

IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA NUEVA CONFIGURACIÓN DE
FILTRACIÓN PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA BELCORP

LADY VIVIANA PINZÓN BELTRÁN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2017

IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA NUEVA CONFIGURACIÓN DE
FILTRACIÓN PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA BELCORP

LADY VIVIANA PINZÓN BELTRÁN

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniera Química

Directora

Viviana Sánchez Torres

Ingeniera Química, Ph.D.

Codirectores:

Steve Cardona Parrasi

Químico Farmacéutico

Mónica Alexandra Ballén Benavides

Química

Gestión de calidad- Belcorp

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA

2017

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Belcorp y especial al área de gestión de calidad y la familia de validaciones por abrirme sus puertas y sobre todas sus enseñanzas sin ellos este proceso no hubiera sido posible, además de hacer tan gratificante el inicio de mi vida laboral.

A la profesora Viviana Sánchez Torres por su paciencia, dedicación, colaboración y ayuda en todo este tiempo, sin ella este proceso no hubiera culminado.

Y a la escuela de ingeniería química por darme la oportunidad de realizar mi proyecto de grado en esta modalidad y en especial a la parte administrativa por su colaboración.

Esta es una forma de agradecer todas las experiencias vividas por tantos años

Dedicado a,

Todas las personas que hicieron parte de este larguísimo proceso que tuvieron palabras y acciones para poder culminar este paso.

Primero a Dios y la Virgencita por darme la oportunidad de levantarme todas las mañanas y poder cumplir este sueño.

A mis papás por darme ese amor, esa comprensión y ese apoyo de poder alcanzar mis metas para ser una mejor persona.

A las personitas que se encuentran en el cielo o en algún lugar siendo mis angelitos.

A mis amig@s Diana, Bético y Rami que siempre han estado ahí en los buenos y malos momentos y otr@s que me harán falta por mencionar.

Al apto 701 por darme una familia y poder compartir tantas experiencias

A NDL², por haber sido mis amigas mis compañeras desde el primer día, casi una vida de crecimiento.

Al colectivo Andres Ochoa y sus integrantes por ser mi tercera familia.

Al CEIQ , David y Jesús que me brindaron muchas experiencias de vida y sobre todo confianza de afrontar muchos retos tanto personales como académicos.

Al CEFIQ y Eduardo + Nico por a haber sido un espacio de apoyo a la facultad y crecimiento para la Universidad Industrial de Santander.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. OBJETIVOS	25
1.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
2. ALCANCE	26
3. METODOLOGÍA.....	27
3.1 DIAGNÓSTICO DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	28
3.1.1. Revisión de la normatividad vigente	28
3.1.2 Recolección de datos del sistema de ventilación.....	28
3.1.3. Identificación de aspectos por mejorar	28
3.2 FORMULACIÓN DE UNA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS PARA LAS UMAS.....	29
3.2.1. Revisión bibliográfica	29
3.2.2. Propuesta de una nueva configuración de filtración de las UMAS.....	29
3.3 IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS PARA LAS UMA	30
3.3.1 Instalación de la nueva configuración de filtración.....	30
3.3.2. Seguimiento a la nueva configuración del sistema de filtración	30
3.3.3 Calificación del sistema de ventilación.....	30
3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS EN LAS UMAS.....	31
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	32
4.1 ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN.....	32

4.2 PROPUESTA DE UNA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS PARA LAS UMAS	32
4.3 ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS PARA LAS UMA	36
4.4 ANÁLISIS DE COSTOS.....	41
5. CONCLUSIONES.....	43
6. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	48

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Esquema del sistema de ventilación de la planta de producción de Belcorp.....	16
Figura 2. Plano de instalación del sistema de ventilación.....	20
Figura 3. Eficiencia aproximada de los filtros vs. tamaño de las partículas	22
Figura 4. Resistencia al flujo vs. caudal de aire de los filtros de diferentes eficiencias.....	23
Figura 5. Esquema unidad manejadora de aire. (a) Foto de la UMA SIP-423 y (b) Dibujo de la unidad con sus partes.....	24
Figura 6. Esquema de la metodología realizada.....	27
Figura 7. Antecedentes de conteo de partículas de 0,5 μm de las áreas de producción de la empresa Belcorp.....	33
Figura 8. Antecedentes de conteo de partículas de 5,0 μm de las áreas de producción de la empresa Belcorp.....	34
Figura 9. Comparación de Δ presión teóricos a diferentes eficiencia de filtros de cada una de las UMAS	35
Figura 10. Instalación de la guata a los filtros de cartón eficiencia 35%.....	36
Figura 11. Comparación de Δ presión teóricos vs. Δ presión experimentales de filtros de 35% de las UMAS	36
Figura 12. Comparación de la frecuencia de cambio de filtros configuración con el criterio anterior (Inspección visual por el técnico) vs. el criterio nuevo (Presión diferencial de 1,5 in de H_2O).....	37
Figura 13. Comparación de caudal de suministro de aire de las UMAS a las áreas de producción	39
Figura 14. Comparación conteo de partículas de 0,5 μm	40
Figura 15. Comparación conteo de partículas de 5,0 μm	41

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Sistema de clasificación según cantidad de partículas en ambientes controlados	17
Tabla 2. Sistema de clasificación del aire en la fabricación de producto estéril según cantidad de partículas en ambientes controlados	18
Tabla 3. Configuración general de filtración del sistema de ventilación de Belcorp.	21
Tabla 4. Formulación general de la nueva configuración de filtración para las UMA	36
Tabla 5. Formulación general de la configuración nueva corregida de filtración para las UMA	40
Tabla 6. Comparación de costos de la implementación de estas configuraciones	42
Tabla 7. Comparación de costos anuales de la configuración anterior vs. configuración nueva corregida	42

LISTA DE ANEXOS

pág.

Anexo A. Tabla especificaciones de Belcorp para la clasificación de aire requerido en las áreas de producción	48
Anexo B. Tabla de la configuración de filtración de cada UMA del sistema de ventilación de Belcorp.....	50
Anexo C. Tabla documentos referenciados para la recopilación de datos	51
Anexo D. Instrumentos de medición	52
Anexo E. Fichas técnicas de los filtros.....	53
Anexo F. Tabla de la formulación de la nueva configuración de filtración por cada UMA.....	56
Anexo G. Tabla de la formulación de la configuración nueva corregida de filtración por cada UMA.....	57
Anexo H. Tabla costo generado de filtración de cada UMA para la configuración anterior y nueva corregida	58

GLOSARIO

Área limpia: Es el área donde se controla la concentración de partículas.

Caudal de aire: Es el volumen de aire que circula en un tiempo determinado dentro de una UMA. Se mide en pies cúbicos por minuto (cfm).

Contaminación cruzada: Según la OMS es la contaminación de una materia prima, producto intermedio, o producto terminado, con otra materia prima o producto terminado durante la producción.

Eficiencia: Este parámetro determina la calidad de la filtración, es un valor que indica cuanto del polvo que incide en el filtro es retenido.

EyS: Área de emulsiones y shampo.

HOH: Área de hidroalcoholes.

MERV: *Minimum Efficiency Reporting Value* por sus siglas en inglés, es un parámetro que mide la eficiencia mínima de un filtro reteniendo grupos de partículas en rangos de tamaños definidos [1].

SIP- ###: Codificación interna de las unidades manejadoras de aire.

UE: Unidad manejadora de aire de escape.

UMA: Unidad manejadora de aire de suministro.

RESUMEN

TÍTULO: IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTRACIÓN PARA EL SISTEMA DE VENTILACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA BELCORP*

AUTOR: LADY VIVIANA PINZÓN BELTRÁN**

PALABRAS CLAVE: Sistemas de ventilación, filtración, eficiencia, resistencia

DESCRIPCIÓN:

Los sistemas de ventilación tienen como finalidad proporcionar un buen desarrollo a las condiciones ambientales de trabajo en la industria, contribuyendo a controlar la circulación de aire, así como los contaminantes y partículas, para la industria cosmética que fabrica, envasa y distribuye productos de consumo masivo. Belcorp debe cumplir con normas y estándares de calidad mínimos de limpieza, por lo que necesita un monitoreo continuo a sus sistemas de filtración de aire, debido a que un mal manejo con lleva a un incumplimiento de normas y posteriormente a una generación de altos costos de operación.

En este trabajo, se presenta el diagnóstico de la anterior configuración de filtración del sistema de ventilación, para así formular e implementar una nueva eficiente y económica con filtros de eficiencia de 35% en la mayoría de las unidades manejadoras de aire, de tal forma que no afectará la operación normal de la planta de producción y evaluar así su desempeño con seguimientos y mediciones a los parámetros de operación: caudales de aire, diferenciales de presión y conteo de partículas. Con esta alternativa se pudo disminuir costos de instalación en un 49% y anuales en un 56%, ya que la planta siguió con su normal funcionamiento.

*Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería Química. Directora: Viviana Sánchez Torres, Ingeniera Química, PhD. Codirector: Steve Cardona y Mónica Alexandra Ballén. Gestión de calidad Belcorp

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION AND EVALUATION OF A NEW FILTRATION CONFIGURATION FOR THE VENTILATION SYSTEM OF THE BELCORP COMPANY PRODUCTION PLANT.*

AUTHOR: LADY VIVIANA PINZÓN BELTRÁN**

KEYWORDS: Ventilation systems, filtration, efficiency, resistance

DESCRIPTION:

The general *purpose* of the ventilation systems is to provide a good development to environmental working conditions in the industry. These systems are designed to control the air circulation, checking the contaminants and particles in it, for the cosmetic industry that manufactures, packages and distributes consumer products. Continuous monitoring of air filtration systems is needed in Belcorp in order to comply the minimum quality and cleaning standards. Mismanagement and a breach of standards generate high operating costs.

In this work, present the diagnosis of the previous configuration of the filtration of the ventilation system, in order to formulate and implement a new configuration efficient and economic filters of 35% in most air handling units, so that it does not affect the operation of the production plant and as evaluate performance with the followings and the measurements of the operating parameters: air flow rates, different pressure and particle counting. With this alternative have reduced installation costs by 49% and annual by 56%, as the plant continued its normal operation.

*Final project

**Physical-Chemical Engineering Department. Chemical Engineering School. Director: Viviana Sánchez Torres, Chemical Engineer, PhD. Codirector: Steve Cardona y Mónica Alexandra Ballén. Quality Department Belcorp.

INTRODUCCIÓN

Belcorp es una empresa de carácter privado fundada en 1968 en Perú, dedicada a la fabricación y distribución de productos cosméticos. En Colombia opera desde 1985 y actualmente tiene una venta de producción de más 1.256 billones de USD anuales.

La planta principal en Colombia se encuentra en la vereda Canavita parque industrial en Tocancipá, Cundinamarca. Sus productos se centran en 3 líneas de producción: hidroalcoholes, emulsiones y shampoo, y maquillajes y compactos, donde se realizan los procesos de fabricación, envasado y acondicionamiento del producto terminado [2].

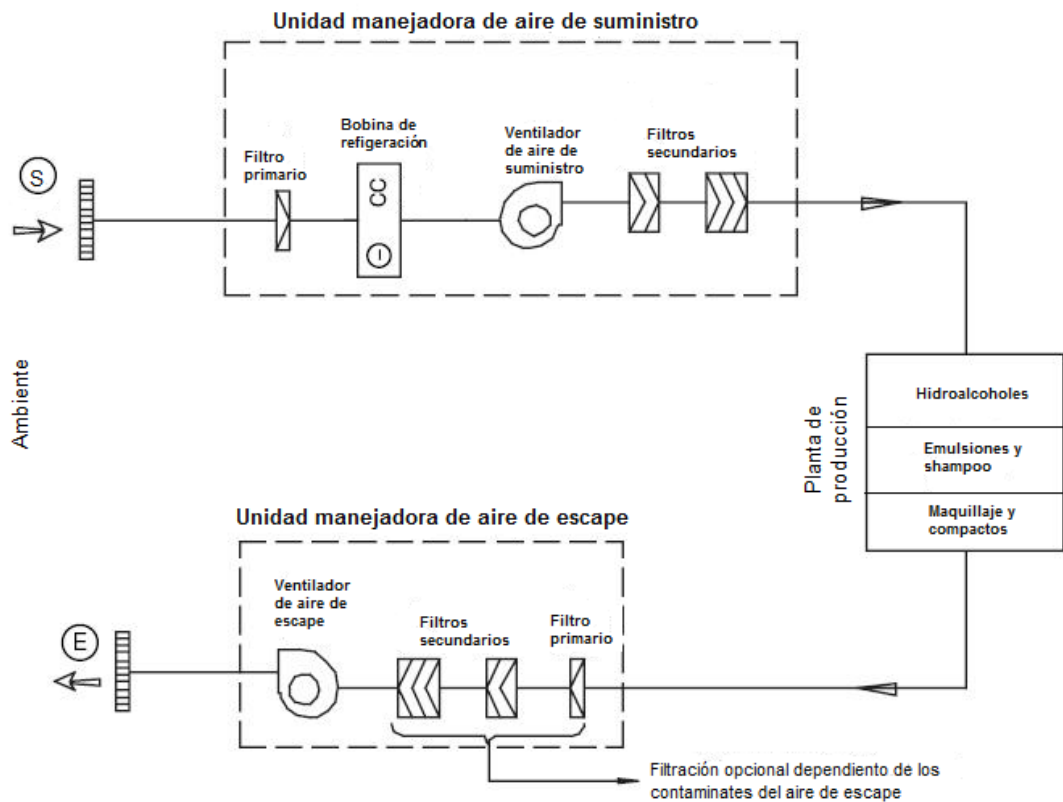
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La industria de cosméticos elabora productos destinados a la aplicación directa al consumidor y se rige por normas y/o resoluciones tanto ambientales como de calidad ISO 14644-1:2000, Informe 32 de la Organización Mundial de la Salud (OMS), y la decisión 516 Armonización de legislaciones en materia de productos cosméticos dictaminada por la comunidad Andina [3].

