

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIERREZ



Reporte de Residencia Profesional.



Nombre del proyecto:

Modernización del sistema de extracción de aire de casa de máquinas de la primera y segunda etapa de la C.H Belisario Domínguez.

Ingeniería Mecánica

Nombre del asesor interno:

M.C Ignacio Arriola Cárdenas

Nombre del asesor externo:

Ing. Alejandro López Lena Barrios

Nombre del alumno:

Josué Andrés Jiménez Ochoa

No de control del alumno:

11270645

Periodo:

Agosto – diciembre 2015

Contenido

Introducción.....	5
CAPÍTULO I	7
Generalidades del Proyecto	7
1.1 Justificación.....	7
1.2 Caracterización de la zona de trabajo.....	9
1.2.1 Hidrología.....	11
1.2.2 Ubicación.....	13
1.2.3 Casa de máquinas.....	14
1.3 Política de la empresa.....	15
1.3.1 Misión.....	15
1.3.2 Visión.....	15
1.4 Objetivos	16
1.4.1 Objetivos generales.....	16
1.4.2 Objetivos específicos.....	16
1.5 Problemas a resolver.....	17
1.6 Alcances y limitaciones.....	18
1.6.1 Alcances.....	18
1.6.2 Limitaciones.....	18
CAPITULO II	19
Marco Teórico.....	19
2.1 Ventiladores	19
2.2 Clasificación de los ventiladores	19
2.2.1 Clasificación según la presión total desarrollada.....	19
2.2.2 Clasificación según la dirección del flujo.....	19
2.3 Selección de ventiladores.....	21
2.4 Acoplamiento de ventiladores	21
2.4.1 Acoplamiento en serie	21
2.4.2 Acoplamiento en paralelo	22
2.5 Ventilación Forzada.....	23
2.5.1 Sistemas de impulsión.....	23

2.5.2 Sistema de extracción.	23
2.5.3 Sistema mixto (impulsión y extracción).	24
2.6 Cálculo basado en el método de las renovaciones por hora	24
2.7 Principios del flujo de aire.	25
2.8 variación de la densidad del gas en el comportamiento de los ventiladores	25
2.9 Ecuación de continuidad	27
2.10 Presión estática	28
2.11 Presión dinámica	28
2.12 Ecuación de Bernoulli Modificada.....	28
2.13 Ductos Rectangulares.....	30
2.14 Dimensionamiento de rejillas o campanas de captación.....	30
2.15 Perdidas de carga	31
2.15.1 Pérdidas de carga en tramos rectos	31
2.15.1.1 Método de pérdida de carga con la Ec. Darcy-Weisbach.....	31
2.15.2 Pérdidas de carga en puntos singulares.....	33
2.15.2.1 Método de presión dinámica	33
2.16 Transmisión mecánica.....	37
2.16.1 Transmisión por poleas y bandas.....	37
CAPÍTULO III	40
3.1 Proceso de cálculo y selección de extractores de aire.....	40
3.2 Bases para la selección del equipo que debe adquirirse.	40
CAPÍTULO IV	41
4.1 Procedimiento y hoja de cálculo, primera etapa de casa de máquinas.....	41
4.1.2 Investigación del espacio a ventilar.	41
4.1.3 Determinación de trayectoria de ductos de extracción de aire.....	43
4.1.4 Calculo de caudal de aire de extracción.....	46
4.1.5 Dimensionamiento de ductos de extracción	49
4.1.6 Calculo de caída de presión en el sistema de extracción de aire.....	51
4.1.7 Selección de ventilador extractor.	59
4.1.8 Selección de transmisión de potencia (Motor, poleas, bandas) y accesorios.	61
4.2 Procedimiento y hoja de cálculo, segunda etapa de casa de máquinas.....	66
4.2.1 Investigación del espacio a ventilar en Casa de máquinas.	66

4.2.2 Determinación de trayectoria de ductos de extracción de aire.....	68
4.2.3 Calculo de caudal de aire de extracción.....	71
4.2.4 Dimensionamiento de ductos de extracción	73
4.2.5 Calculo de caída de presión en el sistema de extracción de aire.....	75
4.2.6 Selección de ventilador.	80
4.2.7 Selección de transmisión de potencia (Motor, poleas, bandas) y accesorios	82
CAPÍTULO V	86
Resultados obtenidos de selección de equipos e instalación.	86
CAPÍTULO VI	93
Conclusiones y recomendaciones	93
ANEXOS	96
ANEXO (1).....	96
ANEXO (2).....	97
ANEXO (3).....	97
ANEXO (4).....	98
ANEXO (5).....	99
ANEXO (6).....	100
ANEXO (7).....	101
ANEXO (8).....	102
ANEXO (9).....	103
ANEXO (10).....	104
ANEXO (12).....	106
Referencias bibliográficas y virtuales.....	107

Introducción.

La C.H Belisario Domínguez es una instalación que permite aprovechar las masas de agua en movimiento que circulan por el río denominado Grijalva, para transformarlas en energía eléctrica, utilizando turbinas acopladas a generadores eléctricos.

Por medio de la presa, se acumula cierta cantidad de agua formando un embalse, con el fin de generar un salto de agua cuya energía potencial pueda transformarse en energía cinética por medio de una tubería forzada.

Dicha tubería forzada se sitúa aguas arriba de la presa con una toma de admisión protegida por una rejilla metálica, esta toma de admisión tiene una cámara de compuertas que controla la admisión del agua, que tiene como finalidad llegar hasta las turbinas de la central, alojadas en casa de máquinas.

Al llegar a las turbinas, actúa sobre los álabes del rodete tipo Francis, haciéndolo girar y perdiendo energía. El rodete de la turbina está unido por un eje al rotor del alternador que, al girar con los polos excitados por una corriente continua, induce una corriente alterna en las bobinas del estator del alternador.

Mediante transformadores, es convertida en corriente de baja intensidad y alta tensión, para ser enviada a la red general mediante las líneas de transmisión. El agua, una vez que ha cedido su energía, es restituida al río, aguas debajo de la central.

Este tipo de casa de máquinas es tipo caverna y por ello necesitan simultáneamente de inyección y extracción de aire. La instalación del sistema de ventilación en la casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez nos proporciona el aire necesario en los consumidores donde se produce combustión, manteniendo la temperatura adecuada en el local, evacuando los calores irradiados por los distintos elementos y distribuir el aire renovado en cada espacio de trabajo.

Este sistema, debe de crear y mantener las condiciones ambientales para que el personal que labora en las diferentes áreas de la central, cuente con aire fresco y libre de polvo, así como mantener las condiciones para que el equipo electromecánico, y de control de las diferentes zonas, operen en forma satisfactoria.

Actualmente se cuenta con una alimentación forzada de aire de inyección que se encuentra en el túnel de acceso a la etapa 1 y 2, elevación 429 m.s.n.m. En el cual inyecta aire en todos los niveles de casa de máquinas por medio de ductos de lámina galvanizada y de concreto.

Una vez que el aire ya cumplió con su función y por efecto de tener una temperatura mayor sube a la bóveda de la casa de máquinas, donde mediante rejillas tipo "irving" se canalizan a un ducto de extracción para ser trasladados al exterior. Estos ductos extractores suben y descargan en subestación de luz de la central, a una altura de 567 m.s.n.m.

CAPÍTULO I

Generalidades del Proyecto

1.1 Justificación.

Debido a la forma de construcción de casa de maquinas de la C.H Belisario Domínguez es necesario una ventilación forzada para cumplir con un ambiente optimo de trabajo.

Actualmente se cuenta con un sistema de inyección y extracción de aire forzado, ambos en dos etapas, la primera etapa se encuentra conformado por el espacio confinado para las turbinas 1, 2 y 3 en tanto la segunda etapa está conformada por las unidades 4 y 5.

La problemática presentada, por la cual se realiza este proyecto es por las malas condiciones en que se encuentra el sistema de extracción de aire de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez, ya que este sistema actualmente presenta fallas de operación continuamente, principalmente en los nichos de extracción, tanto en los ventiladores, motores, poleas y bandas.

Las fallas principalmente se deben a que el equipo de extracción de aire de casa de maquinas, ventiladores centrífugos, a lo largo de sus 40 años de operación, se ha puesto en niveles fuera de su rango de operación, acoplado motores de mayor potencia, esto dando como resultado daños en los motores y rodamientos (des alineamiento), causando un desbalance y por consecuencia posibles daños en la flecha impulsora de los álabes. Las poleas debido a los niveles excesivos de operación y debido al término de su vida útil se encuentran desgastadas y des balanceadas (excéntricas), esto causando que las bandas disminuyan su vida útil y lleguen a su punto de rotura debido a las cargas producidas por la polea, a consecuencia de todo lo mencionado se tiene vibraciones mecánicas excesivas durante su operación, provocando holguras en los tornillos.

Debido a lo mencionado se pretende reparar y corregir los daños presentados, sin embargo no se tiene los datos de los ventiladores ni los datos del fabricante para poder hacer las correcciones. En busca de refacciones nuevas para estos equipos surge una nueva problemática, la falta de refacciones adecuadas para los equipos. Por consecuencia se pretende considerar la selección de nuevos equipos de extracción de aire.

La modernización y/o actualización del sistema de extracción de aire de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez es fundamental, ya que se tiene registrado que cuando el sistema de ventilación falla, en los equipos de casa de máquinas también presentan fallas debido a las altas temperaturas.

En el presente documento se justificará cual será el flujo de extracción de aire suficiente en las áreas confinadas de casa de máquinas, ya que actualmente no se cuenta con los datos técnicos de los ventiladores y con el contacto de fabricante, se realizará de acuerdo a la normatividad vigente de ventilación en casa de maquinas de CFE, para determinar las características requeridas por el sistema, identificar las trayectorias y dimensiones de los ductos de extracción de aire, dando la propuesta óptima de tipos de ventiladores extractores a instalar, sus especificaciones de fábrica contando con su curva de operaciones y accesorios.

La trascendencia de este proyecto consiste en la comprobación de los requerimientos para llevar a cabo la actualización del sistema de extracción de aire, en condiciones actuales de operación y los resultados que se alcanzarán al implementarlo.

1.2 Caracterización de la zona de trabajo

Comisión Federal de Electricidad (CFE) es un organismo público descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Que tiene por objeto la planeación del Sistema Eléctrico Nacional, así como la generación, conducción, transformación, distribución y venta de energía eléctrica para la prestación del servicio público y la realización de todas las obras, instalaciones y trabajos que se requieran para el cumplimiento de su objeto.

Comisión Federal de Electricidad cuenta con plantas que generan seis tipos de energía: Hidroeléctricas, Termoeléctricas, Geotermoelectricas, Carboelectricas, Eoloelectricas y nucleoelectricas.

CFE rinde un homenaje al héroe chiapaneco Belisario Domínguez, ordenando que tanto la presa como la central hidroeléctrica lleven su nombre, cambiando así el de la angostura, con que se conoció a la obra desde su proyecto hasta la entrada de operación, con el de Belisario Domínguez.

La planta es totalmente subterránea y tiene cinco unidades de 180 000KW cada una. Para la realización del plan integral del Grijalva, fue necesario construir el aprovechamiento de la angostura, que reúne un conjunto de características que lo sitúan como elemento básico para la explotación del río Grijalva y que se puede emplear ventajosamente en la generación de energía, dado que su vaso de almacenamiento regulariza en promedio el escurrimiento de 9 700 millones de m^3 anuales.

Resumen técnico especificaciones de turbinas verticales:

Tabla 1.1- Información general de las unidades de la C.H Belisario Domínguez

No. De Unidades	5
Marca	Escher Wyss
Capacidad por unidad	184 000 Kw
Frecuencia	60 c/s
Velocidad mínima	$128.6 \frac{r}{min}$
Velocidad máxima	$245 \frac{r}{min}$
Carcasa en forma de espiral	24 alabes anti distribuidores
Alabes directrices	26
Rodete	14 alabes fijos
Capacidad efectiva	900 MW
Caudal por unidad	$219 \frac{m^3}{seg}$

Tabla 1.2- Entrada en operación de las unidades de la C.H Belisario Domínguez

Unidad	Entrada en operación
Unidad 1	04 de julio de 1976
Unidad 2	27 de mayo de 1976
Unidad 3	22 de noviembre de 1975
Unidad 4	15 de marzo de 1978
Unidad 5	15 de junio de 1978

1.2.1 Hidrología

La cuenca que alimenta el embalse de la angostura está limitada por ser una serie de contrafuertes que la separan de la cuenca del Usumacinta, formado por las sierras de Independencia y san Cristóbal; entre estos contrafuertes y la sierra madre del sur está alojado en el anti plano chiapaneco.

En virtud de su gran capacidad de embalse y ser la primera en la cascada de la cuenca del Grijalva, esta central resulta estratégica para el control de los embalses del resto de las centrales que se encuentran río abajo y mediante un buen programa de control de los niveles del vaso se asegura la generación del sistema Grijalva.

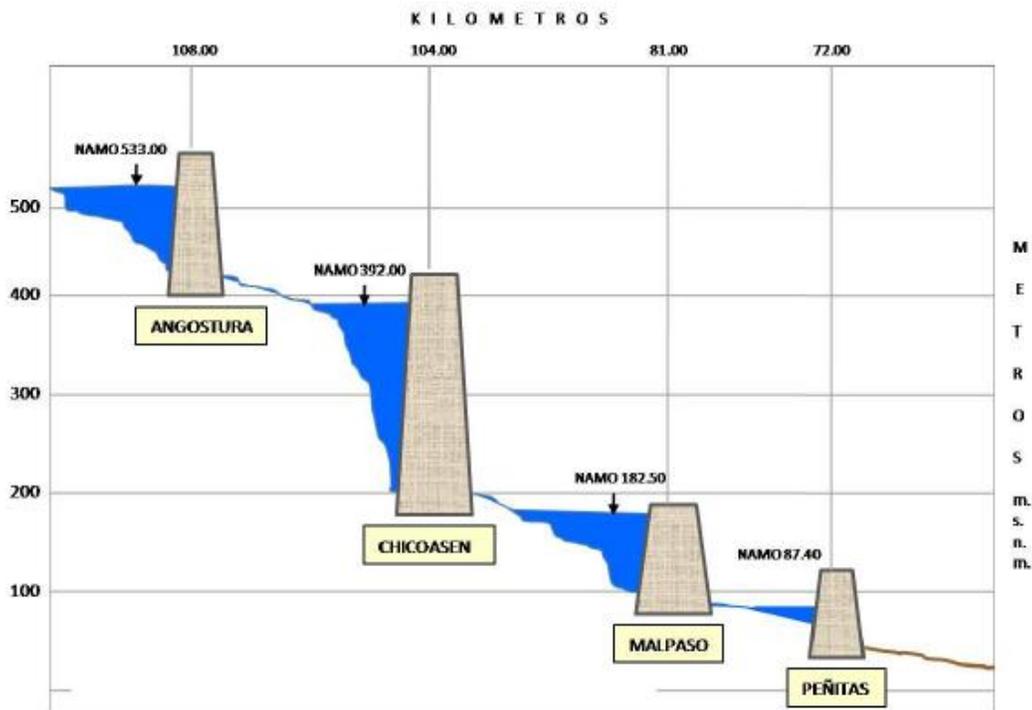


Figura 1.1- Ilustración de Hidrología de embalses de presas río Usumacinta.

En la región son frecuentes los ciclones tropicales que descargan intensas lluvias generadoras de avenidas extraordinarias en los ríos Grijalva y Usumacinta, las cuales afectan principalmente a la zona costera.

Un resumen de los datos hidrológicos y meteorológicos de la estación angostura, es el siguiente:

Tabla 1.3- Datos Hidrológicos y meteorológicos de la C.H Belisario Domínguez.

Vaso	
Área de la cuenca	18 099 Km ²
Longitud del embalse	100 km
Elevación máxima del parte aguas	3200 m
Elevación media de la cuenca	1 100 a 1 300 m
Elevación mínima de la cuenca	413 m
Precipitación media anual	1379 mm
Escurrimiento media anual	9.7 x 109 m ³
Escurrimiento mínimo registrado	59 $\frac{m^3}{seg}$
Avenidas	
Registradas	3820 $\frac{m^3}{seg}$
Diseño para el desvió	5000 $\frac{m^3}{seg}$
Máxima extraordinaria	23000 $\frac{m^3}{seg}$
Temperaturas	
Media máxima /mínima mayo	39.5 C – 18.6 °C
Media máxima / mínima enero	34.1 C – 9.2 °C
Elevación desfogue	
	417.50 m.s.n.m
Almacenamiento total	
	18.2 x 109 m ³
Almacenamiento útil	
	9.2 x 109 m ³
N.A.M.E	
	539.50 m.s.n.m
N.A.M.O	
	528.10 m.s.n.m
N.A min	
	500 m.s.n.m

1.2.2 Ubicación.

La presa Belisario Domínguez, se localiza al Sureste de la República Mexicana es una presa ubicada en el cauce del Río Grijalva a 29 Km del municipio de Venustiano Carranza, Chiapas, México, y a 58 km al sureste de la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, por la carretera número 190.

