

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPTO. ING. MECÁNICA  
HABILITACION PROFESIONAL**



**TITULO:** Evaluación de un sistema de climatización del centro de atención ambulatoria dependiente directo del hospital regional Guillermo Grant Benavente

Informe de Habilitación Profesional

Presentado en conformidad a los requisitos para optar al Título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía:  
**Sr. Jorge Gatica Sánchez**

Eduardo Alexis Faúndez Morales

Concepción, "6 de mayo del 2019"

## Contenido

Capítulo 1 .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
Capítulo 2 .....	4
Conceptos fundamentales .....	4
2.3 Modos de climatización.....	6
2.4 Sistemas de Aire.....	7
2.5 Calidad del Aire .....	7
2.6 Flujo de Aire.....	7
2.7 Sistema de limpieza de aire .....	8
2.8 Tipos de aire involucrados en la climatización .....	9
2.9 Sistemas de distribución.....	10
Capítulo 3 .....	11
Requerimientos de la climatización.....	11
3.1 Limpieza del aire .....	12
3.2 Presurización.....	13
3.3 Renovaciones.....	13
3.4 Humedad relativa.....	13
3.5 Carga térmica.....	14
3.6 Temperaturas.....	14
Capitulo 4 .....	15
Sistema de climatización y sus componentes.....	15
4.1 Descripción del sistema de climatización del hospital .....	16
Funcionamiento del sistema de climatización.....	18
Capitulo 5 .....	26
Evaluación técnica de un sistema de climatización. ....	26
5.1 arquitectura del edificio. ....	27
5.1 Bloque B1.....	28
5.3Características UMA 12 .....	29
5.4 Análisis ductos de distribución .....	30
Estudio del comportamiento del fluido. ....	30

Diámetro equivalente (Deq).....	31
Límites de Reynolds .....	32
Ecuación de conservación de la materia.....	33
Ecuación de Bernoulli.....	34
Pérdidas de carga.....	35
Presión dentro de los conductos. ....	40
Capitulo 6 .....	41
6.1 Cálculos para cumplir las necesidades del hospital de acuerdo a la norma.....	41
Dibujo maquina y ductos en inventor.....	42
6.2 Ejemplo decálculo. ....	43
6.3 Programación ecuaciones en Matlab.....	48
6.4 Calculo en difusores Ejemplo, para cálculo de tramo 3 .....	49
6.5 Zócalo .....	51
6.6 Piso 1 .....	56
6.7 Piso 2 .....	59
6.8 Piso 3 odontología.....	62
6.9 Piso 4 oftalmología.....	64
6.9.1 Piso 5 pediatría.....	66
Ejemplo tramo 11. ....	67
Capitulo 7 .....	69
Análisis caudales comparación y soluciones. ....	69
7.1 Tabla caudales totales. ....	70
7.2 comparación de velocidades mediante software ANSYS CFD .....	73
7.3 Soluciones al problema planteado.....	78
Solución 1 .....	78
Solución 2 . ....	80
Solución 3 .....	83
8. Conclusión .....	84
Anexos.....	86
Anexo 1 .....	86
Anexo 2 .....	95
Anexo 3 .....	98

## Capítulo 1

### Generalidades

#### 1.1 Introducción

El presente tema de habilitación profesional aborda un problema que se presenta en el hospital regional Guillermo Grant Benavente el cual consiste en un deficiente funcionamiento del sistema de aire acondicionado en el centro de atención ambulatoria, lo cual para un hospital que alberga gran cantidad de pacientes como también trabajadores, resulta fundamental que el ambiente en el que se desarrolla el trabajo sea confortable.

Por lo cual se pretende, mediante estudios teóricos y prácticos detectar la posible falla del sistema de climatización actualmente en funcionamiento y dar una solución para esta.

La climatización de ambientes en Chile ha ido evolucionando a lo largo del tiempo y la implementación de nuevas tecnologías en el área como también el cambio climático constante que se está experimentando en el planeta, ha provocado que cada vez sea más necesario climatizar espacios, por lo cual el mercado ha crecido bastante en el último tiempo, debido a esto es que la implementación de nuevos equipos para climatizar un área específica, debe ir acompañada de un conocimiento teórico y práctico en el área de termo fluidos, para así garantizar una correcta selección de maquinarias y equipos, para obtener los resultados esperados de acuerdo a los estándares de temperatura requeridos, como también a la arquitectura del recinto a climatizar.

Debido a esto es que en cualquier sistema de climatización que se desee implementar, se debe tener como guía y referencia alguna de las normas que rigen la implementación de sistemas de climatización ambiental, tales como la norma ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers o la norma chilena Nch853: Acondicionamiento térmico. Envoltura térmica de edificios, para así poder cumplir con los estándares de calidad deseados.

## 1.2 Planteamiento del problema.

El Centro de atención ambulatoria (CAA) del hospital regional Guillermo Grant Benavente cuenta con un sistema de climatización ambiental para los 6 pisos, el cual consiste en inyectar aire precalentado y pre filtrado a los recintos y extraerlo por depresión en pasillos. Para esto se instalaron manejadoras de aire en el entretecho de los módulos B las cuales inyectan aire precalentado a los recintos mediante ductos de acero galvanizado aislados.

El problema que se detectó, mediante mediciones de velocidad de descarga de aire en las distintas zonas realizadas por el departamento de mantención del CAA y respaldadas por mediciones propias (ver anexo 1), es un mal funcionamiento del sistema ya que está entregando aire solo a algunos de los pisos del hospital en este caso solo a los pisos 5, 4 luego los niveles de aire van disminuyendo según mediciones en los pisos 3, 2 y 1 llegando a una velocidad muy cercana a 0 en el sótano del recinto.

Esto provoca que en los pisos donde existe una disminución de la velocidad de descarga del aire entregado por el sistema de climatización, exista una variación de la temperatura que es detectado por las personas que se encuentran en el interior de estos pisos, lo cual resulta molesto, y aún más en las estaciones de primavera y verano donde aumenta la temperatura ambiente, y por la arquitectura del recinto y el gran número de personas que transitan a diario por el hospital se percibe gran calor en el interior.

Por lo cual se pretende realizar un estudio teórico del sistema considerando los equipos en funcionamiento, el circuito de distribución, las pérdidas de carga, las presiones y principalmente las velocidades de descarga del aire que se deberían obtener en cada uno de los pisos, con el fin de comparar estos resultados con los obtenidos en la práctica, para así poder detectar la razón de la falla del sistema y proponer una solución.

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL:**

- Evaluar un sub sistema del sistema de climatización del centro de atención ambulatoria perteneciente al hospital regional Guillermo Grant Benavente , con el fin de detectar los posibles factores que afectan su funcionamiento para luego proponer posibles soluciones para corregirlos.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- a) Comprender el comportamiento de componentes y equipos del sistema de climatización existente.
- b) Estudiar y analizar ductos de distribución del sistema de climatización de acuerdo a la norma.
- c) Realizar cálculos teóricos para el funcionamiento del sistema basándose en datos reales del diseño y mediciones hechas por el departamento de mantenimiento del CAA.
- d) Comparar los resultados obtenidos en la teoría con la práctica.
- e) Detectar posible falla en el sistema, de acuerdo a la comparación de la teoría y la práctica.
- f) Proponer solución al posible problema detectado.
- g) Evaluar costos de las modificaciones sugeridas.

## Capítulo 2

### Conceptos fundamentales

Antes de abordar los temas a tratar en el presente proyecto de habilitación profesional, es necesario definir algunos conceptos fundamentales.

**2.1 Climatización:** consiste en crear las condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad y la calidad del aire interior de los espacios habitados.

La normativa española define climatización como: dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas. Puede apreciarse que se ha abandonado cualquier referencia al aire acondicionado, por ser una expresión que, aunque correcta, puede prestarse a equívoco, ya que la mayoría de la gente parece entender que se refiere exclusivamente a la refrigeración (climatización de verano), aunque sería más lógico se refiriese al **acondicionamiento del aire** en todas las épocas, verano e invierno.

**2.2 Condicionantes de la climatización:** la comodidad térmica está sujeta a 2 factores fundamentales.

- **Factor ambiental** que considera:
  1. El aire: su temperatura, velocidad y humedad.
  2. Espacio: la temperatura radiante media de los parámetros del local considerado.
- **El factor humano:** que considera la manera de vestir, la actividad y el tiempo durante el cual las personas permanecen en la misma situación, influyen sobre la comodidad térmica.
- **La temperatura exterior:** los elementos separadores del interior de los edificios con el exterior no son impermeables al paso del calor, aunque pueden aislarse convenientemente. El calor pasa desde el ambiente más cálido al ambiente más frío

tanto más deprisa cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas entre ambos ambientes.

- **La radiación solar:** Con el desarrollo de los nuevos edificios, las nuevas técnicas han favorecido el empleo del cristal y el incremento térmico es considerable en verano cuando la radiación solar los atraviesa (efecto invernadero), pero es favorable en invierno, disminuyendo las necesidades de calefacción. El acristalamiento excesivo no es deseable en climas cálidos, aunque puede serlo en climas fríos. Incluso en cerramientos opacos, no acristalados, en verano, el sol calienta la superficie exterior aumentando el salto térmico exterior interior y, por lo tanto el paso del calor por los cerramientos opacos.
- **La ventilación:** La necesaria introducción de aire exterior en el edificio, para ventilación, puede modificar la temperatura interna de éste, lo cual puede suponer un problema cuando el aire exterior está a temperaturas alejadas de las requeridas en el interior.
- **La ocupación:** El número de ocupantes aumenta en los edificios, generando cada uno entre 80 y 150 W de carga térmica, según la actividad realizada.
- **La ofimática:** La proliferación de aparatos electrónicos, ordenadores, impresoras, y fotocopiadoras, que forman parte de las oficinas modernas, generan cargas térmicas importantes.
- **La iluminación:** la iluminación es un factor de calentamiento importante. Se estima en una carga de entre 15 a 25 W/m<sup>2</sup>. Muchos Grandes Almacenes modernos pueden calentarse en invierno gracias únicamente a su sistema de iluminación y al calor producido por los usuarios. Esta situación es bastante frecuente en Europa.



## 2.3 Modos de climatización

Existen diferentes sistemas de climatización, estos se clasifican de acuerdo el tamaño del sector que se pretende climatizar y las temperaturas requeridas, por lo cual existen una gran variedad de equipos en el mercado actual que son capaces de satisfacer las necesidades requeridas.

Este apartado se centrará principalmente en los sistemas de climatización tanto para calefacción y refrigeración que se utilizan en edificios y hospitales específicamente, dando una reseña general de su funcionamiento.

- **Modo calefacción:** en la mayoría de las grandes instalaciones ya sea en edificios de gran tamaño, es que se usan sistemas de calefacción en los cuales están involucrados 2 tipos de fluidos aire y agua, este último es el encargado de aportar energía al sistema. Generalmente estas grandes instalaciones cuentan con calderas en las cuales se calienta el agua la cual a su vez se envía a sistemas de manejadoras de aire, o intercambiadores de calor los cuales aportan su energía intercambiándola con el medio o inyectando el aire ya calefaccionado al recinto que se desea climatizar.
- **Modo refrigeración:** al igual que en el caso de la calefacción, para la refrigeración existen diferentes métodos, que se clasifican de acuerdo al espacio que se desea climatizar, a las temperaturas requeridas y los métodos y equipos deseados. De manera general se puede decir que para refrigerar un espacio, se necesita extraer calor del aire, para que este disminuya su temperatura, es así que la mayoría de los equipos usan sistemas en los cuales se cuenta un liquido refrigerante el cual es capaz de pasar de un estado a otro, intercambiando calor con el medio a climatizar, para así disminuir la temperatura del aire a inyectar a la zona climatizar, también existen equipos que utilizan agua a menor temperatura para climatizar las zonas deseadas.

Se puede decir de manera general que existen diferentes métodos y formas de climatizar un espacio, existen equipos que solo cumplen una función (refrigerar o calefaccionar), como también existen equipos que se diseñan con el objetivo de cumplir con las 2 funciones, adaptándose para calefacción, como para refrigeración de espacios según se requiera durante un año.

## 2.4 Sistemas de Aire

La distribución del aire através de los distintos espacios, se realiza en conductos, considerando siempre las condiciones que se necesitan y se requieren para un ambiente, al tratarse de un hospital en este caso, se debe considerar que el aire es un vehículo de transporte de microorganismos, por lo cual el sistema dispone de filtros que mantienen el aire limpio, para así cumplir con la norma que rige el sistema de climatización, en este caso la norma ASHRAE.

## 2.5 Calidad del Aire

El acondicionamiento del aire consiste en el control de las condiciones en el interior del espacio cerrado referente a la temperatura, humedad, flujo y limpieza del aire, por lo cual resulta importante que los equipos, que realizan estas funciones tengan sus mantenciones periódicas al día para que puedan cumplir con los requerimientos.

## 2.6 Flujo de Aire

El objetivo final de la entrada de un flujo de aire al centro de atención ambulatoria, es la adaptación del clima a condiciones confortables tanto como para trabajadores y usuarios, pero a la vez el aire que entra tiene como objetivo realizar un barrido de las distintas áreas, con aire limpio. Por lo cual el flujo que se inyecta en las áreas debe ser idealmente constante en su inyección.

Este flujo de aire se puede presentar de 2 maneras:

**2.6.1 flujo laminar:** el fluido se mueve en capas o láminas y se caracteriza por tener velocidades muy bajas, donde el intercambio de cantidades de movimiento es molecular.

**2.6.2 flujo turbulento:** en este caso el movimiento de las partículas es errático, con intercambio trasversal de cantidad de movimiento. A diferencia del flujo laminar aquí predominan las tensiones de inercia sobre la viscosidad.

Las instalaciones de aire acondicionado son capaces de asegurar una dirección en el flujo, solamente si las aperturas son necesarias para su funcionamiento (puertas, compuertas, esclusas, etc.), están abiertas durante reducidos periodos de tiempo. Además, debe existir un equilibrio entre el caudal de aire impulsado y el caudal aspirado en cada retorno.

Por esto la configuración del flujo dependerá de:

- Condiciones de entrada.
- De la sección de paso.
- De la velocidad.
- De la ubicación y características del retorno.

A su vez el flujo de aire se ve afectado por:

- Las fuentes de calor que generan corrientes secundarias de aire.
- Obstáculos que rompen la configuración lineal y provocan remolinos y turbulencias en la distribución de la velocidad.

## **2.7 Sistema de limpieza de aire**

Hace referencia a un equipo o combinación de equipos usados, para reducir la concentración de contaminantes en el aire tales como: microorganismos, polvos, humos, partículas, gases y/o vapores en el aire.

## 2.8 Tipos de aire involucrados en la climatización

En el siguiente apartado se definirán como conceptos los distintos tipos de aire, los cuales están involucrados en el proceso de climatización.

- **2.8.1 Aire ambiente:** Aire alrededor de los edificios, fuente de aire exterior introducido al edificio.
- **2.8.2 Aire extraído:** Aire removido del recinto y descargado a la parte exterior del edificio mediante sistemas de ventilación mecánicos o naturales.
- **2.8.3 Aire interior:** Aire contenido dentro del espacio ocupado.
- **2.8.4 Aire de renovación:** Cualquier combinación de aire exterior y transferencia destinado a reemplazar el aire extraído o ex filtrado.
- **2.8.5 Aire exterior:** Aire ambiente que entra al edificio a través de sistemas de ventilación, aperturas diseñadas para ventilación natural o infiltraciones.
- **2.8.6 Aire recirculado:** Aire removido del recinto y reutilizado como aire de suministro.
- **2.8.7 Aire de retorno:** Aire removido de un recinto para ser recirculado o extraído.
- **2.8.8 Aire de suministro:** Aire entregado por ventilación mecánica o natural a un espacio, compuesto por alguna combinación de aire exterior, aire recirculado y de transferencia.
- **2.8.9 Aire de transferencia:** Aire movido de un recinto interior a otro.
- **2.8.10 Aire de ventilación:** porción de aire de suministro que es la suma del aire exterior más alguna porción de aire recirculado que ha sido tratado con el propósito de mantener una calidad aceptable del aire en el recinto.

## **2.9 Sistemas de distribución**

Cuando se usan las cámaras en los techos o en los pisos tanto para recircular aire de retorno como para distribuir aire de ventilación a las unidades terminales montadas en el techo o en el piso, el sistema debe ser diseñado de tal manera que garantice que cada espacio reciba el flujo de aire de ventilación mínimo requerido.

*Nota: la conexión directa de los ductos de aire de ventilación a las unidades terminales de ventilación es un método alternativo para satisfacer este requerimiento.*

## Capítulo 3

### Requerimientos de la climatización

Para garantizar un correcto funcionamiento del sistema de climatización del recinto, al ser tan importante para la comunidad, es que se deben cumplir con los estándares de calidad necesarios establecidos por la norma.

Es por esto que el proyecto de climatización actual del centro hospitalario Guillermo Grant Benavente fue realizado, considerando las normas y recomendaciones siguientes:

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating & Air Conditioning Engineers.

CARRIER: Manual de AireAcondicionado. 1era. Reimpresión - 1972 – Marcombo Barcelona.

SMACNA : Sheet Metal And Air Conditioning Contractors  
National Association, INC.

Nch 853: Acondicionamiento térmico. Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.

- Para la actual evaluación, se realiza en base a la siguiente norma.
- UNE 100713: Norma Española: instalación de aire acondicionado en Hospitales.

*Nota: información extraída de las especificaciones técnicas del proyecto de climatización del hospital. Septiembre del 2007.*

**Los requerimientos más importantes para la climatización de un centro hospitalario son los siguientes.**

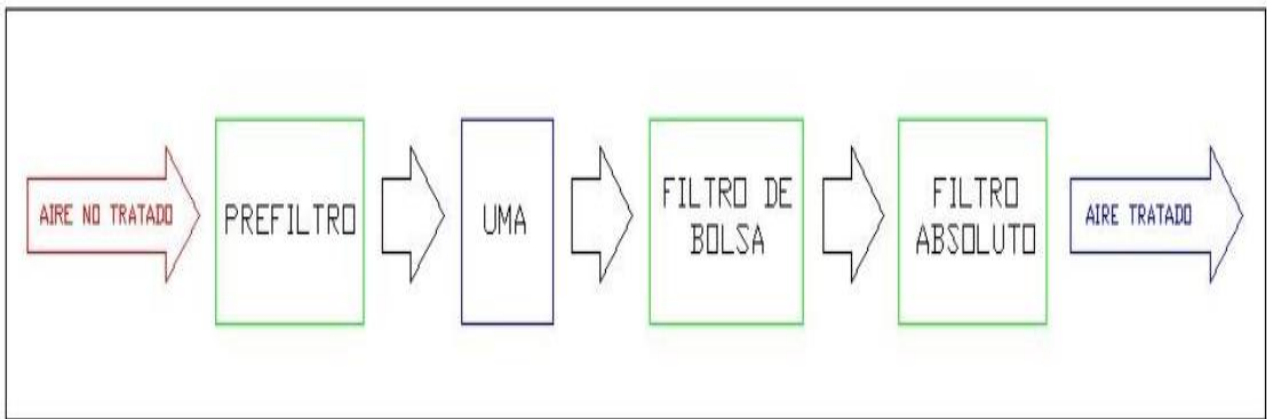
### 3.1 Limpieza del aire

Los procesos de tratamientos de aire, tienen una gran importancia en su fase de limpieza, que se realiza mediante filtros adecuados para el grado de eficiencia deseado.

Se tiene que filtrar todo el aire exterior destinado a la ventilación con filtros destinados a las zonas estériles del hospital, tales como pabellones clínicos, zonas en las cuales se debe tener el aire libre de agentes contaminantes.

Las operaciones de filtrado aparte de servir para obtener aire limpio, en los locales, posee considerable importancia en el mantenimiento y conservación de todos los equipos de instalación de climatización.

En los filtros absolutos se ha de verificar la ausencia de fugas tanto a través de su conjunto como a través de la junta de estanqueidad. En general la mayoría del sistema posee un sistema de filtrado como el siguiente:



*Fig. 1: secuencia de filtrado de aire.*

## **3.2 Presurización**

Algunas zonas del hospital requieren de una mayor renovación del aire interior por lo cual para su climatización, se utiliza solo aire exterior (no recirculación de aire), la ventilación en determinadas aéreas del hospital (pabellones) debe realizarse, con una ligera sobre presión, dentro de los recintos, esto con el objetivo de que el aire exterior (aire no filtrado), no penetre a través de las rendijas de puertas y ventanas.

Para los pabellones clínicos debe existir una sobre presión, en relación a los locales colindantes en ellos mismos, con la proporción: caudal de aire impulsado 15% superior al caudal de aire de extracción.

Por lo tanto los volúmenes de aire de impulsión y extracción deben ser seleccionados, para conseguir presiones positivas.

## **3.3 Renovaciones**

Cuando se trata de sistemas de difusión de aire con altos grados de turbulencias, el número de renovaciones de aire por hora, se considera entre 2-10 renovaciones por hora.

En un sistema de difusión de aire con un reducido grado de turbulencias (flujo de aire laminar), se pueden admitir mayor número de renovaciones por hora ( $> 20$ ).

## **3.4 Humedad relativa**

La humedad relativa es aquella que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa por tanto por ciento (%).



### 3.5 Carga térmica

Este concepto está asociado a sistemas de calefacción, climatización y acondicionamiento de aire, así como a sistemas frigoríficos. Hace referencia a la energía en forma de calor aportado o retirado de la edificación o recinto frigorífico según corresponda

### 3.6 Temperaturas

El sistema actual, fue diseñado considerando los siguientes parámetros: Ciudad Concepción latitud sur 36° 46' altitud 15 msnm

<b>Invierno</b>	T° exterior invierno BS	3°C
	T° interior invierno BS (recintos generales )	22°C
	T° interior invierno BS (pabellones)	25°C
	T° interior invierno BS (quimioterapia)	24°C
	Humedad relativa interior invierno	No controlada.
	Factor de seguridad	10%

*Nota: BS hace referencia a temperatura bulbo seco, tomada por un termómetro convencional de mercurio.*

<b>Ventilación</b>	Inyección de aire precalentado.	2 R/H
	Tasa de extracción general	4 R/H
	Tasa de extracción baños, aseo y basura.	10 R/H
	Tasa de extracción en pabellones (100% Aire ext., 99,9% filtrado)	15 R/H

*Obs: con R/H renovaciones por hora.*

## Capítulo 4

### **Sistema de climatización y sus componentes.**

#### Hospital Guillermo Grant Benavente.

El hospital Guillermo Grant Benavente fue fundado en el año 1943 en la ciudad de Concepción, tiene como misión, entregar atención de salud de alta complejidad, con buen trato, compromiso y calidad de los usuarios del centro sur de Chile, para mejorar su calidad de vida en coordinación con la red de salud y centros de formación asistencia-docencia, construyendo relaciones de confianza. Es uno de los hospitales más grandes del sur de Chile, y uno de los más modernos, cuenta con 6 pisos donde se distribuyen, las distintas especialidades que trata, equipados con tecnología de punta para atender las necesidades de los usuarios.

## 4.1 Descripción del sistema de climatización del hospital.

El hospital cuenta con un conjunto de sistemas tanto de calefacción como de refrigeración, dependiendo de las exigencias que existan y del espacio en el cual se desea acondicionar es que se seleccionan equipos adecuados.

En la climatización general del edificio considera inyectar aire precalentado y pre filtrado a los recintos y extraerlo por depresión en pasillos, considerando además la extracción de aire de zonas como baños o sectores de trabajo sucio entre otros.

La calefacción de recintos se realiza con radiadores de acero estampado y con la inyección de aire precalentado a 20°C. En sectores específicos se cuenta con equipos Fan coils frio calor o solo calor, encargados de climatizar las zonas.

- El presente trabajo se enfocará en el sistema de inyección de aire actual del hospital.

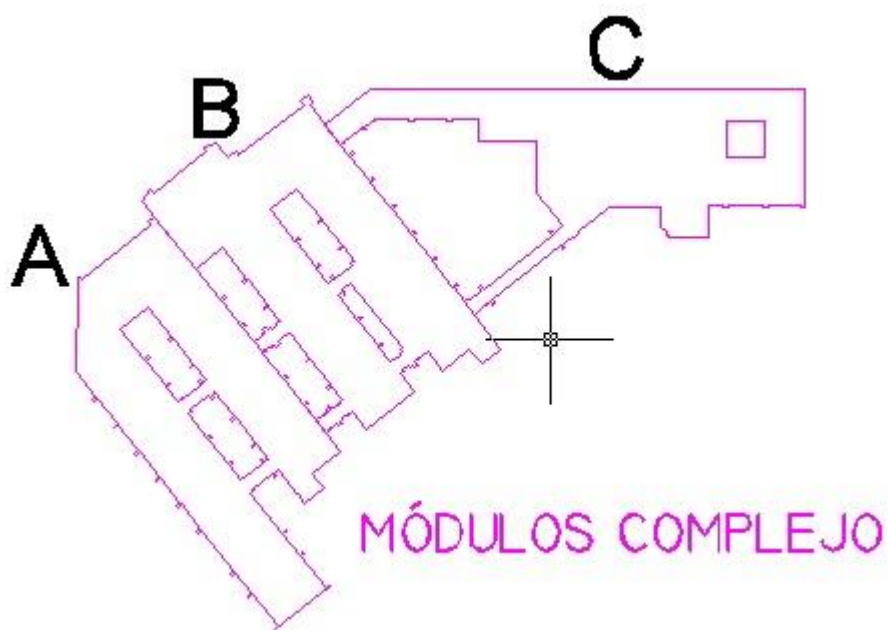
Este sistema está compuesto por 15 manejadoras de aire (UMAS), las cuales están instaladas en las techumbres de los módulos A y B , las cuales inyectan aire ( frio y/o caliente) a los recintos por ductos de zincalum (acero galvanizado) aislados con difusores de acero esmaltado.