La planta de producción de Belcorp necesita un monitoreo continuo de los sistemas de aire en los procesos de fabricación y envasado de los productos puesto que se clasifican como áreas limpias con entornos controlados [4]. El sistema de ventilación (Figura 1) cuenta con diferentes tipos y configuraciones de filtros, según la eficiencia requerida. Sin embargo, la configuración acarrea altos costos de operación. Analizando las últimas calificaciones anuales del sistema de ventilación, se identificó que aunque se cumple con la normatividad la decisión de cambiar los filtros se está tomando por apreciación cualitativa del técnico, sin

medir los diferenciales de presión en la unidades manejadoras de aire de suministro (UMA) y sin que hayan alcanzado su nivel máximo de saturación. Así mismo las configuraciones instaladas por el fabricante del sistema para las áreas de producción fueron sobredimensionadas generando mayor consumo de energía y suministros. Por lo que es necesario realizar un análisis de la normatividad y del desempeño del sistema de ventilación actual para poder proponer modificaciones que permitan reducir los costos de operación.

Figura 1. Esquema del sistema de ventilación de la planta de producción de Belcorp



Fuente: [5]. Adaptado por el autor

MARCO LEGAL

Belcorp se rige por una serie de normas que aplican para los sistemas de ventilación y filtrado de la industria cosmética.

Decisión 516: armonización de legislaciones en materia de productos cosméticos. Los productos cosméticos utilizados en aplicación facial y corporal se encuentran reglamentados por esta decisión de la Comunidad Andina de Naciones, la cual establece normativas de vigilancia sanitaria, fabricación, envase y comercialización teniendo en cuenta las buenas prácticas de manufactura (BPM). En relación a los sistemas de filtración, indica que los filtros de aire deben estar bajo control de limpieza y en su eficiencia, según las especificaciones de cada área [6].

Norma ISO 14644-1: áreas limpias y ambientes controlados. Hace referencia a la clasificación de la pureza del aire en áreas de producción y su correspondiente concentración de partículas en las operaciones de producción en ambientes controlados [7].

En la Tabla 1 se muestra la clasificación de las áreas limpias en función del tamaño y cantidad de partículas permitidas. Belcorp por sus condiciones de operación se rige por la *ISO clase 8* para su proceso de filtración.

Tabla 1. Sistema de clasificación según cantidad de partículas en ambientes controlados

Clasificación ISO	Límites de concentración máximos (partículas/m ³ de aire)					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1,0 µm	5,0 µm
ISO CLASE 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO CLASE 7				352000	83200	2930
ISO CLASE 8				3520000	832000	29300

Fuente: [7]

Informe 32 de la Organización Mundial de la Salud (OMS) numeral 17.3. Hace referencia a las áreas limpias destinadas a la fabricación de preparaciones estériles, se clasifican según las características exigidas del aire, en grados A, B, C, y D (Tabla 2) [8]. Belcorp por su medio de operación se clasifica en *grado D*, para todas sus áreas de producción especificadas en el Anexo A.

Tabla 2. Sistema de clasificación del aire en la fabricación de producto estéril según cantidad de partículas en ambientes controlados

Grado	Máximo no. de partículas permitidas por m ³	
	0.5 - 5.0 µm	> 5 µm
A	3.500	Ninguna
B	3.500	Ninguna
C	350.000	2.000
D	3.500.000	20.000

Fuente: [8]

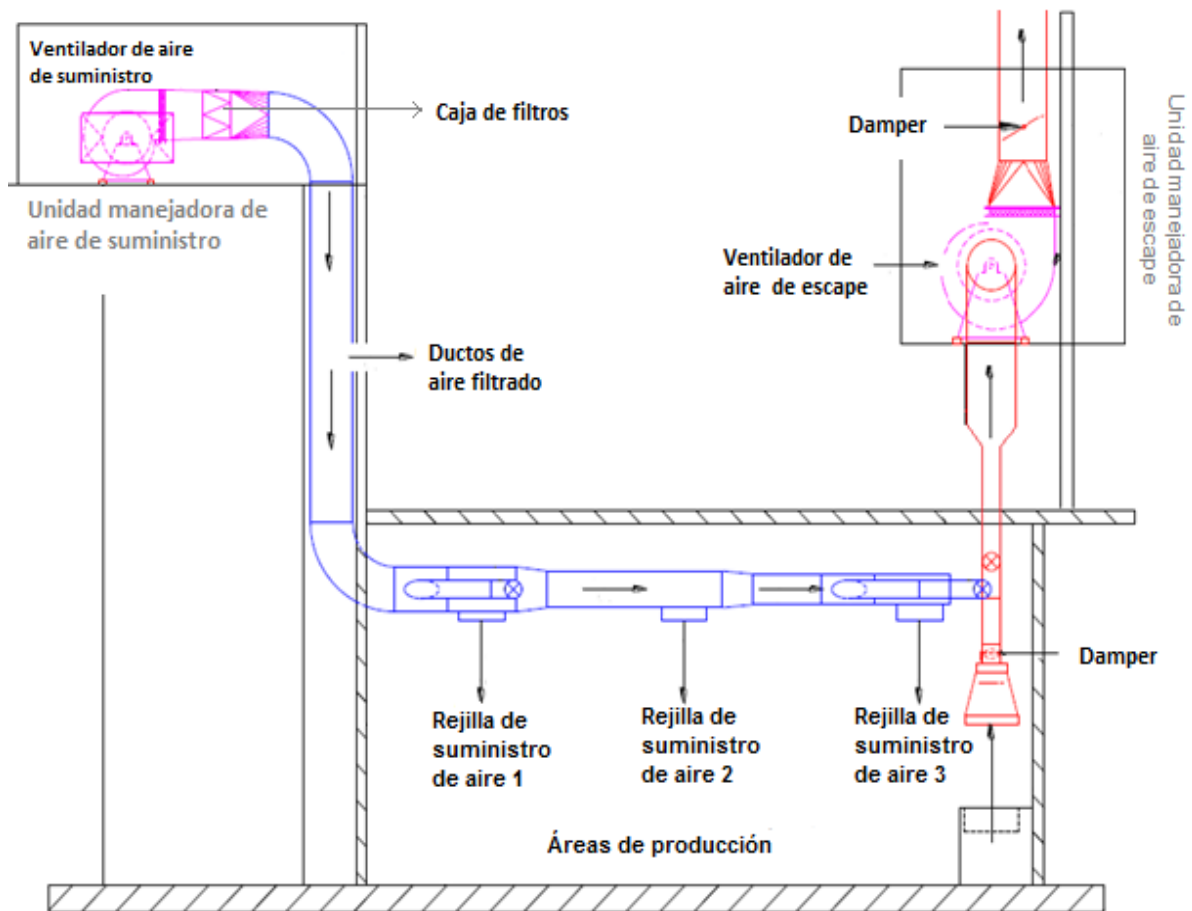
SISTEMA DE VENTILACIÓN

Es un sistema de apoyo crítico, puesto que está en contacto directo con el producto, tiene como finalidad el acondicionamiento del aire ambiental para ofrecer un ambiente seguro y limpio para las operaciones productivas, evitando la contaminación cruzada en las áreas y entre los productos [4].

El sistema de ventilación de Belcorp cuenta con 28 unidades manejadoras de aire de suministro (UMA) las cuales proporcionan aire a sus 3 líneas de producción distribuidas en 47 áreas para sus procesos de fabricación, envase y servicios. El sistema de ventilación (Figura 2) por medio de las UMA extrae el aire del interior

de las áreas de producción y lo sustituye por nuevo del exterior, siendo el flujo de entrada de aire mayor que el de salida, creando una presión positiva dentro de la UMA. El aire es luego filtrado para retener las partículas según la eficiencia requerida para posteriormente realizar la distribución en los ductos de flujo de aire y las rejillas de suministro a las diferentes áreas de producción. El aire se remueve constantemente de las áreas de producción a través del sistema de extracción o unidad de escape (UE) del aire que es dirigido al ambiente [4].

Figura 2. Plano de instalación del sistema de ventilación



Fuente: [9]. Adaptado por el autor.

FILTRACIÓN

El filtrado es fundamental para controlar la contaminación particulada, óptimo para preservar el flujo laminar del aire del exterior que ingresa a las UMA de suministro transportando las partículas hacia los filtros para ser retenidas.



La captura de partículas en el filtro se basa en cuatro principios: cribado, impacto, fuerza electrostática y movimiento browniano. Los medios de filtrado tienen espacios intermedios o poros para permitir que el aire pase evitando el ingreso de las partículas de diámetro mayor al diámetro del poro (cribado), mientras las partículas más grandes debido a la inercia se desvían del flujo de aire al chocar con el filtro (impacto). Las partículas cargadas son atrapadas en las fibras con carga opuesta debido a la fuerza electrostática. Algunas partículas más pequeñas pueden escurrirse por los poros pequeños aunque su movimiento aleatorio (movimiento browniano) hace que no sigan el flujo de aire y choquen con las fibras del filtro quedando atrapadas [10]. Los filtros se tornan más eficaces a medida que las partículas gradualmente rellenan los espacios intermedios en los medios de filtrado, dificultando el paso de partículas a través del filtro. No obstante, la mayor contaminación genera menos espacio libre para que el aire pase, generando una caída de presión en el filtro y finalmente limitando gravemente la circulación del aire a través del filtro. Una vez que el filtro alcanza su punto de saturación se deberá reemplazar por uno nuevo. A veces, los medios de filtrado se pueden purgar (limpiar) y volver a usarse.

Los medios de filtrado se fabrican de fibras sintéticas, membranas, plásticos porosos o cerámicos. El filtrado de aire particulado de alta eficiencia (*High Efficiency Particulate Air* o HEPA por sus siglas en inglés) es la norma industrial correspondiente a los entornos de fabricación ultralimpios y ultrapuros, eliminan 99,99% de las partículas iguales o mayores que la especificación del filtro, que por lo general es de 0,3 μm , siendo una parte integrada de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Con una amplia gama de tamaños, formas y concentraciones de partículas, los limpiadores de partículas del aire varían ampliamente en tamaño, forma y costo inicial y costo de operación. El factor que más influye en el diseño y elección de un filtro es el grado de limpieza requerido para el aire [11].

La configuración de filtración del sistema de ventilación de aire de suministro de Belcorp cuenta con 187 filtros de material cartón, bolsa y sintético (Tabla 3) y con eficiencias de 35, 65 y 95%, variando según la configuración de cada una de las UMA (ver Anexo B).

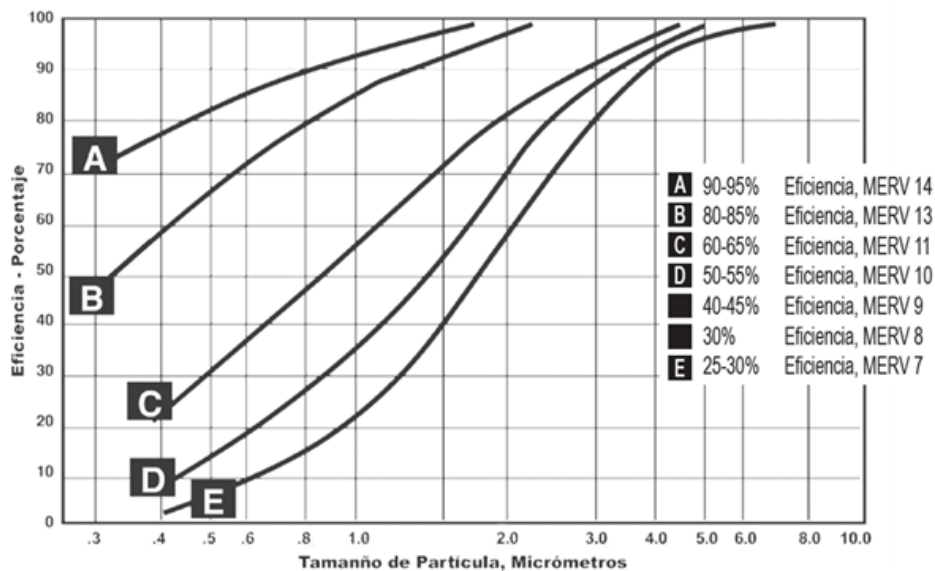
Tabla 3. Configuración general de filtración del sistema de ventilación de Belcorp.

