Flanged

A continuación en la Figura 41 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana aleteada con ranuras.

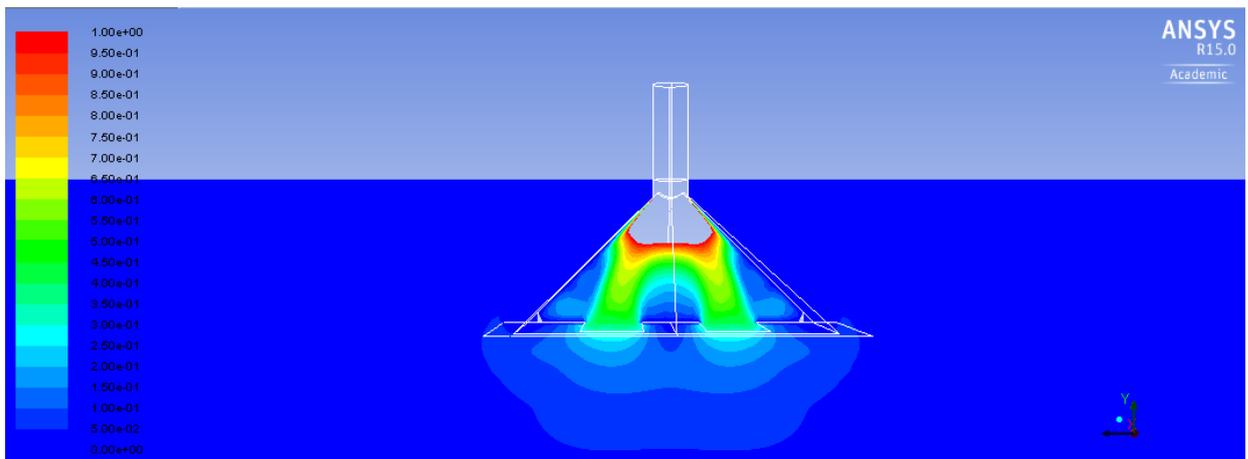


Figura 60- Curva de Iso-Velocidad para la Campana Aleteada con Ranuras

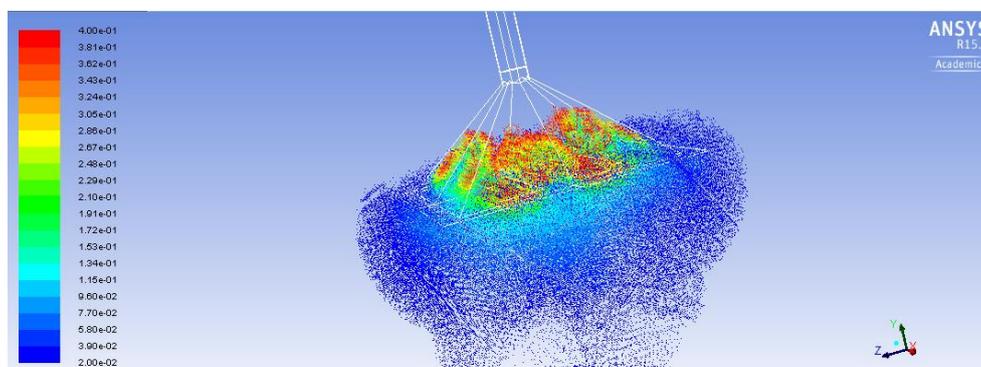
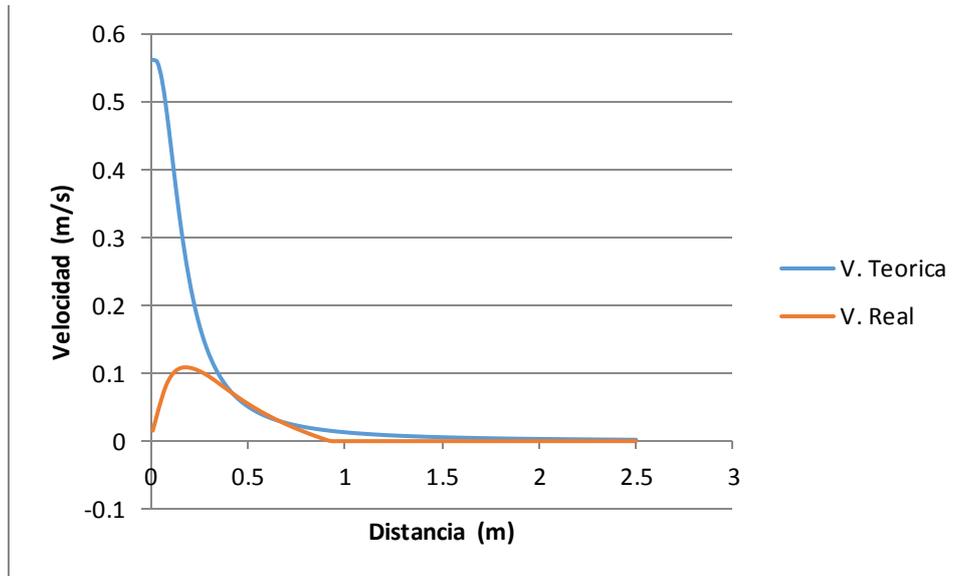


Figura 61- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la Campana Aleteada con Ranuras

## Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas CFD

En la siguiente grafica se compara las velocidades en distintos puntos entre la velocidad real dada por la simulación y la velocidad teórica calculada.