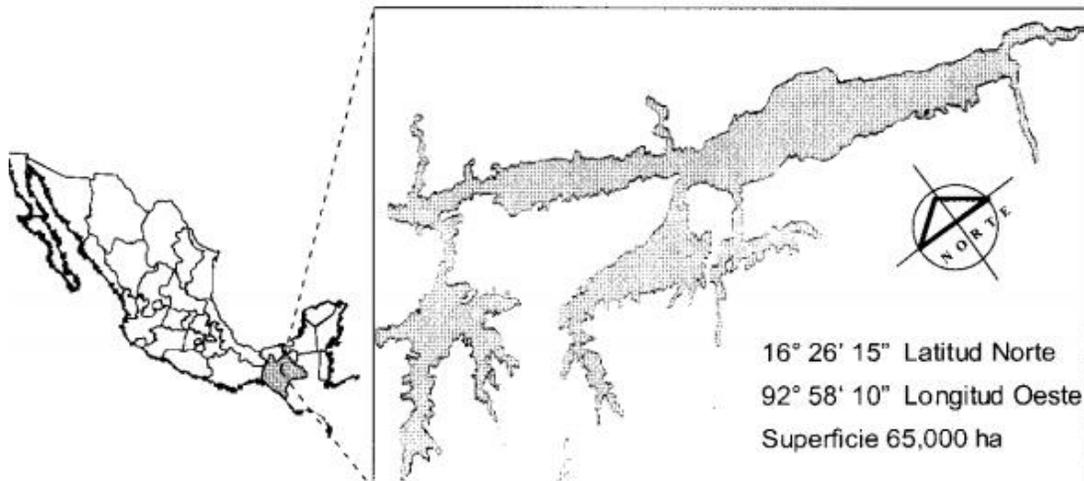


Figura 1.2- Ubicación de la C.H Belisario Domínguez.

La Central Hidroeléctrica utiliza las aguas del río Grijalva para generar energía eléctrica. El río Grijalva original se forma con corrientes que nacen en la sierra norte de Chiapas, y que ya en Tabasco reciben los nombres de Pichucalco, Teapa, Oxolotán, Amatán y Tacotalpa, los cuales al unirse forman el río La Sierra, este río atraviesa la parte central del estado de Tabasco de sur a norte, y posteriormente recibe las aguas del llamado río Viejo Mezcalapa, y es desde esta intersección que recibe el nombre de Grijalva, luego atraviesa la ciudad de Villahermosa y finalmente desemboca en el golfo de México en la barra de Frontera, en el municipio de Centla.

1.2.3 Casa de máquinas

La “casa de máquinas” de tipo subterráneo, es construida en el interior de una roca montañosa de la margen derecha y su acceso es a través de un túnel de 640m de longitud, su construcción se efectuó con dos etapas alojando en la primera de ellas a las unidades 1, 2, 3 y en la segunda etapa 4 y 5. Cuenta con diferentes elevaciones o también llamados pisos: bóveda, aire acondicionado, piso de generador, piso de barra, piso de turbina, línea de centros de turbinas, puerta de inspección del rodete, galería de inspección, asiento tubo de succión y galería de drenaje.

Las 5 turbinas de la central son de tipo Francis vertical y se encuentran alojadas en la caverna que forma la casa de máquinas, localizadas en la elevación 420.30 m.s.n.m.

La rotación es en sentido a las manecillas del reloj, vista desde arriba, cuenta con una carcasa espiral, es de construcción completamente soldado de acero de construcción de grano fino con un total de 24 alabes ante distribuidores que fueron soldados en los talleres del fabricante efectuando pruebas hidrostáticas con una presión de $20 \frac{Kip}{cm^2}$, 26 alabes directrices y un rodete de acero al carbón con 13% cromo y 1% níquel con 14 alabes totalmente fijos.



Figura 1.3 - Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez.

1.3 Política de la empresa.

Proporcionar el servicio público de energía eléctrica y otros servicios relacionados de acuerdo a los requerimientos de la sociedad con base en el desempeño competitivo de los procesos de la dirección de operación y la mejora continua de la eficacia del sistema integral de gestión con el compromiso de:

- Formar y desarrollar el capital humano, incluyendo la cultura de equidad de género.
- Controlar los riesgos, para prevenir lesiones y enfermedades al personal y daños a las instalaciones.
- Cumplir con la legislación, reglamentación, y otros requisitos aplicables
- Prevenir la contaminación y aprovechar de manera responsable los recursos naturales.
- Realizar acciones sociales.

Apoyados en la innovación y desarrollo tecnológico

1.3.1 Misión.

Prestar el servicio público de energía eléctrica con criterios de suficiencia, competitividad y sustentabilidad, comprometidos con la satisfacción de los clientes, con el desarrollo del país y con la preservación del medio ambiente.

1.3.2 Visión.

Ser una empresa de energía, de las mejores en el sector eléctrico a nivel mundial, con presencia internacional, fortaleza financiera e ingresos adicionales por servicios relacionados con su capital intelectual e infraestructura física y comercial.

Una empresa reconocida por su atención al cliente, competitividad, transparencia, calidad en el servicio, capacidad de su personal, vanguardia tecnológica y aplicación de criterios de desarrollo sustentable.

1.4 Objetivos

Presentación de propuesta factible de modernización y actualización de acuerdo a la normatividad de CFE del sistema de extracción de aire forzado de la C.H Belisario Domínguez, que garantice las buenas condiciones ambientales dentro de casa de máquinas para el personal y equipo.

1.4.1 Objetivos generales.

- Familiarizarse con las instalaciones de sistema de ventilación de aire forzado de casa de máquinas.
- Aplicar los conocimientos básicos de fluidos incompresibles obtenidos durante la carrera de ingeniería Mecánica.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Modernizar el sistema de extracción de aire forzado de casa de máquinas, proponiendo equipo nuevo y eficiente apegándose a las normas de CFE.
- Realizar los cálculos pertinentes para la selección optima de los nuevos equipos, haciendo un reconocimiento de campo de la longitud actual de los ductos de extracción de aire de casa de máquinas.
- Elaboración de diagrama de los ductos de extracción de aire forzado, sus dimensiones, longitudes y ubicación, ya que no se cuenta con planos finales de construcción y son de vital importancia para el departamento mecánico de la C.H Belisario Domínguez, para su futuro mantenimiento.
- Proponer mejoras en los nichos de ventilación para un mejor cuidado del sistema de extracción de aire y mayor seguridad de los trabajadores.

1.5 Problemas a resolver

El sistema de extracción de aire de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez cuenta actualmente con 2 ventiladores en la primera etapa y 3 ventiladores en la segunda etapa, ambos ubicados en subestación de luz de la central. Teniendo en total dos sistemas de extracción de aire en casa de máquinas.

Se pretende modernizar el sistema de extracción de aire de casa de máquinas de la primera y segunda etapa de la C.H Belisario Domínguez, con las condiciones actuales de operación, ya que este sistema actualmente presenta fallas continuamente, tanto en los ventiladores, motores, poleas y bandas. Estos equipos están en proceso de quedar obsoleto debido a la falta de refacciones por parte de los fabricantes.

Actualmente no se cuenta con los datos técnicos de los ventiladores de extracción, curva de operación, caudal, presión, velocidad etc., por lo consiguiente se requiere la obtención de los datos en condiciones actuales de operación, para la selección de nuevos equipos.

Además se determinará la localización, longitudes, y dimensiones finales de los ductos de extracción de aire forzado de las dos etapas de casa de maquinas, representándolo en un software CAD (**SolidWorks®**).



Figura 1.4 Ventiladores centrifugos actuales en nichos de extraccion, altura de subestacion de luz de primera y segunda etapa respectivamente.

1.6 Alcances y limitaciones.

1.6.1 Alcances.

- Se hará la selección de nuevos equipos de extracción de aire, esto basado en la hoja de cálculo realizado, de acuerdo a las condiciones actuales de operación y a las necesidades de casa de máquinas.
- Al ser implementado se evitaran paros por fallas en los sistemas de extracción de aire, mejorando las condiciones laborales de los trabajadores evitando, altas temperaturas y que el aire de inyección se quede estancado en casa de máquinas. Al mismo tiempo disipar los calores generados por las máquinas y extraer los gases de combustión que se generen debido a los trabajos realizados por el personal.
- Se contara con los diagramas de trayectorias y dimensiones actuales de los ductos de extracción de aire de casa de máquinas para futuras necesidades de mantenimiento.
- Proponer las condiciones necesarias en las que se deberá mantener el equipo en los nichos de extracción de aire.

1.6.2 Limitaciones.

Una de las limitaciones del proyecto sería:

- Si se desea automatizar el control de los ventiladores desde casa de máquinas, conllevaría a hacer otro proyecto, para determinar que tan factible sería. Esto involucraría directamente al departamento de control y el mecánico.
- La puesta en marcha, utilización de los resultados y datos propuestos y obtenidos será decisión únicamente de CFE.
- La compra de equipos, accesorios, planes de compra y de mano de obra son relajados por otra área.

CAPITULO II

Marco Teórico.

2.1 Ventiladores

Un Ventilador es una turbo máquina que absorbe energía mecánica y restituye energía a un gas, comunicándole un incremento de presión tal que el influjo de la compresibilidad puede despreciarse. Los ventiladores hacen dos cosas: suministrar la presión estática necesaria y mover el aire.

2.2 Clasificación de los ventiladores

Los ventiladores se pueden clasificar en dos grandes ramas:

- Según la presión total desarrollada
- Según la dirección del flujo

2.2.1 Clasificación según la presión total desarrollada.

- Ventiladores de baja presión (Clase I): presión total desarrollada inferior a 10 mbar
- Ventiladores de media presión (Clase II): presión total desarrollada superior a 10 e inferior a 30 mbar
- Ventiladores de alta presión (Clase III): presión total desarrollada superior a 30 e inferior a 100 mbar.

2.2.2 Clasificación según la dirección del flujo.

- Ventiladores centrífugos: Los ventiladores centrífugos se adaptan a los tres tipos de presiones (baja, media, alta). El fluido entra en el ventilador a través de una abertura concéntrica con el eje de una pieza que gira a gran velocidad, llamado rotor. El rotor está provisto de alabes solidarios con el mismo tipo. El fluido circula entre los alabes hacia el exterior a causa de la fuerza centrífuga y abandona el rotor con una velocidad mayor que la de entrada. La salida del fluido se recoge en una carcasa en espiral llamada

voluta y sale del ventilador a través de una conducción tangencial a la voluta.

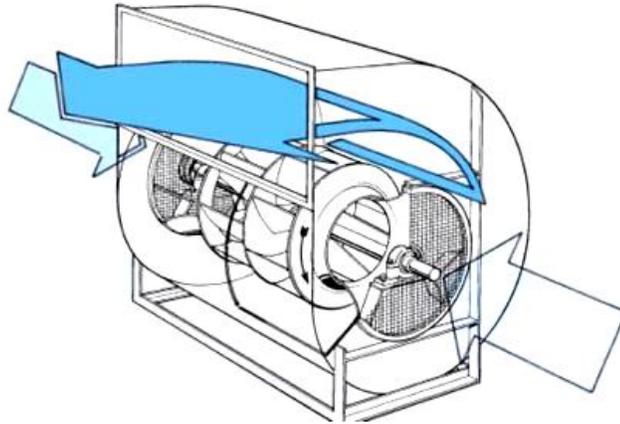


Figura 2.1- flujo de aire en ventilador centrífugo de doble aspiración.

- Ventiladores axiales: En este tipo de ventiladores el aire sigue la dirección del eje del rotor, estando alineadas la entrada de la salida. El rotor tiene dos o más alabes colocados en ángulos hacia el eje. En este tipo de ventiladores el sentido del flujo se invierte al invertir el sentido del giro del rotor. No puede vencer diferencia de presiones muy elevadas, por lo que su uso queda limitado en sistemas de poca pérdida de carga.

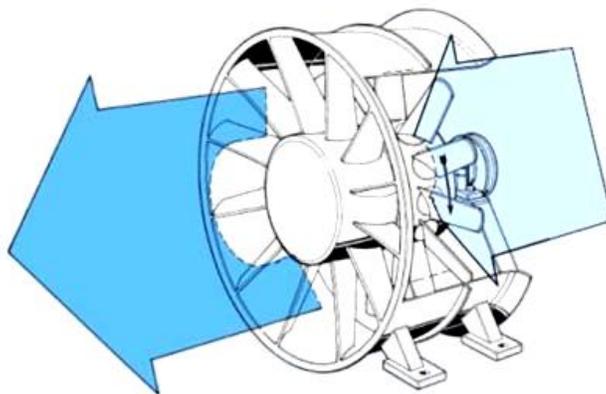


Figura 2.2- flujo de aire en un ventilador tipo axial.

2.3 Selección de ventiladores

La selección de un ventilador consiste en elegir aquel que satisfaga los requisitos de caudal y presión con que debe circular el aire, para la temperatura de la operación y la altitud de la instalación y además se debe determinar su tamaño, el número de revoluciones a las que debe girar el rotor, la potencia que debe ser entregada a su eje, el rendimiento con el que funciona, la disposición de la transmisión, el ruido generado, etc.

Los fabricantes de los ventiladores proporcionan la información necesaria para realizar una correcta selección. Todos los ventiladores que entre sí poseen medidas proporcionales, o sea que son semejantes, pertenecen a una misma "SERIE".

2.4 Acoplamiento de ventiladores

Puede presentarse la situación de que no sea posible la variación del sistema ni del ventilador – instalación ya existente, espacio deficiente, otras causas, pudiéndose llegar al montaje de dos o más unidades sobre el mismo sistema de conductos, acoplamiento que se puede realizar:

- Instalación acoplando ventiladores en serie.
- Instalación acoplando ventiladores en serie en paralelo.

2.4.1 Acoplamiento en serie

La presión total es la suma de las presiones individuales a igualdad de caudal.

- La presión total del conjunto es la suma de las presiones individuales a igualdad de caudal.
- El caudal en ambos ventiladores será el mismo ya que se considera al aire como incompresible.

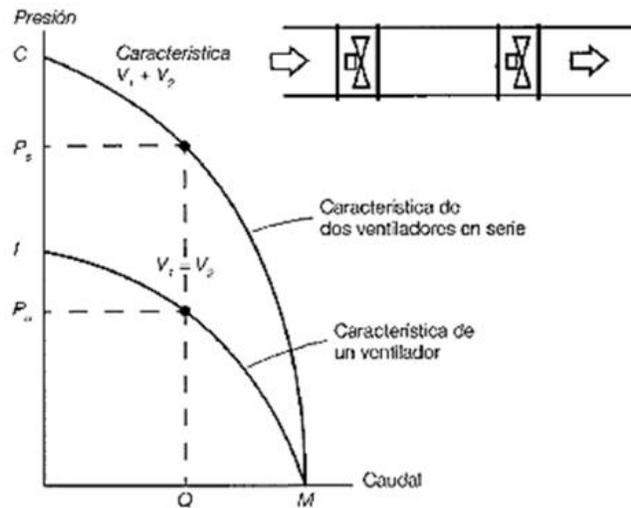


Figura 2.3 – Ventiladores axiales acoplados en serie

2.4.2 Acoplamiento en paralelo

En el acoplamiento en paralelo el caudal resultante es la suma de los caudales independientes en los puntos de igual presión.

- El caudal del conjunto, es la suma de los caudales individuales de cada ventilador en puntos de igual presión.
- La presión total del conjunto será la misma para cada ventilador.

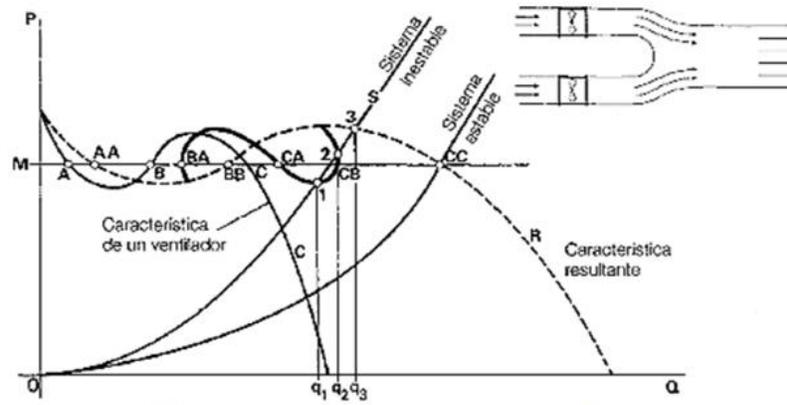


Figura 2.4 – Característica de dos ventiladores iguales en paralelo.

2.5 Ventilación Forzada.

La ventilación forzada, también conocida como ventilación mecánica, es el proceso mediante el cual se suministra o extrae aire de un determinado espacio, utilizando dispositivos mecánicos (ventiladores) con el objeto de controlar los niveles de calor, extraer gases contaminantes, diluir partículas y polvillo producto de procesos industriales y proveer oxígeno necesario para el personal o habitantes del recinto. La ventilación forzada es utilizada cuando la ventilación natural es insuficiente o no tiene la capacidad de mantener un espacio determinado en condiciones confortables.

2.5.1 Sistemas de impulsión.

Los sistemas de impulsión se emplean con dos finalidades:

- Para crear un ambiente confortable en la planta
- Para sustituir el aire extraído de la planta.

Un sistema de impulsión bien diseñado debe incluir una sección de toma de aire, filtros, equipo de calefacción y/o refrigeración, un ventilador, conductos y registros y rejillas para la distribución del aire por el espacio de trabajo.

2.5.2 Sistema de extracción.

Los sistemas de ventilación de extracción se clasifican en dos grupos genéricos:

- Los sistemas de extracción GENERAL.
- Los sistemas de extracción LOCALIZADA.

Los sistemas de extracción general pueden emplearse para el control del ambiente térmico y/o para eliminación de los contaminantes generados en un área.