Tipo de filtro y su eficiencia		Valor unitario \$COP	Número de filtros del sistema de filtración
	Filtro cartón 35%	\$ 22.000	68
	Filtro bolsa 65%	\$ 58.293	31
	Filtro sintético 65%	\$ 120.958	56
	Filtro sintético 95%	\$ 172.854	32
Total			187

Parámetros de los sistemas de filtración. Las tres características operativas que se utilizan para comparar los distintos tipos de filtros son:

Eficiencia: Mide la capacidad de un limpiador de aire para remover las partículas suspendidas en un torrente de aire [11]. En la Figura 3 se muestra la eficiencia en función del tamaño de las partículas para cinco tipos diferentes de filtros de alto desempeño. Se puede ver que mientras más pequeñas son las partículas más difíciles filtrarlas. La eficiencia es un valor porcentual que permite evaluar cuanto del polvo que incide en el filtro, es retenido. Por ejemplo una eficiencia de 35 indica que el 35% del polvo que incide es retenido y el 65% es permeado en el aire limpio [12]. Es representada en escala de valores de eficiencia mínima MERV, donde su número depende del porcentaje de filtración de tamaño de partículas.

Figura 3. Eficiencia aproximada de los filtros vs. tamaño de las partículas



Fuente: [13]

Capacidad de retención de polvo: Este parámetro determina la duración en operación del filtro, a mayor capacidad de retención de polvo, mayor su duración.

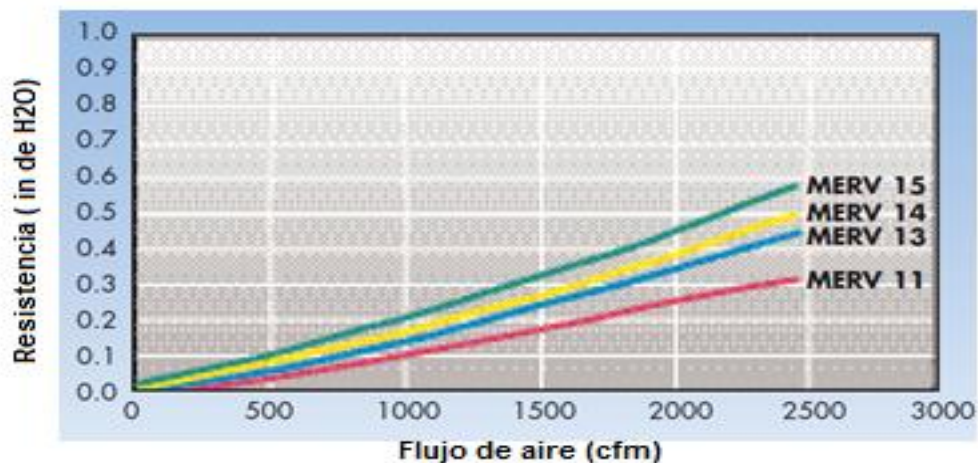
Define la cantidad de polvo que se retiene con cierto caudal de aire hasta alcanzar un valor máximo de saturación o resistencia [11].

Resistencia al flujo: Es la pérdida de presión a través del filtro para un determinado caudal de aire. Este es un factor importante a considerar los costos de operación del sistema. La pérdida de presión a través de la unidad filtrante es proporcional al cuadrado del caudal, como se observa en la Figura 4, comparando los filtros a diferentes eficiencias de filtrado en función del caudal de aire requerido.

Así, haciendo una correlación (ecuación 1) en donde el subíndice r represente las condiciones nominales, la resistencia al flujo ΔP es medida en pulgadas de H₂O (in H₂O) a cualquier caudal de aire requerido \dot{Q} medido en pies cúbicos por minuto (cfm) [11].

$$\Delta P = \Delta P_r \left(\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_r} \right)^2 \quad (1)$$

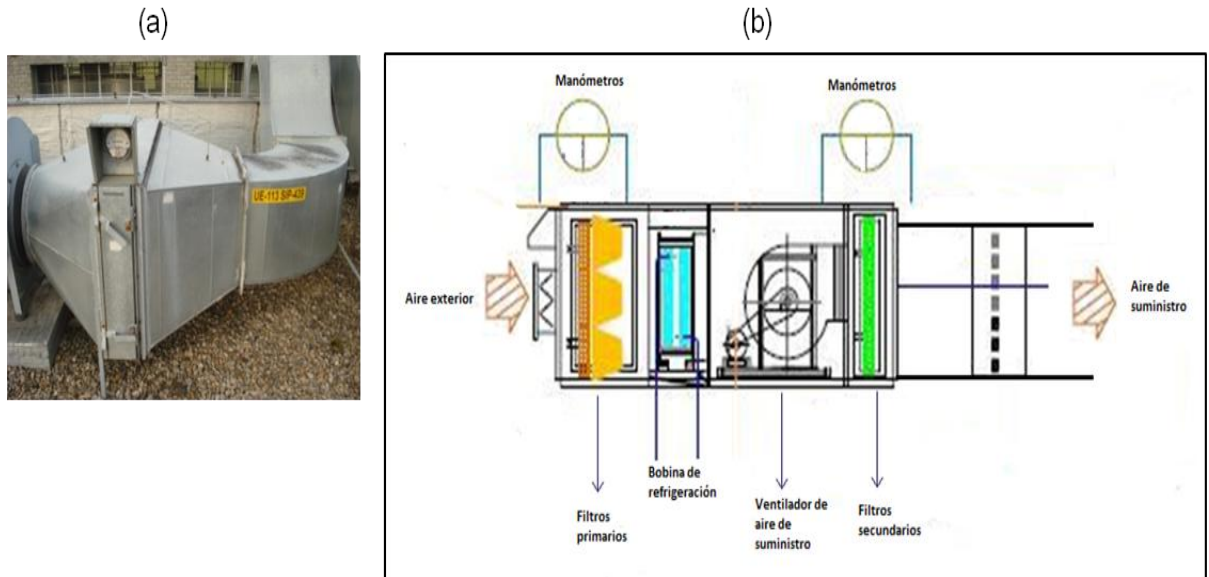
Figura 4. Resistencia al flujo vs. caudal de aire de los filtros de diferentes eficiencias.



Fuente: [14]. Traducido por el autor.

La presión diferencial en las unidades nos proporciona información sobre el grado de saturación en que se encuentran los filtros de la UMA; se mide utilizando manómetros instalados siendo la diferencia entre el aire filtrado y el aire del exterior para los filtros primarios y en la segunda filtración la diferencia entre el aire que suministra a las áreas de producción y el aire filtrado anterior según se observa en la Figura 5.

Figura 5. Esquema unidad manejadora de aire. (a) Foto de la UMA SIP-423 y (b) Dibujo de la unidad con sus partes



Fuente: [15]. Adaptado por el autor.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer, implementar y evaluar el desempeño de una nueva configuración de filtración para el sistema de ventilación de la planta de producción de la empresa Belcorp.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la normatividad que rige para la industria cosmética y realizar un diagnóstico del sistema de ventilación de la empresa, considerando los tipos y configuraciones de filtros.
- Formular una nueva configuración de filtración del sistema de ventilación de la planta de producción.
- Evaluar el desempeño de la implementación de la nueva configuración de filtración del sistema de ventilación.
- Hacer un análisis económico de la implementación de una nueva configuración de filtros en las unidades de ventilación en la planta de producción de la empresa Belcorp.

2. ALCANCE

Esta práctica industrial tuvo como objetivo realizar un estudio de la normatividad y desempeño del sistema de filtración actual para así poder formular e implementar modificaciones al sistema de ventilación, incluyendo una etapa de prefiltración y una nueva configuración de filtrado de menor costo. Luego de la implementación de este nuevo sistema, se realizó el seguimiento y creación de una base de datos para monitorear el desempeño de las unidades de ventilación garantizando el cumplimiento de la normatividad.

3. METODOLOGÍA

En la Figura 6 se plantea la metodología desarrollada en este trabajo.

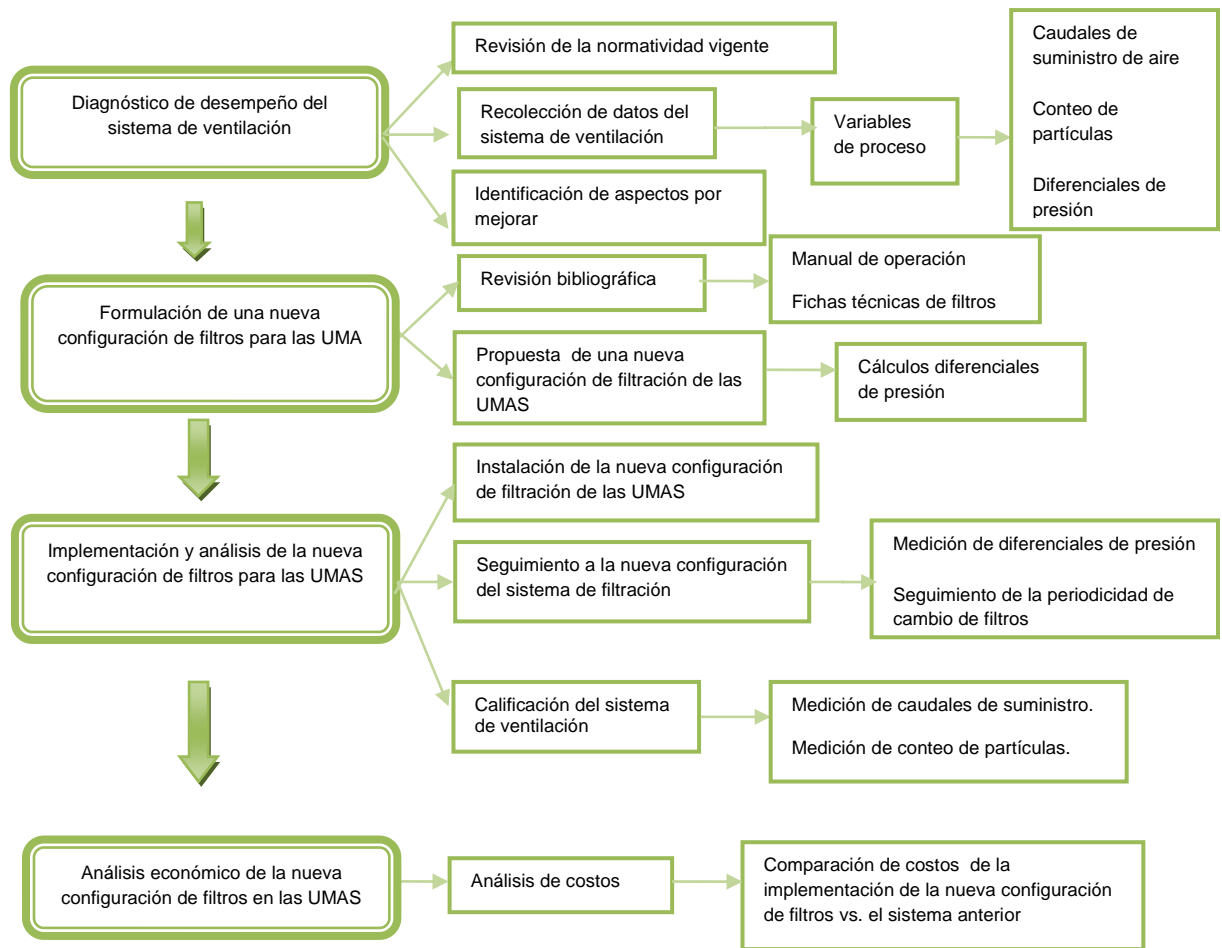


Figura 6. Esquema de la metodología realizada

3.1 DIAGNÓSTICO DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

3.1.1. Revisión de la normatividad vigente. Se estudió la normatividad que rige la industria cosmética, específicamente lo que involucra al sistema de ventilación y filtración del aire de las áreas de producción, determinando los valores requeridos para la calidad de la operación con las especificaciones para este tipo de zonas según el grado de contaminación a la que sean susceptibles.

3.1.2 Recolección de datos del sistema de ventilación. Se analizaron informes y documentos de la empresa en un período de 2012 al 2015 (Anexo C), además de recorrer todo el sistema de ventilación de la planta identificando la cantidad de unidades manejadoras, ductos y variables de operación tales como: diferenciales de presión, caudales de aire de suministro, conteo de partículas, periodicidad de cambios de filtros, para así poder entender las diferentes configuraciones de filtración (cantidad y tipo de filtro) de cada UMA. Como producto de este proceso se elaboró una matriz en *Microsoft office* con los datos obtenidos.

3.1.3. Identificación de aspectos por mejorar. Al obtener los resultados del ítem anterior se realizó un análisis de datos para identificar las fallas y posibles mejoras al sistema de ventilación, en especial al filtrado de aire comparando la información dada por el manual de operación del fabricante del sistema y las últimas calificaciones del sistema de ventilación.

3.2 FORMULACIÓN DE UNA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS PARA LAS UMAS

3.2.1. Revisión bibliográfica. Se investigó y estudió las fichas técnicas de diferentes tipos de filtros con varios proveedores teniendo en cuenta la eficiencia, la capacidad de retención, la resistencia al caudal de aire dada por cada unidad y alternativas de bajo costo en su instalación, además de recopilar y analizar bases teóricas de operación de los sistemas de ventilación y filtración de aire.