Este sistema abastece de aire a diferentes recintos del hospital. Cada UMA está destinada a ciertos sectores del hospital, los cuales se detallan en la siguiente tabla.

<b>Numero manejadora de aire.</b>	<b>Lugar de descarga.</b>
UMA 01	Recuperación.
UMA 02-04-05-07	Pabellones 1-2-3-4.
UMA 03	Quimioterapia Infantil.
UMA 06	Pabellón 5
UMA 08	Modulo A1
UMA 09	Modulo A1
UMA 10	Modulo A2
UMA 11	Modulo A2
UMA 12	Modulo B1
UMA 13	Modulo B1
UMA 14	Modulo B2
UMA 15	Modulo B2

Tabla N°1

Bosquejo módulos.



## Funcionamiento del sistema de climatización.

El sistema en el cual se detecta el problema, en general cuenta con una máquina manejadora de aire, la cual toma aire del exterior, el cual pasa por un proceso de filtrado al interior de la máquina y es acondicionado dependiendo del requerimiento frío y/o calor, para luego ser descargado mediante una red de tubos distribuida en el edificio en el lugar asignado.

A continuación se describe e ilustra el sistema

### 1. Extracción de aire desde el exterior.



Tubo de extracción de aire, el cual se encuentra ubicado en el entretecho del edificio. Está conectado a un extractor de aire y este a su vez a la UMA. La tasa de extracción general es de 4 R/H (extracciones por hora).

## 2. Unidad manejadora de aire (UMA)



Luego de la extracción el aire ingresa a la unidad UMA donde se realiza el filtrado y el acondicionamiento para su posterior descarga.



*Obs: entradas de agua frio y caliente a la manejadora.*

La unidad manejadora de aire cuenta con 2 entradas para su funcionamiento. Una entrada para acondicionar aire para calefacción y una entrada para refrigeración. Estas 2 entradas en el interior de la máquina cuentan con un serpentín en el cual se hace circular el agua y a través de la transferencia de calor en este se acondiciona el aire.

Esta UMA está conectada mediante ductos a fuentes tanto para frío como para calor, para calor esta conecta a una pequeña central térmica equipada con 3 calderas encargadas de producir agua para calefacción y sanitaria para el hospital. Y para frío está conectada a un equipo chiller.

### 3. Sala de caldera.



Caldera tipo dual, gas y petróleo encargada de generar agua caliente para calefacción, la cual es enviada mediante bombas a las manejadoras de aire.

#### 4. Equipo chiller: encargado de generar agua para refrigeración



Es un refrigerador encargado de llevar el agua a una temperatura cercana a los 6°C, usando un líquido refrigerante, esta agua luego de ser refrigerada es enviada a las UMAS para acondicionar el aire.



## 5. Válvulas de control.



Cada válvula de frío como para calor funciona de manera independiente, cuando se activa una se apaga la otra, esta activación puede ser de manera manual o controlada desde el sistema central.

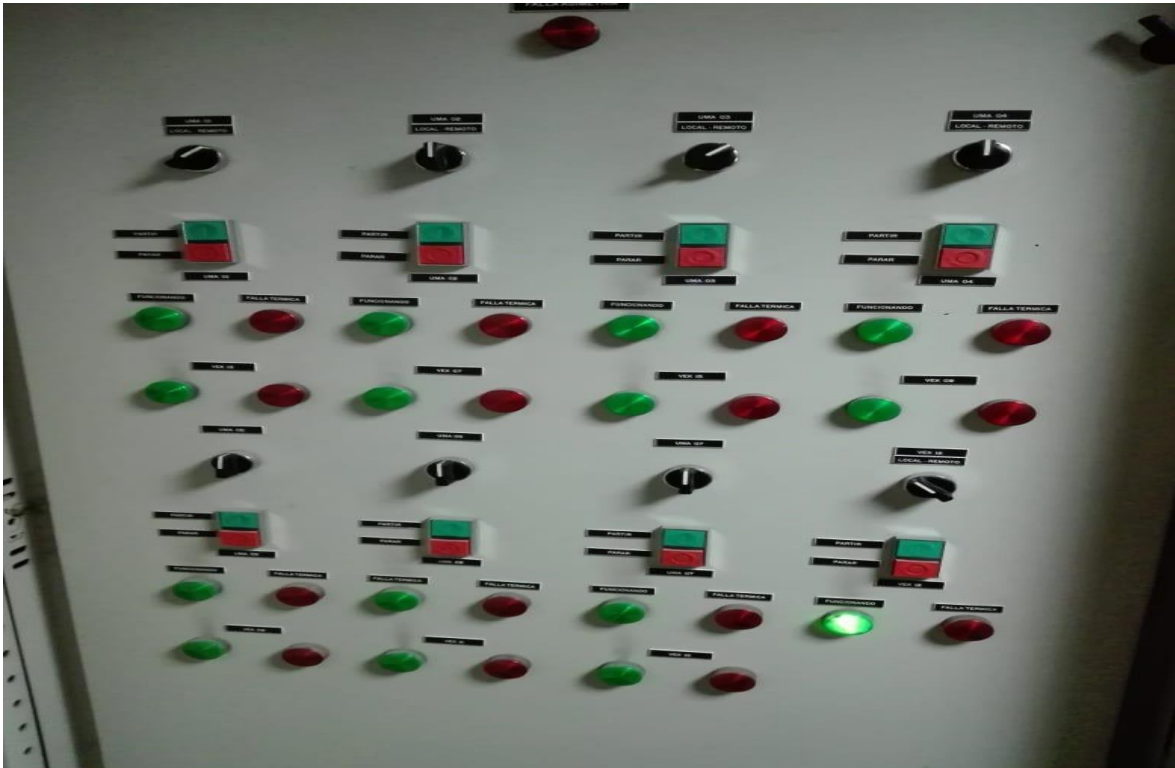
A la entrada dispone de termómetro el cual mide la temperatura de entrada tanto para frío, y caliente.

## 6. Bombas.



El agua tanto para calefacción como para refrigeración es impulsada mediante bombas de recirculación conectadas al sistema, estas bombas son instaladas en el circuito, con válvulas de corte tanto en su entrada como en su salida, para posibles reparaciones o mantenimiento.

## 7. Sistema de control manual.



- El sistema en si se puede controlar de 2 formas; manual y automáticamente. En modo automático el sistema es controlado mediante un software capaz de activar y desactivar las válvulas controladoras y maquinas, y de manera manual mediante control por tablero, en donde se activan y desactivan las maquinarias de acuerdo a los requerimientos del hospital en general.

## 8. Difusores de descarga.



Una vez el aire ya ha sido acondicionado, es descargado en el lugar requerido mediante difusores, ubicados en el techo de los espacios a acondicionar.

## Capítulo 5

### **Evaluación técnica de un sistema de climatización.**

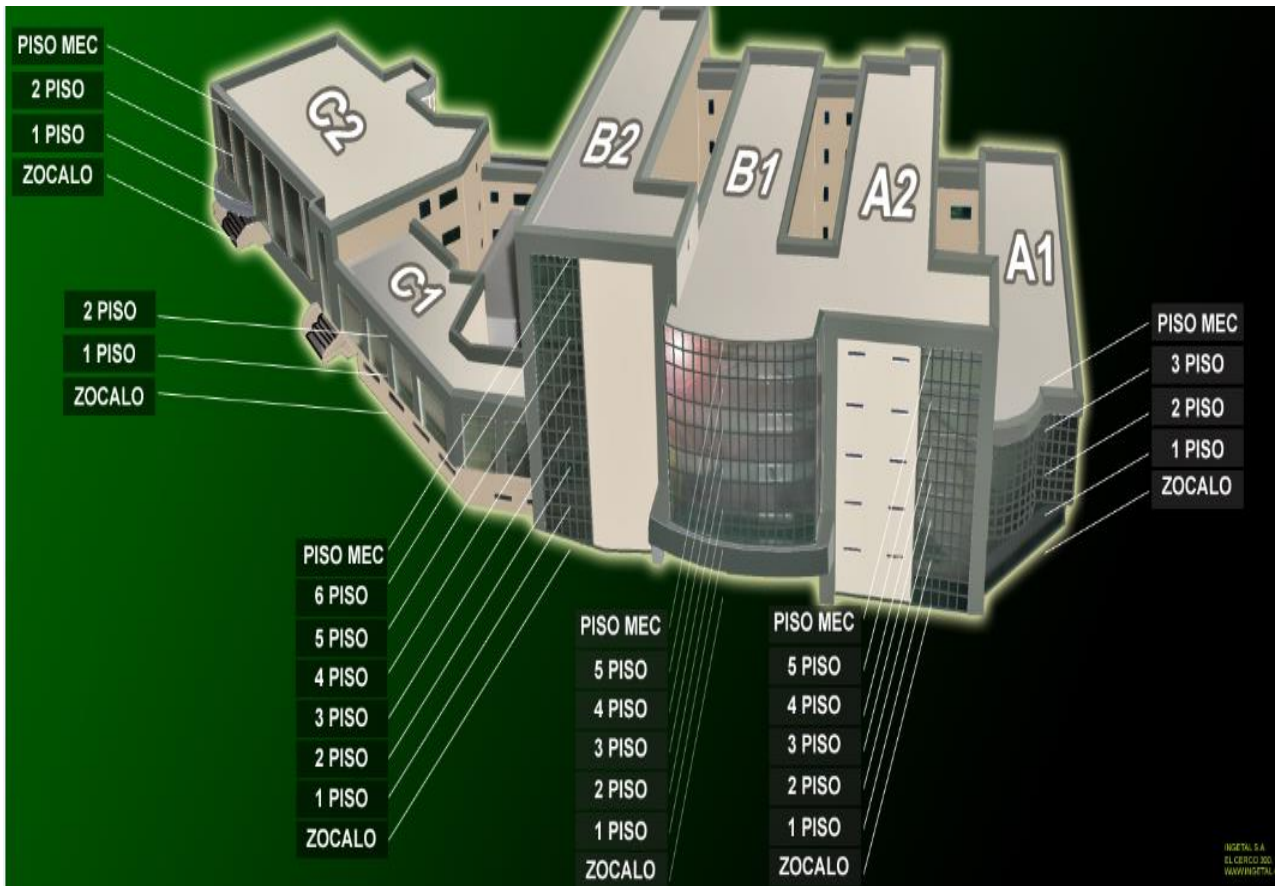
En el presente capítulo se realizará un estudio teórico de uno de los sistemas, con el fin de detectar la posible falla, que no le permite funcionar de manera correcta. Primeramente, se describirá el sistema a evaluar, se presentará de manera gráfica, para luego realizar los cálculos pertinentes.

El lugar donde se detectan estos problemas es el módulo b del edificio, por lo cual se analizará una de sus máquinas la que en el sistema tiene la enumeración 12 que se ubica en la techumbre del edificio B1 y es encargada de inyectar aire a gran parte del módulo B1.

Por lo que en el presente capítulo se darán detalles de las zonas de descarga de la UMA 12 ( ver anexo 1 ) y se presentará el sistema de manera gráfica, mediante un dibujo en 3D realizado en software INVENTOR, con el objetivo de dimensionar la magnitud del sistema de distribución de aire en el edificio, como también las distintas singularidades que componen el circuito.

Para luego en base a esta información y la entregada por el departamento de mantención del edificio se efectuará cálculos teóricos para el correcto funcionamiento de uno de los sub sistemas que componen la inyección de aire en el edificio B del hospital.

## 5.1 arquitectura del edificio.



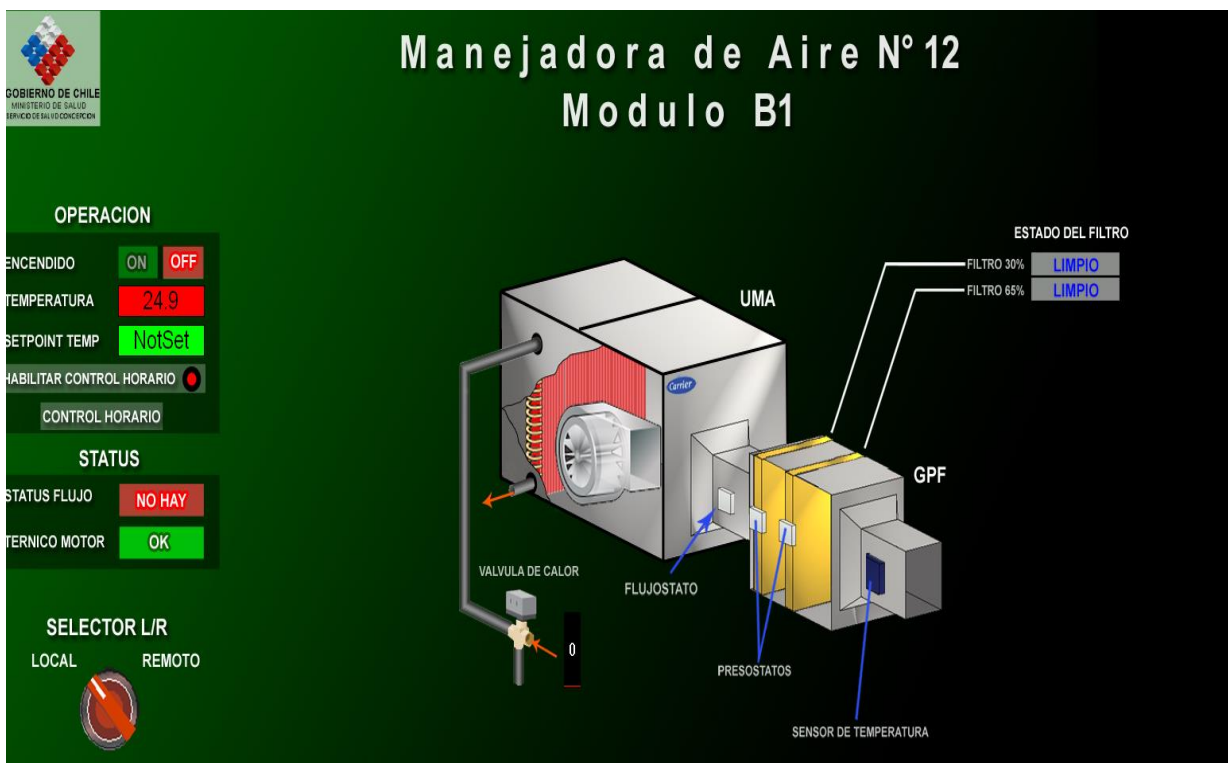
En la imagen se aprecia el edificio del hospital y su separación por módulos, cada módulo posee un piso mecánico que es donde se encuentran las máquinas manejadoras de aire que realizan la climatización del edificio, cada módulo cuenta con un número de pisos y un nivel zócalo, que hace referencia a un subterráneo.

## 5.1 Bloque B1

El lugar donde se detecta el problema es en el bloque B del edificio específicamente en el bloque B1 el cual se divide en dos partes B1.1 y B1.2 ambas partes son climatizadas por las unidades manejadoras de aire 12 y 13, la manejadora de aire número 12 es la que presenta el mayor problema (según mediciones realizadas por el departamento de mantención del hospital y respaldadas por mediciones propias, ver anexo 1.) por lo cual su funcionamiento no es el óptimo. Es por eso que la evaluación se centrara en esta máquina (UMA12).

- En el anexo 1 se muestran las zonas de descarga de aire de la manejadora número 12 y mediciones de velocidad de descarga de aire en los distintos difusores.

## 5.2 UMA 12.



En la imagen se aprecia la unidad manejadora de aire número 12, esta recibe aire directamente de un extractor el cual pasa por un intercambiador de calor, que es alimentado por el agua de la caldera en caso de que se requiera calor y por el chiller en caso de requerir agua para frío. Una vez el aire es acondicionado es descargado por el ventilador centrífugo hacia los filtros para finalmente circular por el sistema de tuberías

### 5.3 Características UMA 12

<b>Cabina manejadora 12</b>	<b>Módulo B1</b>
Tipo	Horizontal
Caudal total	6500 (m <sup>3</sup> /h)
Presión estática	70 mm.c.a
Alimentación	380 V, 50 HZ ,3F
Potencia calefacción	3500 Kcal/h
Filtros	Desechable 30%- de bolsa 66%

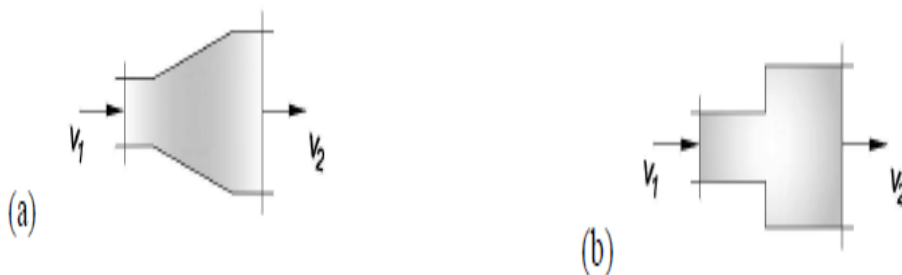


## 5.4 Análisis ductos de distribución

### Estudio del comportamiento del fluido.

Para estudiar el comportamiento de un fluido en escurrimiento, es necesario efectuar una clasificación previa de éstos, que permita adecuar los términos de las ecuaciones de conservación de masa, energía y cantidad de movimiento al caso a estudiar.

- Para este caso en particular el fluido que circula es aire, y este presenta variación en su velocidad y cambios de dirección en su línea de corriente, por lo que se clasifica como un **escurrimiento variado**.



- Atendiendo al tiempo se tiene un régimen permanente mientras el equipo este en operación, ya que las propiedades permanecen invariables en el tiempo.
- Atendiendo al contorno se dice que es un escurrimiento de contorno cerrado debido a que el fluido circula por una tubería, por lo tanto, el peso del fluido se desprecia y la fuerza de campo es la inercia.

## Diámetro equivalente (Deq).

Los ductos utilizados en la conducción de aire pueden ser circulares o rectangulares, debido a que en la mayoría de las tablas y expresiones se dan para conductos circulares, resulta muy útil el concepto de diámetro equivalente, el cual establece un diámetro promedio para un conducto rectangular mediante la siguiente ecuación:

$$Deq = 1.3 \frac{(H*W)^{0,625}}{(H+W)^{0,25}} \quad [5.1]$$

Donde H es la altura del conducto y W es la anchura.

[5.1] Diámetro equivalente Allen-Walker-James, 1956

- Atendiendo a la viscosidad, es un **fluido real** ya que existe una fricción intermolecular con la superficie de la cañería que lo conduce. De acuerdo a esta condición el fluido real puede ser de 2 tipos, flujo laminar o flujo turbulento. Esta clasificación se basa en el criterio del número de Reynolds y se define como:

$$Re = \frac{\text{fuerzadeinercia}}{\text{fuerzaviscosas}} = \frac{v \times Deq}{V} \quad [5.2]$$

$v$ : velocidad de escurrimiento  $\left(\frac{m}{s}\right)$

$Deq$ : diámetro equivalente (m)

$V$ : viscosidad cinemática  $1.52 \times 10^{-5} \left(\frac{m^2}{s}\right)$ .

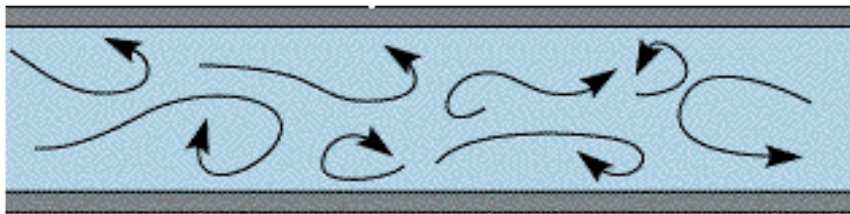
[5.2] número de Reynolds, STREETER VICTOR L. 1999

## Límites de Reynolds

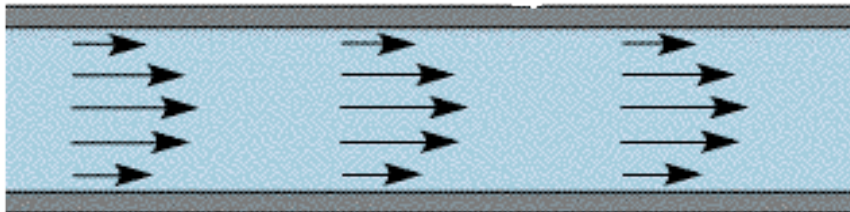
Escurecimiento por interior de cañerías

- Régimen laminar  $Re < 2300$
- Régimen turbulento  $Re > 3000$
- Régimen transición  $2300 < Re < 3000$

Flujo Turbulento



Flujo Laminar



## Ecuación de conservación de la materia.

Para el circuito se cumple la ecuación de la conservación de la materia que establece que:

El flujo de masa que entra = Al flujo que sale + la variación de la masa del elemento en el tiempo.

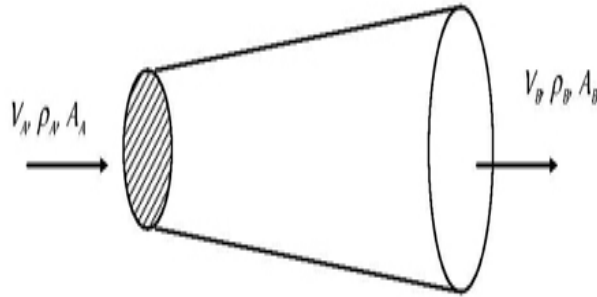


Figura 1.4 Volumen de control para demostrar la ecuación de continuidad.

### En relación a caudal

- Tomando densidad constante del aire.

$$Q = v * A$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

[5.3] ecuación de la continuidad.

## Ecuación de Bernoulli

Para saber cuáles deberían ser las velocidades de descarga de aire en los distintos pisos del edificio, debemos aplicar la ecuación de Bernoulli para distintos puntos del circuito de descarga de la máquina.

Para esto debemos considerar además los siguientes aspectos que son claves para un correcto cálculo.

- Distribución de velocidades en la sección de flujo bajo régimen laminar o turbulento. Ec [5.1]
- La fricción asociada a la diferencia de velocidades entre moléculas de fluido y de fluido con la pared.
- La pérdida de energía de la corriente del fluido a lo largo del escurrimiento.

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + g \cdot z = cte \quad \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \quad \text{Ecuación de Bernoulli}$$

o bien,

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + z = cte \quad [m] \quad \text{Ecuación de Bernoulli}$$

[5.4] Ecuación de Bernoulli, apunte dinámica de fluidos profesor Reinaldo Sánchez Arriagada.

## Pérdidas de carga

Son las pérdidas de energía que experimenta el fluido durante su escurrimiento causado por:

- El roce entre moléculas del fluido por efecto de los gradientes internos de velocidad
- Roce del fluido con la pared de la tubería por efecto de la rugosidad superficial.
- Cambios en la dirección de las líneas de corriente, torbellinos, contracción y expansión, singularidades en general de la corriente del fluido que impactan a las líneas de corriente.

Para el circuito de descarga de aire existen 2 tipos de pérdidas de carga estas son:

- **Pérdidas regulares:** se producen en tuberías rectas de sección constante debido al roce entre moléculas de fluido y roce del fluido con la pared.

$$\Delta_{regular} = f \cdot \frac{L}{d_0} \cdot \frac{v_{media}^2}{2g}$$

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{para régimen laminar}$$

[5.5]

[5.5] pérdidas regulares y factor de fricción en régimen laminar, apunte dinámica de fluidos.

A estas ecuaciones se le agrega un factor de rugosidad, que depende del material y esta tabulado. Para luego ingresar con estos datos al ábaco de Moddy.

$$f = f\left(\text{Re}; \frac{\varepsilon}{d}\right)$$

O también se puede usar alguna de las siguientes fórmulas.