Los sistemas de extracción localizada se basan en el principio de capturar el contaminante en, o muy cerca de, su origen. Un sistema de extracción localizada el ventilador es el elemento encargado de comunicar al aire la energía necesaria

para arrastrarlo hasta el punto de captación y hacerlo circular por los ductos y elementos de limpieza antes de devolverlo de nuevo a la atmosfera.

2.5.3 Sistema mixto (impulsión y extracción).

Mediante éste, es posible obtener una óptima distribución de aire por el interior del estacionamiento, llegando a casi todos los rincones. El sistema de impulsión transportará aire fresco del exterior y, por tanto, se utilizará un ventilador normal, mientras que el de extracción es susceptible de evacuar humo en caso de incendio.

2.6 Cálculo basado en el método de las renovaciones por hora

El cálculo del caudal volumétrico de ventilación general por medio del método de renovaciones por hora, utilizado para ventilación forzada y natural, está basado en que por comparación con instalaciones que funcionan correctamente se sabe que en función de su actividad fabril, el caudal de aire que se debe evacuar es una función directa de su volumen. En la mayoría de los tratados de ventilación se publican unas tablas que dan, a partir del dato de una actividad industrial, el número de renovaciones por hora que se debe lograr para ventilar correctamente ese local. Es decir que el caudal necesario para la ventilación es el resultado de multiplicar el número de veces que se obtiene de la tabla mencionada, multiplicado por el volumen del local:

$$Q = \text{No de renovaciones por hora} * \text{Volumen} \left(\frac{m^3}{h} \right) \quad \text{Ec (1)}$$

Donde:

No de renovaciones por hora= Renovaciones por hora de acuerdo a tablas estandarizadas.

Volumen= Volumen del local (m^3)

2.7 Principios del flujo de aire.

El flujo de aire en los sistemas de ventilación industrial está gobernado por dos principios básicos de la mecánica de fluidos: la conservación de la masa y la conservación de la energía. Se trata de leyes que, básicamente, establecen que la masa y la energía no desaparecen y han de ser, por tanto, tenidas en cuenta en su totalidad.

1. Se desprecian los efectos del intercambio térmico.
2. Se considera que el aire es incompresible.
3. Se supone que el aire es seco.
4. Se ignora el peso y el volumen del contaminante presente en la corriente de aire.

2.8 variación de la densidad del gas en el comportamiento de los ventiladores

No siendo el ventilador más que una bomba de gas, todas las formulas desarrolladas para las bombas hidráulicas son aplicables también para los ventiladores. Excepto por el fenómeno de cavitación que se da en las bombas esto no sucede en los ventiladores.

La densidad del aire y la de cualquier gas varía mucho con la presión, aunque luego no varíe sensiblemente en su paso por el ventilador y la temperatura, no así la de los líquidos; tanto la presión que da un ventilador como la potencia de accionamiento del mismo son influenciadas grandemente por las variaciones de densidad en el aire o gas impulsado.

Afortunadamente el aire y prácticamente todo los gases impulsados por los ventiladores obedecen con suficiente aproximación para los problemas prácticos a la ecuación de los gases perfectos. Esta sencilla ecuación permite determinar la densidad del gas en cada problema, a partir de la presión y la temperatura.

$$P\gamma = R_a T \quad \text{Ec (2)}$$

Se reduce a:

$$\rho = \frac{P}{R_a T} \quad \text{Ec (3)}$$

Donde:

ρ - Presión absoluta $\frac{N}{m}$, SI

T- Temperatura absoluta, °K, SI

R_a - Constante particular del gas $\frac{J}{Kg, ^\circ K}$, SI (para el aire) $\rightarrow R_a = 286.9 \frac{J}{Kg, ^\circ K}$

Por lo tanto, si el ventilador aspira y/o impulsa aire de una atmosfera a la presión barométrica P_{amb} y temperatura absoluta T_{amb} se tendrá:

$$\rho = \frac{P_{amb}}{286.9 * T_{amb}} \quad \text{Ec (3)}$$

Por ejemplo, el estado normal de un gas es el estado termodinámico que corresponde a una presión de 760 Torr y a una temperatura de 0°C. Por lo tanto la densidad normal del aire será:

$$\rho_{aire} = \frac{101.325 \text{ kpa}}{286.9 * 273.15} = 1.294 \frac{Kg}{m^3}$$

En cuanto a la viscosidad del aire, se puede obtener mediante la expresión:

$$\mu = 1.724 * 10^{-5} \times \left(\frac{T}{273.16} \right)^{19/25} \quad \text{Ec (4)}$$

Donde: $\mu \left(\frac{N.s}{m^2} \right)$

T (°k).

Tabla 2.1- propiedades del aire a diversas temperaturas.

Temperatura (°C)	Densidad $\frac{Kg}{m^3}$	ρ Peso especifico $\frac{N}{m^3}$	ν Viscosidad Cinemática $\frac{m^2}{s}$	Viscosidad dinámica μ $\frac{N.s}{m^2}$
0	1.29	12.7	$13,3 * 10^{-6}$	$1,72 * 10^{-5}$
10	1,25	12,2	$14,2 * 10^{-6}$	$1,77 * 10^{-5}$
20	1,20	11,8	$15,1 * 10^{-6}$	$1,81 * 10^{-5}$
30	1,16	11,4	$16,0 * 10^{-6}$	$1,86 * 10^{-5}$
40	1,13	11,0	$16,9 * 10^{-6}$	$1,91 * 10^{-5}$
50	1,09	10,7	$17,9 * 10^{-6}$	$1,95 * 10^{-5}$
60	1,06	10,4	$18,9 * 10^{-6}$	$1,99 * 10^{-5}$
70	1,03	10,1	$19,9 * 10^{-6}$	$2,04 * 10^{-5}$

2.9 Ecuación de continuidad

La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de conservación de la masa. Para un flujo permanentemente, la masa de fluido que atraviesa cualquier sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo, Para Fluidos incompresibles y para todos los casos prácticos:

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 = Constante \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad Ec (5)$$

Donde A_1 y V_1 son, respectivamente, el área de la sección recta en m^2 y la velocidad media de la corriente en $\frac{m}{s}$ en la sección 1, con significado análogo en 2.

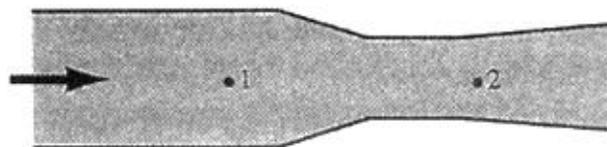


Figura 2.5- flujo en la Ecuación de continuidad

Esta ecuación nos servirá principalmente para calcular las velocidades de aire de los ductos de extracción, basándose primordialmente en la sección transversal de ducto y el caudal que maneja la sección.

2.10 Presión estática

La presión estática (PE) se define como la presión que tiende a hinchar o colapsar el conducto, y se expresa en milímetros de columna de agua (mm.c.a) Normalmente se mide con un manómetro de columna de agua, de ahí las unidades empleadas.

2.11 Presión dinámica

La presión dinámica (PD) se define como la presión requerida para acelerar el aire desde velocidad cero hasta una cierta velocidad (V), y es proporcional a la energía cinética de la corriente de aire. La relación entre PD y V viene dada por:

$$PD = \frac{V^2}{2 * g} \quad \text{Ec (6)}$$

2.12 Ecuación de Bernoulli Modificada.

Se obtiene la ecuación de energía al aplicar al fluido el principio de la conservación de la energía. La energía que posee un fluido en movimiento está integrada por la energía interna y las energías debidas a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio.

Esta ecuación, en los flujos permanentes de fluido incompresibles, con variaciones en su energía interna despreciables, se reduce a:

$$\left(\frac{P_1}{\delta} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 \right) + H_A - H_L = \left(\frac{P_2}{\delta} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \right) \quad \text{Ec (7)}$$

Donde:

H_A = Energía agregada (bomba, Ventilador)

H_L = Energía perdida (Perdida de carga tuberías, accesorios (singularidades))

$P_{1 \text{ o } 2}$ = Presión en el punto estudiado.

$\frac{V_{1 \text{ o } 2}^2}{2g}$ = Presión Dinámica en el punto estudiado.

$Z_{1 \text{ o } 2}$ = Altura respecto a una línea de referencia del problema estudiado.

La ecuación anterior se reconoce con el nombre de teorema de Bernoulli modificada. Para adaptar la ecuación al manejo de aire se determina que en ambos puntos la presión es la misma, y la altura geodésica ($Z_2 - Z_1$) se desprecia, debido a que la energía por unidad de volumen que hay que entregarle al aire para vencer la acción de la gravedad, al elevarlo una cierta altura (h), es compensada por la disminución de la presión atmosférica que se produce al ascender el aire a la misma altura.

De tal manera la ecuación de Bernoulli modifica adaptada al estudio del aire queda de la siguiente manera:

$$H_A = \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) + H_L \quad \text{Ec (8)}$$

Lo cual se conoce comúnmente se conoce como presión total:

$$h_t = h_E + h_D \quad \text{Ec (9)}$$

La presión total del aire es la presión dinámica mas la presión estática del aire. La unidad utilizada en cada término es el metro. Prácticamente, en todos los problemas que entrañan fluidos se resuelven básicamente con esta ecuación.

2.13 Ductos Rectangulares

Aunque es frecuente que se utilicen ductos circulares para distribuir aire a través de sistemas de calefacción, ventilación o acondicionamiento de aire, por lo general es más conveniente emplear ductos rectangulares, debido a limitaciones de espacio, en particular en techos. Cuando se efectúa las sustituciones necesarias para el diámetro, en las relaciones de velocidad, número de Reynolds, rugosidad relativa y el factor de fricción correspondiente, se observa que el diámetro equivalente de un ducto rectangular es:

$$D_e = \frac{1.3 \times ab^{5/8}}{(a + b)^{1/4}} \quad \text{Ec (10)}$$

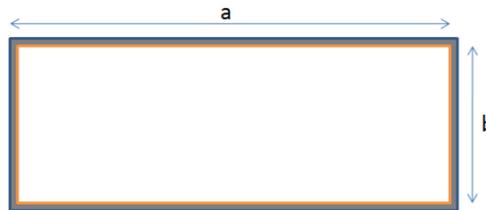


Figura 2.6- lados de un ducto conductor de aire rectangular

Donde a y b son los lados del rectángulo.

2.14 Dimensionamiento de rejillas o campanas de captación

Para la captación de aire, se considera una velocidad de captación para humos y vapores de alrededor 5 m/s.

$$Q = V A = V W H \quad \text{Ec (11)}$$

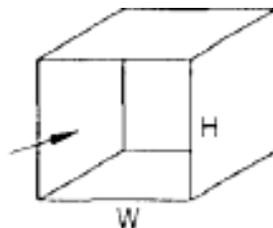


Figura 2.7 – rejilla de captación.

2.15 Pérdidas de carga

Dentro del conducto el fluido experimenta una pérdida de presión por rozamiento, denominándose esta pérdida de carga. Estas pérdidas de carga se dividen en:

1. Pérdida de carga en los tramos rectos
2. Pérdida de carga en los puntos singulares (codos, uniones, etc.).

2.15.1 Pérdidas de carga en tramos rectos

Para el cálculo de pérdida de carga por tramos rectos existen diversos métodos para su obtención, el más utilizado y eficaz es el método de pérdida de carga con la Ec. Darcy-Weisbach

2.15.1.1 Método de pérdida de carga con la Ec. Darcy-Weisbach

La pérdida de carga en los tramos rectos es una función compleja de la velocidad del aire, del diámetro del conducto, de la densidad, viscosidad del aire y de la rugosidad superficial del ducto. Los efectos de la velocidad, diámetro, densidad y viscosidad se combinan en el número de Reynolds (Re), que se define como:

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} \quad \text{Ec (12)} \quad \text{o} \quad Re = \frac{VD}{\gamma} \quad \text{Ec (13)}$$

$$\rho = \text{densidad del fluido, } \frac{kg}{m^3} \quad D = \text{diámetro, } m \quad v = \text{velocidad } \frac{m}{s}$$

$$\mu = \text{viscosidad absoluta o dinámica, } \frac{N \cdot s}{m^2} \quad \gamma = \text{viscosidad cinemática } \frac{m^2}{s}$$

Donde:

$$\gamma = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ec (14)}$$

Teniendo como resultado tres tipos de flujos dependiendo el número de Reynolds:

1. Flujo laminar ($0 < Re < 2000$)
2. Flujo transitorio ($2000 < Re < 4000$)
3. Flujo turbulento ($Re > 4000$)

El efecto de la rugosidad superficial se da por la rugosidad relativa, $(\frac{\epsilon}{D})$.

Tabla 2.2- Rugosidades de diversos materiales utilizados en los sistemas de ventilación

Material	Rugosidad absoluta ϵ , cm
Chapa galvanizada	0.015
Acero	0.005
Aluminio	0.005
Acero inoxidable	0.005
Conducto flexible (alma descubierta)	0.3
Conducto flexible (alma recubierta)	0.09
Cemento alisado	0.03 – 0.08

L.F Moody combino todos estos efectos en un grafico único, usualmente llamado diagrama de Moody, (ANEXO A) donde si se conoce el numero de Reynolds y la rugosidad relativa, $(\frac{\epsilon}{D})$ es posible hallar el factor de fricción (f).

La ecuación para encontrar el coeficiente de fricción f (para flujo Turbulento) que nos ayuda a tener un menor porcentaje de error y facilitar cálculos.

Ecuación para f (P.K Swamee y A.K. Jain)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{1}{3.7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right) + \frac{5.74}{Re^{0.9}}} \right) \right]^2} \quad \text{Ec (15)}$$

Ó

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3.7(D)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ec (16)}$$

Una vez determinado, el número de (Re) y en su caso el factor de fricción, se utiliza en la ecuación de Darcy-Weisbach (turbulento), en ingeniería de ventilación, por razones de economía en la sección de las instalaciones, los regímenes de los

flujos de aire siempre son turbulentos. Por esta razón no mencionaremos la Ecuación de Hagen-poiseville (laminar). Por lo tanto:

Ecuación Darcy-Weisbach

$$hL = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec (17)}$$

2.15.2 Pérdidas de carga en puntos singulares

Los puntos singulares (codos, uniones, cambios de sección, etc.) de un conducto también producen una pérdida de presión estática. Estas pérdidas se calculan mediante el método de presión dinámica.

2.15.2.1 Método de presión dinámica

El método de la presión dinámica, las pérdidas de los puntos singulares vienen dadas por un coeficiente de pérdida (K) multiplicado por la presión dinámica (PD) en el tramo de ducto correspondiente.

$$hK = K PD \quad \text{Ec (18)} \quad \text{o} \quad hK = K \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec (18)}$$

A continuación se indican los coeficientes de pérdida de carga K, para codos, derivaciones y cambios de sección.

Perdidas en codos, para el cálculo por el método de pérdida de carga por presión dinámica, es necesario contar con los factores K de los accesorios. A continuación se menciona los factores K para pérdidas por codos.

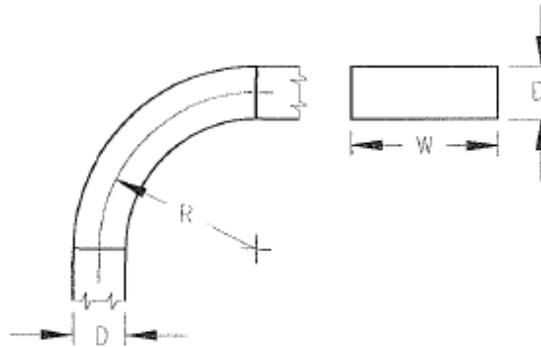


Figura 2.8- Codo Rectangular, Norma AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

Tabla 2.3- Factores K para codos en base a norma AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

R/D	W/D								
	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	2	3	4
0,0	1.5	1.32	1.235	1.15	1.1225	1.095	1.04	0.92	0.85
0.25	1.43	1.265	1.1825	1.1	1.073	1.047	0.995	0.88	0.82
0.50	1.36	1.21	1.13	1.05	1.025	1	0.95	0.84	0.79
0.75	0.905	0.745	0.6875	0.63	0.6175	0.605	0.58	0.52	0.49
1	0.45	0.28	0.245	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.19
1.25	0.365	0.23	0.2	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16	0.155
1.5	0.28	0.18	0.155	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
2	0.24	0.15	0.13	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10

Tabla 2.4 – Factores de corrección Kc en base a los grados

Grados	Valores de corrección								
	20	30	45	60	75	90	110	130	150
Kc	0.31	0.45	0.60	0.78	0.90	1	1.13	1.20	1.28

Perdidas por derivaciones, para calcular las pérdidas de carga debido a derivaciones, se debe acudir a la tabla que se muestra a continuación; de esta tabla mediante el Angulo de las derivaciones es el factor K utilizándolo en el método de presión dinámica.