3.2.2. Propuesta de una nueva configuración de filtración de las UMAS.

Luego de tener las bases teóricas para la formulación de la propuesta de la nueva configuración de filtración, se realizaron 9 mediciones de velocidad de los ductos de las 28 UMA empleando un multímetro para análisis de aire *Shortridge* modelo ADM-870C y su accesorio *AirFoil* (Anexo D), para multiplicar dicha velocidad promedio por el área del ducto para así conocer el caudal de aire que entra a cada UMA para ser filtrado.

Con los caudales experimentales y conociendo las especificaciones de los tipos de filtros (Anexo E), se calcula teóricamente el diferencial de presión (parámetro de filtración) mediante la ecuación (1) para cada clase de filtro y así identificar la viabilidad para su implementación.

3.3 IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS PARA LAS UMA

3.3.1 Instalación de la nueva configuración de filtración. Adoptando las modificaciones del ítem anterior, personal del departamento de mantenimiento instaló la nueva configuración de filtración de todas las UMA de la planta de producción.

3.3.2. Seguimiento a la nueva configuración del sistema de filtración. Se realizaron los siguientes seguimientos:

- Toma de diferenciales de presión diarios en cada una de las UMA con los manómetros instalados en cada unidad comparando con el valor obtenido para verificar su calibración empleando un manómetro portátil calibrado y certificado (Anexo D).
- Seguimiento a la frecuencia de cambio de todos los filtros después de la instalación la nueva configuración cuando los filtros llegan a su saturación.

3.3.3 Calificación del sistema de ventilación. Se realiza anualmente por un agente externo, certificando que se cumple con todos los estándares de calidad según las especificaciones dadas por las normas, realizando entre otras las siguientes mediciones:

3.3.3.1 Medición de caudales de suministro. Empleando el multímetro para análisis de aire *shortridge* modelo ADM-870C y su accesorio *Flow Hood* (Anexo

D), se midió el caudal de aire en cada rejilla de suministro, con la medición de la velocidad del aire que pasa a través del ducto del accesorio *AirFoil* para posteriormente multiplicar dicha velocidad por el área del ducto y calcular el caudal de suministro de la UMA [16].

3.3.3.2 conteo de partículas. Esta prueba se realizó con el contador de partículas *Lighthouse* modelo *Handheld* 3016 (Anexo D), y consiste en la medición de la calidad del aire entregado por el sistema de ventilación a las áreas de producción, el número de puntos se escoge de acuerdo con los criterios dados en la norma ISO 14644 –1 (Anexo A) el aire entregado debe ser de la calidad requerida por BELCORP, con el equipo funcionando en condiciones *At Rest* (Equipos en funcionamiento sin operarios en el área de trabajo) [16].

3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS EN LAS UMAS

Por último, se efectuó el estudio de los costos de la implementación de una nueva configuración de filtración comparando con costos de la antigua, obteniendo un costo total de inversión anual, para así dar un instrumento de decisión a la compañía de implementar la nueva configuración para la disminución de sobrecostos.

Para realizar dicho análisis se recolectó diferentes cotizaciones de los filtros de los diferentes tipos, el inventario del área de almacén y su disponibilidad.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 ANÁLISIS DE LA CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN

Al realizar el seguimiento al sistema de ventilación de la planta de producción de Belcorp del 2012 al 2014 y teniendo claro la normatividad vigente, se identificó:

- Los manómetros instalados en las UMA, no cuentan con una calibración vigente, por lo que el cambio de filtros se realiza sin evaluar el diferencial de presión dejándolo a inspección visual del técnico, e incumpliendo con uno de los criterios de modificación de los filtros que es el diferencial de presión (valor máximo 1,5 in H₂O), generando que la periodicidad de cambio sea frecuente elevando así los costos en la operación del sistema de ventilación. Con las calificaciones del sistema de ventilación por parte de los contratistas de los años 2012 y 2013 se identificó que se cumple con la normatividad, principalmente en el conteo de partículas de 0,5 µm y 5,0 µm como se observa en las Figuras 7 y 8, donde la línea azul hace referencia a las especificaciones dadas por norma ISO 14644-1 y el informe 32 de la OMS, evidenciando así que el sistema de filtración es eficiente más de lo requerido e innecesario generando altos costos.

4.2 PROPUESTA DE UNA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS PARA LAS UMAS

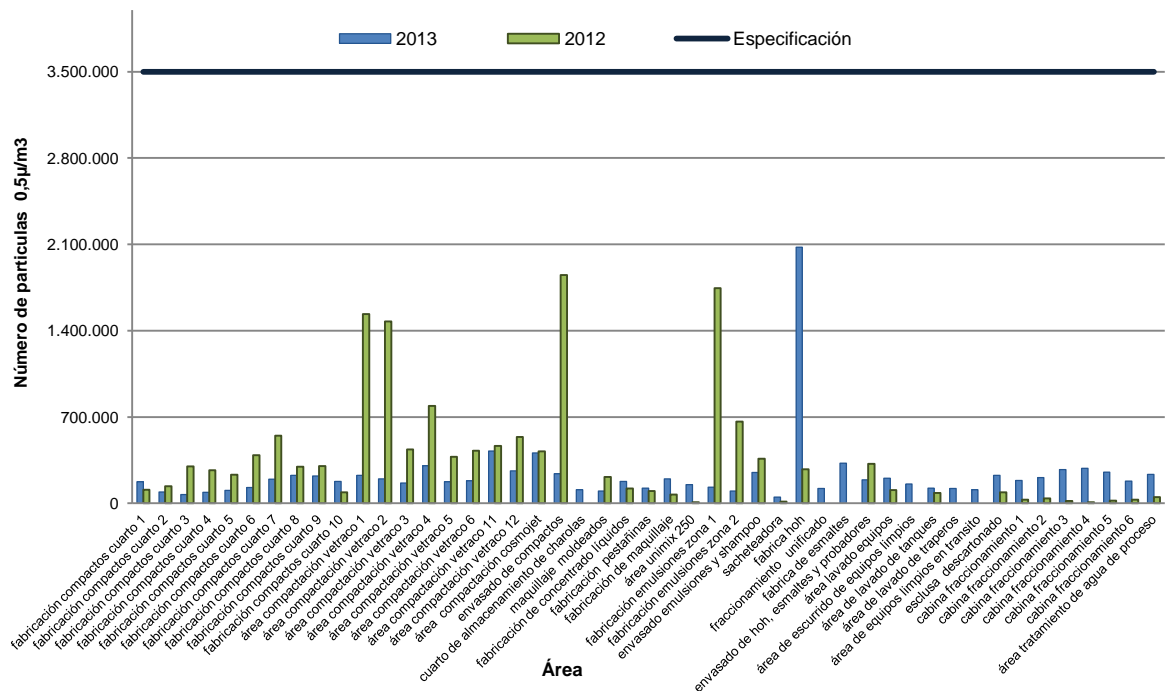
Después de realizar la revisión bibliográfica y con bases teóricas de los sistemas de ventilación, se identificó que una variable por calcular es la pérdida o diferencial de presión a través del filtro en pulgadas de H₂O. Como los filtros no se limpian, a medida que se forma la 'torta' de partículas en el filtro la velocidad del flujo de aire disminuye alcanzando un límite en donde el caudal de aire es inadecuado y el filtro

debe ser reemplazado. Se realizaron 9 mediciones de velocidad de los ductos del aire que entra a las UMAS en pies por minuto (V) y su promedio fue multiplicado por el área del ducto en pies cuadrados (A) para así saber el caudal de aire en pies cúbicos por minuto (cfm) (\dot{Q}) por cada UMA.

$$\dot{Q} = V * A \quad (2)$$

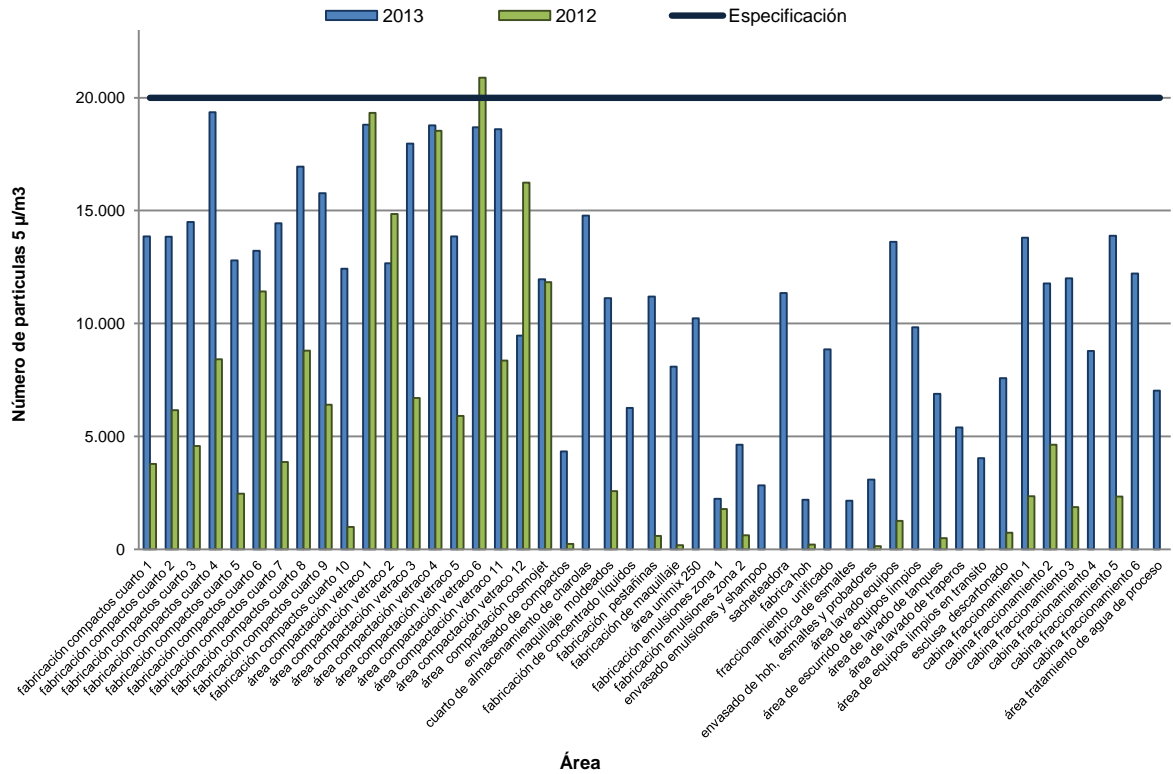
Al tener los valores de los caudales, con la ecuación (1) se calculó teóricamente los diferenciales de presión ΔP en pulgadas de H_2O (in wg), utilizando los valores de ΔP_r y \dot{Q}_r de cada tipo de filtro referenciados en las fichas técnicas (Anexo E) según su eficiencia 35%, 65% y 95% y presentados en la Figura 9.

Figura 7. Antecedentes de conteo de partículas de 0,5 μm de las áreas de producción de la empresa Belcorp



Fuente: [17] y [18]

Figura 8. Antecedentes de conteo de partículas de 5,0 μm de las áreas de producción de la empresa Belcorp.



Fuente: [17] y [18]

Para realizar la propuesta de la nueva configuración de filtración se buscó disminuir los costos de los filtros. Según la Tabla 3 el filtro más económico utilizado en la anterior configuración es el de eficiencia 35% o MERV 8 y con los datos teóricos calculados de la Figura 9, se evidencia que para todos los filtros instalados con este eficiencia la caída de presión no excedió el límite máximo de saturación de 1,5 in H_2O , (valor referenciado por los fabricantes). Por lo tanto la nueva configuración para propuesta consistió en filtros de eficiencia 35% para cada una de las UMA (Anexo F), con una instalación adicional de guata a la

entrada de los filtros como un medio filtrante económico para una prefiltración (Figura 10) y así retener partículas más gruesas dándole mayor vida útil a los filtros escogidos. La nueva configuración se resume en la Tabla 4.