Ecuaciones para determinar el factor de fricción:

Flujo en tuberías lisas  $\frac{1}{\sqrt{f}} = 0.86 \cdot \ln(\text{Re} \cdot \sqrt{f}) - 0.8$

Turbulencia completa  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \cdot \ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7 \cdot d}\right)$

Zona Turbulenta  $\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.86 \cdot \ln\left(\frac{\varepsilon}{3.7 \cdot d} + \frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{f}}\right)$  [5.6]

[5.6] Ecuación factor de fricción, apunte dinámica de fluido.

- Esta ecuación depende de la espereza ( $\varepsilon$ ) la cual obtenemos de la siguiente tabla para fierro galvanizado nuevo.

Condición	$\varepsilon$		Incertidumbre, %
	ft	mm	
Lámina metálica, nueva	0,00016	0,05	±60
Inoxidable	0,000007	0,02	±50
Comercial, nuevo	0,00015	0,046	±30
Estriado	0,01	3,0	±70
Oxidado	0,007	2,0	±50
Fundido, nuevo	0,00085	0,26	±50
Forjado, nuevo	0,00015	0,046	±20
Galvanizado, nuevo	0,0005	0,15	±40
Fundido asfáltico	0,0004	0,12	±50
Laminado	0,000007	0,002	±50
Tubo laminado	0,000005	0,0015	±60
—	Liso	Liso	
Liso	0,00013	0,04	±60
Rugoso	0,007	2,0	±50
Liso	0,000033	0,01	±60
En duelas	0,0016	0,5	±40

$$\varepsilon = 0,00015 \text{ m}$$

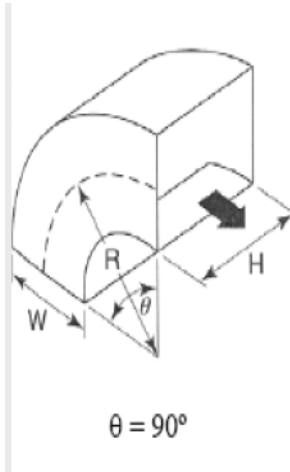
- **Perdidas singulares:** se generan en accesorios dispuestos en las tuberías esto es, válvulas, codos, reducciones, contracciones, uniones y todo elemento que modifique o altere la trayectoria de una línea de corriente. Esta dada por la siguiente ecuación:

$$\Delta_{singular} = K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (m) \quad [5.7]$$

[5.7] Ecuación pérdidas singulares, apunte dinámica de fluidos.

Donde el valor de k depende del tipo de accesorio y su valor, en la mayoría de los casos, se determina de forma experimental.

Para el presente trabajo se consideraran:



r/W	H/W										
	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	3	4	5	6	8
0,5	1,5	1,40	1,30	1,20	1,10	1,10	0,98	0,92	0,89	0,85	0,83
0,75	0,57	0,52	0,48	0,44	0,40	0,39	0,39	0,40	0,42	0,43	0,44
1	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,18	0,19	0,20	0,27	0,21
1,5	0,22	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17
2	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,15	0,15

[5.8]

[5.8] Tabla coeficiente de pérdidas en accesorios, codos.



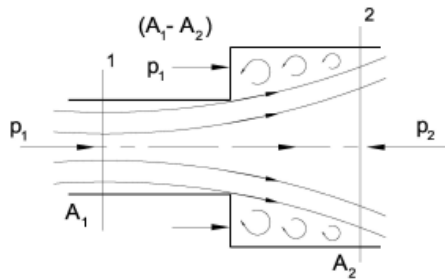
**Tabla 6.5.** Coeficientes de pérdida  $K = h_m/[V^2/(2g)]$  para válvulas abiertas, codos y «tes».

	Diámetro nominal, in									
	Roscado					Acoplado				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20	
<b>Válvulas (abiertas):</b>										
Globo	14	8,2	6,9	5,7	13	8,5	6,0	5,8	5,5	
Compuerta	0,30	0,24	0,16	0,11	0,80	0,35	0,16	0,07	0,03	
De retención	5,1	2,9	2,1	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
De ángulo	9,0	4,7	2,0	1,0	4,5	2,4	2,0	2,0	2,0	
<b>Codos:</b>										
45° normal	0,39	0,32	0,30	0,29						
45° suave					0,21	0,20	0,19	0,16	0,14	
90° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,50	0,39	0,30	0,26	0,21	
90° suave	1,0	0,72	0,41	0,23	0,40	0,30	0,19	0,15	0,10	
180° normal	2,0	1,5	0,95	0,64	0,41	0,35	0,30	0,25	0,20	
180° suave					0,40	0,30	0,21	0,15	0,10	
<b>«Tes»:</b>										
Flujo directo	0,90	0,90	0,90	0,90	0,24	0,19	0,14	0,10	0,07	
Flujo lateral	2,4	1,8	1,4	1,1	1,0	0,80	0,64	0,58	0,41	

[5.9] tabla coeficiente K para distintos accesorios.

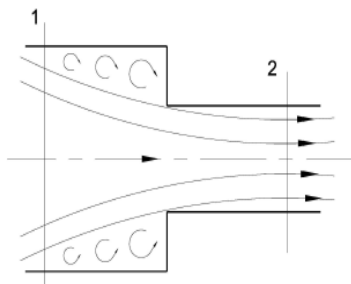
**Para expansión y contracción brusca.**

**Expansión brusca.**



$$K_{\text{singular}} = \left( \frac{A_1}{A_2} - 1 \right)^2$$

**Contracción brusca.**



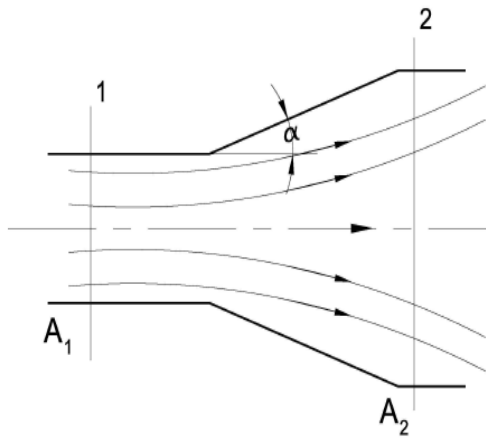
$$K_{\text{singular}} = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 - \frac{A_2}{A_1} \right)^2$$

[6.0] valor de K forma analítica para expansión y contracción brusca, apunte dinámica de fluidos..

**Difusor forma analítica.**

**Difusor**

S



$$K_{\text{singular}} = K' \cdot \left( \frac{A_1}{A_2} - 1 \right)^2$$

Válida sólo para

$$\alpha \text{ de } 5^\circ \text{ a } 20^\circ \begin{cases} K' = 3.2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sqrt[4]{\operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \\ K' = \operatorname{sen}(\alpha) \quad \text{Fligner} \end{cases}$$

[6.1] valor K en un difusor, apunte de dinámica de fluidos.

## Presión dentro de los conductos.

Dentro de los conductos que transportan el fluido, actúan 2 tipos de presiones que definiremos a continuación:

Presión Estática ( $P_e$ ): es la fuerza por unidad de superficie ejercida por un fluido sobre las paredes del conducto, y esta es medida mediante instrumentos cercanos a la pared de los conductos.

Presión dinámica ( $P_d$ ): corresponde a la velocidad del fluido, en el interior del ducto y se define como:

$$P_d = \frac{\rho v^2}{2}$$

Donde:

$\rho$ : es la densidad

$v$ : Velocidad

**Presión total:**  $P = p_d + p_e$

- Debido a que el cálculo se realizara a partir de la velocidad de descarga teórica del fluido en las distintas áreas del hospital y esta descarga se hará a presión atmosférica 101.3 Pa es que se considerara que la presión cercana a la salida de los ductos (difusores) es levemente mayor a la presión de descarga. Para efectos de cálculo se considerará una presión constante, tanto en la descarga como en los ductos en sí, debido a que la variación de presión se ve reflejada en los cambios de velocidad y esta a su vez varia al experimentar un cambio de área. Por lo que para cálculos en la ecuación de Bernoulli se considerara que:

$$P_1 = P_2$$

## Capítulo 6

### 6.1 Cálculos para cumplir las necesidades del hospital de acuerdo a la norma.

En el presente capítulo se realizarán cálculos para el correcto funcionamiento de la UMA 12 la cual de acuerdo a las mediciones realizadas por el departamento de mantención del hospital y respaldadas con mediciones realizadas en los distintos lugares de descarga de aire (ver anexo 1) es la que presenta mayores problemas al medir la velocidad de descarga de aire en los distintos puntos donde se efectúan estas descargas.

Según la norma española UNE 100713 establece que como mínimo, el caudal de aire impulsado contenga la cantidad de aire exterior que se indica en la tabla de descarga de aire en distintas zonas del hospital (ver anexo2 ), en base a estos caudales de descarga se establecerán medidas teóricas de velocidades en la descarga de los difusores para luego mediante la ecuación de bernoulli calcular la velocidad que debería circular dentro de los conductos, considerando los distintos cambios de área en las secciones que afectan a la velocidad

Partiendo de la base que establece que en un fluido que circula por el interior de una cañería el cambio de presión es inversamente proporcional al cambio de velocidad, es decir cuando existe un aumento en la velocidad se establece una disminución de la presión dentro del ducto, por lo cual se considera para efecto del cálculo, que la presión tanto en la entrada de un flujo en un ducto se mantendrá constante hasta la descarga de este , debido a que el cambio se ve reflejado principalmente en la variación de la velocidad la cual es afectada por el cambio en el área dentro de las secciones.

### Dibujo máquina y ductos en inventor.

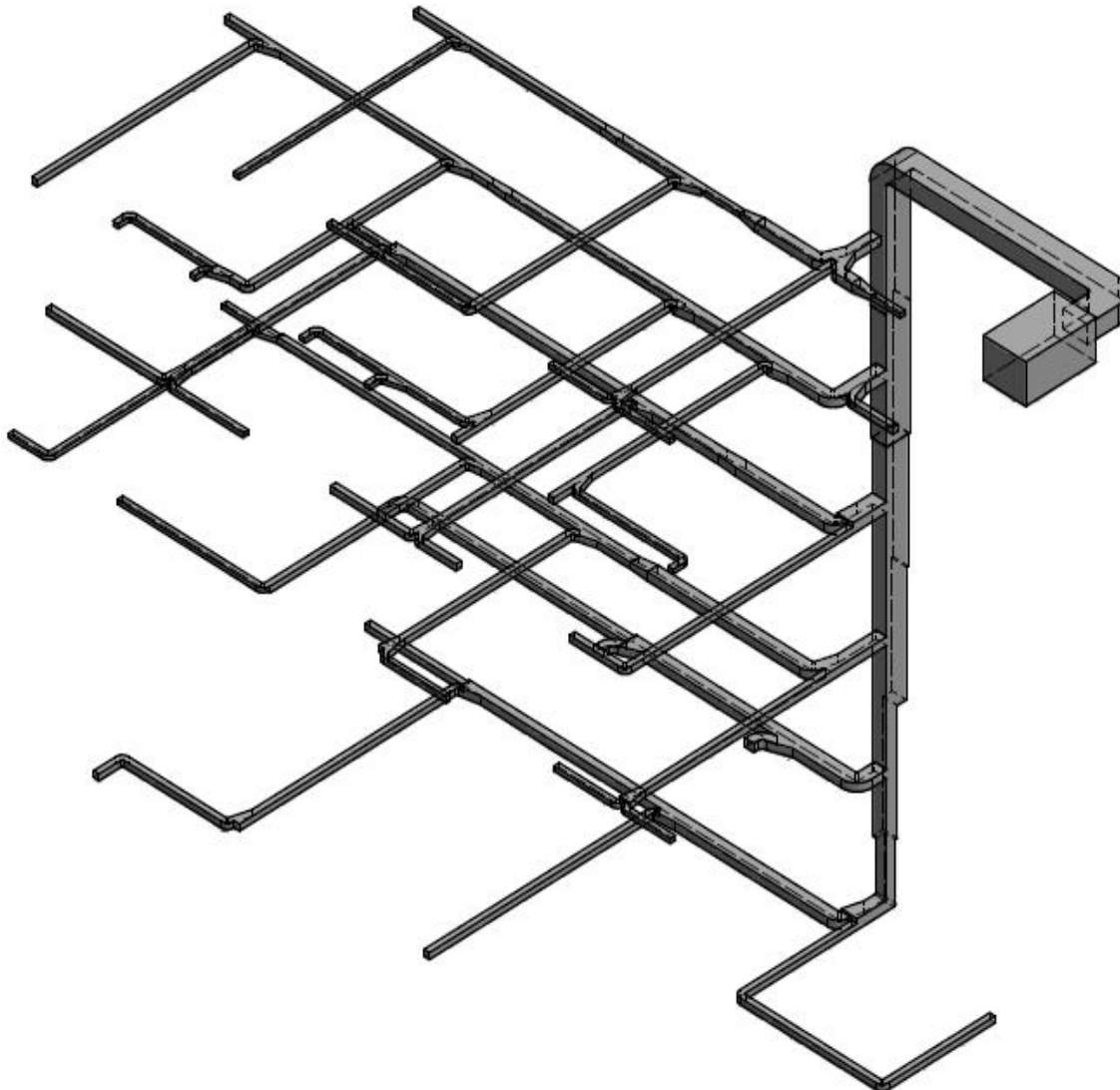
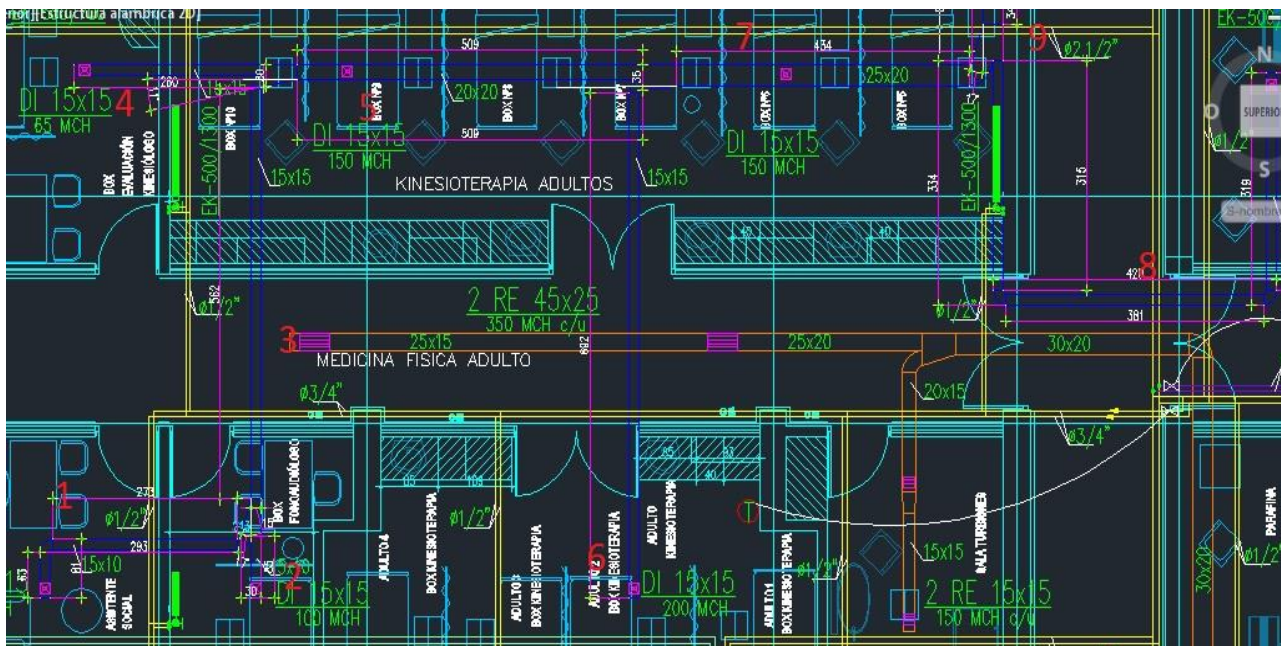


Figura 1.

Obs : dibujo realizado en el software inventor, basándose en los planos entregados por el departamento de mantención del hospital, en autocad.

- El sistema de descarga de aire de la UMA 12 es el que se muestra en la figura, en ella vemos un tubo de descarga central y 6 ramificaciones que corresponden a cada uno de los pisos del hospital, que se distribuyen a través de las distintas áreas a acondicionar, las cuales serán analizadas piso por piso con el fin de descubrir el caudal de descarga necesario para cumplir con los requerimientos de la norma.

## Zócalo.



**Obs:** ramificación en azul corresponde a la distribución de ductos a partir del ducto principal en la parte superior derecha de la imagen que tiene dimensiones de 30x25 cm. Se establecen tramos para calculo desde el numero 1 al 9 como se muestra en la imagen. (Ver plano de ductos de distribución del zócalo en Anexo 3)

## 6.2 Ejemplo decálculo.

- Considerando un box de atención el cual es menor complejo en el área de kinesiología y fonoaudiología es que según la norma el caudal mínimo de aire exterior es de  $Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right)$  que debe ser mayor o igual al caudal expulsado en la descarga de aire.
- Considerando la primera descarga en el box de asistente social es que, se calculara el área de este box para encontrar el caudal requerido, tomando los datos del plano de AutoCad del hospital, específicamente del plano piso zócalo edificio A-B.

### Datos

$$Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right)$$

$A_1 = 4.25 \times 2.58 = 10.96 \text{ m}^2$  Área correspondiente al Box de atención del asistente social.

$A_2 = 0.15 \times 0.15 = 0,0225 \text{ m}^2$  Área de descarga del difusor 1 de descarga.

✓ Ahora calculamos el caudal necesario para acondicionar el área.

$$Q = 10 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{h}} \right) \times 10.96 \text{ m}^2 = 109.6 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Calculamos la velocidad de descarga a partir de [5.3]

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{109.6}{0,025} = 4384 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} \frac{1\text{h}}{3600(\text{s})} = 1.2 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Tenemos que la velocidad deseada de descarga en el difusor sea 1.2 (m/s).

Ahora aplicamos la ecuación de Bernoulli considerando presión constante, tenemos.

Aplicando ecuación [5.4]

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta_{perdidas}$$

- Considerando  $p_1 = p_2$  y que  $z_1 = z_2 = 0$ , tenemos:

$$\frac{v_1^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} + \Delta_{perdidas}$$

Con la  $v_2 = 1.2 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$

$\frac{v_2^2}{2g} = \frac{1.2^2}{19.6} = 0.073 \text{ (m)}$ ; la ecuación queda.

$$\frac{v_1^2}{2g} = 0.073 + \Delta_{perdidas}$$

Las  $\Delta_{perdidas}$  se dividen en pérdidas regulares más singulares singulares.

- Pérdidas regulares: primeramente, calcularemos el diámetro equivalente de la sección, para luego con este calcular el número de Reynold, para posteriormente calcular el factor de fricción y aplicar la ecuación [5.5]

Aplicando la ecuación [5.1] para una sección rectangular de 15 cm de ancho y 10 cm de alto tenemos:

$$Deq = 1.3 \frac{(0.15 * 0.1)^{0,625}}{(0.15 + 0.1)^{0,25}} = 0.13 \text{ m}$$

Con un diámetro equivalente (Deq) de 0.13 m aplicamos la ecuación de Reynold [5.2] para saber si nos encontramos en un régimen laminar o turbulento.

$$Re = \frac{vxDeq}{V} = \frac{1.2 \left(\frac{m}{s}\right) x 0.13(m)}{1,52 * 10^{-5} \left(\frac{m^2}{s}\right)} = 10263.1 > 3000$$

- Régimen turbulento.

Con  $V = \text{viscosidad cinematica del airea } 20^{\circ}C$

Por lo que nos encontramos en régimen turbulento, por lo tanto, calculamos el factor de fricción  $f$  con la ecuación [5.6] para zona turbulenta:

$$f = 0.023$$

Por lo que el valor de las pérdidas regulares se encuentra aplicando la ecuación [5.5].

$$\Delta_{regulares} = f \frac{L}{Deq} \frac{v_2^2}{2g} = 0.023 \frac{3.36 \text{ m}}{0,13\text{m}} * 0.073 = 0.0434 \text{ m}$$

- Ahora buscaremos las pérdidas singulares para el tramo que tiene 2 codos.

Primero se buscará el valor de  $K$  para 2 codos con la tabla [5.8], considerando  $W$  como el alto del codo,  $H$  como el ancho y  $R$  el radio del codo. El valor se aproximó al más cercano en la tabla.

$$\frac{H}{W} = \frac{10}{15} = 0.66 \cong 0.75$$

$$\frac{R}{w} = \frac{19}{15} = 1.2 \cong 1.5$$



Con esto valores buscamos K en la tabla [5.8]

Tenemos  $k=0.19$

Ahora aplicamos la ecuación [5.7] para pérdidas de carga singulares considerando que en el tramo calculado tenemos 2 codos por lo tanto multiplicamos el valor de k por el número de codos tenemos:

$$\Delta_{\text{singulares}} = k \frac{v_2^2}{2g} = 0.38 * 0.073 = 0.027 \text{ m}$$

Finalmente reemplazamos estos valores en la ecuación de Bernoulli:

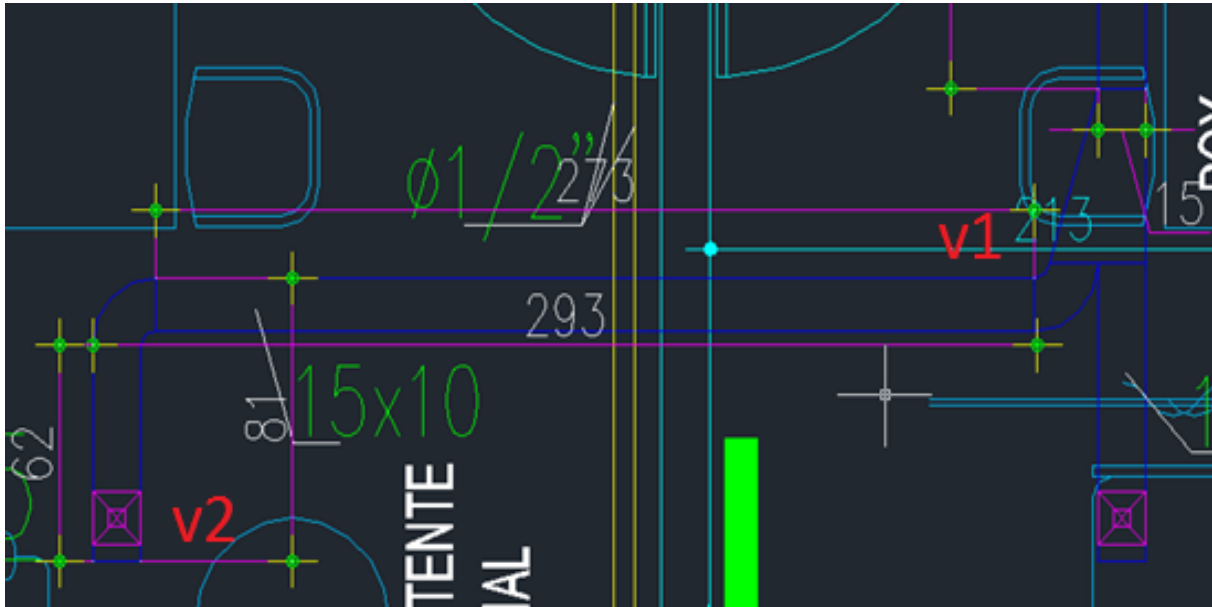
$$\frac{v_1^2}{2g} = 0.073 + \Delta_{\text{perdidas}}$$

$$\frac{v_1^2}{2g} = 0.073 + 0.0434 + 0.027$$

Despejando  $v_1$  optemos:

$$v_1 = 1.7 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Este valor representa la velocidad a la entrada del primer codo, como se aprecia en la imagen, lo cual es un valor aceptable ya que la velocidad baja de 1.7 a 1.2 debido a la pérdida de carga que se produce por fricción en la superficie ( pérdida regular) mas la pérdida de carga en los codos (pérdida singular) .



Luego de esto tomamos a  $v_1$  calculado recientemente como  $v_2$  para calcular el siguiente tramo considerando las pérdidas de carga regulares y singulares que hayan durante el tramo, así avanzando hasta el primer tramo de descarga el cual viene de la rama principal del sistema ( ver figura 1).