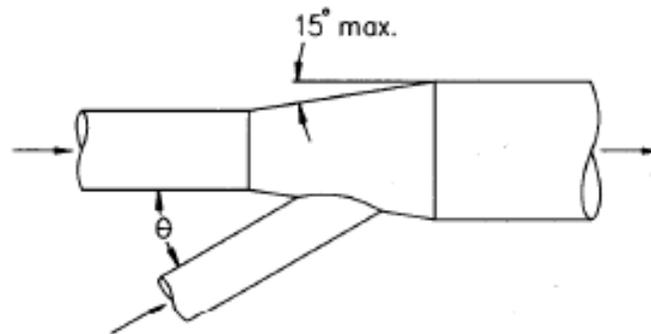


Figura 2.9 – Ramal, Norma AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

Tabla 2.5 - Factores K para ramales en base a norma AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

Angulo en grados desviación θ	Factor K de pérdida de carga
10	0.06
15	0.09
20	0.12
25	0.15
30	0.18
35	0.21
40	0.25
45	0.28
50	0.32
60	0.44
90	1

Pérdida de carga por cambio de sección, al existir cambios de sección gradualmente en los conductos de ventilación existen una pérdida de carga caracterizada por un facto K que se muestra en la siguiente tabla.

$$PE_2 = PE_1 + K \frac{(v_1 - v_2)^2}{2 * g} \quad Ec (19)$$

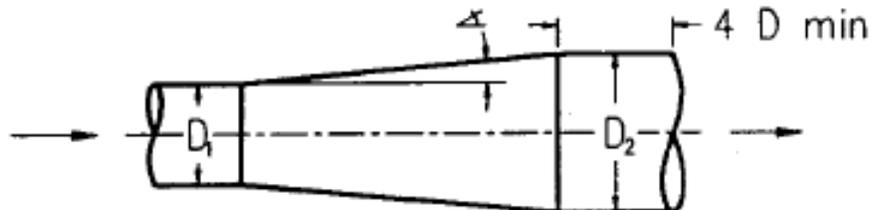


Figura 2.10 – Cambio de sección, Norma AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

Tabla 2.6 – Factores K para cambios de sección Norma AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

Ganancia (K) , fracción de la diferencia de PD					
Angulo de la pieza, grados	Relación de diámetros D_2/D_1				
	1,25:1	1,5:1	1.75:1	2:1	2,5:1
3 ½	0.92	0.88	0.84	0.81	0.75
5	0.88	0.84	0.80	0.76	0.68
10	0.85	0.76	0.70	0.63	0.53
15	0.83	0.70	0.62	0.55	0.43
20	0.81	0.67	0.57	0.48	0.43
25	0.80	0.65	0.53	0.44	0.28
30	0.79	0.63	0.51	0.41	0.25
Brusco 90	0.77	0.62	0.50	0.40	0.25

Nota: La ganancia será solo del 70% de la indicada cuando la pieza de expansión se encuentre a una distancia inferior a 5 diámetros de conductos

2.16 Transmisión mecánica

Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina.

Entre las formas más habituales de transmisión están:

- Cables
- Cadena de transmisión.
- Correas o bandas de transmisión.
- Engranajes.
- Juntas cardán.
- Poleas.

2.16.1 Transmisión por poleas y bandas.

La transmisión de potencia por poleas y bandas son una de las más comunes en la industria, y se basa en la transmisión de potencia por medio del rozamiento de las bandas con las poleas.

En la transmisión de poleas debe de existir básicamente la polea conductora y la polea conducida, estas respectivamente acoplada a sus ejes. Se pueden acoplar de la manera más conveniente dependiendo de las necesidades de velocidades del sistema.

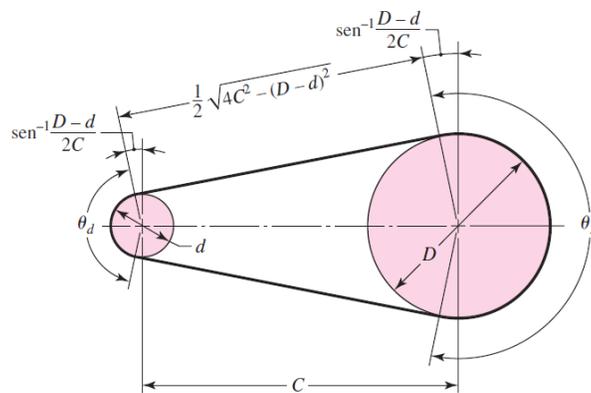


Figura 2.11 – Sistema de transmisión de potencia, Poleas – Bandas.

La relación de velocidades y de diámetros de las poleas está dada por la siguiente ecuación:

$$i = \frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{d_1} \quad \text{Ec (20)}$$

El diámetro de las poleas y medidas de las bandas se basa en normas dadas por los fabricantes.

Distancia entre centros:

$$C = 0.25 \left\{ \left[L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\} \quad \text{Ec (21)}$$

Longitud de paso de banda:

$$L_p = 2C + \frac{\pi}{2}(D + d) + \frac{(D - d)^2}{2C} \quad \text{Ec (22)}$$

Velocidad de la banda:

$$V = \frac{\pi d N}{60} \quad \text{Ec (23)}$$

Donde:

$d =$ diametro de la poela conductora (m)

$N =$ RPM

Angulo de contacto de la banda con polea conductora:

$$\theta_d = 180 - 2 \sin^{-1} \frac{D - d}{2C} \quad \text{Ec (24)}$$

Angulo de contacto de la banda con polea conducida:

$$\theta_D = 180 + 2 \sin^{-1} \frac{D - d}{2C} \quad \text{Ec (25)}$$

Para la selección óptima de tipo de correas de banda se basa en las propiedades dadas por el fabricante, tomando en cuenta la potencia y velocidad a las que se encuentran sometidas.

Para seleccionar el número de bandas necesarias en un sistema Polea-Banda, se basa en la siguiente ecuación:

$$Nb \geq \frac{H_d}{H_a} \quad \text{Ec (26)}$$

Donde:

N_b = Numero de bandas

$$H_d = H_{nom} k_s n_d \quad \text{Ec (27)}$$

Donde:

H_d = potencia teorica (motor)

H_{nom} = potencia nominal

k_s = Factor de servicio (tablas) Anexo

n_d = factor de diseño

$$H_a = k_1 k_2 H_{tab} \quad \text{Ec (28)}$$

Donde:

H_a = Potencia permitida por banda (tablas) Anexo

k_1 = Factor de correccion del angulo de cobertura (tablas) Anexo

k_2 = Factor de correccion de long de banda (tablas) anexo

CAPÍTULO III

3.1 Proceso de cálculo y selección de extractores de aire.

“Modernización del sistema de extracción de aire de casa de máquinas de la primera y segunda etapa de la Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez”

El sistema de ventilación debe de crear las funciones básicas, como crear las condiciones ambientales para el personal que labora en las diferentes áreas, cuenta con aire fresco y limpio. Generar y mantener las condiciones de temperatura para que el equipo electromecánico y de control de las diferentes áreas, operen en forma satisfactoria.

La salida de aire en forma natural no es adecuada, ya que la longitud de la lumbrera de excitación es bastante larga 128 metros, por lo tanto se tiene un sistema de extractores colocados en casetas propias en subestación y el aire lo toma de la lumbrera que viene de casa de máquinas y lo descargan a la atmosfera directamente. Para esto se requieren equipos extractores de aire, los cuales se harán los cálculos para la óptima selección.

3.2 Bases para la selección del equipo que debe adquirirse.

Los cálculos serán realizados apoyándose en la norma de referencia de CFE de sistema de ventilación para centrales hidroeléctricas (NRF-080-CFE-2010)

Para la selección adecuada y óptima de los ventiladores se tiene que:

- 1) Investigación del espacio a ventilar (1era y 2da Etapa).
- 2) Determinación de trayectoria de ductos de extracción (1era y 2da Etapa).
- 3) Calculo de caudal a extraer (1era y 2da Etapa).
- 4) Dimensionamiento de ductos de extracción (1era y 2da Etapa).
- 5) Calculo de caída de presión en el sistema (1era y 2da Etapa).
- 6) Selección de Ventiladores de extracción (1era y 2da Etapa).
- 7) Selección de motores poleas, bandas y accesorios (1era y 2da Etapa).
- 8) Modelado 3D de nichos de extracción, propuesto (1era y 2da Etapa).

CAPÍTULO IV

4.1 Procedimiento y hoja de cálculo, primera etapa de casa de máquinas.

4.1.2 Investigación del espacio a ventilar.

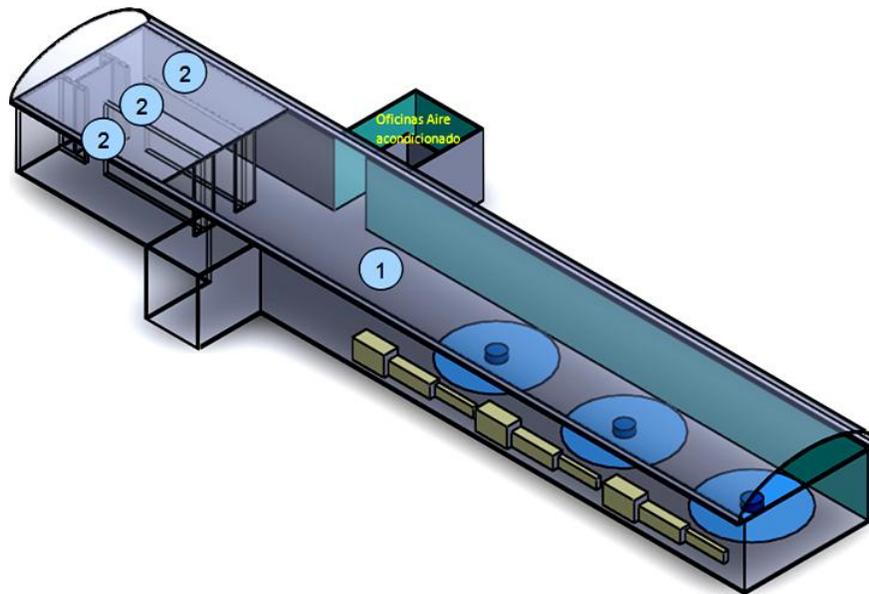


Figura 4.1- Vista isométrica de piso de playa de montaje de la primera etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

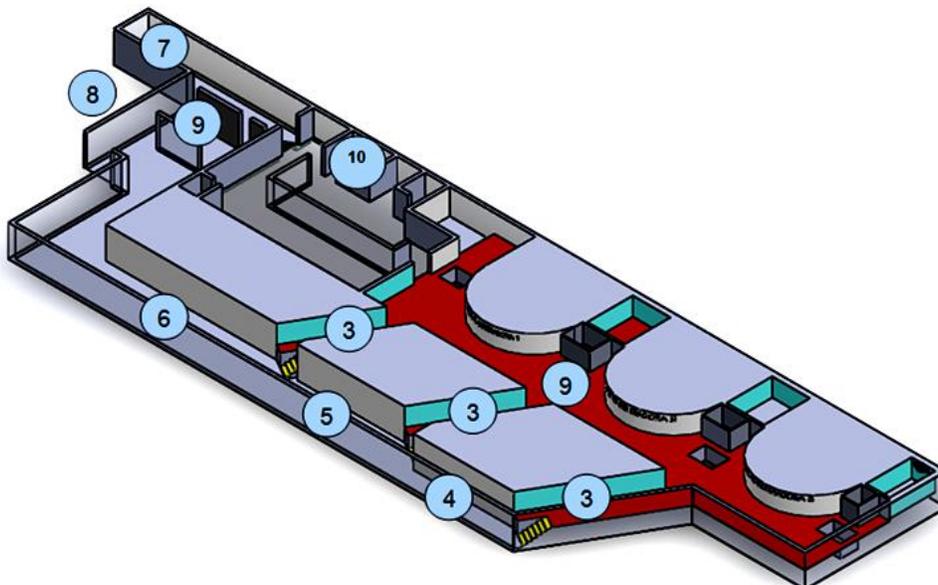


Figura 4.2- Vista isométrica de piso de turbinas de la primera etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

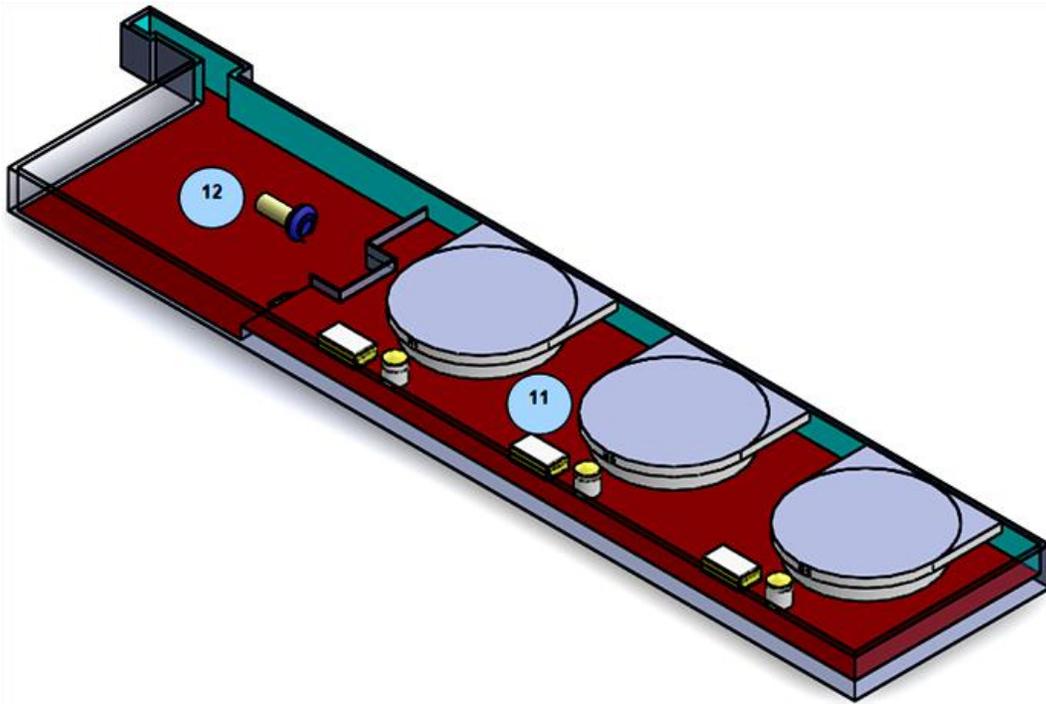


Figura 4.3- Vista isométrica de piso de turbinas de la primera etapa de la casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

Tabla 4.1 – Numeración de cada zona de la primera etapa de casa de máquinas haciendo referencia las figuras 4.1, 4.2, 4.3.

Numero de zona	Área
1	Piso de playa de montaje
2	Transformadores de caverna, 1, 2,3.
3	Pasillo de BFA a generador, 1,2,3
4	Pasillo de BFA 1
5	Pasillo de BFA 2
6	Pasillo de BFA 3
7	Pasillo de baterías
8	Ante pasillo 2 etapa
9	Pasillo a 2 etapa
10	Cuarto de baterías
11	Piso de turbinas
12	Piso de turbina auxiliar

4.1.3 Determinación de trayectoria de ductos de extracción de aire.

(NRF-080-CFE-2010) sección 4.1.4 inciso d) indica:

La extracción del aire en los diferentes pisos de la casa de máquinas, debe ser realizada a través de rejillas de extracción ubicadas en la parte opuesta al muro de inyección del aire, o también dependiendo del arreglo y disponibilidad, a través de rejillas tipo 'irving', instaladas en las losas del piso superior correspondiente, de manera que el aire vaya pasando de piso en piso, hasta que ya caliente, llegue al piso de excitadores. Esto último sucede en piso de turbinas y generadores.

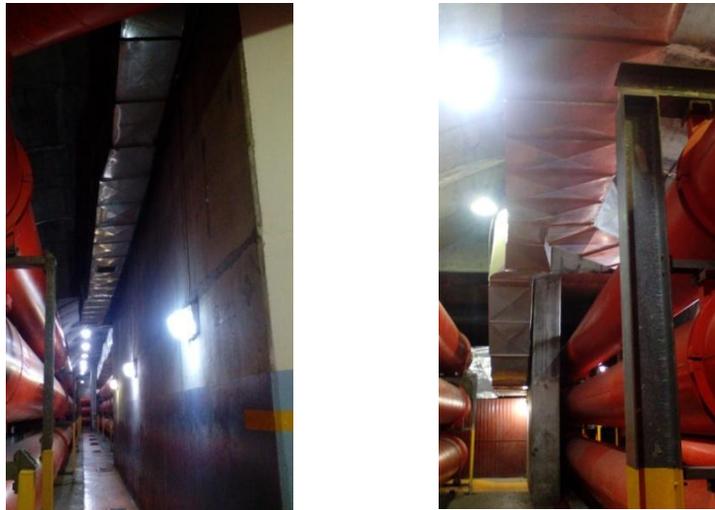


Figura 4.4 - Trayectoria de ductos en área de bus fase aislada de la primera etapa.



Figura 4.5 –Rejillas tipo Irving visto desde piso playa de montaje de la C.H Belisario Domínguez.