Figura 9. Comparación de Δ presión teóricos a diferentes eficiencia de filtros de cada una de las UMAS

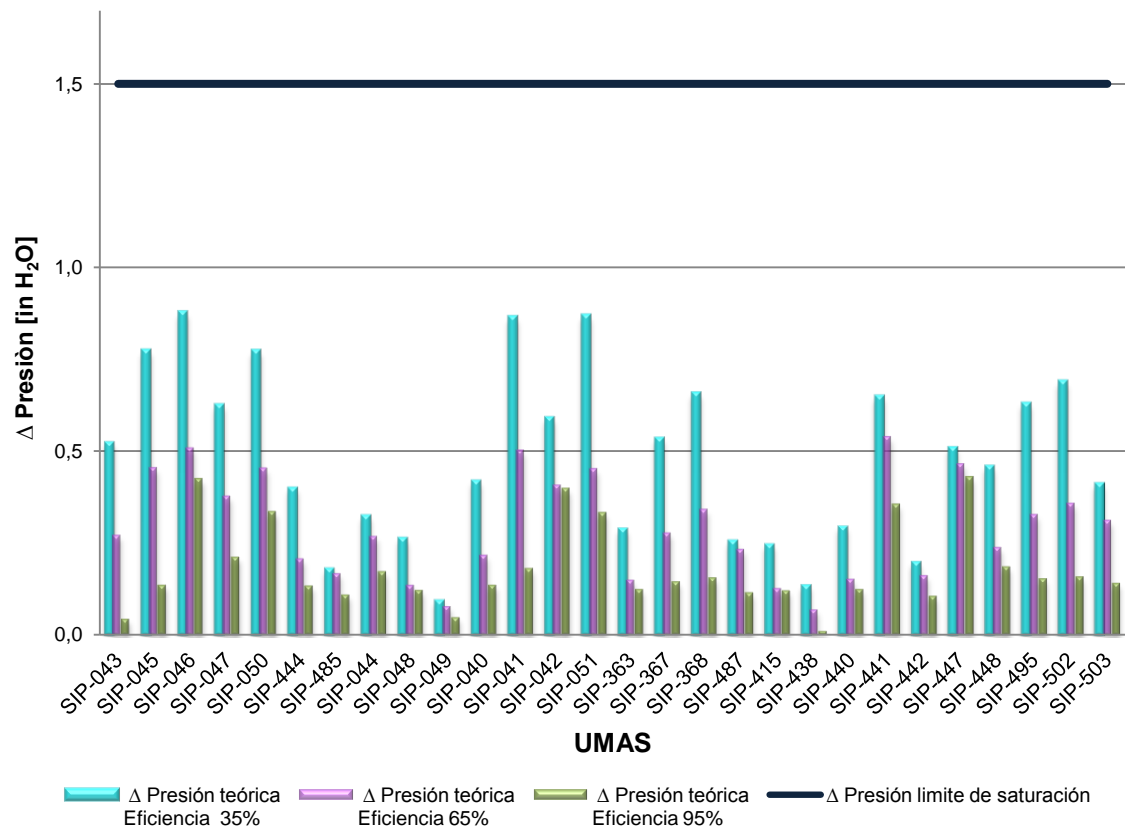


Figura 10. Instalación de la guata a los filtros de cartón eficiencia 35%

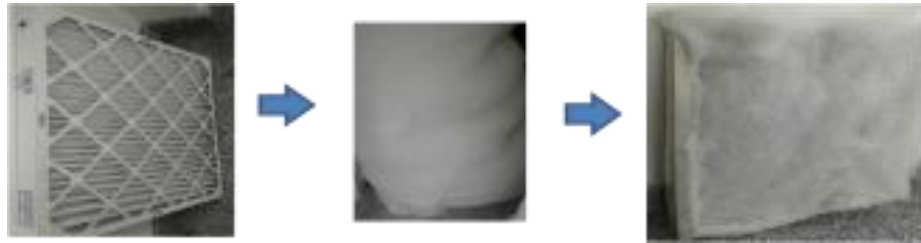


Tabla 4. Formulación general de la nueva configuración de filtración para las UMA

Filtro	Valor \$COP	Número de filtros
Filtro cartón 35% MERV 8	\$ 22.000	187
Filtro bolsa 65% MERV 11	\$ 58.293	0
Filtro sintético 65% MERV 11	\$ 120.958	0
Filtro sintético 95% MERV 14	\$ 172.854	0
Total		187

4.3 ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA NUEVA CONFIGURACIÓN DE FILTROS PARA LAS UMA

Al instalar las nuevas configuraciones de filtración en las UMAS descritas en el Anexo E, se realizó un seguimiento por una semana midiendo los diferenciales de presión de los filtros en todas las unidades con el manómetro de cada UMA y el digital comparándolos con los datos teóricos calculados mostrados en la Figura 11 para garantizar que no se presentaran inconvenientes y se llevara con normalidad la operación de suministro de aire sin que el diferencial de presión no sobrepasara el límite máximo de saturación (1,5 in H₂O).

Luego se efectuó un seguimiento a la frecuencia de cambio de filtros de cada UMA tomando como nuevo criterio que todos los filtros alcanzaran su límite de saturación en 1,5 in H₂O. En la Figura 12 se compara la frecuencia de cambio de

filtros con el criterio nuevo respecto al anterior (inspección visual). Con el nuevo criterio, la frecuencia de cambio de los filtros disminuyó para 20%.

Figura 11. Comparación de Δ presión teóricos vs. Δ presión experimentales de filtros de 35% de las UMAS

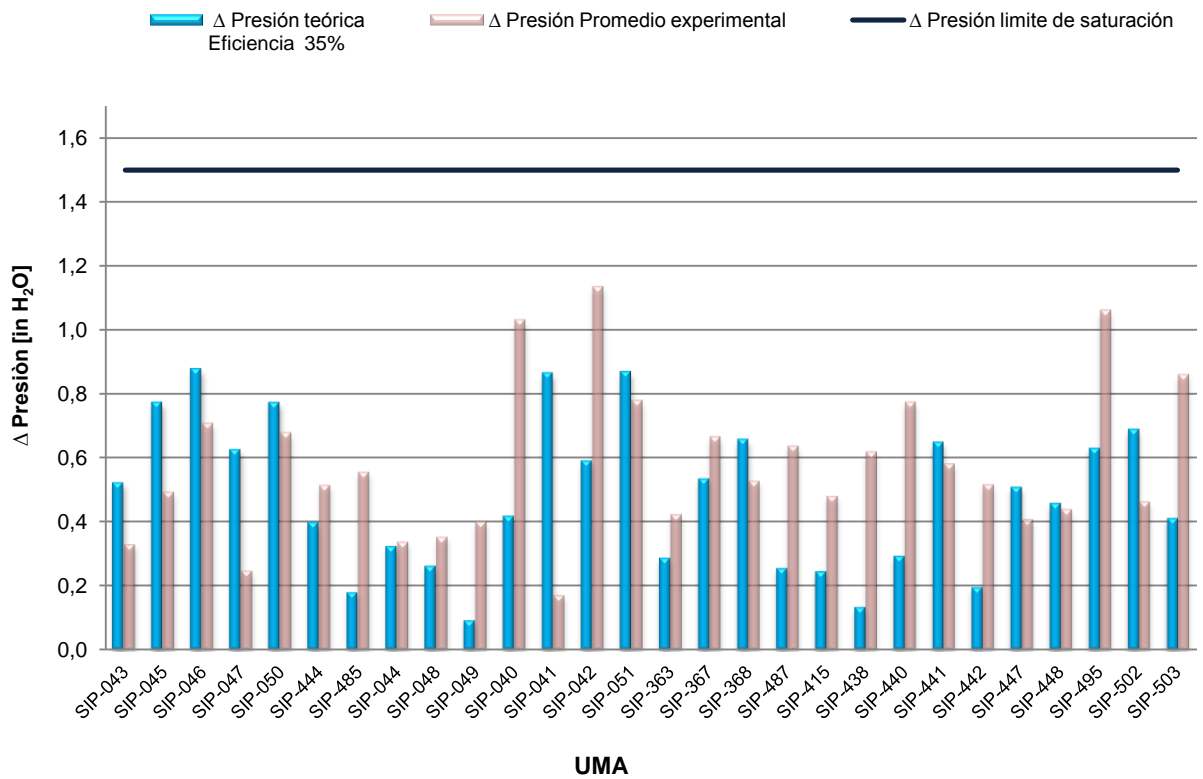
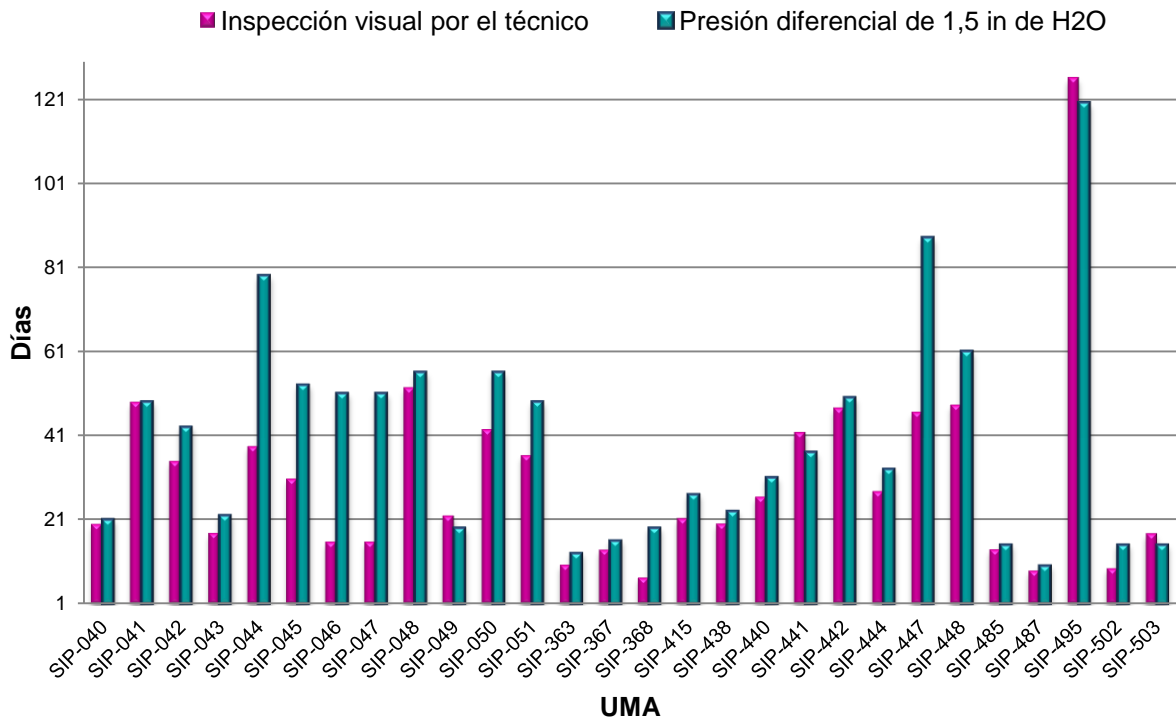
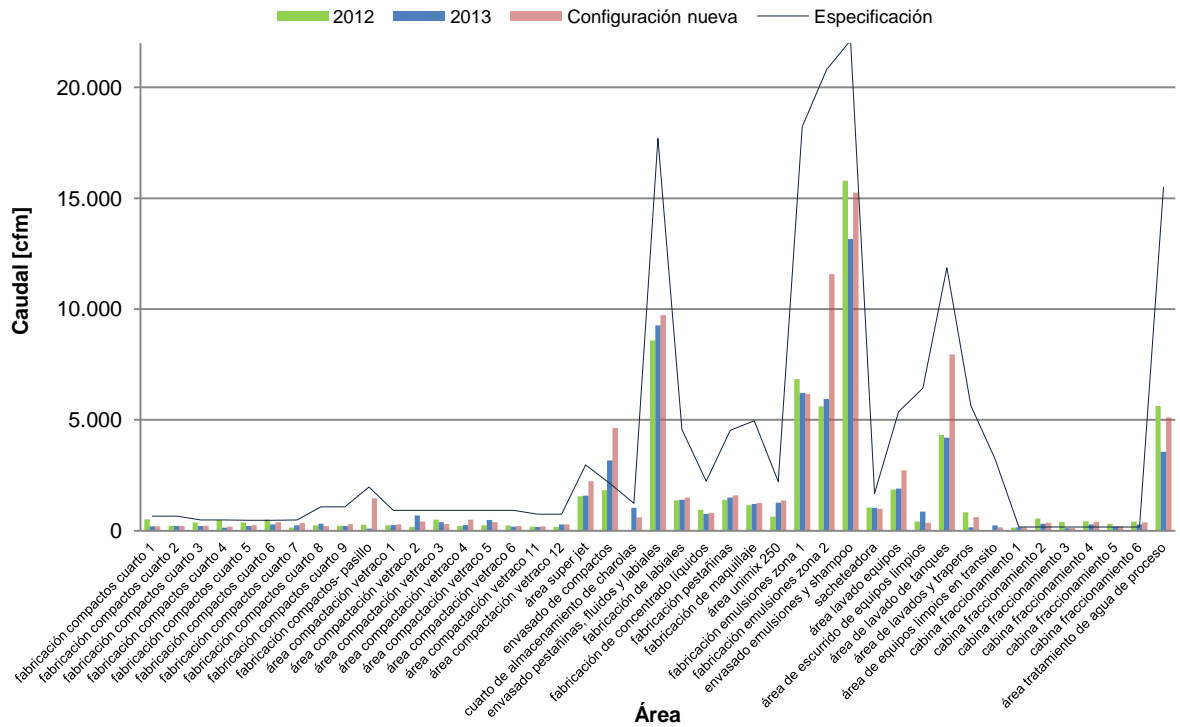


Figura 12. Comparación de la frecuencia de cambio de filtros configuración con el criterio anterior (Inspección visual por el técnico) vs. el criterio nuevo (Presión diferencial de 1,5 in de H₂O).