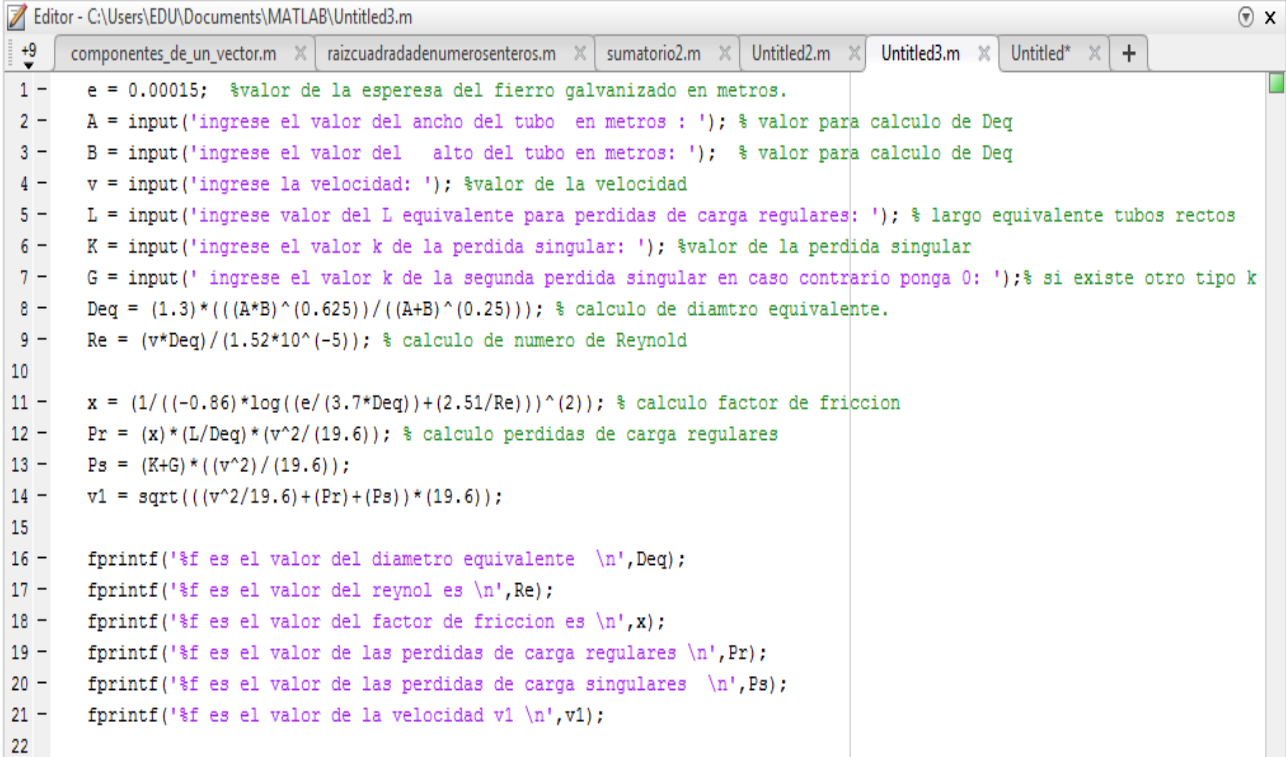
Para así averiguar la velocidad requerida del aire en ese punto para que las descargas en las zonas que se desean sean las requeridas de acuerdo a la norma.

Así encontramos el caudal necesario para cada ramificación (para este caso 6 ramificaciones) y considerando la disminución de las áreas en la rama principal que aumenta la velocidad de descarga en cada piso, encontramos el caudal necesario que debería descargarse para que se cumpla con los requerimientos en cada zona de descarga en los diferentes pisos del hospital.

### 6.3 Programación ecuaciones en Matlab.

Debido a que las ecuaciones y los tramos a calcular son muchos, y en cada tramo varía la velocidad de circulación del aire en el interior del ducto como también el área del ducto y por ende su diámetro equivalente, por lo cual varía su número de Reynold, su régimen laminar o turbulento, es que se programaron las ecuaciones más engorrosas en el software Matlab para facilitar los cálculos.

La programación tiene el siguiente código:



```

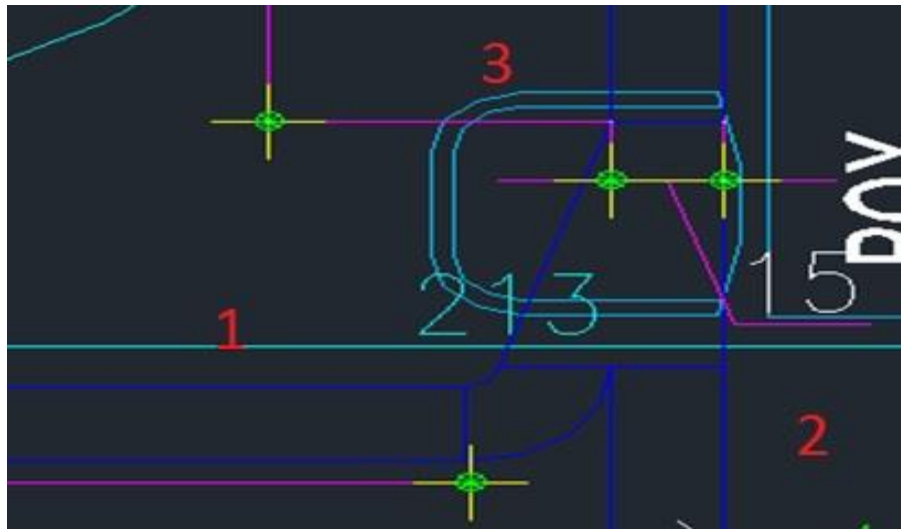
Editor - C:\Users\EDU\Documents\MATLAB\Untitled3.m
componentes_de_un_vector.m x raizcuadradadenumerosenteros.m x sumatorio2.m x Untitled2.m x Untitled3.m x Untitled* x +
1 - e = 0.00015; %valor de la espesura del fierro galvanizado en metros.
2 - A = input('ingrese el valor del ancho del tubo en metros: '); % valor para calculo de Deq
3 - B = input('ingrese el valor del alto del tubo en metros: '); % valor para calculo de Deq
4 - v = input('ingrese la velocidad: '); %valor de la velocidad
5 - L = input('ingrese valor del L equivalente para perdidas de carga regulares: '); % largo equivalente tubos rectos
6 - K = input('ingrese el valor k de la perdida singular: '); %valor de la perdida singular
7 - G = input(' ingrese el valor k de la segunda perdida singular en caso contrario ponga 0: '); % si existe otro tipo k
8 - Deq = (1.3)*(((A*B)^(0.625))/((A+B)^(0.25))); % calculo de diametro equivalente.
9 - Re = (v*Deq)/(1.52*10^(-5)); % calculo de numero de Reynold
10
11 - x = (1/((-0.86)*log((e/(3.7*Deq))+2.51/Re)))^(2); % calculo factor de friccion
12 - Pr = (x)*(L/Deq)*(v^2/(19.6)); % calculo perdidas de carga regulares
13 - Ps = (K+G)*(v^2)/(19.6);
14 - v1 = sqrt(((v^2/19.6)+(Pr)+(Ps))*(19.6));
15
16 - fprintf('%f es el valor del diametro equivalente \n',Deq);
17 - fprintf('%f es el valor del reynol es \n',Re);
18 - fprintf('%f es el valor del factor de friccion es \n',x);
19 - fprintf('%f es el valor de las perdidas de carga regulares \n',Pr);
20 - fprintf('%f es el valor de las perdidas de carga singulares \n',Ps);
21 - fprintf('%f es el valor de la velocidad v1 \n',v1);
22

```

Este programa entrega los valores del diámetro equivalente, el número de Reynold , el factor de fricción ( cuando es régimen turbulento) , las pérdidas de carga regulares, las pérdidas de carga singulares ( ingresando el valor de k) y la velocidad V1 inicial del tramo.

Con el objetivo de agilizar los cálculos se mostrarán resultados de los diferentes tramos en una tabla y se mostrarán también el método de cálculo de coeficiente K con un ejemplo de cada singularidad nueva que aparezca.

## 6.4 Calculo en difusores Ejemplo, para cálculo de tramo 3



- Para este tipo de accesorios se considerará el siguiente cálculo.
- Sabiendo en este caso en particular la velocidad ( $v_1$ ) y la velocidad ( $v_2$ ), como también las áreas en cada tubo se calculará el caudal resultante de la siguiente manera.

### Datos

Usando la ecuación de continuidad [5.3]

$$v_1 = 1.7 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$v_2 = 1.2 \left( \frac{m}{s} \right)$$

$$A_1 = (0.15 * 0.1) = 0.015 \text{ m}^2$$

$$A_1 = A_2$$

$$Q_1 = v_1 * A_1 = 1.7 * 0.015 = 0.0255 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$$Q_2 = v_2 * A_2 = 1.2 * 0.015 = 0.018 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = 0.0225 + 0.018 = 0.0405 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

Ahora con el caudal en 3 y el área en 3 se obtendrá la velocidad a la entrada del difusor, la cual se usará para posteriores cálculos.

$$A_3 = 0.15 * 0.15 = 0.0225 \text{ m}^2$$

$$v_3 = \frac{Q_3}{A_3} = \frac{0.0405 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right)}{0.0225 \text{ m}^2} = 1.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)$$

Esta velocidad se considera a la entrada del difusor, y el tramo siguiente para el cálculo de la velocidad se considera la pérdida de carga singular que genera el difusor calculando su coeficiente K con la ecuación [6.1].

$$K_{singular} = K' \left( \frac{A_1}{A_2} - 1 \right)^2 = 0.96 \left( \frac{0.15 * 0.15}{0.3 * 0.1} - 1 \right)^2 = 0.6$$

$$K' = \text{sen}(17) = 0.96$$

Por lo que este valor de  $K_{singular} = 0.6$  se ingresara en el programa para cálculos, en los siguientes tramos.

## 6.5 Zócalo

Tabla cálculo de velocidades en piso zócalo.

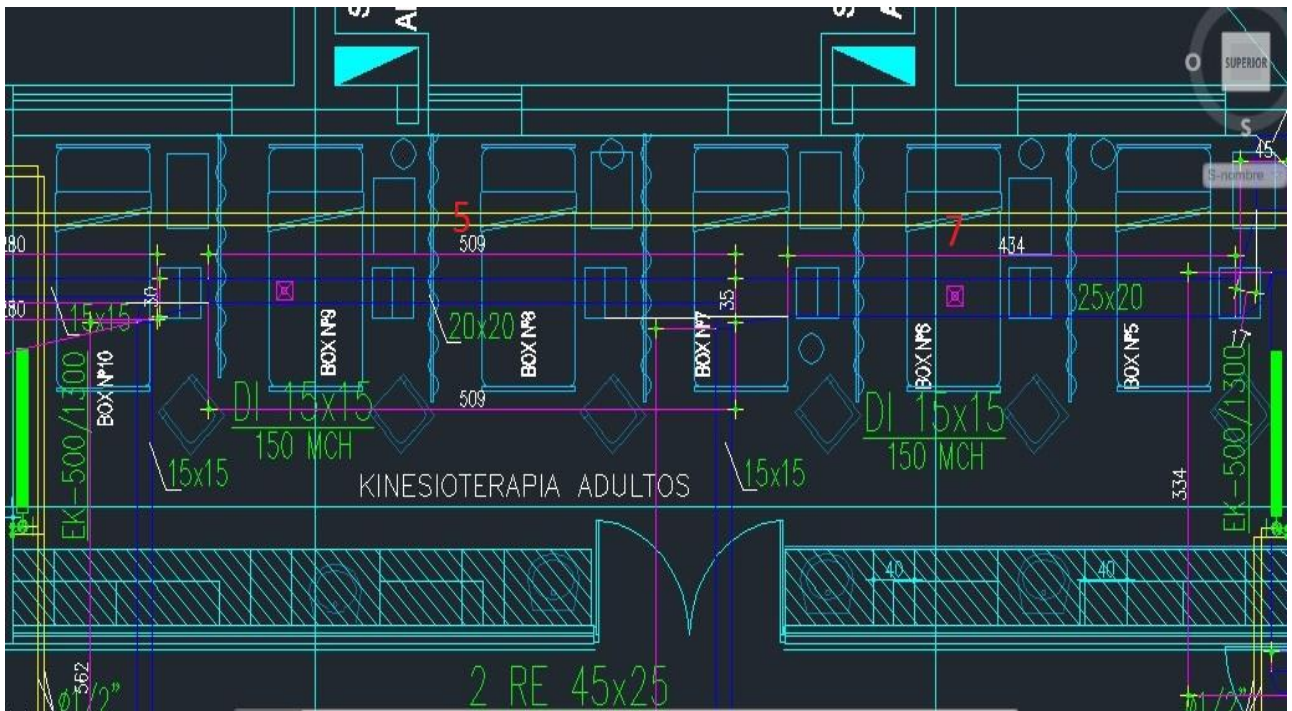
Tramo	Diámetro equivalente (Deq)	N° de Reynold (Re)	Factor de fricción	Perdidas regulares	Perdidas singulares	V2 Salida (m/s)	V1 Entrada (m/s)
<b>1</b>	0.133	10516	0.0239	0.0445	0.0279	1.2	1.7
<b>2</b>	0.133	10516	0.0239	0.0112	0	1.2	1.3
<b>3(s-d)</b>	0.163	19418	0.0217	0.1232	0.1901	1.8	3.1
<b>4</b>	0.163	12945	0.0226	0.0284	0	1.2	1.4
<b>5 (s-d)</b>	0.21	92199	0.0189	0.9228	0	6.41	7.6
<b>6</b>	0.163	40993	0.0206	0.6432	0.139	3.8	5.4
<b>7 (s-d)</b>	0.266	14547	0.0179	1.0268	0.632	8.3	10
<b>8</b>	0.163	14024	0.0224	0.1174	0.0327	1.3	2.2
<b>9(s-d)</b>	0.299	16920	0.0174	0.1299	0.1132	8.66	<b>8.8</b>

*Nota: con s-d, indica un tramo con salida de difusor a otra ramificación, por lo que antes de entrar a este existe un caudal mayor que se ramifica hacia 2 partes debido a esto se experimenta un aumento en la velocidad de salida (ver plano Azocalo en nexo 3 donde se indica cada tramo calculado).*

- Vemos que la velocidad que se necesita a la entrada de la ramificación que acondiciona el zócalo del edificio, para que se cumplan los requerimientos, en base a la norma, es de  $v_{total} = 8.8 \left(\frac{m}{s}\right)$  en un área de  $A_{principal} = 0.075 m^2$  que corresponde al área a la entrada del ducto de ramificación hacia el zócalo lo cual entrega un caudal de  $Q_{totalaentrada} = 2376 \left(\frac{m^3}{h}\right)$

## Ejemplos de cálculos extras en ramificaciones, para zócalo del edificio.

### Observación tramo 5 y 7



- Vemos que en el tubo recto hay dos descargas de aire y se experimenta un aumento en el área de cobertura ya que es una sala común con 6 box separados por cortinas para atención a pacientes en el área de kinesioterapia por lo tanto se debe calcular el caudal necesario para esa área y la velocidad de descarga nuevamente. Considerando el caudal requerido por la norma.

Considerando el área del box:

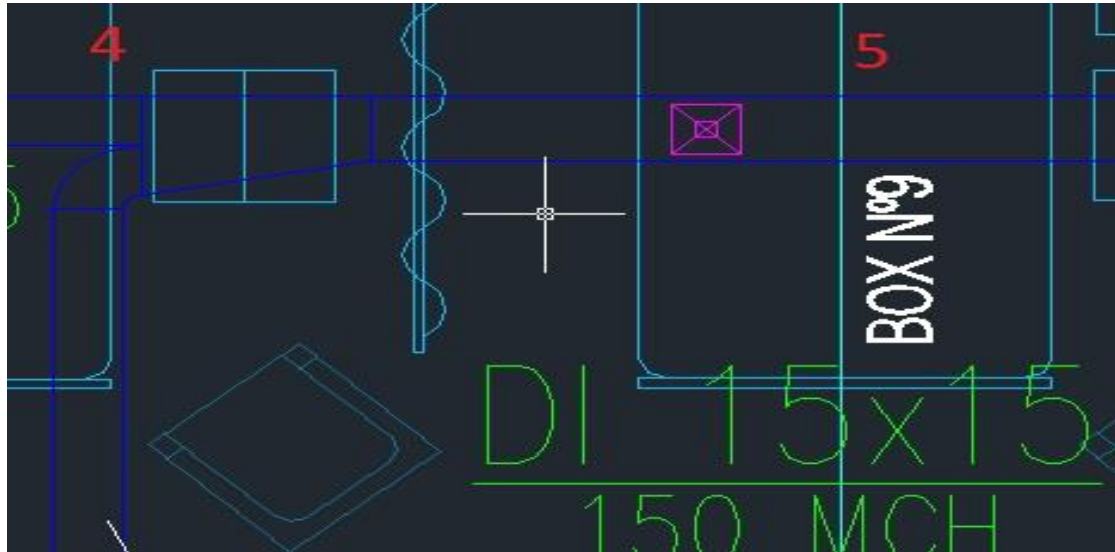
$$A_2 = 4.42 \times 12.56 = 55.5 \text{ m}^2$$

$$Q = 10 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{h}} \right) \times 55.5 \text{ m}^2 = 555.152 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Ahora calculamos la velocidad en los difusores de descargas.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{555.152}{0,025} = 24673.4 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} \frac{1\text{h}}{3600(\text{s})} = 6.8 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

- Para esa zona se considera una velocidad de descarga de 6.8 (m/s) la cual se divide en 2 difusores, por lo que cada difusor debería descargar aire acondicionado a 3.4 (m/s)



- Observamos que para el paso del tramo 4 al tramo 5 existe un difusor de ramificación de caudales el cual junta el caudal del tramo 4 y el tramo 3, mediante suma de caudales obtuvimos la velocidad de entrada a este difusor antes de la ramificación, con las velocidades obtenidas del tramo 3 y 4 se obtuvo que la velocidad requerida para antes de dicha ramificación es de 4,5 (m/s)
- Ahora debemos considerar que existe una descarga antes la cual es la que consideramos en el cálculo anterior, dicha velocidad de descarga es de 3.4 ( m/s).
- Por lo que realizaremos mediante la ecuación de continuidad, el cálculo del caudal para antes de esta descarga considerando ambas velocidades y el area del tubo 0.2x0.2 m y el área del difusor 0.15x0.15 m .

$$Q_1 = v_1 * A_1 = 4.5 * 0.04 = 0.18 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$$Q_2 = v_2 * A_2 = 3.4 * 0.025 = 0.0765 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$



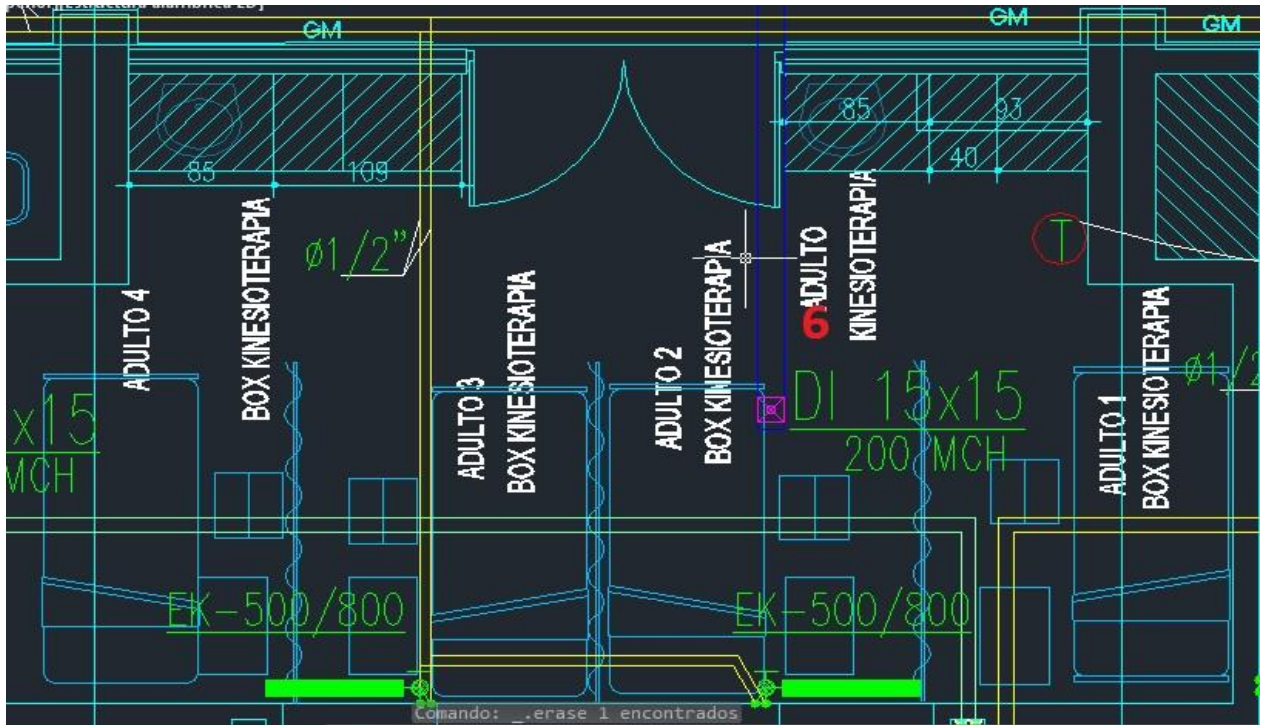
$$Q_3 = Q_1 + Q_2 = 0.18 + 0.0765 = 0.2565 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

Considerando el tubo de descarga 0.2x0.2 m calculamos la velocidad para que se cumplan ambas funciones (ramificación y descarga).

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.2565}{0.04} = 6.41 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Esta velocidad es la consideramos como la velocidad final de descarga en el tramo 5 y es la cual introduciremos en el programa matlab para el siguiente calculo, (véase tramo 5 en tabla de zócalo).

**Tramo 6 observación**



- Para este tramo se considera una descarga, la cual se realiza en un conjunto de box nuevamente por lo que se debe calcular el caudal requerido, y la velocidad de descarga necesaria para cumplir con la norma.

$$A_2 = 4.71 \times 7.30 = 34.4 \text{ m}^2$$

$$Q = 10 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2\text{h}} \right) \times 34.4 \text{ m}^2 = 343.8 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Calculamos la velocidad de descarga.

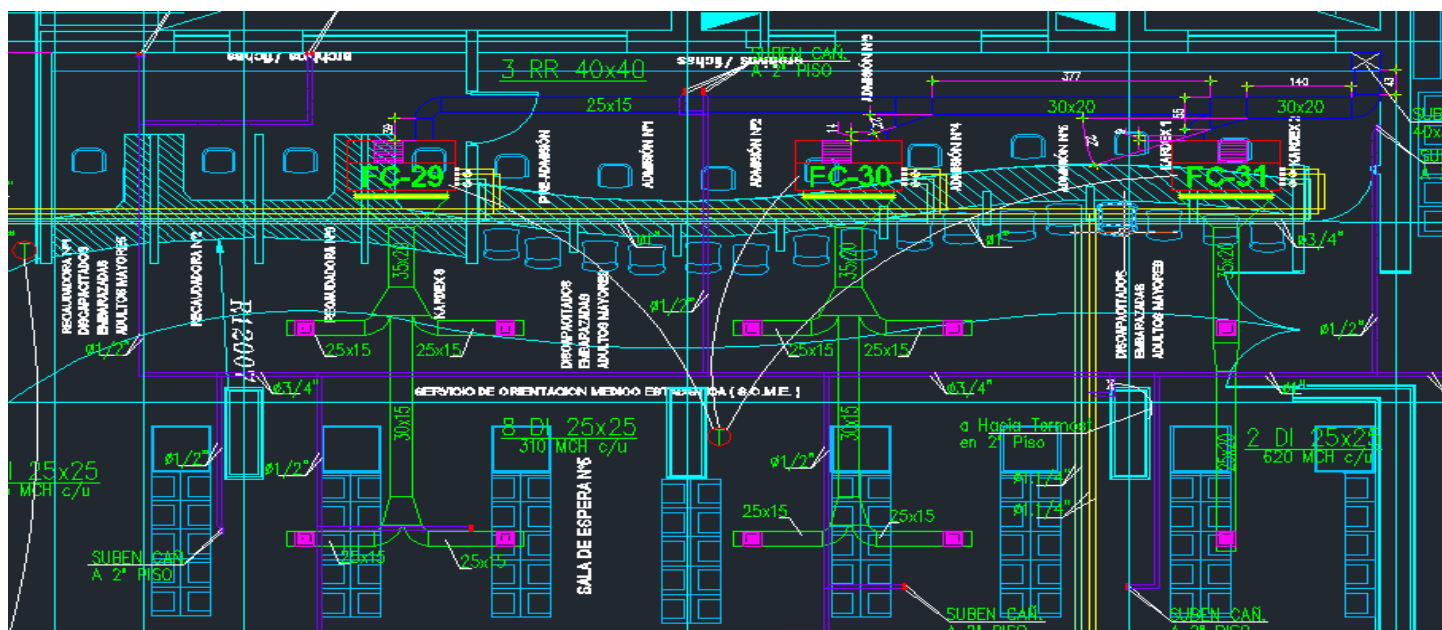
$$v = \frac{Q}{A} = \frac{343.8}{0,025} = 13753.2 \frac{\text{m}^2}{\text{h}} \frac{1\text{h}}{3600(\text{s})} = 3.8 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Es la velocidad necesaria en el tramo 6. (Véase tramo 6 tabla zócalo.)