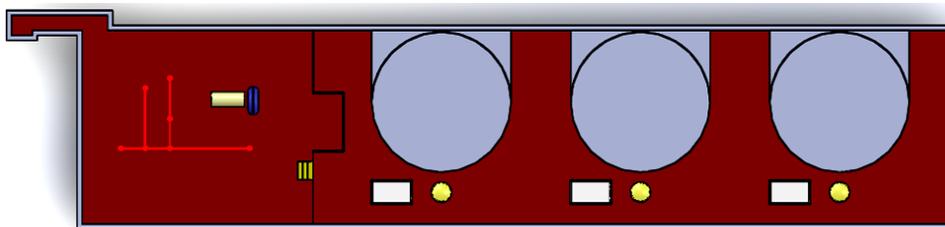


Figura 4.6 – Vista en planta, trayectoria de ductos de extracción de Piso de turbinas, primera etapa de Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

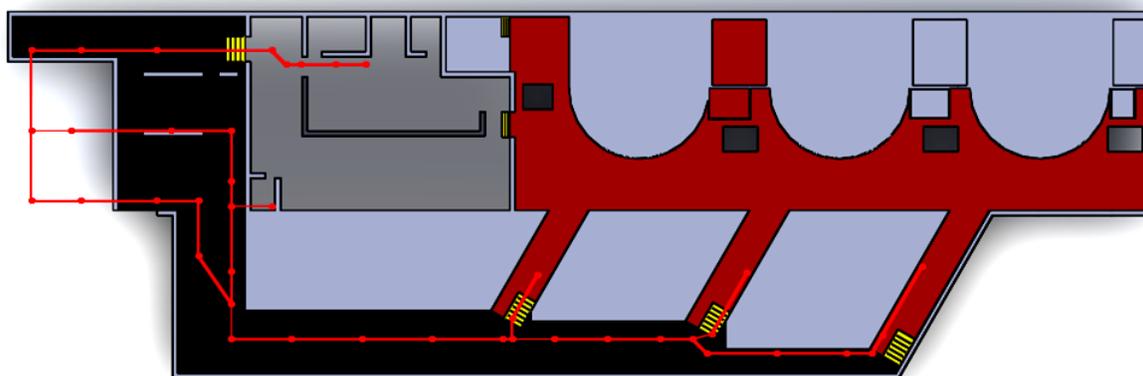


Figura 4.7 - Vista en planta, trayectoria de ductos de extracción de Piso de generadores, primera etapa de Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

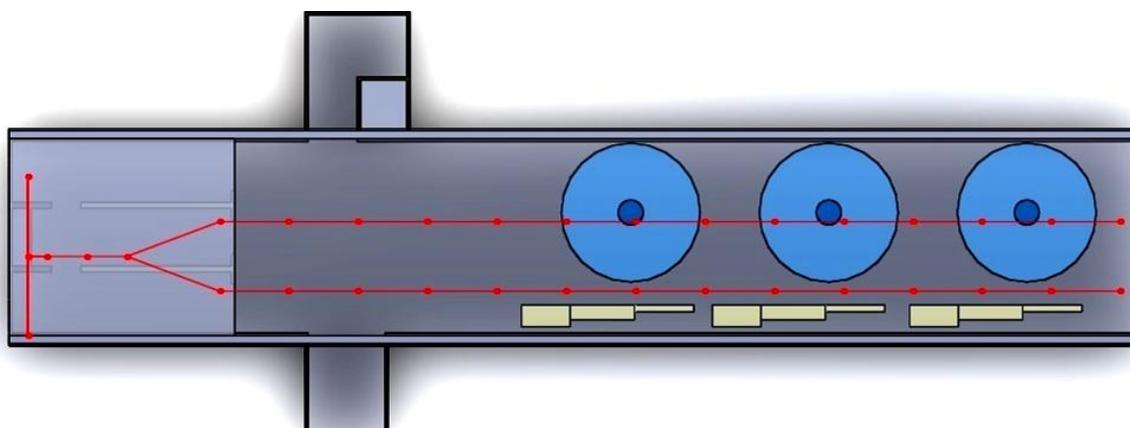


Figura 4.8 - Vista en planta, trayectoria de ductos de extracción de Piso playa de montaje, primera etapa de Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

Realizando en **(SolidWorks®)** el isométrico de las trayectorias de los ductos de extracción de la primera etapa de casa de máquinas, con las dimensiones reales se obtiene las siguientes vistas. Se representa de la siguiente manera, de tal forma que se logren observar todas las trayectorias.

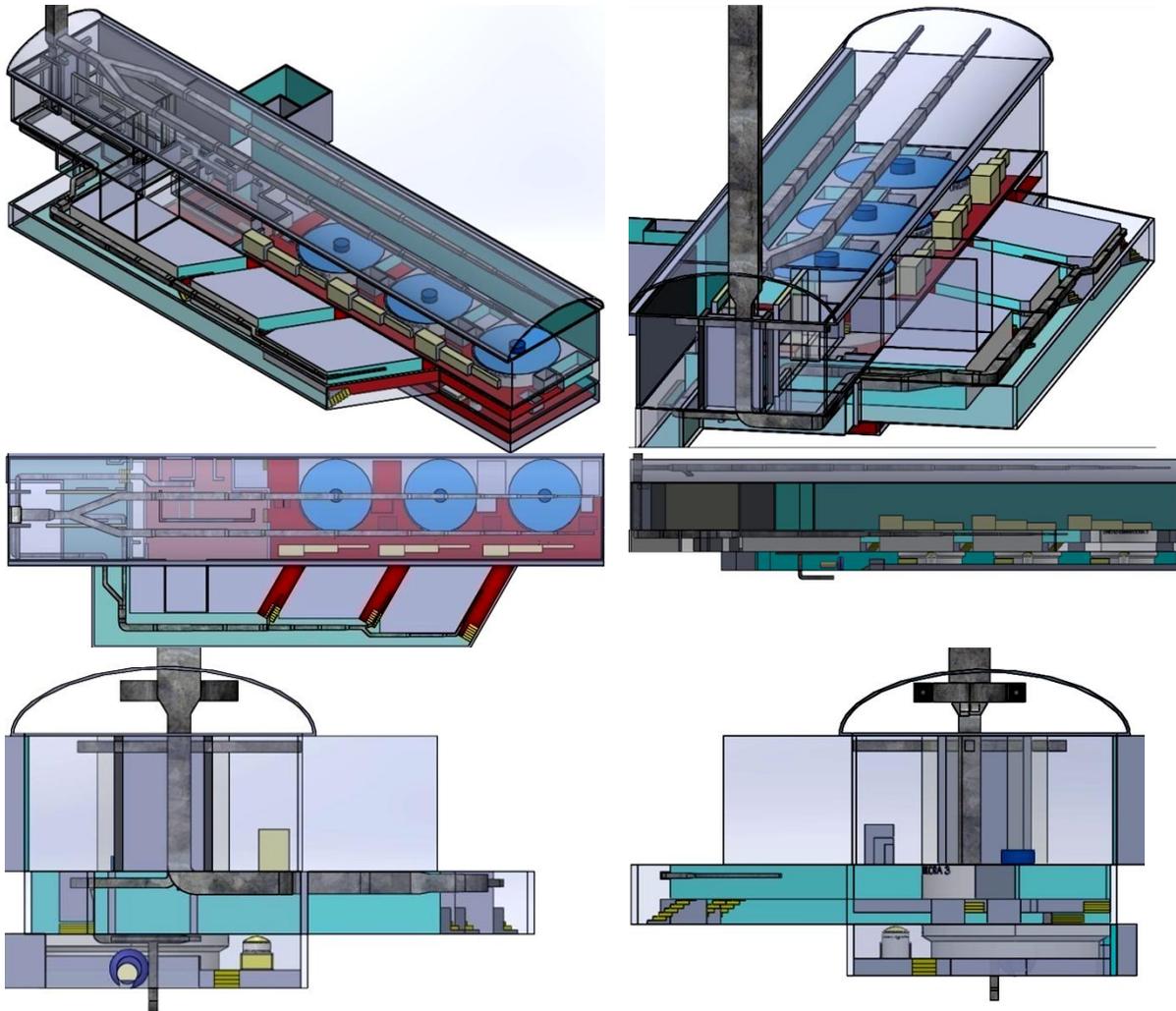


Figura 4.9 – Vistas de trayectoria de los ductos de extracción de la primera etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

4.1.4 Cálculo de caudal de aire de extracción

(NRF-080-CFE-2010) sección 4.1.5.1 inciso a):

Tabla 4.2 – Renovaciones por hora en casa de máquinas de una C.H (NRF-080-2010)

Zona	Cantidad mínima de aire en condiciones máximas de operación.
Casa de máquinas:	Cambios por hora:
Piso de excitadores	8
Piso de generadores	26
Piso de turbinas	22
Otros pisos y zonas	12

Ejemplo:

Obteniendo el volumen de cada zona que se representará a continuación en la hoja de cálculo. Caudal necesario en Bus de fase aislada pasillo a generador primera etapa:

$$Volumen_{\text{pasillo a generadores}} = L * a * h$$

$$Volumen_{\text{pasillo a generadores}} = 15.5 \text{ m} * 3.46 \text{ m} * 3.2 \text{ m}$$

Obtenemos un volumen de 171.616 m^3 y sabemos que en zona de generadores son 26 Renovaciones por hora, por lo tanto:

$$Q = \text{No de renovaciones por hora} * \text{Volumen}, \quad \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$$

$$Q = 171.616 \text{ m}^3 * 26 = 4462.016 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)$$

Para realizar el cálculo de todas las zonas de primera y segunda etapa de casa de máquinas se realizó en una hoja de cálculo, apoyándose en el Software (Excel®).

Tabla 4.3.-Hoja de Cálculo de caudal por cada zona de la primera etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez

Lugar	Largo	Ancho	Alto	Volumen	R X hora	Q x hora	Q x min
	(L) mts	(A) mts	(H) mts	(V) M ³		m ³ /h	m ³ /min
Bus de fase aislada pasillo a gen 1	15.5	3.46	3.2	171.616	26	4462.02	74.3669
Bus de fase aislada pasillo a gen 2	15.5	3.46	3.2	171.616	26	4462.02	74.3669
Bus de fase aislada pasillo a gen 3	15.5	3.46	3.2	171.616	26	4462.02	74.3669
Pasillo 1 bus fase aislada	18	2.5	5	225	12	2700	45
pasillo 2 bus de fase aislada	22	5.2	5	572	12	6864	114.4
pasillo 3 bus de fase aislada	32	6.25	5	1000	12	12000	200
pasillo 3 bus fase aislada	8	6.75	5	270	12	3240	54
						24804	413.4
Area transformadores 1	23	6.33	9.7	1412.223	8	11297.8	188.296
Area transformadores 2	23	6.33	9.7	1412.223	8	11297.8	188.296
Area transformadores 3	23	6.33	9.7	1412.223	8	11297.8	188.296
playa de montaje	90	19	9.7	16587	8	132696	2211.6
Area de generadores	60	19	2.5	2850			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.142	64	2.5	251.3274			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.142	64	2.5	251.3274			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.142	64	2.5	251.3274			
Menos	4	8	2.5	80			
Menos	4	8	2.5	80			
Menos	2	8	2.5	40			
Volumen total Area Generadores				936.0178	26	24336.5	405.608
Area deturbinas	60	19	2.5	2850			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.142	64	2.5	251.3274			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.142	64	2.5	251.3274			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.142	64	2.5	251.3274			
Volumen total Area Turbinas				1136.018	22	24992.4	416.54
Area de turbina aux.	13	12	3	468	22	10296	171.6
Area de Baterias	19	7.5	3	427.5	12	5130	85.5
Area baja	3	8	10	240	13	3120	52
pasillo Baterias	7	4	4	112	12	1344	22.4
pasillo a 2 etapa	12.5	19	4	950	12	11400	190
Antepasillo 2 etapa	7	15	4	420	12	5040	84
Area de Baño tableros	8	5.3	3	127.2	12	1526.4	25.44

Tabla 4.4- Hoja de cálculo, de acuerdo a trayectoria y disponibilidad de rejillas, determinación de caudal por rejilla por cada zona de la primera etapa.

Lugar	Largo	Ancho	Alto	Volumen	R X hora	Q x hora	Q x min	Rejillas	Caudal por rejilla		
	(L) mts	(A) mts	(H) mts	(V) M ³		m ³ /h	m ³ /min		Redondeado		
Bus de fase aislada pasillo a gen 1	15.5	3.46	3.2	171.616	26	4462.02	74.3669	2	37.183	37.5	m ³ /min
Bus de fase aislada pasillo a gen 2	15.5	3.46	3.2	171.616	26	4462.02	74.3669	2	37.183	37.5	m ³ /min
Bus de fase aislada pasillo a gen 3	15.5	3.46	3.2	171.616	26	4462.02	74.3669	2	37.183	37.5	m ³ /min
Pasillo 1 bus fase aislada	18	2.5	5	225	12	2700	45				
pasillo 2 bus de fase aislada	22	5.2	5	572	12	6864	114.4				
pasillo 3 bus de fase aislada	32	6.25	5	1000	12	12000	200				
pasillo 3 bus fase aislada	8	6.75	5	270	12	3240	54				
						24804	413.4	11	37.582	37.5	m ³ /min
Área transformadores 1	23	6.33	9.7	1412.223	8	11297.8	188.296	1	188.3	185	m ³ /min
Área transformadores 2	23	6.33	9.7	1412.223	8	11297.8	188.296	1	188.3	185	m ³ /min
Área transformadores 3	23	6.33	9.7	1412.223	8	11297.8	188.296	1	188.3	185	m ³ /min
playa de montaje	90	19	9.7	16587	8	132696	2211.6				
Área de generadores	60	19	2.5	2850							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.142	64	2.5	251.3274							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.142	64	2.5	251.3274							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.142	64	2.5	251.3274							
Menos	4	8	2.5	80							
Menos	4	8	2.5	80							
Menos	2	8	2.5	40							
Volumen total Área Generadores				936.0178	26	24336.5	405.608				
Área de turbinas	60	19	2.5	2850							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.142	64	2.5	251.3274							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.142	64	2.5	251.3274							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.142	64	2.5	251.3274							
Volumen total Área Turbinas				1136.018	22	24992.4	416.54				
							3033.75	26		95	m ³ /min
									563.7		
							563.75	2	281.9	280	m ³ /min
Área de turbina aux.	13	12	3	468	22	10296	171.6	4	42.9	43	m ³ /min
Área de Baterías	19	7.5	3	427.5	12	5130	85.5	2	42.75	43	m ³ /min
Área baja	3	8	10	240	13	3120	52	1	52	50	m ³ /min
pasillo Baterías	7	4	4	112	12	1344	22.4	2			
pasillo a 2 etapa	12.5	19	4	950	12	11400	190	4			
Ante pasillo 2 etapa	7	15	4	420	12	5040	84	2			
							296.4	8	37.05	37.5	m ³ /min
Área de Baño tableros	8	5.3	3	127.2	12	1526.4	25.44	1	25.44	26	m ³ /min
Caudal total										4856.5	m ³ /min

4.1.5 Dimensionamiento de ductos de extracción

(NRF-080-CFE-2010) sección 4.1.5.6 inciso a) indica:

La velocidad del aire en ductos debe ser como máximo 670 m/min (11.166 m/s).

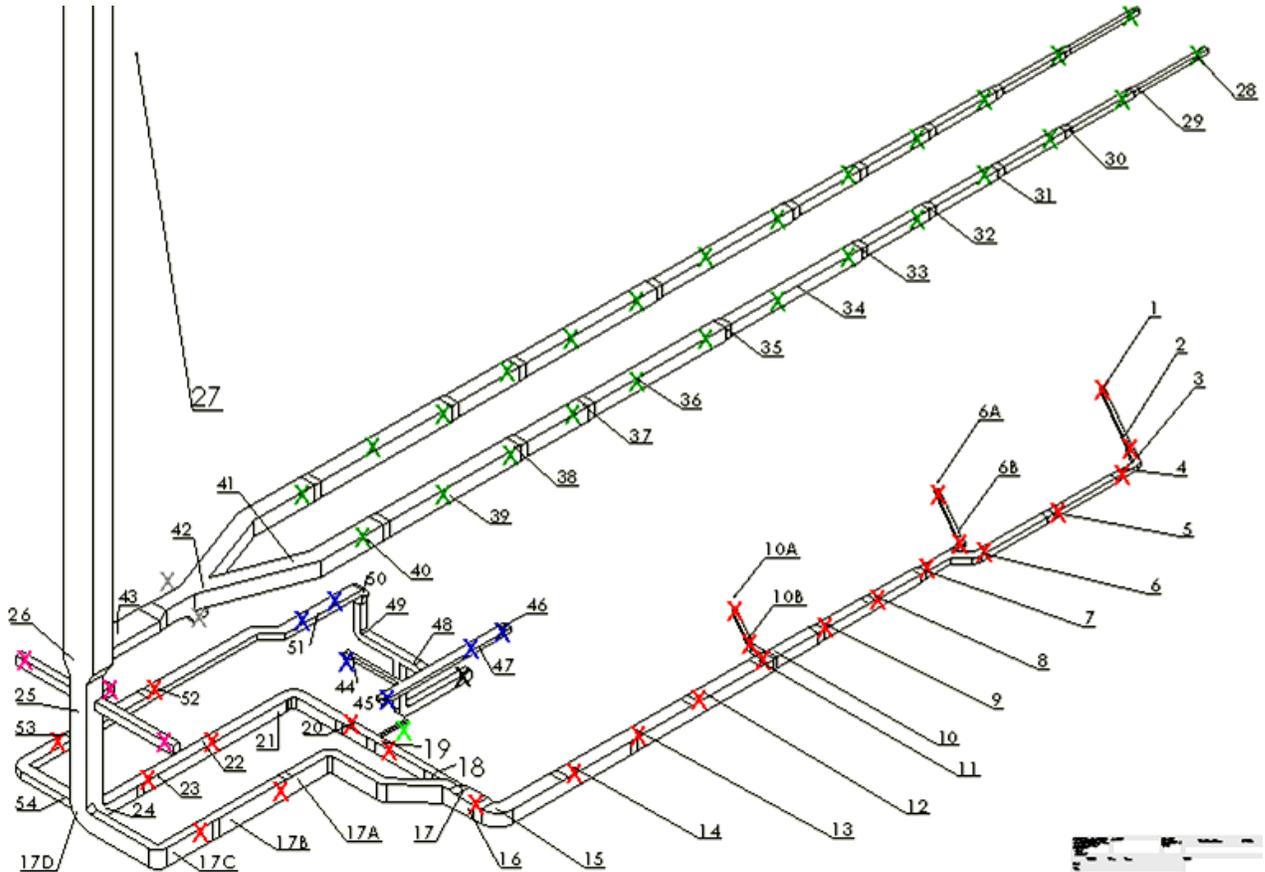


Figura 4.10 – Plano isométrico de trayectoria de ductos y localización de rejillas de extracción de la primera etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

Tabla 4.5- Simbología tipos de rejillas haciendo referencia a la imagen 4.10.