Al realizar el seguimiento se procedió a la calificación por el contratista (BPM Andina) del sistema de ventilación, realizando las mediciones de caudal (Figura 13), se observó que al cambiar la configuración de filtración los caudales de aire de suministro que llegan a las áreas de producción no se vieron afectados y presenta valores similares con las mediciones de los años anteriores cumpliendo con las especificaciones máximas de la empresa y la normatividad vigente (Anexo A).

Figura 13. Comparación de caudal de suministro de aire de las UMAS a las áreas de producción



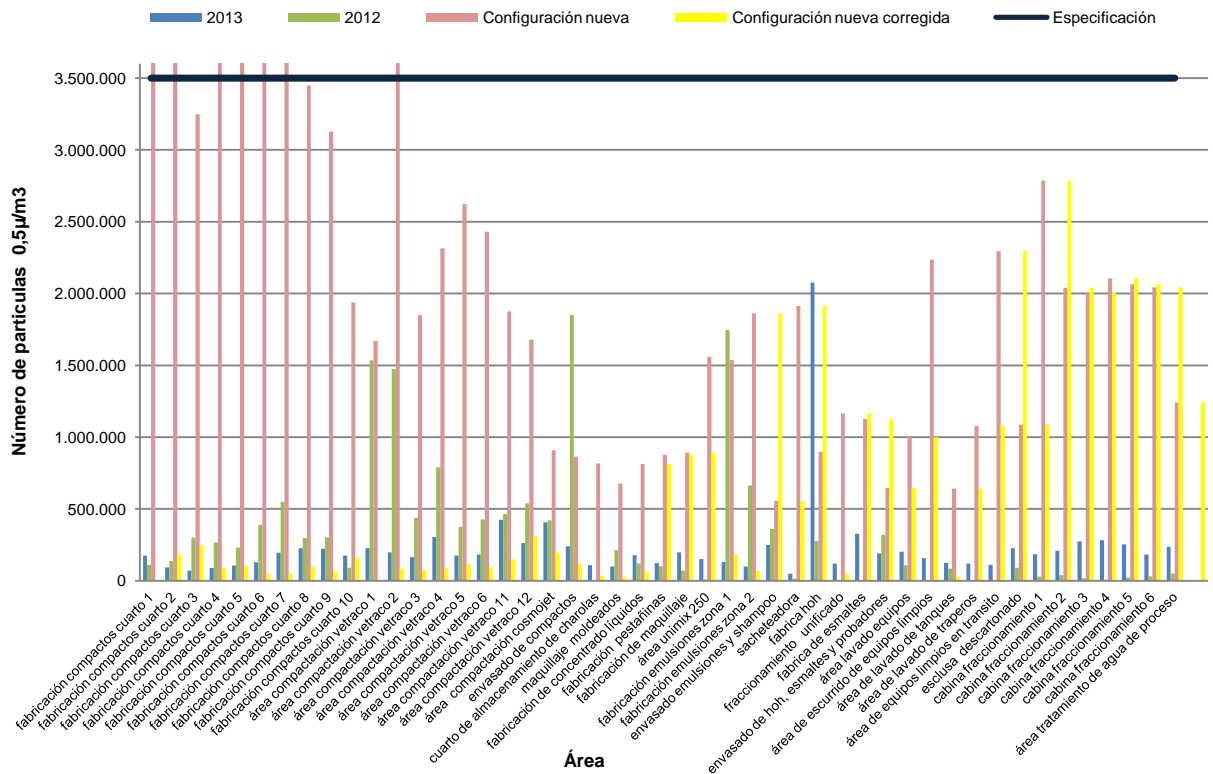
Fuente: [16], [17] y [18]

Para la prueba de conteo de partículas como se puede observar en las Figuras 14 y 15 da como resultados que la formulación de la propuesta de la configuración nueva no cumplió en áreas de la línea de maquillajes, por lo que se decidió para solucionar este problema dejar la antigua configuración solo en las UMA que suministran el aire a estas áreas, quedando una configuración nueva corregida general en la Tabla 5 y por UMA en el Anexo G. Posteriormente se realizó una segunda prueba de conteo de partículas por parte del contratista, dando como resultados que la nueva configuración corregida cumple la normatividad en todas las áreas de producción.

Tabla 5. Formulación general de la configuración nueva corregida de filtración para las UMA

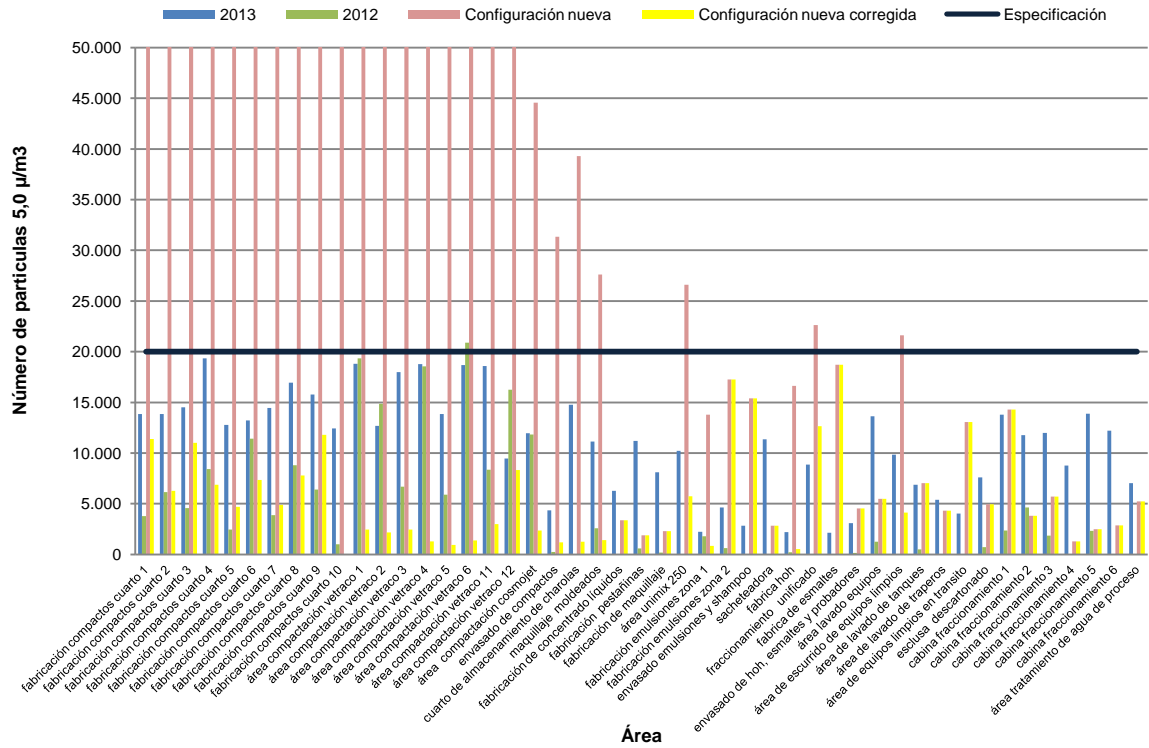
Filtro	Valor \$COP	Número de filtros
Filtro cartón 35% MERV 8	\$ 22.000	147
Filtro bolsa 65% MERV 11	\$ 58.293	13
Filtro sintético 65% MERV 11	\$ 120.958	13
Filtro sintético 95% MERV 14	\$ 172.854	14
Total		187

Figura 14. Comparación conteo de partículas de 0,5 µm



Fuente: [16], [17] y [18]

Figura 15. Comparación conteo de partículas de 5,0 µm



Fuente: [16], [17] y [18]

4.4 ANÁLISIS DE COSTOS

Se realizó un análisis de costos de implementación de la configuración corregida, con el fin de obtener el costo total de inversión y el costo anual para esta formulación. El cálculo se realizó a partir de las cotizaciones de cada tipo de filtro suministradas por parte del proveedor actual dependiendo del material y eficiencia como se presenta en la Tabla 6. Se observó que al final se genera un menor costo con la implementación de la configuración nueva corregida reduciéndose en un 49%, comparado con la inversión de la configuración anterior.

Tabla 6. Comparación de costos de la implementación de estas configuraciones

Filtro	Valor \$COP	Anterior		Nueva corregida	
		No. Filtros	Costo (COP)	No. Filtros	Costo (COP)
Filtro cartón 30%	\$ 22.000	68	\$ 1.496.000	147	\$ 3.234.000
Filtro bolsa 65%	\$ 58.293	31	\$ 1.807.083	13	\$ 757.809
Filtro sintético 65%	\$ 120.958	56	\$ 6.773.648	13	\$ 1.572.454
Filtro sintético 95%	\$ 172.854	32	\$ 5.531.328	14	\$ 2.419.956
TOTAL		187	\$ 15.608.059	187	\$ 7.984.219

Para hallar el costo total anual de inversión se tomó el precio que cuesta cada tipo de filtro instalado en cada una de las UMAS para la configuración antigua y nueva corregida multiplicado por el número de veces de cambio aproximado en un año obteniendo los valores del Anexo H, para luego tener los valores del costo total anual presentados en la Tabla 7 observando que al instalar la formulación de la configuración nueva corregida se genera un ahorro del 56% en el año.

Tabla 7. Comparación de costos anuales de la configuración anterior vs. configuración nueva corregida

Concepto	Costo anual (COP)
Configuración filtración anterior	\$ 280.234.974
Configuración filtración nueva corregida	\$ 123.352.705

5. CONCLUSIONES

- El sistema de ventilación es más eficiente de lo requerido y los filtros se están cambiando antes de alcanzar la saturación, generando así altos costos para la empresa. Buscando disminuir los costos, se modificó la configuración del sistema de filtración utilizando filtros más económicos con un sistema de prefiltración.
- Al calibrar los manómetros de las UMAS y utilizar la presión de saturación de 1,5 in H₂O como criterio para el cambio de filtro, disminuyó la frecuencia de cambio de filtros disminuyendo los costos anuales de operación sin afectar el cumplimiento de la normatividad.
- Se cumplió la normatividad respecto a los diferenciales de presión, caudales de suministro y conteo de partículas con una nueva configuración del sistema de filtración de la empresa Belcorp, empleando filtros de eficiencias de 35% en las unidades manejadoras que suministra el aire a las áreas de emulsiones, hidroalcoholes y servicios y para las unidades que suministra al área de maquillajes filtros combinados de eficiencias 35%, 65% y 95%. Esta configuración permite ahorrar 49% de los costos de instalación y 56% de los costos anuales respecto a la configuración anterior.

6. RECOMENDACIONES

- Realizar la inspección de las unidades de ventilación con otro instrumento de medida cuando no se encuentre vigente la calibración de los manómetros instalados.
- Realizar una evaluación de desempeño a las unidades manejadoras de aire de escape del sistema de ventilación para validar el sistema completo con la nueva configuración de filtración instalada.
- Realizar la calificación del sistema de ventilación cada 2 años por parte del contratista para disminuir costos.
- Realizar un diagnóstico de desempeño al sistema de prefiltración, principalmente al medio filtrante estudiando otros medios como la instalación de mantas sintéticas o fibras de vidrio para determinar cuál podría ser más eficiente tendiendo los parámetros de diferenciales de presión y caudales de aire.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AQ, «AIR QUALITY DE MÉXICO,» 03 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.aqdemexico.com>. [Último acceso: 08 01 2017].
- [2] BELCORP, «BELCORP,» 2014. [En línea]. Available: <https://www.belcorp.biz/somosbelcorp/historia.html>. [Último acceso: 30 01 2015].
- [3] BELCORP, *Sistemas de ventilación distribución*, Tocancipá, Cundinamarca, 2013.
- [4] BELCORP, *Procedimiento : Sistema de aire filtrado*, Tocancipá, Cundinamarca, 2015.
- [5] BELCORP, *Procedimiento : Sistema de aire filtrado*, Tocancipá, Cundinamarca, 2015.
- [6] INVIMA, «<https://www.invima.gov.co>,» 21 03 2013. [En línea]. Available: <https://www.invima.gov.co/decisiones-cosmetico/decisiones/cosmeticos/decision-516-pdf/download.html>. [Último acceso: enero 2015].
- [7] ISO, «<http://www.iso.org>,» 15 12 2015. [En línea]. Available: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=53394. [Último acceso: 06 2016].
- [8] INVIMA, «<https://www.invima.gov.co>,» 26 12 2011. [En línea]. Available: <https://www.invima.gov.co/informes/283-informe-tecnico-de-la-oms.html>.
- [9] FG Ingenieros, «Manual de operación y mantenimiento del sistema de ventilación mecánica para la empresa BELCORP,» Bogotá, 2010.
- [10] S. KOCHEVAR, *Guía básica a la tecnología de partículas*, 2006.
- [11] F. C. MCQUISTON, J. D. SPITLER y J. D. PARKER, «Calefacción, ventilación y aire acondicionado: Análisis y diseño,» Mexico, Limusa Wiley, 2010, pp. 114-120.