**Nota:** los ejemplos antes mencionados, se repiten a lo largo de los distintos pisos del edificio, por lo cual se mostro su metodología de cálculo con el fin de ejemplificar la manera en que se efectuó, de ahora en adelante se mostraran solo los resultados obtenidos por el software Matlab mediante una tabla para los siguientes 5 pisos del edificio.

## 6.6 Piso 1

El piso 1 corresponde a la entrada del hospital donde se presenta gran afluencia de público debido a que en el lugar se encuentra la sala de espera como también, se realiza el trabajo administrativo, la UMA 12 estudiada es la encargada de acondicionar el lugar, alimentando a equipos fancoil como se muestra en la imagen, estos equipos asu vez son capaces de alimentarse de aire para acondicionar de manera independiente mediante retorno, tomando aire desde el mismo lugar para acondicionar y luego descargar. La alimentación mediante la UMA 12 se hace necesaria debido a que debe existir una renovación de aire para disminuir la presencia de microorganismos en el sector como lo establece la norma, es por esto que la UMA 12 en sus renovaciones descarga aire para alimentar a estos equipos.



En este piso la manejadora de aire descarga su caudal a tres equipos fancoil, a la vez estos son capaces de regular la temperatura de descarga como también, regular el caudal aumentando la velocidad en la circulación del aire. Las características son las siguientes:

**Tabla característica equipos fancoil.**

Tipo	Frío Calor. Baja silueta para ocultar en cielo
Potencia frío	26.690 Btu/hr
Potencia calor	21.200 Btu/hr
Caudalmax Aire	1.240 m <sup>3</sup> /hr
Altura máxima	25 cm
Nivel de ruido	44 (dB (A))

Para el cálculo de la velocidad de descarga de la UMA 12 a los equipos fancoils, se consideró lo siguiente:

- Área del recinto a acondicionar (piso 1 recepción) 17.46 m x 10.15m, área total 177.22 m<sup>2</sup>
- Caudal exterior establecido por la norma  $Q = 10 \frac{m^3}{m^2h}$  multiplicando por el área total tenemos  $Q = 10 \times 177.22 = 1772.2 \frac{m^3}{h}$ , que corresponde al caudal mínimo requerido en el recinto según la norma.
- Considerando este caudal, y el caudal máximo de descarga de aire de los equipos fancoil (ver tabla equipos fancoil), observamos que los 3 funcionando a capacidad máxima aportarían un caudal excesivo, por lo cual consideraremos que cada equipo funciona al 48 % de su capacidad máxima. Es decir cada equipo aportara  $595.2 \frac{m^3}{h}$  de caudal al recinto lo que al multiplicarlo por 3 nos da un valor de  $1785.6 \frac{m^3}{h}$  lo cual cumple la norma, que establece que el caudal de descarga debe ser mayor que el caudal exterior.
- Por lo que el caudal que debe aportar la UMA 12 a cada uno de los equipos fancoil para realizar la renovación de aire en el recinto es de  $595.2 \frac{m^3}{h}$ .

Tomando las anteriores consideraciones, calculamos la velocidad de descarga de aire de la UMA 12 a los equipos fancoil de la siguiente manera.

### Datos

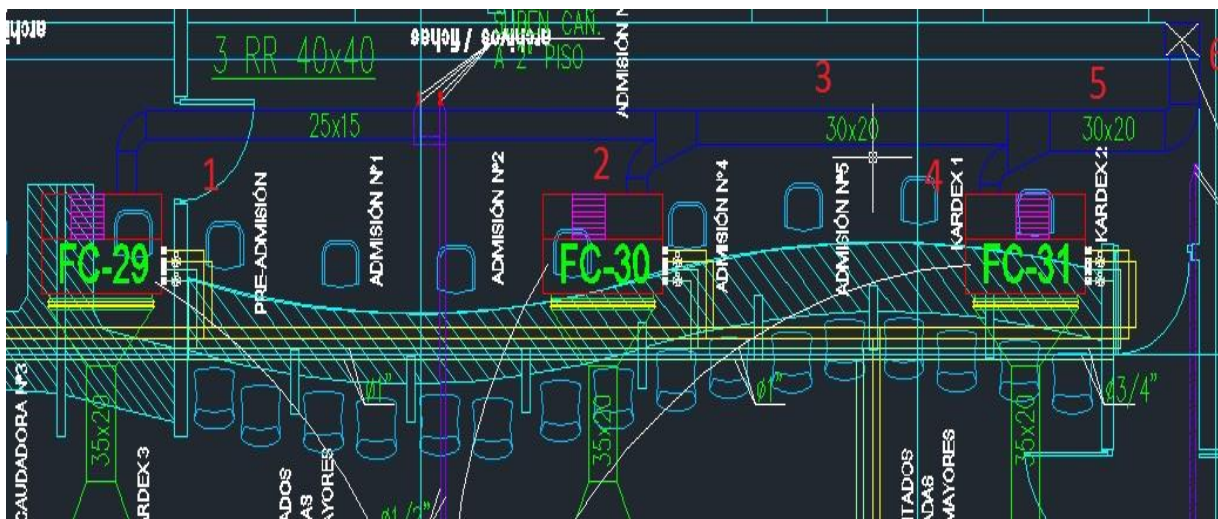
$$Q_{aporte\ UMA} = 595.2 \left( \frac{m^3}{h} \right) \left( \frac{1h}{3600s} \right) = 0.16 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

$$A_{descarga\ UMA} = 0.25 * 0.15 = 0.0375\ m^2$$

$$v_{descarga\ UMA} = \frac{Q}{A} = \frac{0.16}{0.0375} = 4.4 \left( \frac{m}{s} \right)$$

- Se considerará esta velocidad como la velocidad de descarga de la UMA en el equipo Fancoil.

## Esquema tramos piso 1



*Nota: ver plano piso 1 en Anexo 3*

### Tabla calculo piso 1

Tramo	Diámetro equivalente (Deq)	Nº de Reynold (Re)	Factor de fricción	Perdidas regulares	Perdidas singulares	V2 Salida (m/s)	V1 Entrada (m/s)
<b>1</b>	0.20	60786	0.019	0.596238	0.18767	4.4	5.8
<b>2</b>	0.20	60786	0.019	0.035501	0.18767	4.4	4.8
<b>3(s-d)</b>	0.26	115676	0.018	0.567385	0.51116	6.6	8.0
<b>4</b>	0.20	60786	0.019	0.035501	0.18767	4.4	4.8
<b>5(s-d)</b>	0.26	192794	0.017	0.578415	2.59285	11	13.5
<b>6</b>	0.26	236611	0.017	0.266684	0	13.5	<b>13.7</b>

El valor del caudal que sale a la ramificación principal será.

$$Q_{sale} = v_s * A_s = 13.7 * (0.3 * 0.2) = 0.822 \left( \frac{m^3}{s} \right) \left( 3600 \frac{s}{1h} \right) = 2959 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

## 6.7 Piso 2



*Nota: ver plano piso 2 en Anexo 3*

- Debido a que algunas de las zonas de descargas son de alta complejidad al ser un área de cirugía y endoscopia la norma establece un caudal mínimo para estas áreas donde se realizan procedimientos de  $Q = 30 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right)$ , el cual depende del área del lugar de descarga.
- Para áreas de consulta se establece un caudal de  $Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right)$ .
- Como ejemplo tomaremos la primera descarga de del tramo 1, esta descarga de aire se hace en el box consulta torax el cual tiene dimensiones de 4.10 x 2.40 m, con este dato calculamos el caudal necesario para climatizar el área de acuerdo a la norma. Al ser solo un box de consulta se considerara el caudal necesario de  $Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right)$ .

Datos :

$$A_{box} = 4.10 \times 2.40 = 9.84 \text{ m}^2$$

$$Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right) \times 9.84 \text{ m}^2 = 98.4 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

- Tenemos que el caudal necesario es de  $98.4 \left(\frac{m^3}{h}\right)$ , y tenemos que la norma establece que el caudal exterior debe ser mayor o igual al caudal de descarga por lo cual, considerando este caudal calculamos la velocidad de descarga requerida.

$$v_{descarga} = \frac{98.4}{0.0225} = 4373 \left(\frac{m}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600}\right) = 1.2 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Esta velocidad es la velocidad de descarga para que se cumpla el caudal requerido, por lo cual es la que usaremos para los cálculos, en box de consulta.

- Para box donde se realicen procedimientos tenemos, como ejemplo el box de procedimiento vascular que tiene dimensiones de 4.10 x 2.88 m, con este dato y el caudal requerido calculamos la velocidad de descarga.

Datos:

$$A_{box} = 4.10 \times 2.88 = 11.8 \text{ m}^2$$

$$Q = 30 \left(\frac{m^3}{m^2h}\right) \times 11.8 \text{ m}^2 = 354 \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

$$v_{descarga} = \frac{354}{0.0225} = 15733 \left(\frac{m}{h}\right) \left(\frac{1h}{3600}\right) = 4.3 \left(\frac{m}{s}\right)$$

- ✓ Que es la velocidad de descarga para box de procedimiento vascular.

De igual manera se calculará la velocidad de descarga requerida en el demás box dependiendo si es de consulta o procedimiento y se mostrara los resultados para cada tramo del ducto en la siguiente tabla.

**Tabla calculo piso 2**

Tramo	Diámetro equivalente (Deq)	N° de Reynold (Re)	Factor de fricción	Perdidas regulares	Perdidas singulares	V2 Salida (m/s)	V1 Entrada (m/s)
<b>1</b>	0.13	10516	0.023	0.08272	0.027918	1.2	1.8
<b>2</b>	0.13	10516	0.023	0.01411	0	1.2	1.3
<b>3 (s-d)</b>	0.16	27185	0.021	0.23154	0.0810	2.5	3.5
<b>4</b>	0.16	29666	0.021	0.4590	0.146620	2.75	4.4
<b>5(s-d)</b>	0.20	72529	0.019	0.3590	0.492187	5.25	6.6
<b>6</b>	0.13	10516	0.023	0.0112	0.013959	1.2	1.4
<b>7</b>	0.13	10516	0.023	0.0233	0.0139	1.2	1.5
<b>8(s-d)</b>	0.16	20496	0.108	0.1086	0.1215	1.9	2.8
<b>9(s-d)</b>	0.26	90701	0.018	0.5408	0.5602	5.1	6.9
<b>10</b>	0.13	10516	0.023	0.0168	0.0139	1.2	1.4
<b>11</b>	0.13	10516	0.023	0.0213	0.0139	1.2	1.5
<b>12</b>	0.16	20496	0.021	0.1276	0.0828	1.9	<b>2.7</b>
<b>13</b>	0.26	138461	0.017	0.3390	1.528	7.9	<b>9.0</b>

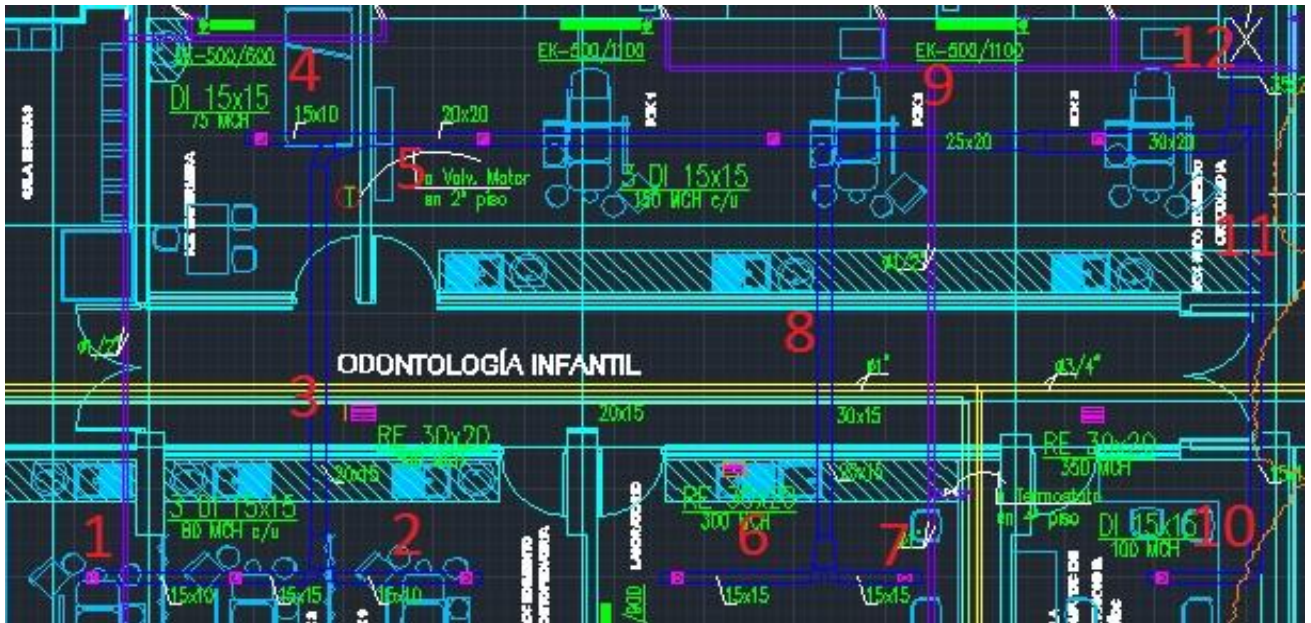
✓ Con esta velocidad buscamos el caudal necesario a la entrada de la ramificación.

$$Q_{sale} = v_s * A_s = 9. * (0.3 * 0.2) = 0.54 \left( \frac{m^3}{s} \right) \left( 3600 \frac{s}{1h} \right) = 1944 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

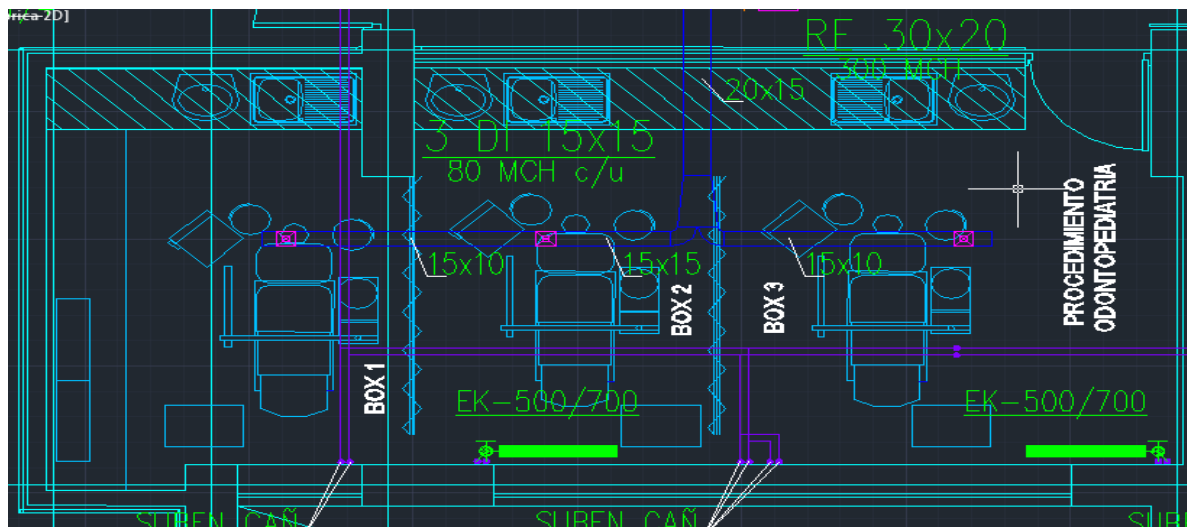


## 6.8 Piso 3 odontología

Esta piso del hospital corresponde al área de odontología, para este espacio la norma no establece un caudal preciso por lo cual se clasifica, en la norma como “otras áreas” ( véase tabla de la norma en el anexo 3), por lo cual el caudal será de  $Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right)$ , que dependerá de las distintas áreas de descarga, como en los ejemplos anteriores.



Nota: ver plano piso 3 en anexo 3



Para el tramo 1 y 2 tenemos que ambos descargan en un conjunto de box, donde hay 3 zonas de atención y 3 descargas de aire, por lo que calcularemos la el área y caudal necesario para esa zona de la siguiente forma:

**Datos:**

$$A_{box} = 4.15 \times 8.85 = 36.72 \text{ m}^2$$

$$Q = 10 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{h}} \right) \times 36.72 \text{ m}^2 = 367.2 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

$$v_{descarga} = \frac{367.2}{0.0225} = 16320 \left( \frac{\text{m}}{\text{h}} \right) \left( \frac{1 \text{h}}{3600} \right) = 4.5 \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Esta es la velocidad de descarga que debería tenerse para que se cumpla el caudal requerido, como son 3 difusores de descarga en el lugar se dividirá por 3 esta velocidad. Lo que nos da una velocidad de 1.5 (m/s) para cada difusor, por lo cual esta última será la velocidad de descarga que usaremos para los cálculos, de igual forma se calcula la velocidad requerida para cada una de las zonas del piso. Los resultados se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla calculo piso 3**

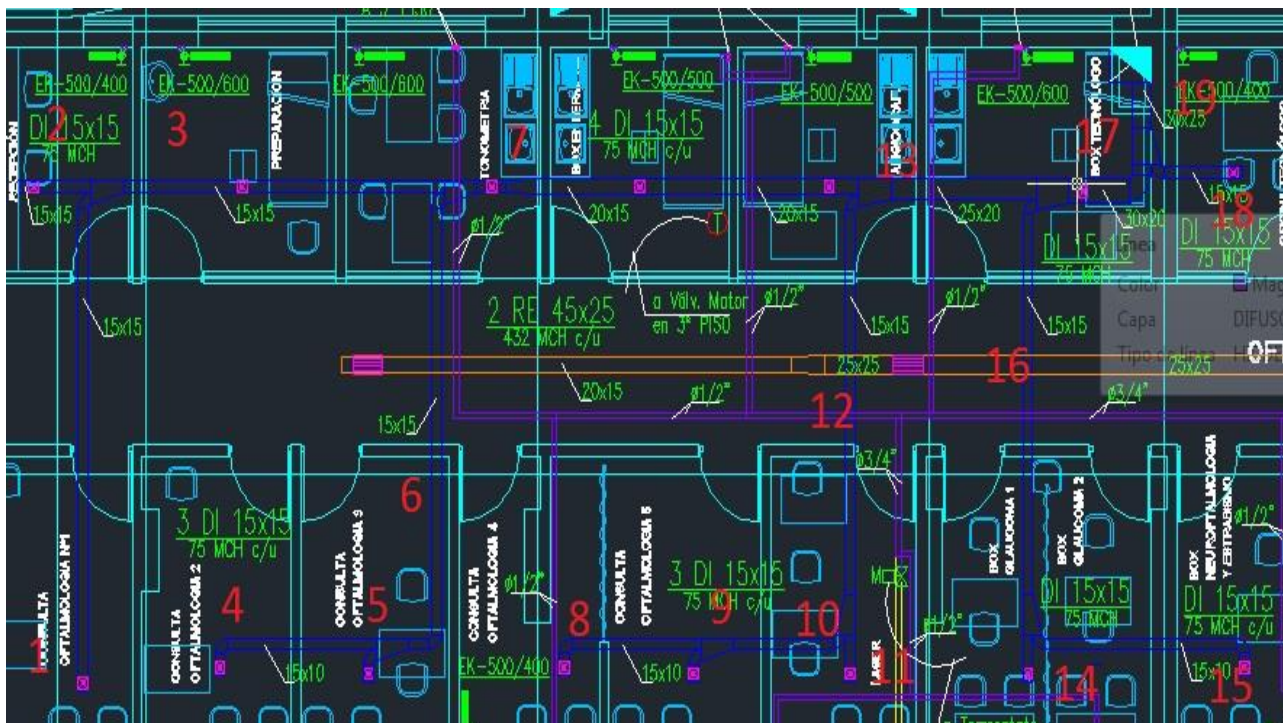
Tramo	Diámetro equivalente (Deq)	N° de Reynold (Re)	Factor de fricción	Perdidas regulares	Perdidas singulares	V2 Salida (m/s)	V1 Entrada (m/s)
1	0.13	26290	0.02	0.2375	0.087	3	3.9
2	0.13	13145	0.02	0.0410	0.021	1.5	1.86
3(s-d)	0.18	34788	0.02	0.2294	0.264	2.8	4.12
4	0.13	13145	0.02	0.2496	0.201	1.5	1.6
5(s-d)	0.21	47466	0.02	0.3209	0.261	3.3	4.7
6	0.16	16181	0.02	0.0320	0.021	1.5	1.81
7	0.16	16181	0.02	0.0179	0.021	1.5	1.74
8(s-d)	0.18	32304	0.02	0.1931	0.227	2.6	3.87
9(s-d)	0.26	88685	0.018	0.4327	0.822	5.1	7.1
10	0.16	16181	0.022	0.0212	0.021	1.5	1.7
11	0.16	18339	0.021	0.1228	0	1.7	2.3
12 s-d	0.28	10364	0.017	0.0922	0.72538	5.4	<b>6.8</b>

✓ Con esta velocidad buscamos el caudal necesario a la entrada de la ramificación.

$$Q_{sale} = v_s * A_s = 6.8 * (0.35 * 0.2) = 0.48 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) \left( 3600 \frac{\text{s}}{1 \text{h}} \right) = 1714 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

- Corresponde al caudal de entrada a la ramificación para cumplir las necesidades

## 6.9 Piso 4 oftalmología.



*Nota: ver plano piso 4 en Anexo 3*

Al igual que en los pisos anteriores se considera un caudal de  $Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right)$  el cual dependerá el área que ocupe cada box de atención, tomaremos como ejemplo la descarga 1 y calcularemos la velocidad de descarga requerida.

### Descarga 1 consulta oftalmológica

$$A_{box} = 5.20 \times 2.40 = 12.48 \text{ m}^2$$

$$Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2h} \right) \times 12.48 \text{ m}^2 = 124.8 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

$$v_{descarga} = \frac{124.8}{0.0225} = 5546.6 \left( \frac{m}{h} \right) \left( \frac{1h}{3600} \right) = 1.5 \left( \frac{m}{s} \right)$$

Que corresponde a la velocidad de descarga requerida en el difusor para cumplir con el caudal requerido por la norma. Igualmente se calculará la velocidad requerida en cada box de atención en el piso. Los resultados para cada tramo se muestran en la siguiente tabla.

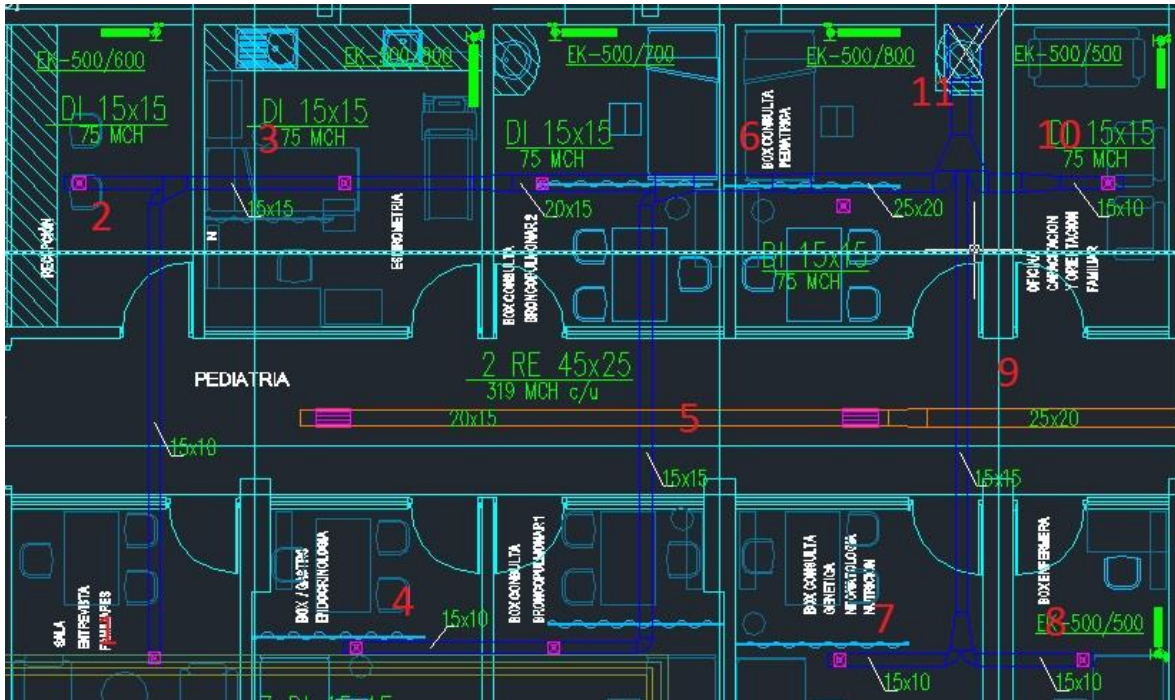
**Tabla calculo piso 4**

Tramo	Diámetro equivalente (Deq)	N° de Reynold (Re)	Factor de fricción	Perdidas regulares	Perdidas singulares	V2 Salida (m/s)	V1 Entrada (m/s)
<b>1</b>	0.16	16181	0.022	0.0950	0.021811	1.5	2.1
<b>2</b>	0.16	16181	0.022	0.0168	0	1.5	1.6
<b>3(s-d)</b>	0.16	39991	0.020	0.4332	0.3282	3.7	5.3
<b>4</b>	0.13	13145	0.023	0.0515	0.0218	1.5	1.9
<b>5</b>	0.16	16181	0.022	0.0034	0.0218	1.5	1.6
<b>6(s-d)</b>	0.16	37757	0.020	0.4537	0.5312	3.5	5.6
<b>7(s-d)</b>	0.16	86302	0.020	2.3419	1.3061	8.1	11.3
<b>8</b>	0.13	9639	0.024	0.025	0.011	1.1	1.39
<b>9</b>	0.13	9639	0.024	0.002	0.011	1.1	1.2
<b>10.s-d</b>	0.16	18339	0.021	0.029	0.097	1.7	2.3
<b>11</b>	0.16	16181	0.022	0.009	0	1.5	1.6
<b>12.s-d</b>	0.16	28048	0.021	0.217	0.2276	2.6	3.9
<b>13.s-d</b>	0.24	136480	0.018	0.613	1.7325	8.5	<b>10.8</b>
<b>14</b>	0.13	13145	0.023	0.012	0	1.5	<b>1.6</b>
<b>15</b>	0.13	13145	0.023	0.064	0.0436	1.5	<b>2.1</b>
<b>16.s-d</b>	0.16	26538	0.021	0.193	0.2037	2.4	<b>3.7</b>
<b>17s.d</b>	0.26	18052	0.0178	0.336	3.410	10.3	<b>13.4</b>
<b>18</b>	0.16	16181	0.0221	0.018	0.021	1.5	<b>1.7</b>
<b>19s.d</b>	0.29	22036	0.0173	0.215	3.00	11.2	<b>13.7</b>

$$Q_{sale} = v_s * A_s = 13.7 * (0.3 \times 0.25) = 1.02 \left( \frac{m^3}{s} \right) \left( 3600 \frac{s}{1h} \right) = 3699 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

- Corresponde al caudal de entrada a la ramificación para cumplir las necesidades

### 6.9.1 Piso 5 pediatría.



*Nota: ver plano piso 5 en Anexo 3*

Al igual que en los pisos anteriores se considera un caudal de  $Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2 h} \right)$ . El cual dependerá del área de la zona de descarga. Para la zona de descarga 1, se considera una descarga en una sala de entrevistas familiares, tomando esta área encontraremos la velocidad de descarga en el difusor requerida.