SIMBOLOGÍA DE REJILLA	CAUDAL $\frac{m^3}{min}$	# DE REJILLAS	TAMAÑO REJILLA (M)
X	280	2	1.2 * 0.8
X	185	3	1.6 * 0.7
X	90	26	0.76 * 0.4
X	50	1	0.7 * 0.4
X	43	6	0.45 * 0.35
X	37.5	25	0.45 * 0.35

Tabla 4.6 - Dimensiones, Caudales y velocidades de los ductos de extracción de la primera etapa de la C.H Belisario Domínguez.

Num. de Sección	Sección Rectangular ducto		Longitud (metros)	Caudal acumulado		Diámetro equivalente		Velocidad V (m/s)
	a(metros)	b(metros)		Q(m ³ /min)	Q(m ³ /s)	De(metros)		
1-2.	0.3	0.3	8	37.5	0.625	0.327949602	7.399049	
2-3.	0.5	0.4	2	75	1.25	0.488119853	6.679857	
3-4.	0.5	0.4	2.5	75	1.25	0.488119853	6.679857	
4-5.	0.6	0.5	7	112.5	1.875	0.598130523	6.672974	
5-6.	0.7	0.55	7	150	2.5	0.677062569	6.943725	
6-7.	0.8	0.55	5.25	262.5	4.375	0.721967808	10.68692	
6A-6B	0.3	0.3	7	37.5	0.625	0.327949602	7.399049	
6B-7	0.5	0.4	2	75	1.25	0.488119853	6.679857	
7-8.	0.9	0.8	5.25	300	5	0.927179738	7.405464	
8-9.	0.9	0.9	5.25	337.5	5.625	0.983848806	7.399049	
9-10.	1	1	4.25	375	6.25	1.09316534	6.659144	
10-11.	1.2	1.05	1	450	7.5	1.226392013	6.349109	
10A-10B	0.3	0.3	5	37.5	0.625	0.327949602	7.399049	
10B-11	0.5	0.4	2	75	1.25	0.488119853	6.679857	
11-12.	1.2	1.15	7	487.5	8.125	1.284105824	6.273817	
12-13.	1.2	1.2	7	525	8.75	1.311798408	6.474168	
13-14.	1.3	1.2	7	562.5	9.375	1.365089808	6.405587	
14-15.	1.3	1.25	6	600	10	1.393450868	6.557326	
15-16.	1.3	1.25	2.5	600	10	1.393450868	6.557326	
16-17	1.4	1.3	1	637.5	10.625	1.474507645	6.222215	
17-18	1	0.6	3.256	206.83	3.447167	0.839958614	6.220949	
17-17A	0.8	1.56	14.7	425.4857	7.091428	1.20461833	6.222213	
17A-17B	0.8	1.66	7.5	462.98	7.716333	1.239391098	6.39594	
17B-17C	0.75	1.66	5	500.4857	8.341428	1.196519928	7.418407	
17C-17D	0.75	1.66	7	500.4857	8.341428	1.196519928	7.418407	
18-19	1	0.7	6.5	244.33	4.072167	0.910997944	6.247422	
19-20	1	0.75	2.5	270.33	4.5055	0.944272039	6.433671	
20-21	1	0.9	5	307.83	5.1305	1.036708168	6.077945	
21-22	1	0.94	6	307.83	5.1305	1.059736343	5.816666	
22-23	1	0.94	10	345.33	5.7555	1.059736343	6.525255	
23-24	1	0.96	4	382.83	6.3805	1.071023143	7.082183	
24-25	1.75	1.66	9.77	1271.5	21.19167	1.86303534	7.773794	
25-26	3.1	1.9	4	1826.5	30.44167	2.633436862	5.588982	
26-27	3.1	1.9	126.5	4856.5	80.94167	2.633436862	14.8606	
44-45	0.35	0.35	6	43	0.716667	0.382607869	6.233322	
45-48	0.85	0.35	5	86	1.433333	0.582206966	5.383969	
46-47	0.85	0.35	5	43	0.716667	0.582206966	2.691984	
47-48	0.85	0.35	3	86	1.433333	0.582206966	5.383969	
48-49	0.64	0.75	7	222	3.7	0.756772646	8.225854	
49-50	0.64	0.75	5	222	3.7	0.756772646	8.225854	
50-51	1	0.5	3	265	4.416667	0.761687433	9.692843	
51-52	1	0.5	15	308	5.133333	0.761687433	11.26564	
52-53	1	0.63	7.5	345.5	5.758333	0.861954407	9.868209	
53-54	1	0.7	12	383	6.383333	0.910997944	9.79316	
28-29	0.4	0.4	7	95	1.583333	0.437266136	10.54365	
29-30	0.55	0.55	7	190	3.166667	0.601240937	11.15361	
30-31	0.7	0.7	7	285	4.75	0.765215738	10.32847	
31-32	0.8	0.8	7	380	6.333333	0.874532272	10.54365	
32-33	0.9	0.9	7	475	7.916667	0.983848806	10.41348	
33-34	1.05	1.05	7	570	9.5	1.147823607	9.180861	
34-35	1.05	1.05	7	665	11.08333	1.147823607	10.711	
35-36	1.2	1.2	7	760	12.66667	1.311798408	9.372129	
36-37	1.2	1.2	7	855	14.25	1.311798408	10.54365	
37-38	1.3	1.3	7	950	15.83333	1.421114942	9.982149	
38-39	1.4	1.4	7	1045	17.41667	1.530431476	9.467763	
39-40	1.4	1.4	7	1140	19	1.530431476	10.32847	
40-41	1.45	1.45	7	1235	20.58333	1.585089743	10.43081	
41-42	2.2	0.95	10	1235	20.58333	1.546881846	10.95246	

4.1.6 Cálculo de caída de presión en el sistema de extracción de aire.

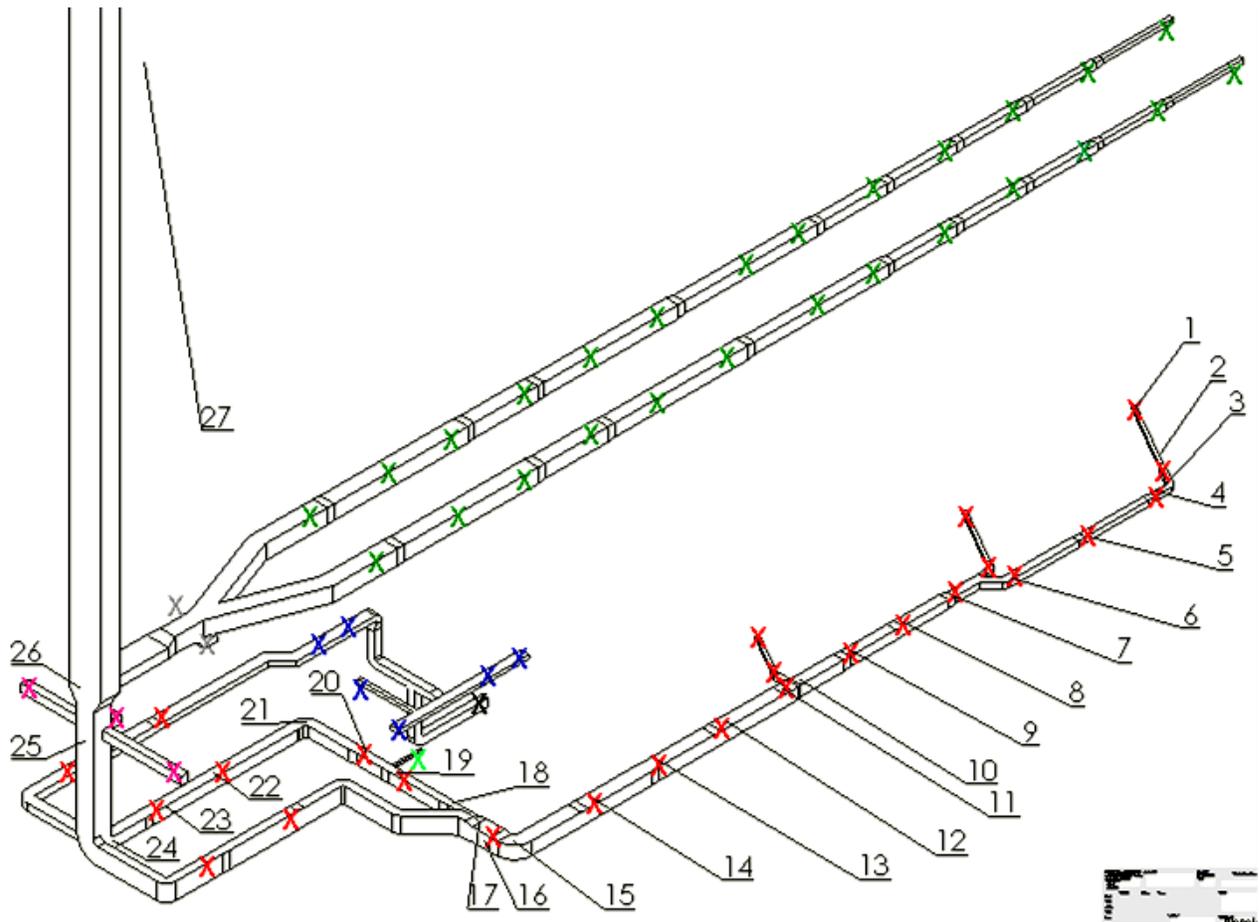


Figura 4.11 - Plano isométrico de trayectoria de ductos de extracción de la primera etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez (trayectoria con mayor pérdida de carga). (SolidWorks®)

Tabla 4.7 – Simbología de tipo de rejilla haciendo referencia a la figura 4.11.

SIMBOLOGÍA DE REJILLA	CAUDAL $\frac{m^3}{min}$	# DE REJILLAS	TAMAÑO REJILLA (M)
X	280	2	1.2 * 0.8
X	185	3	1.6 * 0.7
X	90	26	0.76 * 0.4
X	50	1	0.7 * 0.4
X	43	6	0.45 * 0.35
X	37.5	25	0.45 * 0.35

Para el cálculo de energía necesaria para que el ventilador extraiga el aire en todas las trayectorias de ductos, se obtiene en base a los cálculos de caída de presión en tramos rectos y singularidades, en estos casos se determina la trayectoria más larga de ductos, debido a que será la trayectoria que producirá mayor pérdida de carga.

Recurrimos a la ecuación de Bernoulli modificada adaptada al estudio del aire, para determinar la energía necesaria con la que debe de contar el ventilador extractor de aire.

$$h_T = h_E + h_D \quad \text{Ec (9)}$$

$$h_T = \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) + H_{C1,2,3\dots n} + H_{A1,2,3\dots n} \quad \text{Ec (10)}$$

Donde:

h_T = Energía agregada (bomba, Ventilador)

h_E = Energía perdida (Pérdida de carga tuberías, accesorios (singularidades))

h_D = Presión dinámica

H_c = Pérdida de carga tramos rectos de ductos

H_A = Pérdida de carga en accesorios

Pérdida de carga en conductos rectos, utilizamos el método de Darcy-Weisbach

$$hL = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec (17)}$$

L = Longitud del ducto

v = velocidad del aire en tramo de ducto

D = Diámetro del ducto

En el caso de la geometría de los ductos de extracción de aire en casa de máquinas, tenemos que son rectangulares, por lo que debemos de obtener el diámetro equivalente de la sección rectangular mediante la ecuación:

$$D_e = \frac{1.3 \times ab^{5/8}}{(a + b)^{1/4}} \quad \text{Ec (10)}$$

Donde a y b son los lados del ducto de extracción.

El coeficiente de fricción lo encontramos en el diagrama de Moody (Anexo A) contando con la rugosidad del material y la velocidad con la que pasa el fluido, o también con la ecuación:

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{\epsilon}{3.7(D)} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad \text{Ec (16)}$$

$$Q = A_1 V_1 \quad \text{Ec (5)}$$

Ejemplo primer tramo de ducto, sección 1-2:

$$D_e = \frac{1.3 \times 0.3 * 0.3^{5/8}}{(0.3 + 0.3)^{1/4}} = 0.328$$

El caudal que maneja ese tramo de Ducto es:

$$Q = 37.5 \frac{m^3}{min} = 0.625 \frac{m^3}{seg}$$

$$0.625 \frac{m^3}{seg} = \frac{\pi D^2}{4} V_1$$

$$V_1 = 7.3967 \frac{m}{seg}$$

Calculamos el número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad \text{Ec (12)}$$

Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez se encuentra a una altura de 427 msnm, presión atmosférica es 96.3 Kpa y temperatura de 24 °c (297.15 °k).

Por lo tanto:

$$\rho_{aire} = \frac{96.3 \text{ kpa}}{286.9 * 297.15} = 1.129 \frac{Kg}{m^3}$$

Para el cálculo de la viscosidad del aire acudimos a la siguiente ecuación

$$\mu = 1.724 * 10^{-5} \times \left(\frac{297.15}{273.15} \right)^{19/25} = 1.837 * 10^{-5}$$

Sustituyendo:

$$Re = \frac{1.13 * 7.3967 * 0.3228}{1.83 * 10^{-5}} = 149263.0512$$

$$\left(\frac{\epsilon}{D} \right) = \left(\frac{0.015}{32.8} = 4.57 * 10^{-4} \right)$$

Para encontrar el coeficiente de fricción

$$f = \frac{1.325}{\left[\ln \left(\frac{0.015}{3.7(32.8)} + \frac{5.74}{149263.05^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.019$$

Sustituyendo datos:

$$hL = 0.019 \frac{8}{.328} \frac{7.3967^2}{2 * 9.81} = 1.311294007$$

Este procedimiento se relazara para cada tramo de ducto y para las pérdidas de carga por accesorios se acudirá a las tablas de factor de pérdida de carga K esto multiplicado por la Presión dinámica.

$$hK = K \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ec (6)}$$

Para facilitar los cálculos, se elabora el procedimiento en una hoja de cálculos realizada en el software Excel.

Tabla 4.8 – Hoja de cálculo, pérdida de cargar en tramos rectos del sistema de extracción de aire de la primera etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez, método de Darcy-Weisbach. (Excel®).

Hoja de cálculo, pérdida de carga en tramos rectos de ductos de extracción de aire de casa de máquinas de la primera etapa de la C.H Belisario Domínguez.													
# de Sección	D. del aire	viscosidad dinámica	Sección Rectangular ducto		Longitud del ducto	cof. de rugosidad	Caudal acumulado		Diámetro equivalente	Velocidad	Num. de Reynolds	Cof. de Fricción	Pérdida de carga
			a(metros)	b(metros)			L (Metros)	€ (metros)					
1-2.	1.13	0.00001837	0.3	0.3	8	0.00015	37.5	0.625	0.327949602	7.39904928	149263.0512	0.019264794	1.311294007
2-3.	1.13	0.00001837	0.5	0.4	2	0.00015	75	1.25	0.488119853	6.67985734	200568.6016	0.017823274	0.166083457
3-4.	1.13	0.00001837	0.5	0.4	2.5	0.00015	75	1.25	0.488119853	6.67985734	200568.6016	0.017823274	0.207604322
4-5.	1.13	0.00001837	0.6	0.5	7	0.00015	112.5	1.875	0.598130523	6.67297442	245518.7773	0.017056236	0.45302814
5-6.	1.13	0.00001837	0.7	0.55	7	0.00015	150	2.5	0.677062569	6.94372507	289194.8864	0.016539526	0.420221551
6-7.	1.13	0.00001837	0.8	0.55	5.25	0.00015	262.5	4.375	0.721967808	10.6869188	474613.0005	0.015647898	0.662374313
7-8.	1.13	0.00001837	0.9	0.8	5.25	0.00015	300	5	0.927179738	7.40546372	422362.6226	0.015388966	0.243562448
8-9.	1.13	0.00001837	0.9	0.9	5.25	0.00015	337.5	5.625	0.983848806	7.39904928	447789.1535	0.015205699	0.226407165
9-10.	1.13	0.00001837	1	1	4.25	0.00015	375	6.25	1.09316534	6.65914435	447789.1535	0.01505119	0.132254901
10-11.	1.13	0.00001837	1.2	1.05	1	0.00015	450	7.5	1.226392013	6.34910859	478973.3563	0.014784653	0.024768991
11-12.	1.13	0.00001837	1.2	1.15	7	0.00015	487.5	8.125	1.284105824	6.27381715	495566.5218	0.014669223	0.160423886
12-13.	1.13	0.00001837	1.2	1.2	7	0.00015	525	8.75	1.311798408	6.47416812	522420.6791	0.0145577	0.165955882
13-14.	1.13	0.00001837	1.3	1.2	7	0.00015	562.5	9.375	1.365089808	6.40558719	537885.0307	0.014460338	0.155072275
14-15.	1.13	0.00001837	1.3	1.25	6	0.00015	600	10	1.393450868	6.55732634	562066.5567	0.014365866	0.1355645
15-16.	1.13	0.00001837	1.3	1.25	2.5	0.00015	600	10	1.393450868	6.55732634	562066.5567	0.014365866	0.056485209
16-17.	1.13	0.00001837	1.4	1.3	1	0.00015	637.5	10.625	1.474507645	6.2222148	564366.6157	0.014288015	0.019121231
17-18.	1.13	0.00001837	1	0.6	3.256	0.00015	206.83	3.447167	0.839958614	6.22094876	321428.069	0.016002512	0.122357026
18-19.	1.13	0.00001837	1	0.7	6.5	0.00015	244.33	4.072167	0.910997944	6.24742238	350096.3262	0.0157291	0.223255701
19-20.	1.13	0.00001837	1	0.75	2.5	0.00015	270.33	4.5055	0.944272039	6.43367107	373701.8692	0.015563116	0.086927688
20-21.	1.13	0.00001837	1	0.9	5	0.00015	307.83	5.1305	1.036708168	6.07794505	387598.937	0.015366522	0.139541573
21-22.	1.13	0.00001837	1	0.94	6	0.00015	307.83	5.1305	1.059736343	5.81666636	379176.3742	0.015374408	0.150107061
22-23.	1.13	0.00001837	1	0.94	10	0.00015	345.33	5.7555	1.059736343	6.52525548	425367.8242	0.015178966	0.310842506
23-24.	1.13	0.00001837	1	0.96	4	0.00015	382.83	6.3805	1.071023143	7.08218262	466589.8249	0.015015051	0.143358417
24-25.	1.13	0.00001837	1.75	1.66	9.77	0.00015	1271.5	21.19167	1.86303534	7.77379434	890888.6519	0.013348865	0.215617939
25-26.	1.13	0.00001837	3.1	1.9	4	0.0006	1826.5	30.44167	2.633436862	5.58898217	905367.5437	0.015141455	0.03661602
26-27.	1.13	0.00001837	3.1	1.9	126.5	0.0006	4856.5	80.94167	2.633436862	14.8606033	2407291.254	0.014559666	7.872141808
					255.526		4856.5	80.94167			Suma pérdidas de carga (metros)		13.84098802

Tabla 4.9- Hoja de cálculo, pérdida de carga en codos del sistema de extracción de aire de la primera etapa de casa de máquinas de la C-H Belisario Domínguez, método de Presión Dinámica. (acudir a la tabla 2.3 y 2.4) (Excel®).