Gráfica 20- Resultados Flanged Slots

A continuación en la Figura 62 se ve la curva de iso-velocidad para el modelo de campana con ranuras.

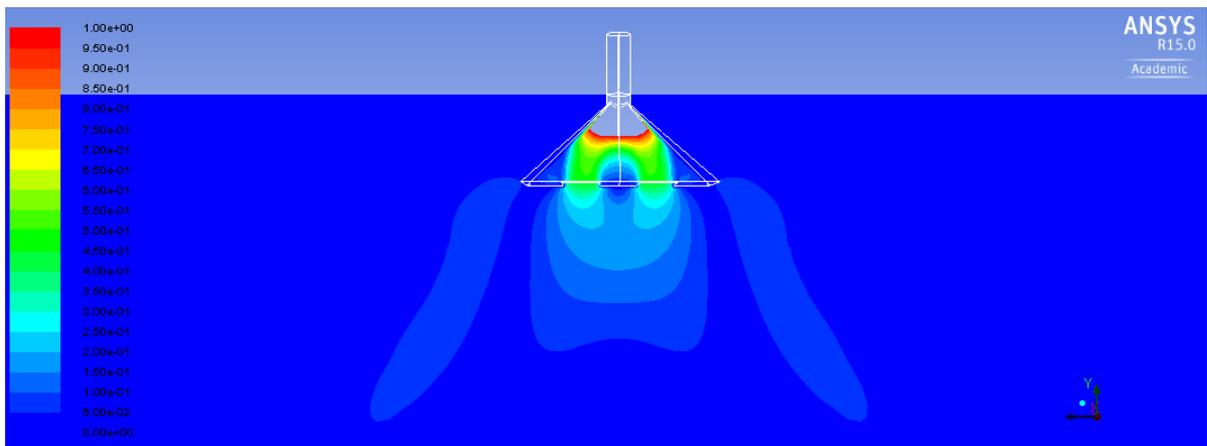


Figura 62- Curva de Iso-Velocidad para la Campana con Ranuras

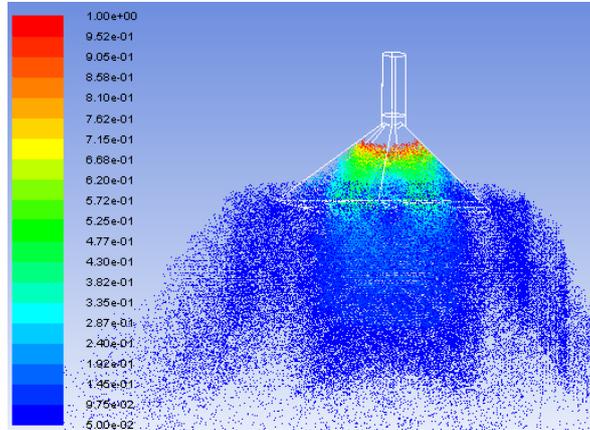


Figura 63- Mapa Vectorial de la Velocidad del Flujo en la Campana

## **CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES**

A continuación se exponen las conclusiones que se han extraído de las soluciones mostradas en el capítulo anterior, continuando con el formato que se ha seguido a lo largo de todo el documento. Así pues empezaremos con las tipologías en dos dimensiones:

### **5.1 CONCLUSIONES DEL MODELO 2D**

- Las variaciones en el tamaño de nuestro habitáculo no afectan a nuestro cálculo, siempre y cuando no lo convirtamos en una habitación lo suficientemente estrecha o corta. Pero toda medida por encima de 1m no afecta a los resultados de la velocidad.
- Podemos concluir que la longitud óptima del conducto para que se estabilice el flujo ronda diez veces el diámetro del conducto, teniendo un diámetro de 30cm la longitud ideal sería de 3 m. Pasado este valor la velocidad se ralentiza y por debajo de este valor tenemos un flujo inestable que da valores muy lejanos al deseado.
- Los modelos siguen la curvas de iso-velocidad marcadas por el manual, excepto para los modelos con pestaña que se desvía considerablemente para distancias próximas al 100% del diámetro de la abertura.
- Se puede ver también que para esta simulación el caso axisimétrico daba resultados mas parecidos a las curvas del manual, por lo que era el método a utilizar.
- Comparando la utilización de la pestaña se concluye que para una extracción directa, a una distancia hasta el 50% del diámetro de la abertura del aire es ligeramente mejor la abertura sin pestañas, mientras que a partir de esta distancia las velocidades de aspiración son superiores en las aberturas con pestaña. Aunque estas variaciones son poco significativas.
- Se ha podido observar como el aumento en diámetro favorece a nuestra extracción. Pese a no incrementar significativamente la velocidad en la abertura, sí que podemos ver como a mayor diámetro la velocidad reduce más lentamente, tal y como reflejan las curvas de iso-velocidad del manual.