Datos:

$$A_{sala} = 4.18 \times 2.95 = 12.33 \text{ m}^2$$

$$Q = 10 \left( \frac{m^3}{m^2 h} \right) \times 12.33 \text{ m}^2 = 123.3 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

$$v_{descarga} = \frac{123.3}{0.0225} = 5480 \left( \frac{m}{h} \right) \left( \frac{1h}{3600} \right) = 1.5 \left( \frac{m}{s} \right)$$

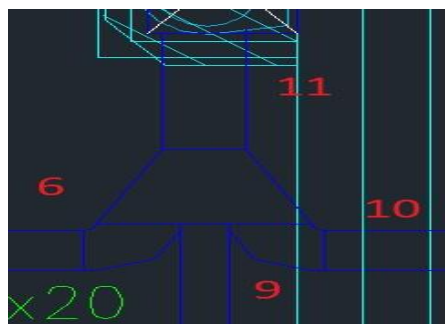
La cual se considerará para el cálculo del tramo 1, con la misma metodología se encontrará la velocidad de descarga en los siguientes tramos. Los resultados se muestran en la tabla adjunta.

**Tabla calculo piso 5**

Tramo	Diámetro equivalente (Deq)	N° de Reynold (Re)	Factor de fricción	Perdidas regulares	Perdidas singulares	V2 Salida (m/s)	V1 Entrada (m/s)
1	0.13	13145	0.023	0.1205	0.0218	1.5	2.2
2	0.13	13145	0.023	0.0259	0	1.5	1.6
3(s-d)	0.16	27293	0.021	0.2556	0.160	2.5	3.8
4	0.13	26290	0.022	0.2892	0.087	3.0	4.0
5	0.16	43151	0.020	0.5733	0.1551	4.0	5.5
6(s-d)	0.24	75465	0.018	0.2649	0.4057	4.7	5.9
7	0.13	13145	0.023	0.0305	0.0218	1.5	1.8
8	0.13	13145	0.023	0.0305	0.0218	1.5	1.8
9(s-d)	0.16	25890	0.021	0.2156	0.1322	2.4	3.5
10	0.13	13145	0.023	0.0350	0.0585	1.5	2.0
11	0.24	15253	0.018	0.2547	1.841	9.5	<b>11.46</b>

**Ejemplo tramo 11.**

Para el tramo 11 tenemos una suma de 3 caudales en un difusor, como se muestra en la figura, calcularemos la velocidad a la entrada usando la ecuación de la continuidad.



$$Q_{11} = Q_6 + Q_9 + Q_{10}$$

$$Q_{11} = 5.9x(0.25x0.2) + 3.5x(0.15x0.15) + 2.0(0.25x0.2) = 0.47 \left( \frac{m^3}{s} \right)$$

Dividiendo por el área en 11 tenemos la velocidad a la entrada de 11.

$$v_{descarga} = \frac{0.47 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{0.25 \times 0.2 \text{ m}^2} = 9.5 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Que corresponde a la velocidad que ingresaremos al programa para obtener la velocidad de entrada a la ramificación.

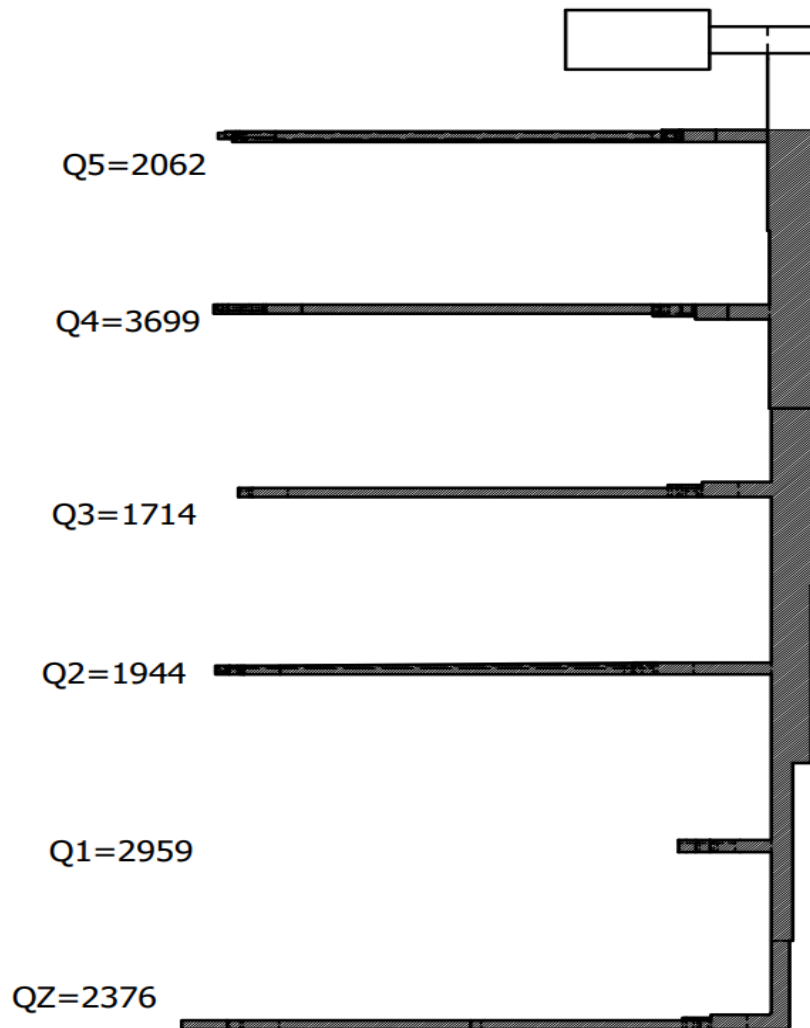
Ahora calculamos el caudal necesario que debería entrar a la ramificación para que se cumplan las condiciones.

$$Q_{sale} = v_s * A_s = 11.46 * (0.25 \times 0.2) = 0.573 \left(\frac{m^3}{s}\right) \left(3600 \frac{s}{1h}\right) = 2062.8 \left(\frac{m^3}{h}\right)$$

## Capítulo 7

### Análisis caudales comparación y soluciones.

Caudales totales para cada ramificación.



La suma de los caudales que se distribuyen a cada ramificación, nos entrega un caudal total, en el tubo madre (tubo principal), para un momento antes de pasar por el piso 5 como se muestra en la imagen (parte achurada) . Por lo cual tomando este caudal y considerando el tramo que hay desde este punto hasta la descarga de la máquina, y las pérdidas de carga durante este recorrido, es que se encontrara el caudal real que necesita expulsar la máquina.



### 7.1 Tabla caudales totales.

En la siguiente tabla se presenta las velocidades de entrada que debería tener cada ramal, el caudal de entrada en el tubo principal del ramal y el caudal necesario que se debería tener en el tubo madre para que se cumplan con los requerimientos, luego se sumara todos los caudales y se obtendrá el caudal total para antes de pasar a la descarga en el piso 5.

Piso	Velocidad entrada (m/s)	Caudal entrada ramificaciones (m³/h)
Zócalo	8.8	2376
Piso 1	13.7	2959
Piso 2	9.0	1944
Piso 3	6.8	1714
Piso 4	13.7	3699
Piso 5	11.5	2062
Caudal total ramificaciones requerido.		$\sum Q_r = 14754 \left(\frac{m^3}{h}\right)$

- Por lo que el caudal para el momento antes de la primera descarga hacia el piso 5 será de de  $14754 \left(\frac{m^3}{h}\right)$ .
- Considerando este caudal, y el área en el tubo madre, encontraremos la velocidad con que circula el aire para este momento. De la siguiente forma.

Datos:

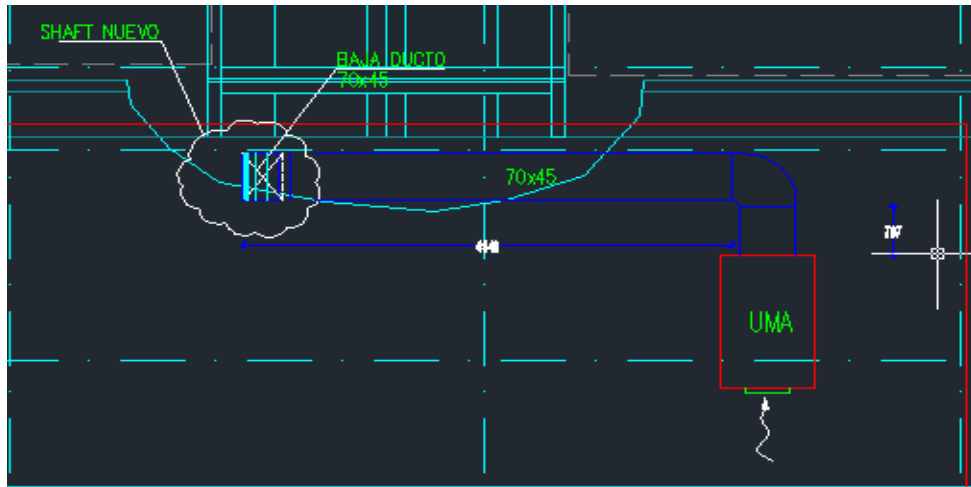
$$Q_r = \frac{14754 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{3600} = 4.09 \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

$$A_{tubo\ madre} = 0.7 \times 0.45 = 0.315\ m^2$$

$$v_{descarga} = \frac{4.09 \left(\frac{m^3}{s}\right)}{0.315\ m^2} = 13.01 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Que es la velocidad con la que debería circular el aire en el tubo madre en el momento antes de distribuir hacia el piso 5.

- Ahora tomando esta velocidad y considerando que existen 3 metros desde el punto antes de la entrada hacia el piso 5, hacia el tubo horizontal en la máquina, y 6,9 metros de tubo horizontal hacia la misma máquina, como también 2 codos de gran tamaño. Calcularemos la velocidad requerida para antes de la descarga de la máquina, y con el área encontraremos el caudal necesario.



**Datos:**

$$L_{longitud\ total.} = 3 + 6.9 = 9.9\ m$$

$$v_{descarga} = 13.01\ \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$K_{peridas\ singulares} = 0.23 \times 2 = 0.46\ (2\ codos).$$

Con estos datos ingresamos a la programación de la ecuación de Bernoulli realizada en Matlab, y encontraremos la velocidad a la salida de la máquina.

**Los resultados se muestran en la siguiente tabla.**

Tramo	Diámetro equivalente (Deq)	N° de Reynold (Re)	Factor de fricción	Perdidas regulares	Perdidas singulares	V2 en tubo madre. (m/s)	V1 salida maquina (m/s)
Piso5- maquina	0.61	521570	0.014	2.07	3.96	13.01	<b>16.9</b>

Ahora con esta velocidad y el área del tubo de descarga calculamos el caudal que debería expulsar la máquina.

$$Q_{sale} = v_s * A_s = 16.9 * (0.7 \times 0.45) = 5.32\ \left(\frac{m^3}{s}\right) \left(3600\ \frac{s}{1h}\right) = \mathbf{19164.6\ \left(\frac{m^3}{h}\right)}$$

- ✓ Por lo que el caudal que debería entregar la máquina, para que exista una distribución de caudal que sea capaz de satisfacer las necesidades en los distintos espacios a acondicionar, como también sea capaz de vencer la pérdida de carga existente tiene que ser igual a:

$$Q_{Total} = 19164.6 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

- Al comparar este caudal que obtuvimos con el que entrega la máquina que es un caudal de 6500 (m<sup>3</sup>/h), observamos que no alcanza para satisfacer las necesidades del sistema, es por esto que se presentan problemas en las descargas de aire en el edificio. Ya que con el caudal que entrega la máquina se alcanza a satisfacer las necesidades solo hasta el piso 4 como máximo.

Es por esto que en el apartado 7.3 se plantearán algunas soluciones.

## 7.2 comparación de velocidades mediante software ANSYS CFD

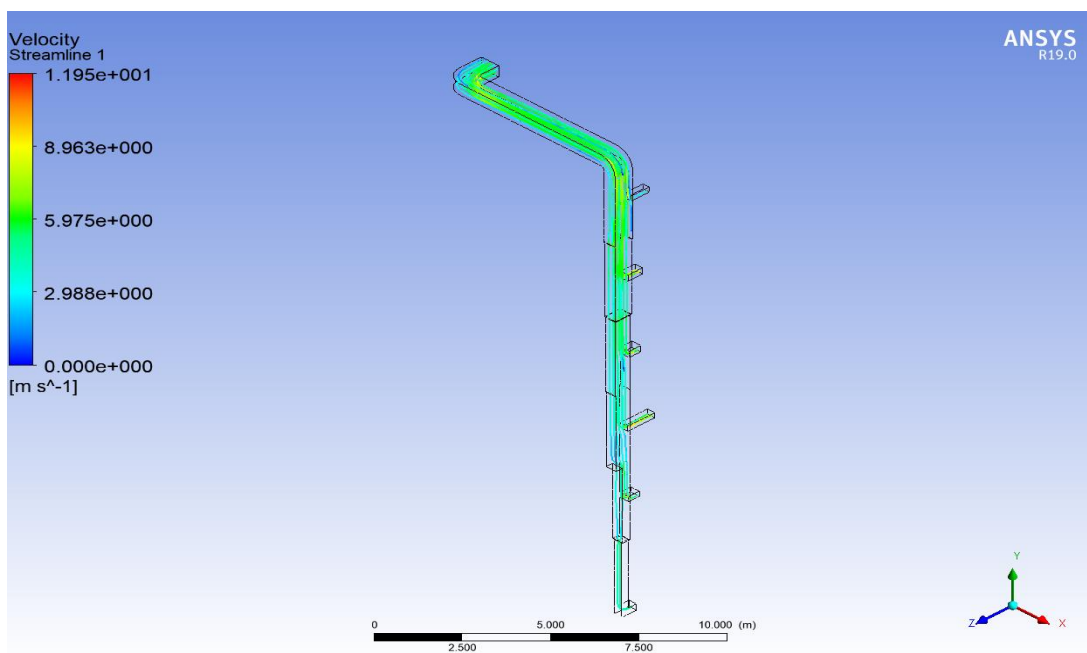
### Simulación ANSYS CFD

Con el objetivo de respaldar los cálculos realizados, es que se simuló, el comportamiento del fluido a través del ducto principal, para así poder determinar a través del software ANSYS CFD el comportamiento del fluido a través del ducto principal (ducto madre), y hacer una comparación en las velocidades de descarga en las ramificaciones para cada uno de los pisos del hospital. Para realizar dicha simulación es que se siguieron los siguientes pasos.

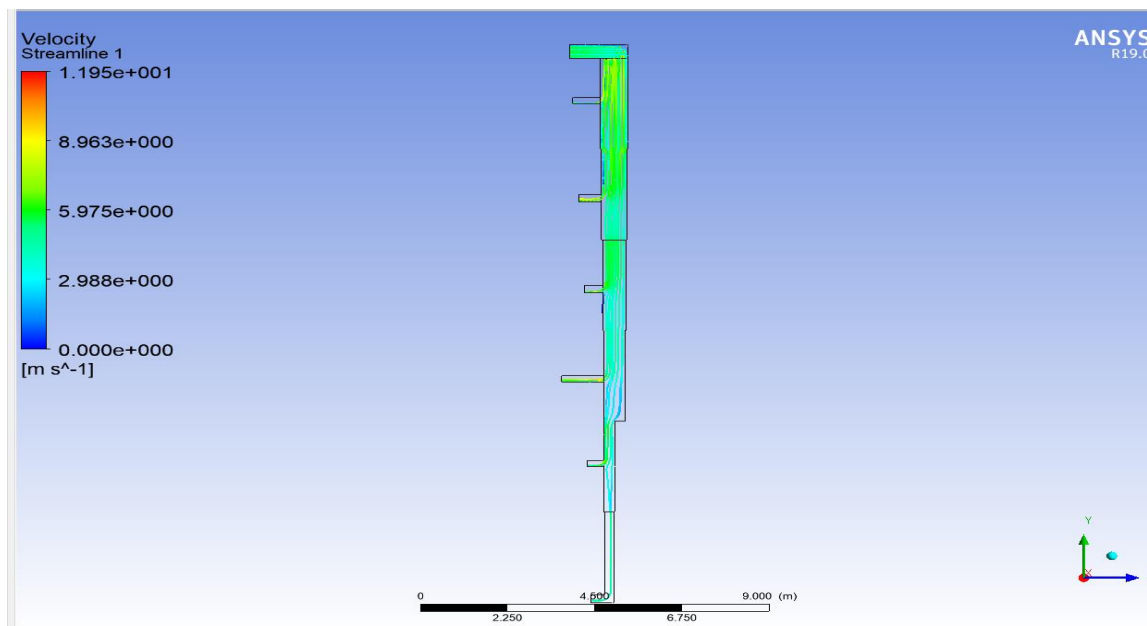
1. Se dibujó el ducto considerando sus dimensiones reales en el software INVENTOR, basándose en los planos en AUTOCAD entregados por el departamento de mantenimiento del hospital regional Guillermo Grant Benavente.
2. Se importó este dibujo al programa ANSYS CFD para realizar la simulación.
3. En el programa, se creó una malla para el dibujo, con el objetivo que este sea considerado como un modelo completo para la simulación.
4. Se definió material de los ductos como hierro galvanizado y fluido como aire, también condiciones de entrada del fluido a través del ducto.
5. Se consideró los caudales de descarga de la máquina para las dos simulaciones, (una con el caudal real de la máquina existente y otra con el caudal calculado) como también se definió presión 0 considerando presión atmosférica.
6. Se ejecutó la simulación y se observó el comportamiento del fluido, y las velocidades en las entradas de las ramificaciones.
7. Se realizó una comparación entre las velocidades entregadas por el software para el circuito y las velocidades calculadas.

**Resultados:** simulación del circuito principal actual considerando caudal real existente de 6500 (m<sup>3</sup>/h). y un área de 0.7x0.45 m.

**Vista principal.**



**Vista lateral.**



- ✓ Los resultados están en fusión de la velocidad, y se muestran en una escala de colores, en donde predominan los colores verde, amarillo y azul, en un rango de velocidades que se muestra en la escala que va desde los 0 m/s a 11.9 m/s como máximo.
- ✓ Específicamente las velocidades del fluido a la entrada de las ramificaciones calculadas por el programa son las siguientes.

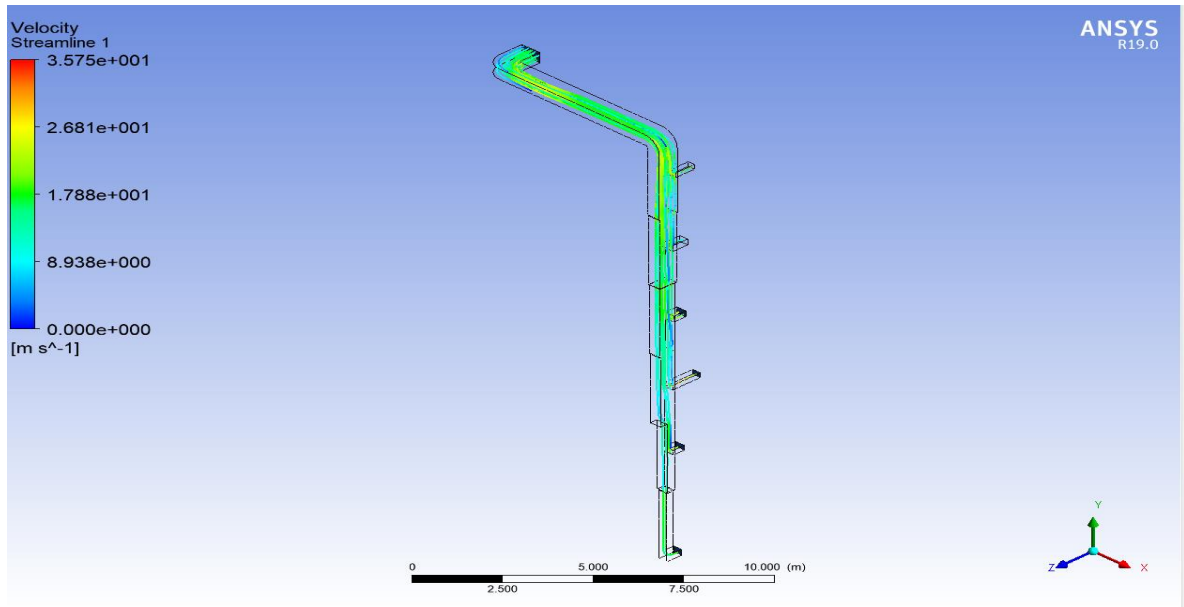
**Considerando salida 1 como la primera salida en el piso 5, hacia abajo.**

<b>Posición</b>	<b>Velocidad. (m/s)</b>
Entrada	5.73
Salida 1- piso 5	5.06
Salida 2- piso 4	5.9
Salida 3-piso 3	5.0
Salida 4- piso 2	5.6
Salida 5- piso 1	3.6
Salida 6 –zócalo	4.45

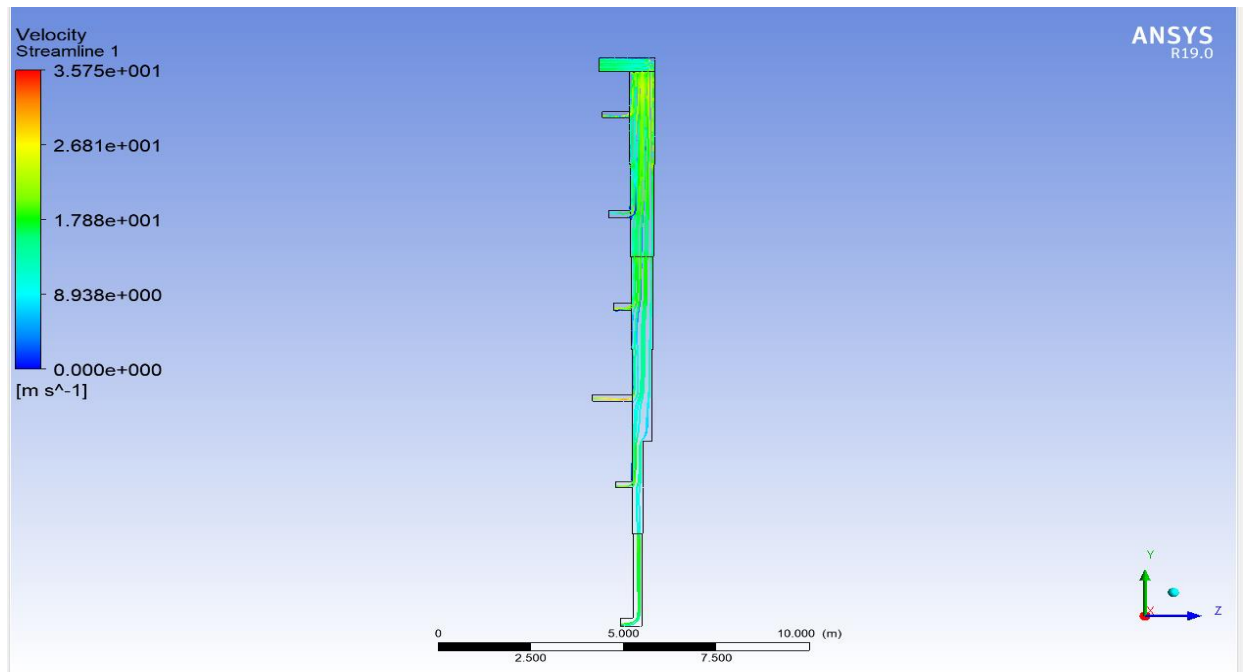
Estas velocidades son las calculadas por el programa, observamos que son menores a las calculadas mediante la programación en Matlab, para cumplir con los requerimientos de la norma. Como también son muy bajas si consideramos que estas pertenecen a la entrada en cada ramificación.