Hoja de cálculo, pérdida de carga en Codos en ductos de extracción de aire de casa de maquinas de la primera etapa de la C.H Belisario Domínguez.												
# de Sección	Sección Rectangular ducto		Angulo grados	Radio medio Rm (metros)	Factor perdida K	factor de corrección Kc	Caudal acumulado		Diámetro equivalente De(metros)	Velocidad V (m/s)	PD (metros)	Perdida de carga hL (metros)
	a(metros)	b(metros)					Q(m ³ /min)	Q(m ³ /s)				
5-6.CODO	0.5	0.4	90	0.375	0.6875	1	75	1.25	0.488119853	6.679857336	2.274235169	1.563536679
7-8.CODO	0.7	0.55	135	0.4125	0.6875	1.2	187.5	3.125	0.677062569	8.679656343	3.839777484	3.167816424
7-8.CODO	0.7	0.55	135	0.4125	0.6875	1.2	187.5	3.125	0.677062569	8.679656343	3.839777484	3.167816424
15-16.CODO	1.3	1.2	90	0.975	0.63	1	600	10	1.365089808	6.832626333	2.379448655	1.499052653
21-22.CODO	1	0.9	90	67.5	0.63	1	307.83	5.131	1.036708168	6.077945054	1.882844856	1.186192259
											metros	10.58441444

Tabla 4.10 – Hoja de cálculo, pérdida de carga en ramales del sistema de extracción de aire de la primera etapa de casa de máquinas de la C-H Belisario Domínguez, método de Presión dinámica. (Acudir a la tabla 2.5) (Excel®).

Hoja de cálculo, pérdida de carga en ramales en ductos de extracción de aire de casa de maquinas de la primera etapa de la C.H Belisario Domínguez.											
# de seccion	Sección Rectangular ducto		Angulo	factor de PD	caudal ramal		Diámetro eq. De(metros)	Velocidad V (m/s)	PD	Perdida de carga hL (metros)	
	a(metros)	b(metros)			Q(m ³ /min)	Q(m ³ /s)					
7-8.	0.5	0.4	60	0.44	75	1.25	0.488119853	6.679857336	2.27423517	1.000663475	
11-12.	0.5	0.4	90	1	75	1.25	0.488119853	6.679857336	2.27423517	2.274235169	
20-21	0.2	0.2	90	1	26	0.433333333	0.218633068	11.54251687	6.79050437	6.790504372	
25-26	0.7	0.8	90	1	222	3.7	0.817594675	7.047510537	2.53146813	2.531468133	
25-26	0.7	0.8	90	1	222	3.7	0.817594675	7.047510537	2.53146813	2.531468133	
25-26	0.7	0.8	90	1	222	3.7	0.817594675	7.047510537	2.53146813	2.531468133	
										metros	17.65980741

Tabla 4.11 - Hoja de cálculo, pérdida de carga en cambios de sección del sistema de extracción de aire de casa de máquinas de la primera etapa de casa de maquinas de la C-H Belisario Domínguez, método de Presión Dinámica. (Acudir a tabla 2.6) (Excel®).

Hoja de cálculo, pérdida de carga por cambios de sección en ductos de extracción de aire de casa de maquinas de la primera etapa de la C.H Belisario Domínguez.											
# de sección	Sección Rectangular ducto		Long de expansión Metros	Angulo de expansión grados °	Relación de D D2/D1	K	Caudal acumulado		Diámetro eq De(metros)	Velocidad V (m/s)	Pérdida de carga hL (metros)
	a(metros)	b(metros)					Q(m ³ /min)	Q(m ³ /s)			
1-2.	0.3	0.3	0.7	6.526679463	1.488398981	0.88	37.5	0.625	0.3279496	7.3990493	0.02319922
2-3.	0.5	0.4	0.7	0	1	0	75	1.25	0.48811985	6.6798573	0
3-4.	0.5	0.4	0.7	4.493015451	1.225376347	0.84	75	1.25	0.48811985	6.6798573	0.21313771
4-5.	0.6	0.5	0.7	3.226921699	1.131964585	0.88	75	1.25	0.59813052	4.4486496	0.02584831
5-6.	0.7	0.55	0.7	1.837142028	1.066323617	0.92	112.5	1.875	0.67706257	5.2077938	0.03789872
6-7.	0.8	0.55	0.7	8.339027659	1.284239724	0.85	150	2.5	0.72196781	6.1068107	0.00602654
7-8.	0.9	0.8	0.7	2.317947754	1.06111983	0.92	262.5	4.375	0.92717974	6.4797808	0.00044258
8-9.	0.9	0.9	0.7	4.464780815	1.111111111	0.88	300	5	0.98384881	6.5769327	0.01528154
9-10.	1	1	0.7	5.436006111	1.121872391	0.88	337.5	5.625	1.09316534	5.9932299	0.02212262
10-11.	1.2	1.05	0.7	2.360633215	1.047059839	0.92	375	6.25	1.22639201	5.2909238	0.01173643
11-12.	1.2	1.15	0.3	2.642571593	1.021565655	0.92	450	7.5	1.28410582	5.7912158	0.00228009
12-13.	1.2	1.2	0.7	2.179927747	1.040624687	0.92	487.5	8.125	1.31179841	6.0117275	5.1621E-05
13-14.	1.3	1.2	0.7	1.160533452	1.020775967	0.92	525	8.75	1.36508981	5.978548	0.00133839
14-15.	1.3	1.25	0.7	0	1	0	562.5	9.375	1.39345087	6.1474934	0
15-16.	1.3	1.25	0.7	0	0	0	600	10	1.39345087	6.5573263	0
SEPARACION (CAMBIO DE SECCIONES)											0
17-18	1	0.6	0.7	2.904832756	1.084574799	0.92	206.83	3.447166667	0.83995861	6.2209488	3.2864E-05
18-19	1	0.7	0.7	1.361504515	1.036524884	0.92	244.33	4.072166667	0.91099794	6.2474224	0.00162658
19-20	1	0.75	0.7	3.777517203	1.097891419	0.92	270.33	4.5055	0.94427204	6.4336711	0.00593362
20-21	1	0.9	0.2	3.294906028	1.022212784	0.92	307.83	5.1305	1.03670817	6.0779451	0.00320108
21-22	1	0.94	0.7	0	1	0	307.83	5.1305	1.05973634	5.8166664	0
22-23	1	0.94	0.7	0.461908561	1.010650574	0.92	345.33	5.7555	1.05973634	6.5252555	0.01454406
23-24	1	0.96	0.7	29.49783936	1.739491208	0.63	382.83	6.3805	1.07102314	7.0821826	0.03000941
24-25	1.75	1.66	0.7	28.82340838	1.413519543	0.63	1316.5	21.94166667	1.86303534	8.0489188	0.12621342
25-26	3.1	1.9	0.7	0	1	0	1982.5	33.04166667	2.63343686	6.066333	0
26-27	3.1	1.9	0.7	-62.00378628	0	0	4201.5	70.025	2.63343686	12.856342	0
Nota: La ganancia será solo del 70% de la indicada cuando la pieza de expansión se encuentre a una distancia inferior a 5 diámetros de conductos 70%											0.54092481 0.37864736

Teniendo la ecuación:

$$h_T = \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) + H_{C1,2,3\dots n} + H_{A1,2,3\dots n} \quad \text{Ec. (8)}$$

Sustituyendo valores

$$h_T = \left(\frac{14.86^2}{2g} - \frac{7.399^2}{2g} \right) + 13.840988 + 10.58441444 + 17.65980741 + 0.37864736$$

$$h_T = 8.47 \text{ m} + 42.46 \text{ m} = \mathbf{50.93 \text{ m}}$$

$$h_T = 50.93 * 9.81 * 1.13 = \mathbf{564.574 \text{ Pa} = 57.55 \text{ mmca}}$$

$$\text{Caudal total} = 4856.5 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

(NRF-080-CFE-2010) seccion 4.1.4 inciso P) :

Una vez determinada la capacidad del gasto del aire del sistema, se debe considerar un excedente de por lo menos el **25 %** de la misma, para lograr una adecuada ventilación, cuando se requiera dar mantenimiento a parte del sistema, o por falla de alguno de los ventiladores.

En este caso se considera tener dos ventiladores centrífugos en paralelo en el nicho de extracción en subestación de luz de la central. Sin tener equipo de respaldo Por lo tanto se considera un aumento de **25 %** de la capacidad del gasto de aire del ventilador.

Caudal total requerido	Presión total requerida
6070.625 m3/min	57.55 mm.c.a = 564.57 Pa

Por lo tanto, tenemos dos ventiladores centrífugos en paralelo, se tendrá que la suma de sus caudales será el total de la capacidad deseada y la presión igual en ambos.

Caudal requerido por ventilador	Caudal requerido por ventilador	Presión total requerida por ventilador (mm.c.a)	Presión estática requerida por ventilador (mm.c.a)	Cantidad total de ventiladores
3035.31 m3/min	182100 m3/h	57.55	47.9798	2

CFM m ³ /hr	Vel. salida PPM	PRESION ESTÁTICA mmca - inwg																							
		25.4mm/1.0"		38.1mm/1.5"		50.8mm/2.0"		63.5mm/2.5"		76.2mm/3.0"		88.9mm/3.5"		96.3mm/3.75"		101.6mm/4.0"		114.3mm/4.5"		127mm/5.0"		139.7mm/5.5"		152.4mm/6.0"	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
27704	800	275	5.40	330	8.42	380	11.2	424	13.9	454	16.9	505	20.3	523	22.1	540	24.0	574	26.0	605	32.2	635	36.7	654	41.3
47069		69		74		75		81		84		86		87		88		90		92		93		94	
34530	1000	293	6.87	339	10.1	383	13.8	425	17.6	455	21.0	503	24.3	521	26.0	539	27.8	570	31.6	603	35.6	631	40.0	661	44.6
58836		90		75		75		81		84		86		87		88		90		91		93		94	
41566	1200	314	8.72	366	12.3	395	16.1	432	20.4	458	25.0	504	29.5	522	31.6	537	33.7	571	37.7	601	41.7	632	45.8	662	50.1
70504		75		76		80		82		84		86		87		88		90		91		93		94	
48482	1400	338	10.9	377	15.0	413	19.2	447	23.5	479	28.3	511	33.5	526	36.1	541	38.8	572	44.2	602	49.2	630	54.1	658	58.8
82371		79		80		82		83		85		87		87		88		90		91		93		94	
56408	1600	361	13.9	400	18.1	434	22.8	465	27.6	495	32.4	524	37.6	538	40.3	552	43.2	580	49.1	607	55.2	633	61.4	660	67.4
84138		82		83		84		85		87		88		88		89		90		92		93		94	
62334	1800	386	17.4	423	21.9	456	26.8	486	32.1	514	37.5	541	42.9	554	45.7	567	48.5	593	54.4	618	60.7	643	67.3	667	74.1
105905		85		85		86		88		89		90		90		91		92		93		94		95	
69260	2000	413	21.6	447	26.5	480	31.5	509	37.1	536	43.0	561	48.9	574	51.9	585	54.9	610	61.0	633	67.3	656	73.8	679	80.7
117573		88		88		89		90		91		92		92		92		93		94		95		96	
72723	2100	426	23.9	460	29.1	491	34.3	520	39.9	547	45.9	572	52.2	584	55.3	595	58.5	619	64.8	642	71.2	664	77.7	686	84.6
123536		89		89		90		91		91		92		93		93		94		95		96		96	
76186	2200	440	25.4	472	31.9	503	37.3	532	42.9	558	49.1	583	55.5	595	58.8	606	62.1	629	68.7	651	75.3	673	82.0	694	88.9
125442		90		91		91		92		92		93		94		94		95		96		96		97	
79649	2300	455	29.1	485	34.9	515	40.5	544	46.2	570	52.6	594	59.1	606	62.4	617	65.8	640	72.7	661	79.6	682	86.5	703	93.5
135324		91		92		92		92		93		94		95		95		96		96		97		98	
83112	2400	469	32.0	499	38.1	528	43.9	556	49.8	582	56.1	606	62.8	617	66.2	629	69.8	690	76.9	672	84.1	692	91.2	713	98.4
141207		93		93		94		94		94		95		95		96		97		97		98		98	
90038	2600			526	45.0	563	51.5	580	57.8	605	64.2	629	71.0	641	74.6	652	78.2	673	85.7	693	93.4	713	101.2	733	108.9
152975				95		96		96		97		97		97		98		98		99		99		99	
96964	2800			555	52.8	580	59.9	605	66.7	629	73.5	653	80.5	664	84.1	675	87.8	696	95.5	715	103.5	735	111.7	754	120.0
154742				97		98		98		98		99		99		99		99		100		100		101	
103890	3000			584	61.5	607	69.2	631	76.7	654	83.9	677	91.2	688	94.9	699	98.7	720	106.5	739	114.7	758	123.2	777	131.8
176509				99		99		100		100		100		100		100		101		101		101		102	
110816	3200					636	79.5	658	87.6	679	95.5	701	103.3	712	107.1	723	111.0	743	118.9	763	127.2	782	135.9	800	144.8
188275						101		102		102		102		102		102		102		102		102		103	

Figura 4.13- Tabla de operación del fabricante, de ventilador centrífugo de doble aspiración, alabes atrasados serie CDM 1400. (Soler & Palau ®)

En base a la tabla del fabricante, se realiza una serie de interpolaciones lineales para obtener los datos exactos de operación del ventilador.

$$y = \frac{a - b}{A - B} (x - A) + a \quad \text{Ec. (29)}$$

Tabla 4.12.- extrapolando linealmente entre caudales.

	38.1 mm.c.a		50.8 mm.c.a	
164792 $\frac{m^3}{h}$	555 RPM	52.8 HP	580 RPM	59.9 HP
176509 $\frac{m^3}{h}$	584 RPM	61.5 HP	607 RPM	69.2HP
182100 $\frac{m^3}{h}$	597.8 RPM	65.65HP	619.88 RPM	73.63 HP

Tabla 4.13.- Interpolación lineal entre presiones estáticas.

38.1 mm.c.a	597.8 RPM	65.65 HP
47.97 mm.c.a	614.95 RPM	71.85 HP
50.8 mm.c.a	619.88 RPM	73.63 HP

Los resultados obtenidos de la interpolación tenemos:

Presión	RPM	HP (ventilador)
47.97 mm.c.a	615	72

4.1.8 Selección de transmisión de potencia (Motor, poleas, bandas) y accesorios.

Selección del motor, en base a recomendaciones de fabricante del ventilador, aumentar la potencia del ventilador de un 5 a 15 % aproximadamente dependiendo de transmisión de poleas y bandas para el motor.