### **5.2 CONCLUSIONES DEL MODELO 3D**

- Los resultados reales para la campana simple, obtenidos de la simulación, muestran una trayectoria similar a los resultados teóricos, calculado a partir de las ecuaciones teóricas,

salvo que en todos los casos el valor teórico es ligeramente superior al valor real hasta que llegamos a una distancia entre 0.25 m y 0.5 m en la cual convergen y a partir de ese punto pasa a ser el valor real el que está por encima del valor teórico.

- En rendijas no coincidan el valor teórico y el valor real en las primeras fases. Más tarde coinciden aunque se separan en valores muy pequeños de la velocidad.
- En cuanto a las campanas con pestaña vemos que la curva trazada por la velocidad real es de la misma forma que la trazada por la velocidad teórica, pero de menos magnitud. Por lo tanto se propone realizar un estudio con distintas campanas con pestañas calculando ambas curvas y comparándolas para intentar calcular un factor correcto que permita que la velocidad teórica se ajuste en mayor medida a la velocidad real.
- La campana con pestaña obtiene velocidades de extracción menores que la campana simple, por lo que si buscamos mayor eficacia a la hora de purificar nuestro local, deberemos de optar por la campana sin pestañas.
- Los resultados obtenidos para las campanas con ranuras contradicen lo establecido por las formulas teóricas del manual.
- Las velocidades de aspiración resultantes en la mayoría de nuestros casos corresponden a las de una campana de captación de gases o vapores, con velocidad de captación o arrastre entre 0.25 m/s y 0.5 m/s y velocidad en el conducto cercana a los 12 m/s. De aumentar un poco a 0.5m/s hasta 1 m/s con velocidades en el conducto de 15 m/s, como en el caso del incremento de diámetro o de velocidad de entrada ya estaríamos en el rango de extracción de gases de soldadura.
- De este modo concluimos resaltando que la eficacia de la ventilación de nuestras campanas aumenta siempre con la velocidad de extracción, como era de esperar, con el diámetro de nuestro tubo, tenemos más caudal absorbido aunque también le tendremos que dar más potencia y excluir el uso de pestañas o ranuras a no ser que sea necesario.

## **CAPÍTULO 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Se exponen a continuación aquellos documentos en los cuales se ha basado este estudio, sirviendo para recopilar información para argumentar y describir aspectos del trabajo:

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists: "ACGIH: Industrial Ventilation Manual"  
<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/001/acgih.manual.1998.pdf>
- Dirección General de Trabajo y Asuntos Sociales de la Generalitat Valenciana: "Ventilación Industrial: Manual de Recomendaciones Prácticas Para la Prevención de Riesgos Laborales" (www.medicinalaboraldevenezuela.com):  
[http://www.medicinalaboraldevenezuela.com.ve/archivo/doc\\_ergo\\_higiene/VENTILACION INDUSTRIAL%20acgih%20esp.pdf](http://www.medicinalaboraldevenezuela.com.ve/archivo/doc_ergo_higiene/VENTILACION INDUSTRIAL%20acgih%20esp.pdf)
- Salvador Escoda: "Manual Práctico de Ventilación Industrial" obtenido de la referencia  
<http://www.salvadorescoda.com/tecnico/VE/Manual-Ventilacion.pdf>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Computational\\_fluid\\_dynamics](https://en.wikipedia.org/wiki/Computational_fluid_dynamics)
- <https://www.insht.es>
- <https://www.ventdepot.com>:  
<http://www.ventdepot.com/mexico/equiposyproductos/campanas/piracenter/>
- <https://www.mundohvacr.com>:  
<https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2006/02/ventilacion-industrial-una-necesidad-para-preservar-la-salud-de-sus-empleados/>
- <http://www.iberisa.com>
- Ansys 2013: Ansys Fluent User's Guide v15.0

## PRESUPUESTO

### 1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se procederá al análisis de costes del proyecto “Caracterización de sistemas de extracción localizada de aire mediante mapas de iso-velocidad generados mediante técnicas de CFD”.