### Simulación utilizando el caudal calculado. 19.164 (m<sup>3</sup>/h)

#### Vista principal.



#### Vista lateral.



### **Comparación de velocidades calculadas mediante el software y velocidades calculadas mediante la programación en Matlab.**

Considerando salida 1 como la primera salida en el piso 5, hacia abajo.

<b>Posición</b>	<b>Velocidad. (m/s) entregadas por software ANSYS CFD</b>	<b>Velocidad. (m/s) calculadas en base a la norma.</b>
<b>Entrada</b>	16.9	16.9
<b>Salida 1- piso 5</b>	14.2	11.5
<b>Salida 2- piso 4</b>	15.3	13.7
<b>Salida 3-piso 3</b>	9.2	6.8
<b>Salida 4- piso 2</b>	10.5	9.0
<b>Salida 5- piso 1</b>	11.4	13.7
<b>Salida 6 -zocalo</b>	10.5	8.8

Se observa que las velocidades calculadas mediante el software son levemente mayores que las calculadas de manera teórica mediante Matlab, esto debido a que para el cálculo de las velocidades teóricas mediante Matlab, fueron consideradas desde el final hacia el principio tomando en cuenta las pérdidas de carga durante el circuito, en cambio el software ANSYS CFD se consideró la velocidad desde la descarga de la maquina hasta las entradas de cada ramificación.

Además en el piso 1 se hicieron consideraciones para el cálculo de velocidad para alimentar a los equipos fancoil, por lo que es levemente mayor la velocidad de entrada a la ramificación del piso 1, la calculada de manera teórica mediante Matlab que la que es entregada por el software ANSYS.



### 7.3 Soluciones al problema planteado.

#### Solución 1

- Una de las soluciones es comprar una nueva máquina que sea capaz de entregar el caudal necesario, por lo que se cotizaran 2 máquinas en el mercado.

**Maquina 1 : manejadora de aire 39M AERO. Marca Carrier.**



- Características: posee paneles doble sellados con aislamiento R-13. Humificadores para un preciso acondicionamiento de clima interior, su rango de caudales de descarga va desde los 2550 (m<sup>3</sup>/h) a 50820 (m<sup>3</sup>/h) por lo que cumple con el requerimiento.

$inv = \text{costo de equipo} + \text{costo traslado} + \text{costo instalacion} + \text{costo puesta en marcha}.$

$$inv = 8.000.000 + 300.000 + 1.000.000 + 500.000 = 12.500.00$$

- Con una inversión aproximada de 12.500.000 ,se podría instalar este equipo y dar solución al problema planteado.(maquina disponible en chile)

**Maquina 2 : manejadora de aire altaqua con certificación iso 9001**

# Altaqua



- Características: flujo de aire que entrega hasta 30000 (m<sup>3</sup>/h) potencia del motor 15 ( kw/hr), peso de 1150 kg y presión estática máxima de 300 Pa. Equipo a enviar de EEUU.

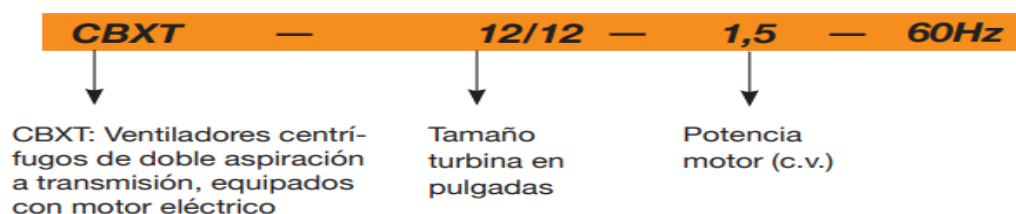
*inv = costo de equipo + costo traslado + costo instalacion + costo puesta en marcha.*

$$inv = 11.800.000 + 3.000.000 + 2.300.000 + 500.000 = 17.600.000$$

- Con una inversión de 17.600.000 aprox se podría poner en marcha este equipo y darle solución al problema planteado.

## Solución 2.

Otra solución es cambiar el ventilador dentro de la máquina actual, por uno que sea acorde con la maquina en dimensiones y requerimientos como también sea capaz de entregar el caudal necesario para satisfacer las necesidades de acuerdo a la norma. Por lo que por catálogo de la empresa sodeca que se dedica a la fabricación de ventiladores y extractores se buscó un ventilador que ofreciera un caudal superior al requerido, seleccionando el siguiente.



### Características técnicas

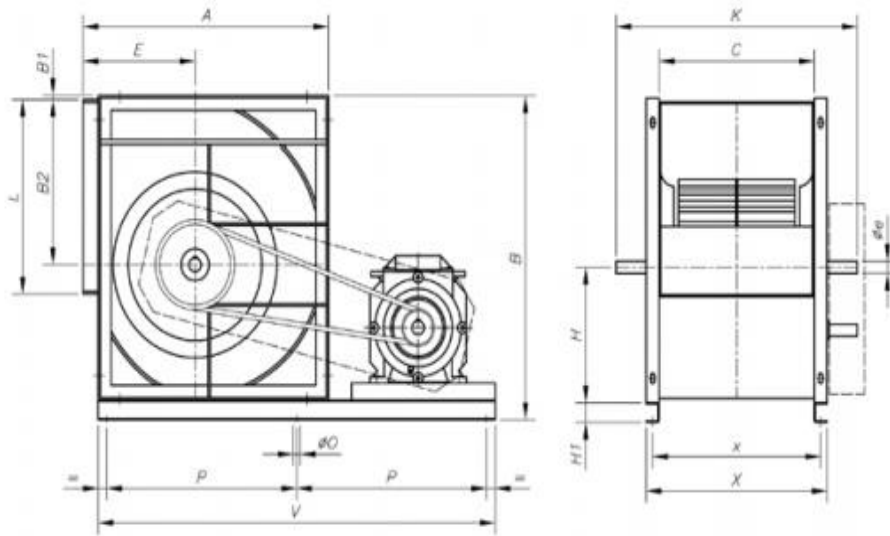
60Hz

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máxima admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Temperatura del aire (°C)		Peso aprox. (Kg)	Versión de Montaje
		220V	380V	660V			mín.	máx.		
CBXT-22/22-4	515	11,2	6,48		3,00	17000	-20	+80	261,0	B
CBXT-22/22-5,5	570	15,0	8,65		4,00	19000	-20	+80	265,0	B
CBXT-22/22-7,5	605		11,40	6,60	5,50	21500	-20	+80	279,0	B
CBXT-22/22-10	725		14,80	8,50	7,50	22000	-20	+80	290,0	B
CBXT-22/22-15	765		21,00	12,10	11,00	27000	-20	+80	316,0	B
CBXT-25/25-3	375	8,4	4,85		2,20	17000	-20	+80	297,0	B
CBXT-25/25-4	405	11,2	6,48		3,00	20500	-20	+80	299,0	B
CBXT-25/25-5,5	450	15,0	8,65		4,00	22000	-20	+80	304,0	B
CBXT-25/25-7,5	485		11,40	6,60	5,50	24500	-20	+80	318,0	B
CBXT-25/25-10	545		14,80	8,50	7,50	28000	-20	+80	329,0	B
CBXT-25/25-15	610		21,00	12,10	11,00	32000	-20	+80	349,0	B
CBXT-30/28-3	330	8,4	4,85		2,20	20000	-20	+80	380,0	B
CBXT-30/28-4	360	11,2	6,48		3,00	22000	-20	+80	382,0	B
CBXT-30/28-5,5	380	15,0	8,65		4,00	25000	-20	+80	387,0	B
CBXT-30/28-7,5	380		11,40	6,60	5,50	31500	-20	+80	402,0	B
CBXT-30/28-10	410		14,80	8,50	7,50	36000	-20	+80	415,0	B
CBXT-30/28-15	430		21,00	12,10	11,00	42000	-20	+80	426,0	B
CBXT-30/28-20	480		28,50	16,50	15,00	48000	-20	+80	449,0	B

### Modelo CBXT-22/22-10

El cual cumple con el con los requisitos del sistema, funcionando para una alimentación de 380v y entregando un caudal máximo de 22000 (m³/h) .

**Dimensiones en mm.**



Modelo	A	B	B1	B2	C	E	øe	H	H1	K	L	ø0	P	V	x	X
CBXT-20/20	843	1023	35	523	603	375	35	405	60	923	603	12	617,5	1315	643	683
CBXT-22/22	913	1106	35	569	656	400	35	442	60	976	693	12	657,5	1395	696	736
CBXT-25/25	998	1221	35	642	765	423	35	484	60	1085	793	12	474,5	1575	805	845
CBXT-30/28	1206	1460	35	776	888	515	40	589	60	1208	933	12	817,5	1715	928	968



✓ Con dimensiones de acuerdo al tamaño de ma UMA a modificar.

Foto referencial.



CBXT

➤ **Costos.**

COD.	Modelo	Velocidad (r/min)	Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Temperatura del aire (°C)		PVP €
					min.	máx.	
000112E61515150	CBXT-15/15-1,5	635	1,10	7500	-20	+80	682,50
000112E61515200	CBXT-15/15-2	670	1,50	8200	-20	+80	706,00
000112E61515300	CBXT-15/15-3	740	2,20	9500	-20	+80	743,60
000112E61515400	CBXT-15/15-4	805	3,00	10600	-20	+80	918,40
000112E61515500	CBXT-15/15-5,5	965	4,00	12000	-20	+80	1.010,10
000112E61818150	CBXT-18/18-1,5	480	1,10	9000	-20	+80	906,40
000112E61818200	CBXT-18/18-2	605	1,50	9250	-20	+80	935,10
000112E61818300	CBXT-18/18-3	590	2,20	11500	-20	+80	980,80
000112E61818400	CBXT-18/18-4	640	3,00	13200	-20	+80	1.087,50
000112E61818500	CBXT-18/18-5,5	675	4,00	15000	-20	+80	1.256,00
000112E61818700	CBXT-18/18-7,5	760	5,50	17000	-20	+80	1.156,00
000112E62020200	CBXT-20/20-2	430	1,50	11500	-20	+80	1.715,30
000112E62020300	CBXT-20/20-3	530	2,20	12800	-20	+80	1.766,30
000112E62020400	CBXT-20/20-4	575	3,00	14200	-20	+80	1.768,70
000112E62020500	CBXT-20/20-5,5	635	4,00	15500	-20	+80	1.872,40
000112E62020700	CBXT-20/20-7,5	675	5,50	17500	-20	+80	1.948,20
000112E62020110	CBXT-20/20-10	725	7,50	20000	-20	+80	2.117,70
000112E62222200	CBXT-22/22-2	385	1,50	14000	-20	+80	1.845,10
000112E62222300	CBXT-22/22-3	475	2,20	15000	-20	+80	1.896,00
000112E62222400	CBXT-22/22-4	515	3,00	17000	-20	+80	1.916,20
000112E62222500	CBXT-22/22-5,5	570	4,00	19000	-20	+80	2.000,20
000112E62222700	CBXT-22/22-7,5	605	5,50	21500	-20	+80	2.081,80
000112E62222110	CBXT-22/22-10	725	7,50	22000	-20	+80	2.117,70

Obs : Costo en pesos: 1.673.007

$$inv = \text{costo de equipo} + \text{costo traslado} + \text{costo instalacion} + \text{costo puesta en marcha.}$$

$$inv = 1.680.000 + 200.000 + 400.000 + 100.000 = 2.380.000$$

- ✓ Con una inversión de 2.380.000 Aprox . Pesos se podría cambiar el ventilador existente y poner el ventilador seleccionado que cumple con entregar el caudal calculado para satisfacer las necesidades según la norma.

### Solución 3

Se plantea instalar una maquina en paralelo a la maquina existente, con el objetivo de que esta se encargue de algunos de los pisos donde más se requiere caudal.

Por lo que se plantea que la maquina existente que entrega un caudal de 6500 (m<sup>3</sup>/h) sea encargada de acondicionar solo el piso 5 y 4 del edificio, los cuales en conjunto requieren un caudal de 5761 (m<sup>3</sup>/h) .

Y se propone instalar un nuevo circuito paralelo al existente, cerrando el ducto principal hasta el piso 4, y del piso 3 al zócalo del edificio instalar un nuevo sistema mediante una maquina más un circuito en paralelo que conecte al existente y que sea capaz de entregar un caudal sobre los 8993 (m<sup>3</sup>/h). Para los pisos 3, 2, 1 y zócalo

Esta solución tiene un costo aproximado de:

$$inv = \text{costo de equipos} + \text{costo traslado} + \text{costo instalacion} + \text{costo puesta en marcha.}$$

$$inv = 15.000.000 + 1.000.000 + 7.000.000 + 2.000.000. = 25.000.000$$

Esta solución se presenta como una solución alternativa a las 2 anteriores mostrada, observamos que tiene un costo más elevado ya que implica modificar el conducto existente, como también instalar un nuevo circuito, lo que se le agrega costos en construcciones y reparaciones.

.

## 8. Conclusión

Con la presente memoria podemos concluir que es de mucha importancia conocer la teoría en el aspecto de la mecánica de fluidos especialmente en la dinámica de fluidos a la hora de diseñar o seleccionar equipos para que cumplan funciones de acondicionamiento de aire en interiores.

Por lo que es necesario conocer las exigencias que establecen las normas que rigen la climatización en edificios tan importantes como son hospitales públicos y adecuar los parámetros tanto como de diseño y selección de equipos y componentes de acuerdo a la norma.

Con el fin de evitar problemas como los que se plantean en la presente memoria donde fue necesario un recalcule del caudal necesario para el correcto funcionamiento del sistema, basándose en los estándares aplicados por la norma para hospitales y en el diseño actual de los ductos de distribución de aire, tomando en cuenta las distintas singularidades presentes en cada ducto del edificio y re calculando las velocidades de circulación deseadas en las distintas ramificaciones.

También durante este proceso nos encontramos con errores de diseño en donde existen pérdidas de carga a las cuales se hace difícil cuantificar la pérdida misma debido a que en ocasiones, se observada que existe en el diseño del circuito de distribución, distintos difusores que conectaban a diámetros distintos de salida, lo que hace que dentro del difusor se generen remolinos que aumentan la pérdida de carga y hacen que el fluido disminuya su velocidad durante el recorrido.

En definitiva, se plantea que el problema principal del mal funcionamiento del sistema de inyección de aire acondicionado en el edificio, es la mala selección de la unidad manejadora de aire.

Por último, se establece que la presente memoria cumple con los objetivos planteados, en cuanto a enfrentar el problema, establecer métodos y aplicar conocimientos generales de la ciencia de la ingeniería para dar solución a la problemática planteada en la presente memoria.

## Bibliografía.

- [1] Apunte dinámica de fluidos profesor Reinaldo Sánchez Arriagada (2007).
- [2] Allen, J. R., Walker, J. H., James, J. W., & Gayán, J. B. (1956). *Calefacción y acondicionamiento de aire*. Labor.
- [3] Mott, R. L. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada*. Pearson Educación.
- [4] UNE100713. (2005). *Instalaciones de Acondicionamiento de Aire en Hospitales*. España: AENOR  
ASOCIACION ESPAÑOLA DE NORMALIZACION Y CERTIFICACION.
- [5] STREETER, VICTOR L. (1999) “*Mecánica de Fluidos*”, Mexico Novena edición, McGRAWHILL
- [6] CÁMARA CHILENA DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN A. G. DIVISIÓN TÉCNICA DE AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACIÓN.(2007) “*Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en Chile*, RITCH
- [7] Amigo, M. L., & Vergel, O. A. (2012). *Frío industrial y aire acondicionado*. Universidad de Castilla La Mancha.



## Anexos

**Anexo 1:** zonas de descarga UMA 12 en bloque B1 y mediciones de respaldo.

En el presente anexo se detalla, los lugares específicos donde la UMA 12 realiza la descarga de aire acondicionado en el diferente piso del hospital. Para cada piso se ilustra una imagen donde se aprecia los difusores de descarga, como también se presenta las mediciones realizadas en el hospital, para verificar la velocidad de descarga de aire en las condiciones actuales del sistema.

### Mediciones de velocidad de descarga de aire.

Se realizaron mediciones, de velocidad de descarga de aire en los difusores, con el objetivo de comprobar lo planteado por el departamento de mantención del hospital, es decir el deficiente funcionamiento de del sistema de aire acondicionado.

**Para realizar las mediciones se utilizó el siguiente anemómetro:**



Anemómetro digital de última generación de tamaño compacto y ligero para mediciones precisas de velocidad y temperatura en sistemas de ventilación. Algunas de sus características son las siguientes:

- Anemómetro digital para medición de velocidad y temperatura con sonda rígida
- Velocidad mediante anemómetro de filamento caliente 0-20 m/s con precisión +/- 5%
- Temperatura -18 a 93 °C con precisión +/- 0.3 °C
- Pantalla LCD para visualización de datos
- Funcionamiento mediante 4 baterías AA o adaptador AC.

## **Toma de mediciones**

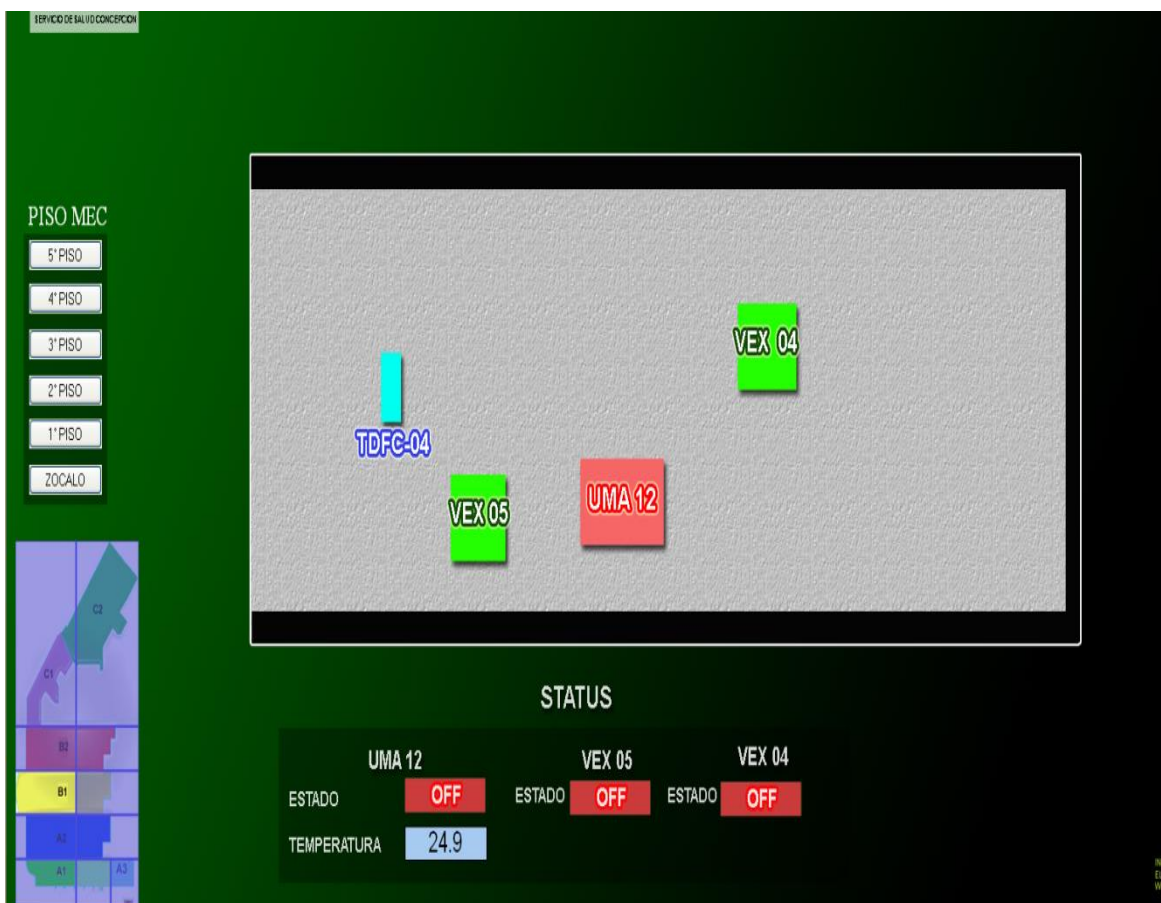
Para tomar las mediciones se requirió apoyo del personal de mantención del hospital y una escalera, acercando el sensor del medidor lo más cerca del centro del tubo de descarga del difusor se tomó la medición de velocidad de descarga de aire en la diferente zona del hospital como se aprecia en las imágenes.



- Se tomaron 4 puntos por difusor y uno en el centro de este. Sacando un promedio de velocidad de descarga de aire para cada uno de los difusores. Los resultados se adjuntan en una tabla en cada una de las imágenes de las zonas de descarga de aire en el edificio.

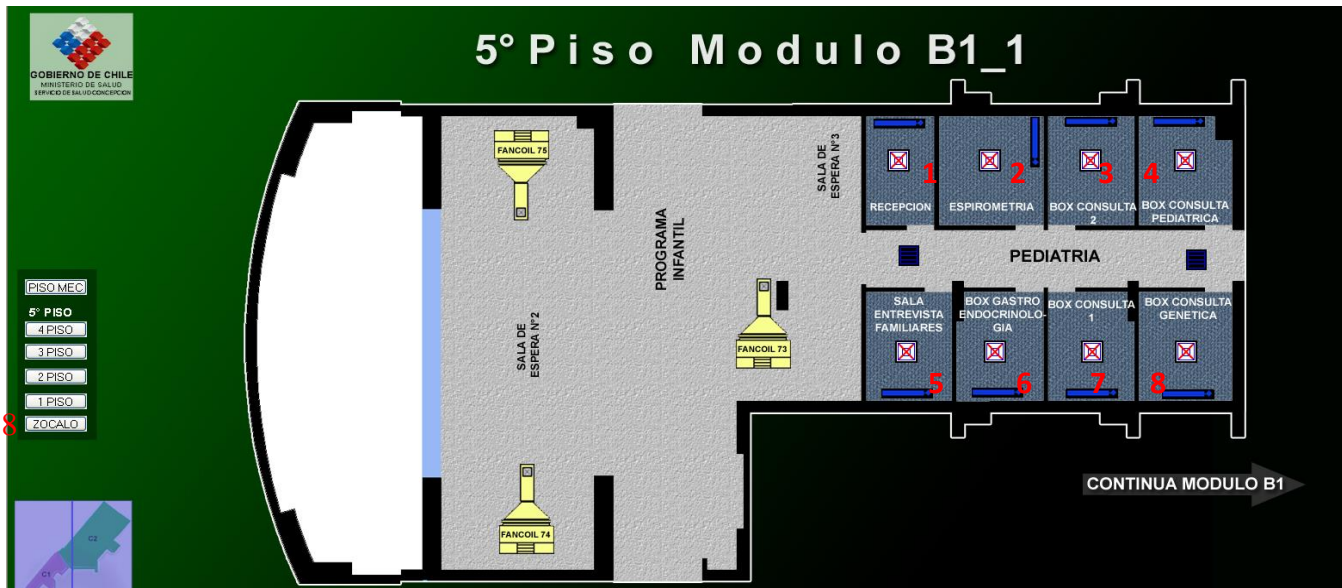
**Lugares de descarga de aire y medición.**

A continuación, se detalla la ubicación de la UMA 12 y los lugares de descarga y la medición de velocidad de descarga de aire en cada uno de los difusores por piso.