- [12] FILTROS CARACAS C.A., «Filtros Caracas,» [En línea]. Available: www.filtroscaracas.com. [Último acceso: 22 10 2015].
- [13] Flanders Filter Road, «Flanderscorp,» [En línea]. Available: www.flanderscorp.com. [Último acceso: 12 07 2015].
- [14] Filtration Group, «Filtration Group Company,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.filtrationgroup.com>. [Último acceso: 01 05 2015].
- [15] BELCORP, *Sistemas de ventilación distribución*, Tocancipá, Cundinamarca, 2013.
- [16] BPM ANDINA, «Informe de calificación de sistemas de ventilación No. 20141833,» Bogotá, 2015.
- [17] BPM ANDINA, «Informe de calificación de sistemas de ventilación,» Tocancipá, 2013.
- [18] TECN&CA, «Informe de calificación de sistema de ventilación Belcorp,» Tocancipá, 2012.
- [19] BELCORP, *Especificación técnica en la planta de producción*, vol. III, Tocancipá, 2014.
- [20] FILTRATION GROUP, «Filtration Group Company,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.filtrationgroup.com>. [Último acceso: 01 05 2015].
- [21] FG INGENIEROS, «Manual de operación y mantenimiento del sistema de ventilación mecánica para la empresa BELCORP,» Bogotá, 2010.
- [22] FLANDERS FILTER ROAD, «Flanderscorp,» [En línea]. Available: www.flanderscorp.com. [Último acceso: 12 07 2015].
- [23] E. HERNANDEZ CORIBAR, *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*, México: Limusa, 2011.
- [24] W. H. SEVERNS, *Heating, ventilating and air-conditioning fundamentals*, New York: John Wiley, 1950.

[25] J. VIVES ESCUDER, Instalaciones de acondicionamiento de aire: Fundamentos para el cálculo , construcción, reforma y mantenimiento de las instalaciones de ventilación mecánica y de acondicionamiento de aire, Barcelona: Reverte, 1955.

ANEXOS

Anexo A. Tabla especificaciones de Belcorp para la clasificación de aire requerido en las áreas de producción [19]

Línea	Área	Caudal máximo (cfm)	Número de puntos de muestreo	Clasificación informe 32 de la OMS	Clasificación ISO 14644-1	Partículas máximas de 0,5 µm	Partículas máximas de 5,0 µm
Maquillaje y compactos	fabricación compactos cuarto 1	651	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación compactos cuarto 2	651	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación compactos cuarto 3	483	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación compactos cuarto 4	483	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación compactos cuarto 5	464	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación compactos cuarto 6	473	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación compactos cuarto 7	491	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación compactos cuarto 8	1075	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación compactos cuarto 9	1081	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área compactación vetraco 1	919	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área compactación vetraco 2	919	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área compactación vetraco 3	919	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área compactación vetraco 4	919	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área compactación vetraco 5	919	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área compactación vetraco 6	919	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área compactación vetraco 11	742	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área compactación vetraco 12	742	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	envasado de compactos	2129	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	cuarto de almacenamiento de charolas	1233	4	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	maquillajes moldeables	4149	5	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
envasado pestañinas, fluidos y labiales	17694	20	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000	
fabricación de concentrado líquidos	17695	4	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000	
fabricación pestañinas	4570	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000	
fabricación de maquillaje	2227	4	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000	
área unimix 250	4526	5	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000	
Emulsiones y Shampoo	fabricación emulsiones zona 1	18224	20	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fabricación emulsiones zona 2	20791	20	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	envasado emulsiones y shampoo	22125	26	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	sacheteadora	1689	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000

Hidroalcoholes	fabrica HOH	1499759	30	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	fábrica de esmaltes	3616	15	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	envases HOH	32124	5	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
Servicios	área lavado equipos	5357	8	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área de escurrido de equipos limpios	6428	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área de lavado de tanques	11863	10	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área de lavados y traperos	5635	4	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área de equipos limpios en transito	3253	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	esclusa descartonado	1107	6	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	cabina fraccionamiento 1	171	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	cabina fraccionamiento 2	171	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	cabina fraccionamiento 3	171	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	cabina fraccionamiento 4	171	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	cabina fraccionamiento 5	171	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	cabina fraccionamiento 6	171	3	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000
	área tratamiento de agua de proceso	15505	8	grado d	ISO 8	3.500.000	20.000

Anexo B. Tabla de la configuración de filtración de cada UMA del sistema de ventilación de Belcorp


Línea de producción	UMA	Filtros primarios				Filtros secundarios		
		Cartón	Bolsa	Sintético		Cartón	Bolsa	sintético
		35% (Merv-8)	65% (Merv-11)	65% (Merv-11)	95% (Merv-14)	35% (Merv-8)	65% (Merv-11)	95% (Merv-14)
Emulsiones y Shampoo	SIP-043	2				2	2	
	SIP-045			6				
	SIP-046			6				
	SIP-047			4				
	SIP-050			1				
	SIP-444	4		4				4
	SIP-485	1		1				1
HOH	SIP-044			8				
	SIP-048	24						
	SIP-049		16					
Maquillajes y compactos	SIP-040	4		4				4
	SIP-041			6				
	SIP-042			1				
	SIP-051			2				
	SIP-363	4	4			2		2
	SIP-367	4	4					4
	SIP-368	4	4					4
	SIP-487		1					
Servicios	SIP-415	2		2				2
	SIP-438	2		2	2			
	SIP-440	2		1	1			
	SIP-441	1		1	1			
	SIP-442	4		4				4
	SIP-447	1						
	SIP-448	1						
	SIP-495	2		2	2			
	SIP-502	1						
	SIP-503	1		1				1

Anexo C. Tabla documentos referenciados para la recopilación de datos

Documentos	Variables
Calificaciones al sistema de ventilación emitidas por entidades externas <i>Tecn&ca</i> 2012 y BPM Andina 2013	Caudales de aire de suministro, conteo de partículas de 0,5 μm y 5,0 μm
Protocolos e informes de calificación emitidos por el área de gestión de calidad de la compañía, sistema de ventilación y las unidades de ventilación en los años 2013 y 2014	Historial del desempeño de las UMA en cuanto al cumplimiento de las normas y reportes de fallas en la operación
Formato de las inspecciones de las unidades de ventilación y extracción realizadas por el área de mantenimiento	Diferenciales de presión diarios en las UMA
Órdenes de trabajo de los años 2014-2015, para el cambio de filtros para cada unidad de ventilación	Periodicidad de cambio de filtros de las unidades manejadoras de aire
Cotizaciones de proveedores de los diferentes filtros utilizados e inventariados por el área de almacén	Precios de filtros

Anexo D. Instrumentos de medición [16]

Equipo:		Multímetro
Marca:		<i>Shortridge Instruments Inc.</i>
Modelo:		ADM-870C
Serial:		M07702
Utilizado para:		Medición de caudales de aire y diferenciales de presión entre áreas
Fecha calibración:		2014-05-30


Equipo:		Contador de partículas
Marca:		<i>Lighthouse</i>
Modelo:		<i>Handheld 3016</i>
Serial:		061202022
Utilizado para:		Clasificación de áreas
Fecha calibración:		2014-09-25

Equipo:		Manómetro digital
Marca:		<i>Extech</i>
Modelo:		HD700
Serial:		M-HID-N°003
Utilizado para:		Medición de diferenciales de presión
Fecha calibración:		2014-04-01




Anexo E. Fichas técnicas de los filtros [20]


Figura E.1. Ficha técnica filtro de cartón eficiencia 35% MERV

2" NOVA PLEAT AND NOVA PLEAT HC



The NOVA PLEAT and NOVA PLEAT HC are engineered to be extremely durable and can withstand considerable abuse resulting from shipping damage and mishandling.



Square top pleat design provides added rigidity and improved airflow characteristics.

NOVA PLEAT ENGINEERING SPECIFICATIONS

1.0 General

- 1.1 Filters shall be Aerostar® NOVA PLEAT extended surface pleated air filters as manufactured by Filtration Group.
- 1.2 Filters shall be available in standard and high capacity configurations with a depth of 2".
- 1.3 Underwriters Laboratories classified to UL 900.
- 1.4 Filters are manufactured by an ISO 9001 registered company.

2.0 Filter Materials of Construction

- 2.1 Media shall be 100% synthetic media that does not support microbial growth with a square top pleat tip that increases surface contact and increases filter rigidity.
- 2.2 Frame shall be a heavy-duty, high strength, moisture resistant paperboard with horizontal strips and a vertical support strut in larger sizes on the downstream side that increases filter rigidity and prevents breaching. Frame shall be made with 100% recycled paperboard with an average of 35% post-consumer content.
- 2.3 Filters shall be of a metal-free construction that can be completely incinerated and does not contain galvanized steel to reduce its impact when land-filled.

3.0 Filter Performance

- 3.1 Filters shall be available in a MERV 8 standard capacity and high capacity configuration when fully tested in accordance with ASHRAE 52.2-2007 Test Standard.
- 3.2 Filter shall have a low initial pressure drop that shall not exceed 0.23" w.g. in high capacity at 500 fpm air flow; and 0.26" w.g. in standard capacity at 500 fpm air flow.
- 3.3 Filters shall be rated to withstand a continuous operating temperature of up to 150°F.
- 3.4 Filters shall have a recommended final resistance of 1.0" w.g.

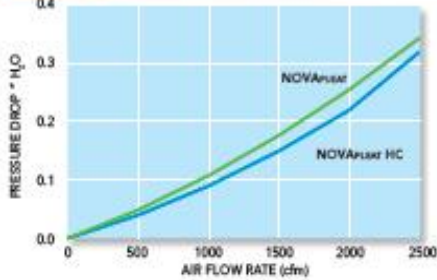
2" NOVA PLEAT AND NOVA PLEAT HC

PART NUMBER		SIZE	CFM CAPABILITIES	
NOVA PLEAT	NOVA PLEAT HC		MEDIUM	HIGH
21130	21255	12 x 20 x 2	495	825
21131	21256	12 x 24 x 2	600	1000
21132	21257	14 x 20 x 2	585	975
21133	21258	14 x 25 x 2	720	1200
21134	21259	15 x 20 x 2	615	1025
21135	21260	16 x 16 x 2	525	875
21136	21261	16 x 20 x 2	665	1110
21137	21262	16 x 24 x 2	800	1335
21138	21263	16 x 25 x 2	835	1390
21501	21500	18 x 18 x 2	675	1125
21139	21264	18 x 20 x 2	750	1250
21140	21265	18 x 22 x 2	825	1375
21141	21266	18 x 24 x 2	900	1500
21142	21267	18 x 25 x 2	940	1565
21143	21268	20 x 20 x 2	835	1390
21144	21269	20 x 24 x 2	1000	1665
21145	21270	20 x 25 x 2	1040	1735
21146	21271	24 x 24 x 2	1200	2000
21147	21272	25 x 25 x 2	1300	2170


24 x 24 x 2 INITIAL RESISTANCE

PRODUCT	300 FPM	500 FPM	MERV
NOVA PLEAT	0.14" w.g.	0.26" w.g.	8
NOVA PLEAT HC	0.11" w.g.	0.23" w.g.	8

AIR FLOW vs PRESSURE DROP




Test data results based on 24" x 24" x 2" filter sample.



Filtration Group

HVAC

Phone: 877-344-8326 • Fax: 800-518-1162
 www.filtrationgroup.com
 e-mail: aerostar@filtrationgroup.com
 ISO 9001 Registered Company



© PG 07/13

Figura E.2. Ficha técnica filtro de bolsa

SONIQ POCKET FILTERS



DIMENSIONS AND PERFORMANCE DATA

MERV 14 (95%) PART NO.	MERV 13 (85%) PART NO.	MERV 12 (65%) PART NO.	SIZE H x W x D* (inches)	NUMBER OF POCKETS	MEDIA AREA (sq. ft.)
18271	18311	18351	24 x 12 x 12	4	19
18270	18310	18350	20 x 20 x 12	6	27
18269	18309	18349	24 x 20 x 12	6	28
18272	18312	18352	24 x 24 x 12	6	30
18268	18308	18348	24 x 24 x 12	8	38
18279	18319	18359	24 x 12 x 15	4	21
18278	18318	18358	20 x 20 x 15	6	30
18277	18317	18357	24 x 20 x 15	6	31
18280	18320	18360	24 x 24 x 15	6	33
18276	18316	18356	24 x 24 x 15	8	42
18287	18327	18367	24 x 12 x 22	4	31
18286	18326	18366	20 x 20 x 22	6	40
18285	18325	18365	24 x 20 x 22	6	46
18288	18328	18368	24 x 24 x 22	6	48
18284	18324	18364	24 x 24 x 22	8	62
18295	18335	18375	24 x 12 x 29	4	42
18294	18334	18374	20 x 20 x 29	6	54
18293	18333	18373	24 x 20 x 29	6	61
18296	18336	18376	24 x 24 x 29	6	65
18292	18332	18372	24 x 24 x 29	8	84
18303	18343	18383	24 x 12 x 36	4	45
18302	18342	18382	20 x 20 x 36	6	60
18301	18341	18381	24 x 20 x 36	6	72
18304	18344	18384	24 x 24 x 36	6	73
18300	18340	18380	24 x 24 x 36	8	96

* Contact Customer Service for additional sizes and information.