Para la realización del presupuesto se han tenido en cuenta los siguientes factores: la utilización de equipos y programas informáticos, la supervisión y guía del tutor del proyecto en calidad de Ingeniero Industrial experto en su ámbito, y la realización del propio proyecto por parte del alumno en calidad de Titulado Medio.

La elaboración del presupuesto se dividirá en los siguientes conceptos de costes: Personal, material inventariable, material fungible, dietas y viajes, subcontratación, otros gastos y costes indirectos.

### 2. COSTE DE PERSONAL

Los costes de personal se calcularán de la siguiente manera:

$$\text{Coste(€)} = Ch \times Dh \quad (1)$$

Siendo:

- Ch= Coste Horario (€/h)
- Dh= Tiempo dedicado (h)

Titular de la Universidad Experto

El coste horario de este profesional se ha estimado a partir de los costes indicativos de personal en proyectos y convenios de la Universidad Politécnica de Valencia.

- Coste directo por hora: 49.2 €/h
- Coste indirecto por hora: 16.5 €/h
- Coste horario facturable: 65.7 €/h

Titulado Medio

- Horas trabajadas al año = [52 semanas/año – (4 semanas de vacaciones/año + 2 semanas días festivos/año)] \* 40 horas/semana = 1840 horas/año.
- Salario Anual = 19600.07 €
- Seguridad Social e Indemnización = (0.321 + 0.0321) \* Salario Anual = 6920.78 €/año.
- Salario Bruto = 19300.07 + 6920.78 = 26520.85 €/año.
- Precio de hora trabajada = 26520.85 / 1840 = 14.41 €/hora.

Descripción	Cantidad (h)	Precio (€/h)	Importe (€)
<b>I. Industrial</b>	10	65.7	657
<b>Titulado Medio</b>	300	14.41	4323

**TOTAL COSTE DE PERSONAL .....4980.00 €**

### 3. MATERIAL INVENTARIABLE

Se ha de presupuestar la amortización de todo equipo que deba de ser adquirido exclusivamente para este proyecto. Se han contratado varios softwares, entre ellos la versión educativa de Ansys Fluent y el paquete Office de Microsoft para la realización de este proyecto. También se ha adquirido un ordenador portátil modelo Pavilion de la marca HP.

Descripción	Precio (€)	Vida útil (años)	Tiempo de empleo (meses)
<b>Ordenador portátil HP Pavilion</b>	699	6	4
<b>Licencia anual Ansys Fluent</b>	15000	1	4
<b>Licencia anual paquete Office</b>	69	6	4

El porcentaje del uso del portátil será del 100% mientras que el de ambas licencias será del 50%. El coste de cada elemento en función del tiempo de funcionamiento se obtiene a través de la amortización, cuya fórmula es:

$$Coste\ Total = \frac{A}{B} \times Ce \times D$$

Donde A número de meses que el equipo se va usar en el proyecto después de la fecha de compra, B es periodo de amortización, que varía según la naturaleza del bien, Ce es el coste de equipo, h el tiempo de empleo y D el porcentaje de uso del equipo en el proyecto.

Descripción	Coste de uso (€)
<b>Ordenador portátil HP Pavilion</b>	38.83
<b>Ansys Fluent</b>	2500
<b>Paquete Office</b>	2

**TOTAL COSTE DE USO DE EQUIPOS .....2540.83 €**

### 4. MATERIAL FUNGIBLE

Este concepto cubre el material fungible y aparatos de vida útil baja que vayan a ser empleados en la realización de los trabajos. Se incluye dentro de esta categoría el coste de impresión. A falta de concluir el trabajo definitivo, se estimará un total de 95 hojas más el coste de encuadernación:

$$Coste\ Total = 0.23 \times 95 + 9 = 30.85 \text{ €}$$

## 5. OTROS COSTES

Dietas y viajes, subcontratación, otros gastos y costes indirectos son los apartados restantes, ninguno se incluirá dentro de nuestro presupuesto ya que estos costes no han existido dentro de nuestro proyecto. No se han subcontratado más trabajadores, ni se ha tenido que realizar ningún viaje y tampoco han existido otros gastos o costes indirectos.

## 6. PRESUPUESTO TOTAL

Para el cálculo del presupuesto total se le añadirá el IVA, Impuesto de Valor Añadido, tasado actualmente en el 21%.

Descripción	Coste parcial (€)	I.V.A 21% (€)	Total (€)
<b>Coste de personal</b>	4980.00	1045.80	6025.80
<b>Coste de uso de equipos</b>	2540.83	533.57	3074.40
<b>Material Fungible</b>	30.85	6.50	37.33

**PRESUPUESTO TOTAL.....9137.53 €**

Resultando el montante total del presupuesto en: **“Nueve mil ciento treinta y siete euros con cincuenta y tres céntimos”**.

## **PLANOS**