*Obs : Ubicación de la manejadora de aire en el piso mecánico del edificio B1 del hospital.*

### Piso 5



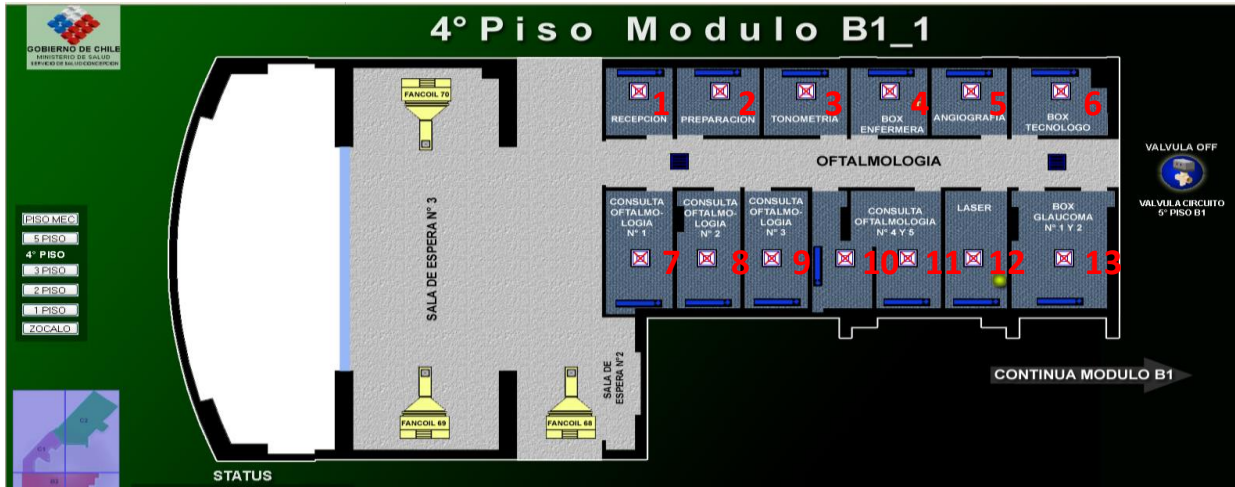
Este es el primer piso donde la UMA 12 realiza su primera descarga de aire en la zona de pediatría del edificio, las zonas de descarga se muestran como un cuadrado, con una equis de color roja (difusor de descarga), que indica que la maquina está apagada.



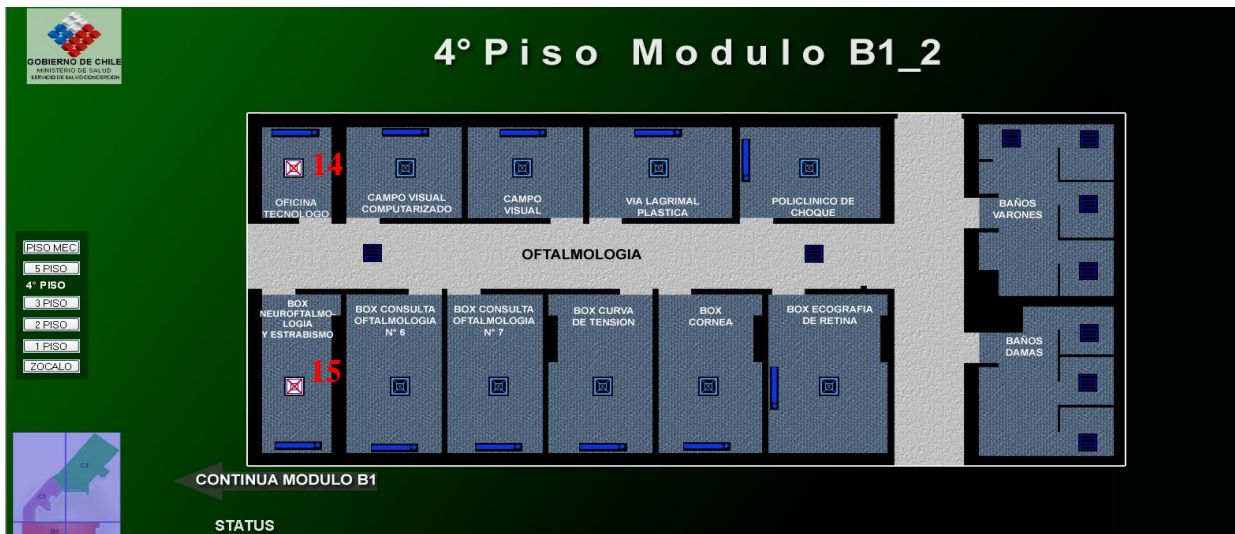
Zona B1.2 del piso 5 del edificio

N°Difusor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocidad (m/s)	0.5	0.6	0.8	1	0.7	0.7	0.9	1	1.2	1

**Piso 4.**

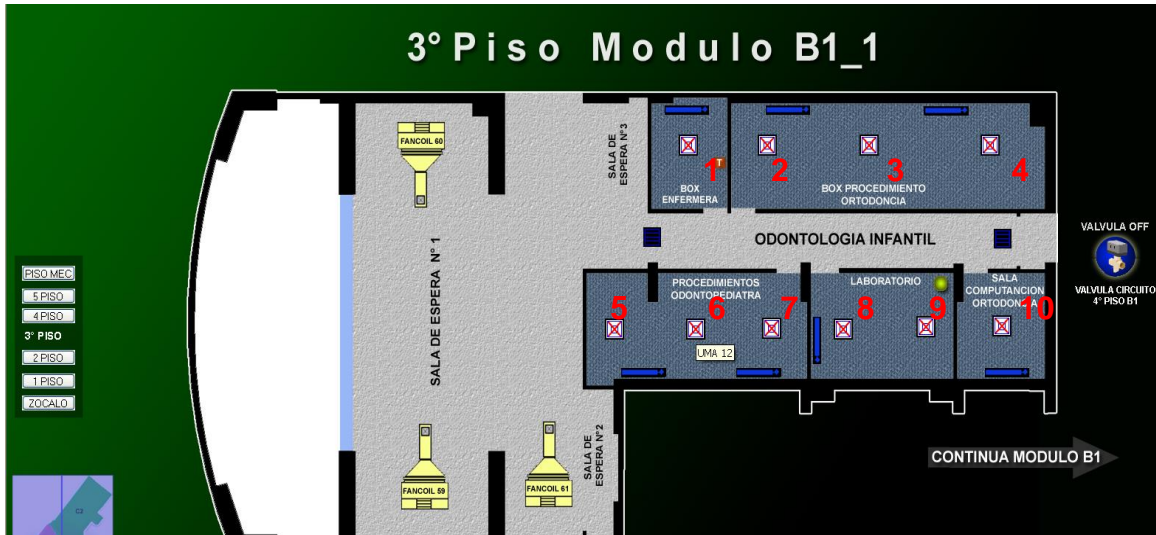


Zona de descarga de UMA 12 en piso cuatro oftalmología.

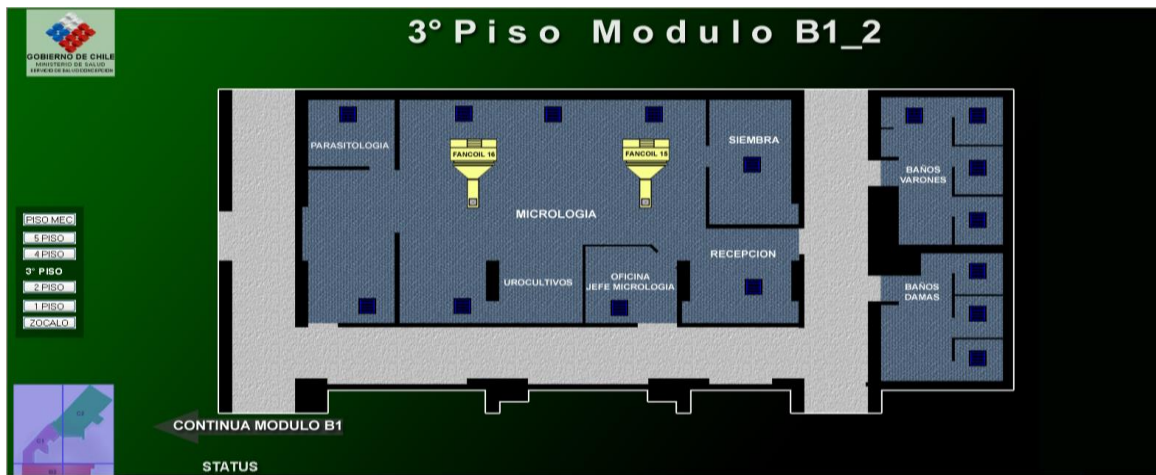


N°Difusor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Velocidad (m/s)	0.6	0.7	0.7	0.6	0.8	0.8	0.2	0.4	0.5	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.1

### Piso 3



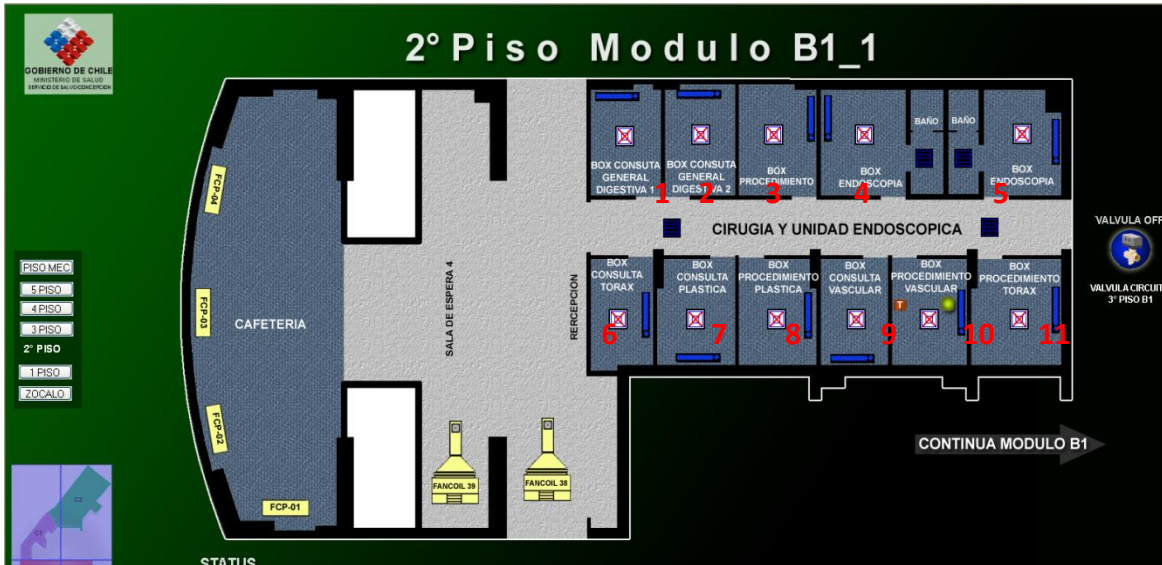
Descarga UMA 12 en piso 3 del edificio B1 en odontología infantil.



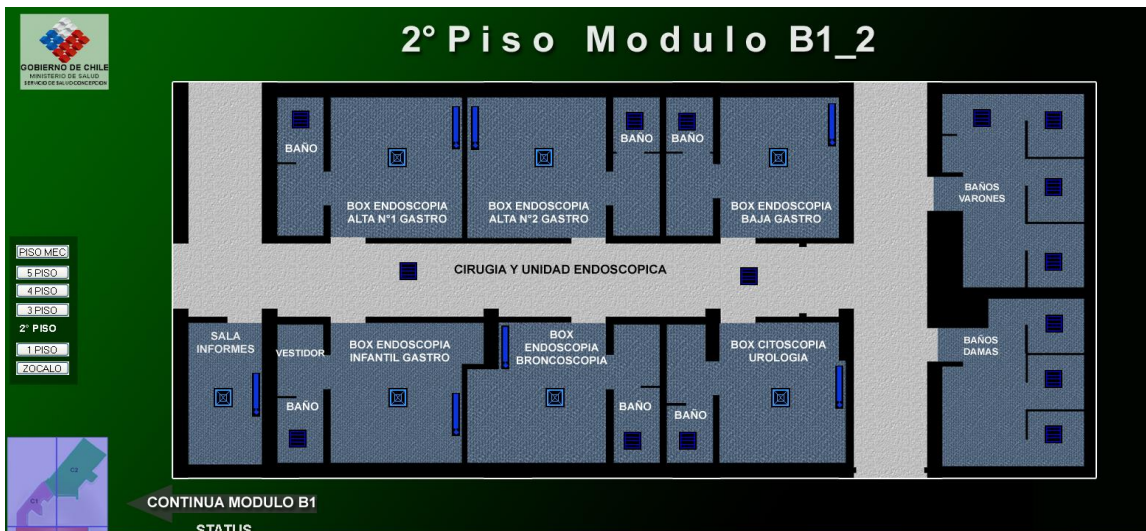
De esta parte del edificio se encarga solo la UMA 13.

NºDifusor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Velocidad (m/s)	0.3	0.5	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.3	0.4

## Piso 2



Descarga en piso 2 del edificio de la UMA 12 en la unidad de cirugía y endoscopia.



De esta zona del edificio se encarga la UMA 13.

N°Difusor	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Velocidad (m/s)	0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.3

## Piso 1



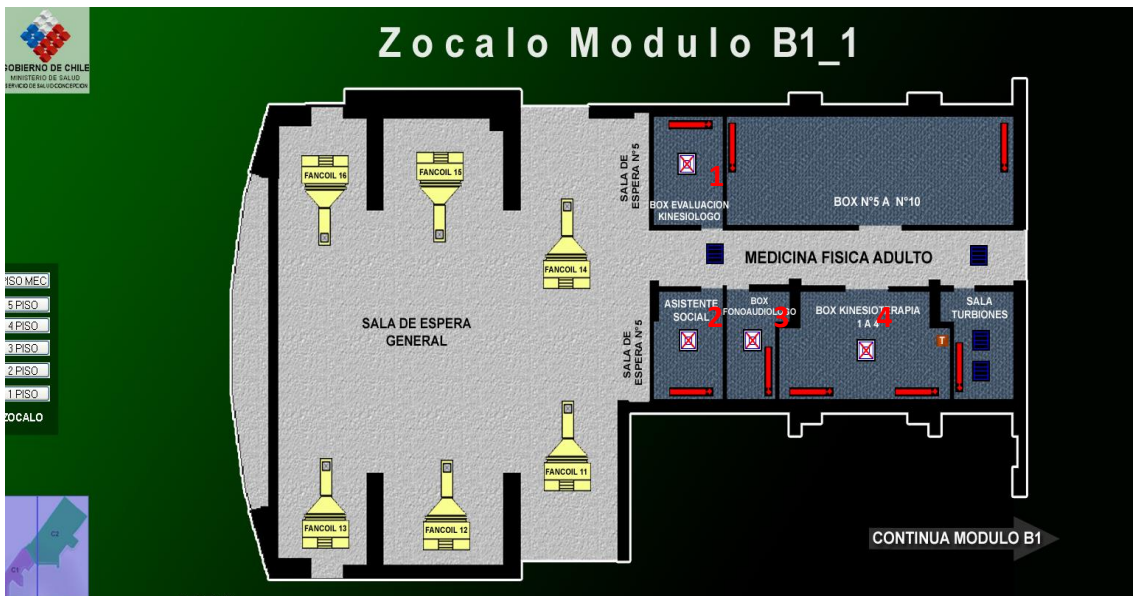
en esta zona del edificio la UMA 12 descarga aire alimentando a los equipos Fanciols.



De esta zona de de modulo se encarga la UMA13.



## Zocalo B



En esta zona climatiza UMA 12 alimentando a los equipos faincoils y algunos sectores del area de medicina física adulto.



De esta zona se encarga principalmente equipos vex.

NºDifusor	1	2	3	4
Velocidad (m/s)	0.0	0.1	0.3	0.2

## Anexo 2: Norma española UNE 100713 “instalación de acondicionamiento en hospitales”

A continuación, se muestran extractos de la norma utilizados en esta memoria de título.

La norma UNE 100713 establece en su apartado 5.2 las siguientes consideraciones:

### 5.2 Calidad del aire

**5.2.1 Clases de locales.** Por razones higiénicas, en un hospital existen diferentes tipos de exigencias con respecto a la presencia de gérmenes en el aire impulsado y en el ambiente.

Para este fin, los locales del hospital se dividen en dos clases:

- Clase de local I: con exigencias muy elevadas.
- Clase de local II: con exigencias habituales.

Las clases de cada local están indicadas en la columna 3 de la tabla 5.

**5.2.2 Limpieza del aire.** La retención de las impurezas contenidas en el aire en forma de partículas de todo tipo (sólidas y líquidas, incluyendo microorganismos), requiere de varios niveles de filtración según la clase de local a proteger, en concreto:

- Dos niveles de filtración para locales de la clase II.
- Tres niveles de filtración para locales de la clase I.

Los niveles de filtración están constituidos, como mínimo, por las clases de filtros que aparecen en la tabla 1.

**Tabla 1**  
Clases de filtros

Nivel de filtración	Clase de filtro	Norma
1º	F 5	UNE-EN 779
2º	F 9	UNE-EN 779
3º	H 13	UNE-EN 1822-1

Por motivos higiénicos, los niveles de filtración se deben disponer de la forma siguiente:

- 1º nivel de filtración:

En la toma de aire exterior, si el conducto tiene una longitud mayor de 10 m; en caso contrario, se debe colocar en la entrada de aire de la central de tratamiento de aire o después de la eventual sección de mezcla.

- 2º nivel de filtración:

Después de la unidad de tratamiento de aire y al comienzo del conducto de impulsión.

- 3º nivel de filtración:

Lo más cerca posible del local a tratar o bien en la proximidad del grupo de locales de un mismo tipo: en el caso de locales de la clase I, en la propia unidad terminal de impulsión de aire.

5.2.3 Aire exterior y caudal de aire impulsado. Se requiere que, como mínimo, el caudal de aire impulsado contenga la cantidad de aire exterior indicado en la columna 4 de la tabla 5.

Para reducir el nivel de gérmenes en el aire y/o para conseguir el balance térmico necesario, el caudal de aire impulsado debe ser mayor o igual que el caudal de aire exterior mínimo.

Con relación al caudal de aire necesario para quirófanos, véase el apartado 6.6.2.

Cuando la diferencia entre el caudal de aire impulsado obtenido en base a las exigencias térmicas y el caudal mínimo de aire exterior no se pueda compensar por medio de aire recirculado (véase el apartado 5.2.4), es necesario aumentar el caudal de aire exterior en la cantidad necesaria.

**Tabla 5**  
**Exigencias en la climatización en hospital**

1	2 Área de hospital Grupo de locales Tipo de local	3 Clase de local	4 Caudal mínimo de aire exterior <sup>1)</sup> m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )	5 Condiciones ambientales <sup>8)</sup>		7 HR <sup>9)</sup> %	8 Presión sonora máxima <sup>2)</sup> dB(A)
				Temperatura min. °C	Temperatura máx. °C		
<b>1</b>	<b>Área de exploración y tratamiento</b>						
<b>1.1</b>	<b>Quirófanos</b>						
1.1.1	Quirófanos tipo A y B, incluso accidentes y partos	I	(apartado 6.6)	22	26	45-55	40
1.1.2	Pasillos, almacén, material estéril, entrada y salida	I	15	22	26	45-55	40
1.1.3	Sala despertar	I	15	22	26	45-55	35
1.1.4	Otros locales	I	15	22	26	45-55	40
<b>1.2</b>	<b>Partos</b>						
1.2.1	Paritorios	I	15	24	26	45-55	40
1.2.2	Pasillos	II	10	24	26		40
<b>1.3</b>	<b>Endoscopia</b>						
1.3.1	Salas de exploración (artroscopia, toroscopia, etc.)	I	30	24	26		40
1.3.2	Salas de exploración (aséptico y séptico)	II	10	24	26		40
1.3.3	Pasillos	II	10	24	26		40
<b>1.4</b>	<b>Fisioterapia</b>						
1.4.2	Bañeras, baños de rehabilitación, piscinas	II	100%	3)	3)		40
1.4.3	Pasillos	II	10	3)	3)		45
<b>1.5</b>	<b>Otras áreas</b>						
1.5.1	Salas para pequeñas exploraciones	II	10	22	26		40
1.5.2	Sala despertar fuera del área del quirófano	II	10	22	26	45-55	35
1.5.3	Pasillos	II	10	24	26		40
1.5.4	Rayos X	II	10	24	26		40
1.5.5	Salas de exploración	II	10	24	26		40
<b>2</b>	<b>Área de cuidados intensivos</b>						
<b>2.1</b>	<b>Medicina intensiva</b>						
2.1.1	Habitaciones con camas, incluso eventual antesala	II	10	24	26	45-55	35 <sup>4)</sup>
2.1.1.1	Habitaciones para pacientes con riesgo de contraer infecciones	I	30	24	26	45-55	35 <sup>4)</sup>
2.1.1.2	Para el resto de pacientes	II	10	24	26	45-55	35 <sup>4)</sup>
2.1.2	Sala de Urgencias	II	15	24	26	45-55	40
2.1.3	Pasillos	II	10	24	26		40
<b>2.2</b>	<b>Cuidados especiales</b>						
2.2.1	Habitaciones con camas	I	30	24	26	45-55	35 <sup>4)</sup>
2.2.2	Sala de urgencias	I	30	24	26	45-55	40
2.2.3	Pasillos	II	10	24	26	45-55	40
<b>2.3</b>	<b>Cuidados de enfermos infecciosos</b>						
2.3.1	Habitaciones con cama, incluso eventual antesala	II <sup>10)</sup>	10	24	26	45-55	35 <sup>4)</sup>
2.3.2	Otros locales y pasillos	II	10	24	26		40
<b>2.4</b>	<b>Cuidados prematuros</b>						
2.4.2	Habitaciones con camas	II	10	24	26	45-55	35 <sup>4)</sup>
2.4.2	Pasillos	II	10	24	26		40
<b>2.5</b>	<b>Cuidados recién nacidos</b>						
2.5.1	Habitaciones con camas	II	10	24	26	45-55	35 <sup>4)</sup>
2.5.2	Pasillos	II	10	24	26		40

(Continúa)

**Tabla 5 (Fin)**  
**Exigencias en la climatización en hospital**

1	2 Área de hospital Grupo de locales Tipo de local	3 Clase de local	4 Caudal mínimo de aire exterior <sup>1)</sup> m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> )	5 Condiciones ambientales <sup>8)</sup>		7 HR <sup>9)</sup> %	8 Presión sonora máxima <sup>2)</sup> dB(A)
				Temperatura min. °C	Temperatura máx. °C		
2.6	Otras áreas	II	10	24	26		40
2.6.1	Habitaciones con camas para hospitalización	II	10	24	26	45-55	35 <sup>4)</sup>
3	Zonas de suministro y eliminación						
3.1	Farmacia						
3.1.1	Locales estériles	I	10	24	26		40
3.1.2	Pasillos	II	10	24	26		40
3.2	Esterilización <sup>5) 6)</sup>						
	Parte sucia, parte limpia	II	7)	24	26		40
	Lado limpio después de esterilización, almacén de material estéril	I	7)	24	26		40
3.3	Otras áreas (cocina, lavandería, laboratorios vestuarios, etc.)		9)	9)	9)		40

- 1) En casos puntuales se pueden exigir caudales de aire mayores.
- 2) Estos valores pueden reducirse a criterio del higienista.
- 3) La temperatura ambiente estará entre 2 °C y 4 °C por encima de la temperatura del agua, hasta una temperatura ambiente de 28 °C, por encima de 28 °C las dos temperaturas deben de ser iguales.
- 4) Los valores máximos serán 5 dB inferiores, junto a una reducción del caudal de aire que nunca podrá ser inferior a 15 l/s (54 m<sup>3</sup>/h) por persona.
- 5) Si pertenece a una zona de quirófanos se cumplen las mismas condiciones que se exigen para el quirófano.
- 6) En caso de utilizar productos químicos para esterilización, se toman medidas oportunas para la evacuación de las sustancias contaminantes.
- 7) El caudal de aire exterior es una función de la cantidad de sustancias contaminantes.
- 8) El higienista puede fijar otros valores.
- 9) En otras áreas no propiamente hospitalarias, las instalaciones cumplen y se ajustan a las normas en vigor para cada tipo de local (por ejemplo, la Norma UNE-EN-ISO 7730).
- 10) La extracción de aire se considera como clase I, debiendo de estar el filtro absoluto en la unidad de aspiración de aire de la habitación.

➤ Tomando en consideración lo expuesto en el apartado 5.2.3 y lo establecido en la tabla 5, es que se calcularon las velocidades de descargas de aire para cada recinto.

### **Anexo 3**

#### Planos circuitos de descarga de aire acondicionado

A continuación, se adjuntan planos del circuito de descarga de aire por cada piso del edificio, en donde se muestra los tramos que se consideró para el cálculo.