FILTER DEPTH (inches)	NUMBER OF POCKETS	AIRFLOW CAPACITY (cfm)	PRESSURE DROP (in. w.g.)		
			MERV 14 (95%)	MERV 13 (85%)	MERV 12 (65%)
36	8	2000	0.36	0.34	0.28
	6	2000	0.45	0.41	0.37
29	8	2000	0.33	0.29	0.26
	6	2000	0.41	0.34	0.31
22	8	2000	0.36	0.30	0.27
	6	2000	0.49	0.35	0.33
15	8	2000	0.58	0.42	0.36
	6	2000	0.72	0.52	0.42
12	8	2000	0.80	0.54	0.39
	6	2000	0.98	0.62	0.45

SONIQ ENGINEERING SPECIFICATIONS

- 1.0 General
 - 1.1 Filters shall be Aerostar SonIQ Pocket air filters as manufactured by Filtration Group, Inc.
 - 1.2 Filters shall be available in 3 efficiency levels with a depth of 3.75".
 - 1.3 Filters shall be UL Classified.
 - 1.4 Manufacturer shall provide documentation from an external certification body that the manufacturing location is ISO 9000 Registered.
- 2.0 Filter Materials of Construction
 - 2.1 Media shall be 100% synthetic that does not support microbial growth.
 - 2.2 The media shall be sonically bonded by a patented process to form pockets as to not allow for bypass.
 - 2.3 The pockets shall be attached internally by synthetic bands to reduce vibration and stabilize the filter during its life.
 - 2.4 Media shall be adhered to all frame components to eliminate bypass and maintain integrity throughout life.
 - 2.5 Frame shall be made fully of 26 ga. Galvanized steel.
- 3.0 Filter Performance
 - 3.1 Filters shall be available in MERV 11, 13 and 14 when tested in accordance with ASHRAE 52.2:2007 Test Standard.
 - 3.2 MERV 13 version meets LEED regulations.
 - 3.3 Filters shall be rated to withstand a continuous operating temperature of up to 150°F.
 - 3.4 Filters shall have a recommended final resistance of 1.5" w.g.

APPLICATION PARAMETERS

Filter Media: Synthetic Polypropylene
 Header: 26 ga. Galvanized Steel
 Flammability: UL Classified
 Recommended Final Resistance: 1.0" w.g.
 Maximum Temperature: 150° F
 Actual Header: 13/16" thickness
 Actual Face Size: Nominal less 5/8"
 45% Media: Stitched only

Distributed by:



FILTRATION GROUP®


Phone: 877-FGTEAM (344-8326) • Fax: 800-518-1162
 www.filtrationgroup.com • email: aerostar@filtrationgroup.com

© FGI 05/10

WHEN CLEAN AIR MATTERS
 ISO 9000 Registered

Figura E.3. Ficha técnica filtro sintético.

GEOPLEAT



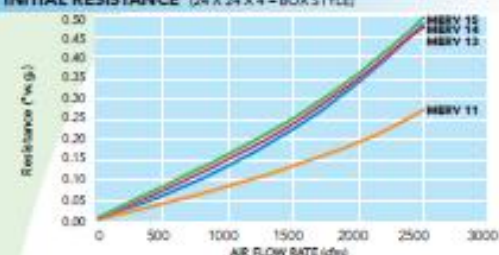
PERFORMANCE DATA (24 X 24 X 4 – BOX STYLE)

Air Flow (cfm)	MERV 11			MERV 13			MERV 14			MERV 15		
	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500	1500	2000	2500
Initial Pressure Drop (*w.g.)	0.13	0.19	0.27	0.22	0.34	0.48	0.24	0.35	0.47	0.25	0.36	0.50

GEOPLEAT DIMENSIONS

SINGLE HEADER				BOX STYLE				SIZE	NOMINAL SIZE
PART. NO. MERV 11	PART. NO. MERV 13	PART. NO. MERV 14	PART. NO. MERV 15	PART. NO. MERV 11	PART. NO. MERV 13	PART. NO. MERV 14	PART. NO. MERV 15		
21605	21613	21621	728542	21629	21637	21645	718542	24 x 12 x 4	23 1/2 x 11 1/2 x 3 1/2
21609	21617	21625	728506	21633	21641	21649	718506	20 x 16 x 4	19 1/2 x 15 1/2 x 3 1/2
21606	21614	21622	728500	21630	21638	21646	718500	20 x 20 x 4	19 1/2 x 19 1/2 x 3 1/2
21611	21619	21627	728548	21635	21643	21651	718548	24 x 18 x 4	23 1/2 x 17 1/2 x 3 1/2
21607	21615	21623	728540	21631	21639	21647	718540	24 x 20 x 4	23 1/2 x 19 1/2 x 3 1/2
21608	21616	21624	728544	21632	21640	21648	718544	24 x 24 x 4	23 1/2 x 23 1/2 x 3 1/2
21610	21618	21626	728556	21634	21642	21650	718556	25 x 16 x 4	24 1/2 x 15 1/2 x 3 1/2
21612	21620	21628	728550	21636	21644	21652	718550	25 x 20 x 4	24 1/2 x 19 1/2 x 3 1/2

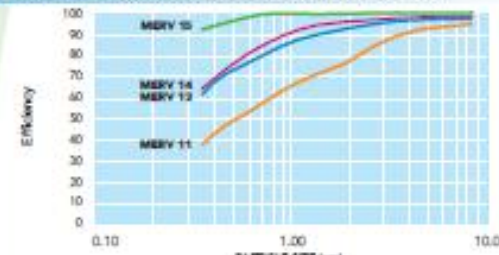
INITIAL RESISTANCE (24 X 24 X 4 – BOX STYLE)




GEOPLEAT ENGINEERING SPECIFICATIONS


- 1.0 General
 - 1.1 Filters shall be Aerostar® GeoPleat mini-pleat air filters as manufactured by Filtration Group.
 - 1.2 Underwriters Laboratories classified to UL 900 and ULC-S111-13.
 - 1.3 Filters shall be available in a nominal depth of 4".
 - 1.4 Filters are manufactured by an ISO 9001 registered company.
- 2.0 Filter Material of Construction
 - 2.1 Media shall be 100% synthetic gradient dual density media that does not support microbial growth.
 - 2.2 Frame shall be constructed with high-impact plastic and impervious to moisture and high humidity.
 - 2.3 Media pack shall be adhered to plastic frame on all sides to prevent air by-pass.
 - 2.4 Filter shall have a hot melt bead separator to maintain pleat pack stability and ensure consistent pleat spacing for optimum air flow.
- 3.0 Filter Performance
 - 3.1 Filters shall be available in MERV 11 for low efficiency, MERV 13 and MERV 14 for medium efficiency, and MERV 15 for high efficiency when tested in accordance with ASHRAE 52.2-2012 Test Standard.
 - 3.2 For initial resistance of filters, see Performance Data chart above.
 - 3.3 Filters shall be rated to withstand a continuous operating temperature of up to 150°F.
 - 3.4 Filters shall have a max recommended final resistance of 1.5" w.g.
 - 3.5 Changing filters at a lower resistance may save operating costs.

EFFICIENCY PER ASHRAE 52.2 (24 X 24 X 4 – BOX STYLE)







Durable media pack resists damage



Shown with 2" clip designed to hold an optional pre-filter



Available in both box style and single header design



Filtration Group

HVAC

Phone: 877-344-8326 • Fax: 800-518-1162
 www.filtrationgroup.com
 e-mail: aerostar@filtrationgroup.com
 ISO 9001 Registered Company

© FG 08/14

Anexo F. Tabla de la formulación de la nueva configuración de filtración por cada UMA

Línea de producción	UMA	Filtros primarios	Filtros secundarios
		Cartón	Cartón
		35% (Merv-8)	35% (Merv-8)
Emulsiones y Shampoo	SIP-043	2	4
	SIP-045	6	
	SIP-046	6	
	SIP-047	4	
	SIP-050	1	
	SIP-444	8	4
	SIP-485	2	1
HOH	SIP-044	8	
	SIP-048	24	
	SIP-049	16	
Maquillajes y compactos	SIP-040	8	4
	SIP-041	6	
	SIP-042	1	
	SIP-051	2	
	SIP-363	8	4
	SIP-367	8	4
	SIP-368	8	4
	SIP-487	1	
Servicios	SIP-415	4	2
	SIP-438	6	
	SIP-440	4	
	SIP-441	3	
	SIP-442	8	4
	SIP-447	1	
	SIP-448	1	
	SIP-495	6	
	SIP-502	1	
	SIP-503	2	1

Anexo G. Tabla de la formulación de la configuración nueva corregida de filtración por cada UMA

Línea de producción	UMA	Filtros primarios			Filtros secundarios	
		Cartón	Bolsa	Sintético	Cartón	Sintético
		30-35% (Merv-8)	60-65% (Merv-11)	60-65% (Merv-11)	30-35% (Merv-8)	90-95% (Merv-14)
Emulsiones y Shampoo	SIP-043	2			4	
	SIP-045	6				
	SIP-046	6				
	SIP-047	4				
	SIP-050	1				
	SIP-444	8			4	
	SIP-485	2			1	
HOH	SIP-044	8				
	SIP-048	24				
	SIP-049	16				
Maquillajes y compactos	SIP-040	4		4		4
	SIP-041			6		
	SIP-042			1		
	SIP-051			2		
	SIP-363	4	4		2	2
	SIP-367	4	4			4
	SIP-368	4	4			4
	SIP-487		1			
Servicios	SIP-415	4			2	
	SIP-438	6				
	SIP-440	4				
	SIP-441	3				
	SIP-442	8			4	
	SIP-447	1				
	SIP-448	1				
	SIP-495	6				
	SIP-502	1				
	SIP-503	2			1	

Anexo H. Tabla costo generado de filtración de cada UMA para la configuración anterior y nueva corregida

Código SIP	Configuración anterior			Configuración nueva corregida		
	Costo por UMA (COP)	# Veces cambio anual	Costo anual por UMA (COP)	Costo por UMA (COP)	# Veces cambio anual	Costo anual por UMA (COP)
SIP-040	\$ 1.213.412	18	\$ 22.144.769	\$ 1.213.412	17	\$ 20.628.004
SIP-041	\$ 960.000	7	\$ 7.151.020	\$ 960.000	7	\$ 6.720.000
SIP-042	\$ 160.000	10	\$ 1.668.571	\$ 160.000	8	\$ 1.280.000
SIP-043	\$ 204.586	20	\$ 4.181.738	\$ 132.000	17	\$ 2.244.000
SIP-044	\$ 1.280.000	9	\$ 12.135.065	\$ 176.000	5	\$ 880.000
SIP-045	\$ 960.000	12	\$ 11.376.623	\$ 132.000	7	\$ 924.000
SIP-046	\$ 960.000	23	\$ 22.159.684	\$ 132.000	7	\$ 924.000
SIP-047	\$ 640.000	23	\$ 14.773.123	\$ 88.000	7	\$ 616.000
SIP-048	\$ 528.000	7	\$ 3.677.863	\$ 528.000	7	\$ 3.696.000
SIP-049	\$ 932.688	17	\$ 15.474.142	\$ 352.000	19	\$ 6.688.000
SIP-050	\$ 160.000	9	\$ 1.374.118	\$ 22.000	7	\$ 154.000
SIP-051	\$ 320.000	10	\$ 3.210.997	\$ 320.000	7	\$ 2.240.000
SIP-363	\$ 607.878	35	\$ 21.416.551	\$ 607.878	28	\$ 17.020.584
SIP-367	\$ 806.584	26	\$ 21.097.295	\$ 806.584	23	\$ 18.551.432
SIP-368	\$ 806.584	50	\$ 40.235.099	\$ 806.584	19	\$ 15.325.096
SIP-415	\$ 606.706	17	\$ 10.334.226	\$ 132.000	14	\$ 1.848.000
SIP-438	\$ 606.706	18	\$ 11.003.612	\$ 132.000	6	\$ 792.000
SIP-440	\$ 325.353	14	\$ 4.481.277	\$ 88.000	12	\$ 1.056.000
SIP-441	\$ 303.353	9	\$ 2.645.280	\$ 66.000	10	\$ 660.000
SIP-442	\$ 1.213.412	8	\$ 9.304.525	\$ 264.000	7	\$ 1.848.000
SIP-444	\$ 1.213.412	13	\$ 15.921.076	\$ 264.000	11	\$ 2.904.000
SIP-447	\$ 22.000	8	\$ 172.318	\$ 22.000	4	\$ 88.000
SIP-448	\$ 22.000	8	\$ 166.138	\$ 22.000	6	\$ 132.000
SIP-485	\$ 303.353	26	\$ 7.908.846	\$ 66.000	24	\$ 1.584.000
SIP-487	\$ 58.293	41	\$ 2.364.105	\$ 58.293	37	\$ 2.156.841
SIP-495	\$ 606.706	3	\$ 1.757.521	\$ 132.000	3	\$ 396.000
SIP-502	\$ 22.000	38	\$ 842.928	\$ 22.000	24	\$ 528.000
SIP-503	\$ 303.353	21	\$ 6.228.216	\$ 66.000	24	\$ 1.584.000
Total	\$ 16.146.379		\$ 275.206.724	\$ 7.770.751		\$ 113.467.957