El ventilador

- 72 HP
- 615 RPM

Con un aumento de 5 % aproximadamente, seleccionamos en catalogo de SIEMENS (ANEXO)

Motor:

- 75 HP
- 1185 RPM ASINCRONO

Cálculos basados en normas ISO/ DIN 7753 en base a datos de operación del fabricante (**Optibelt**®)

❖ Factor de servicio (Anexo 2)

$$k_2 = 1.3$$

❖ Potencia Teórica:

$$H_d = 53.69 \text{ KW} (1.3)(1) = 69.79 \text{ Kw}$$

❖ Perfil de correa (Anexo 3)

Banda clásica - C/22

❖ Relación de transmisión

$$i = \frac{1185 \text{ RPM}}{615 \text{ RPM}} = 1.92$$

❖ Diámetro(De) poleas acanaladas trapezoidales (Anexo 4)

$$d_1 = 265 \text{ mm}$$

$$i = \frac{D_2}{265 \text{ mm}} = 1.92$$

$$D_2 = 510 \text{ mm}$$

Seleccionando la más cercana a ese valor obtenemos:

$$D_2 = 500 \text{ mm}$$

❖ **Comprobación de la velocidad de giro**

$$i = \frac{500 \text{ mm}}{265 \text{ mm}} = 1.88$$

$$i = \frac{1185 \text{ RPM}}{1.88} = 630 \text{ RPM}$$

$$\Delta R = 630 - 615 = 15 \text{ RPM} \quad \text{Cumple con el rango } \pm 15 \text{ RPM}$$

❖ **Distancia entre ejes (selección provisional)**

Una distancia entre centros de 1800 mm y 2000 mm

❖ **Longitud primitiva (Anexo 5)**

$$L_p = 2(1900) + \frac{\pi}{2} (500 + 265) + \frac{(500 - 265)^2}{2(1900)} = 5016.1 \text{ mm} = 197.48 \text{ in}$$

$$L_p = 5000 \text{ mm}$$

❖ **Distancia entre ejes (final)**

$$C = 0.25 \left\{ \left[5000 - \frac{\pi}{2} (500 + 265) \right] + \sqrt{\left[5000 - \frac{\pi}{2} (500 + 265) \right]^2 - 2(500 - 265)^2} \right\}$$

$$C = 1895.52 \text{ mm}$$

❖ **Velocidad y frecuencia de la banda**

$$V = \frac{\pi \cdot 0.265 \text{ m} \cdot (1185 \text{ RPM})}{60} = 16.44 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

❖ **Factor de corrección del Angulo de cobertura (Anexo 7)**

$$\frac{500 - 265}{1895.52} = 0.12$$

Interpolando se obtiene: $k_1 = 1$

❖ **Factor de corrección de longitud de banda (Anexo 8)**

$$k_3 = 1.06$$

❖ **Potencia nominal permitida por banda trapezoidal. (Anexo 9)**

$$H_{tab} \quad \begin{array}{l} d_1 = 265 \text{ mm} \\ i = 1.86 \\ N = 1185 \text{ RPM} \end{array}$$

Interpolando se obtiene:

$$H_{tab} = 13.186 + 1.16 = 14.346 \text{ kw}$$

❖ **Numero de correas trapezoidales necesaria**

$$Nb \geq \frac{H_d}{H_a}$$

$$Nb \geq \frac{53.69 \text{ KW} (1.3)(1)}{14.346 \text{ kw} (1)(1.06)} = 4.589$$

$Nb = 5$ Bandas trapezoidales C – 197 (**Optibelt®**)

Polea conductora d (DIN 221)	Polea conducida D (DIN 221)	Numero de bandas	Tipo de banda
265 mm	500 mm	5	C – 197 Trapezoidal clásicas (Optibelt®)

Dispositivo para solucionar la corta vida de los motores:

Unos de los problemas principales que se tiene en los nichos de extracción es la corta vida de los motores. Esto debido a que los ventiladores cuando están apagados giran en sentido contrario, esto haciendo que el motor haga lo mismo, al poner en marcha los motores se forzan y se dañan. La solución es buscar un dispositivo o mecanismo capaz de evitar que los motores se dañen, y dejen sin movimiento los ventiladores.

Se considera agregar el mecanismo o dispositivo en el motor o en el ventilador. En busca de soluciones de un mecanismo que asemeje a una “matraca” se encuentran ruedas anti retorno, o como les llaman comercialmente “Backstop Clutches” . Utilizados en la industria para distintos procesos donde se requiere la protección del equipo y evitar giros no deseados en el sistema.

Los embragues FB se pueden montar directamente en el eje del ventilador y con conexión a tierra con un par brazo; la unidad proporciona un respaldo funcional para el ventilador. Cuando el ventilador está apagado, el flujo del viento de otros ventiladores en el sistema o el medio ambiente puede causar la ventilador gire opuesta a la dirección de operación y el FB puede eliminar este problema mejorando de este modo la vida de los sistemas de accionamiento del ventilador.



Figura 4.14.- “Backstop Clutches” para ventiladores centrífugos

De acuerdo a datos de catalogo debemos de seleccionar el torque al cual está sometido el rodamiento anti retorno y las revoluciones.

$$T = \frac{5250 \text{ HP}}{\text{RPM}} \text{ lb.ft}$$

$$T = \text{Lb.ft} (1.356) = \text{N.m}$$

Para los ventiladores de extracción de la primera etapa, el torque al cual se somete el rodamiento anti retorno es:

$$T = \frac{5250 * 72 \text{HP}}{615 \text{ RPM}} = 614.63 \text{ lb.ft}$$

$$T = 614.63 \text{ Lb.ft} (1.356) = 833.44 \text{ N.m}$$

Torque (lb.ft)	RPM	Diámetro de flecha (pulg.)
614.63	615	3,1/4

Seleccionando en catalogo de Rodamientos anti retornos (Backstop Clutches) de **RINGSPANN®** (anexo 12)

Seleccionamos:

- **Modelo:** HFB 450 (typer lock)
- **Toque:** 614.6 lb.ft
- **RPM:** 1800 RPM
- **Diámetro de acoplamiento:** 3,1/4 Pulg.
- **Longitud de brazo de torsión:** 16.63 Pulg.

Nota: esto es una aproximación de torque, ya que el fabricante determina el torque real en el sistema y el modelo adecuado de rodamiento anti retorno

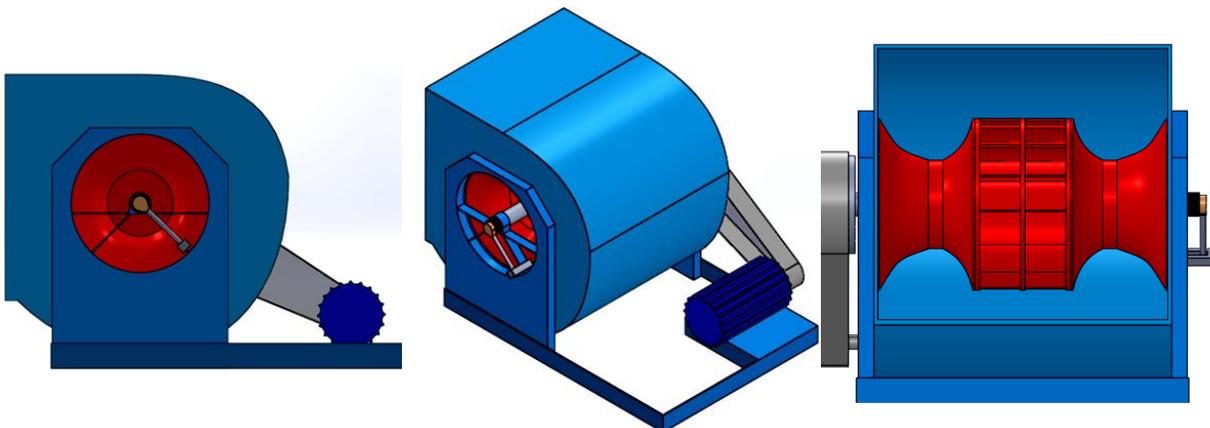


Figura 4.15.-Modelado de Instalación de "Backstop Clutches" 1er etapa (SolidWorks®)

4.2 Procedimiento y hoja de cálculo, segunda etapa de casa de máquinas.

4.2.1 Investigación del espacio a ventilar en Casa de máquinas.

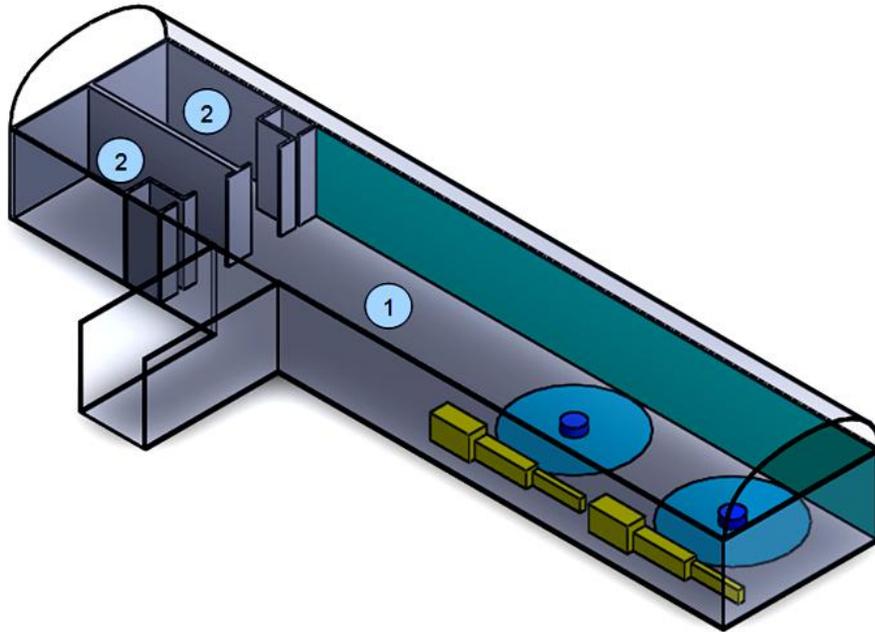


Figura 4.16- Vista isométrica de piso de playa de montaje de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

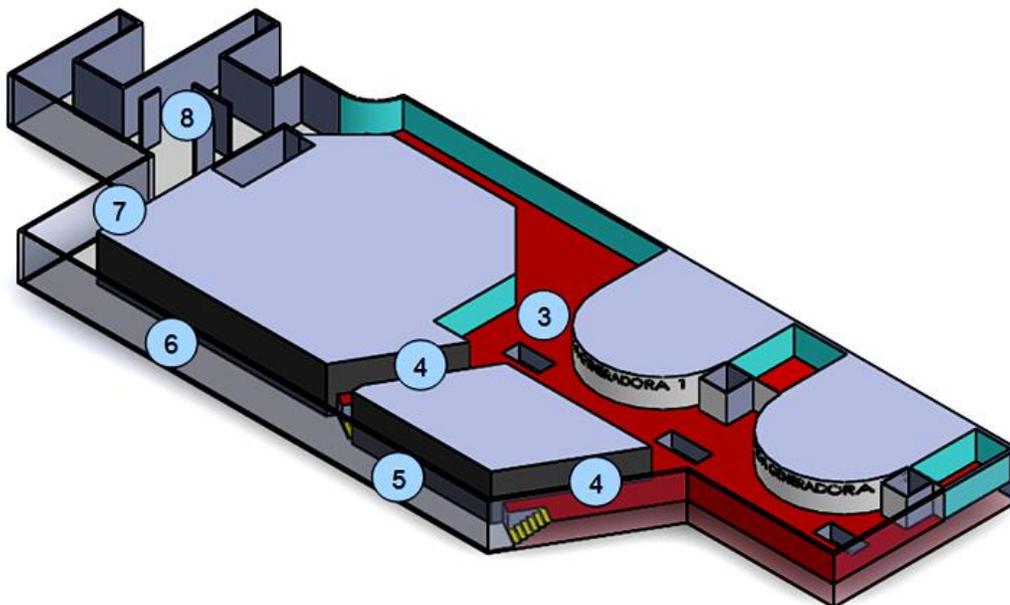


Figura 4.17 – Vista isométrica de piso de generadores de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

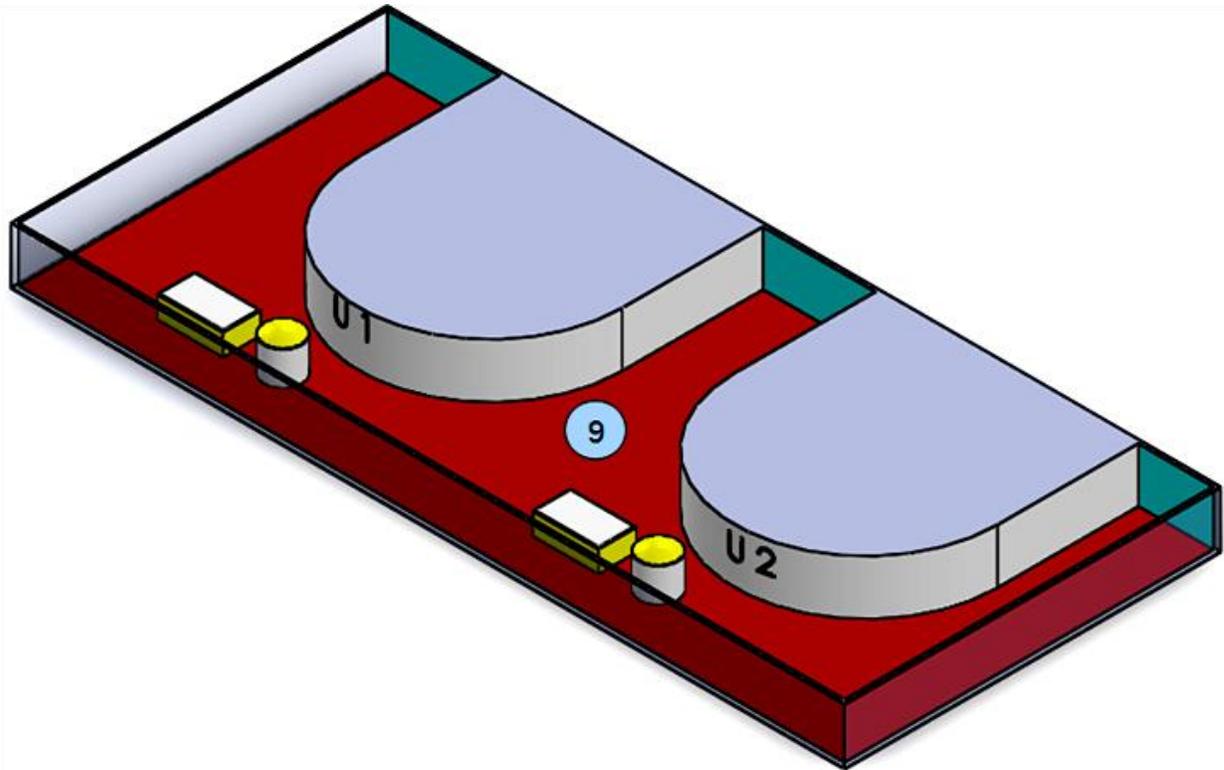


Figura 4.18.- Vista isométrica de piso de turbinas de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

Tabla 4.14- Numeración de cada zona de la primera etapa de casa de máquinas haciendo referencia las figuras 4.16, 4.17, 4.18.

# de zona	Área
1	Piso de playa de montaje
2	Transformadores de caverna 1,2
3	Piso de Turbinas
4	Pasillo de BFA a generador
5	Pasillo de BFA 1
6	Pasillo de BFA 2
7	Pasillo de BFA 3
8	Pasillo de BFA 4

4.2.2 Determinación de trayectoria de ductos de extracción de aire.

De la misma manera que la primera etapa la extracción del aire en los diferentes pisos de la casa de máquinas, debe ser realizada a través de rejillas de extracción ubicadas en la parte opuesta al muro de inyección del aire, o también dependiendo del arreglo y disponibilidad, a través de rejillas tipo 'irving', instaladas en las losas del piso superior correspondiente, de manera que el aire vaya pasando de piso en piso, hasta que ya caliente, llegue al piso de excitadores, y salga en forma natural. Esto último sucede en piso de turbinas y generadores.

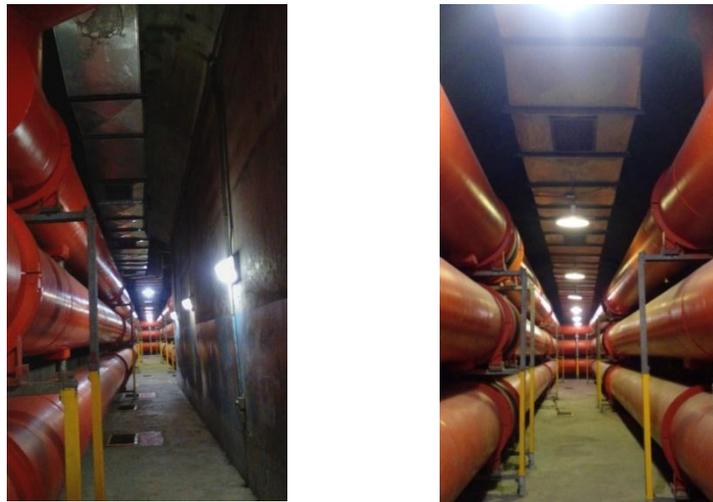


Figura 4.19 - Trayectoria de ductos en área de bus de fase aislada de la segunda etapa.



Figura 4.20 – Arreglo de rejillas tipo Irving visto desde piso de turbinas de la C.H Belisario Domínguez.

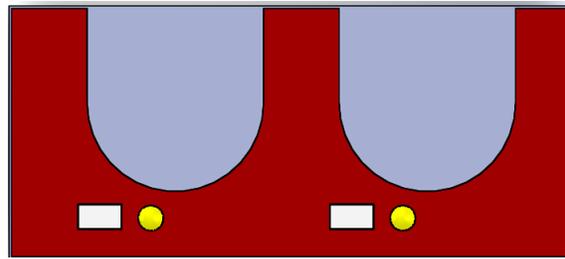


Figura 4.21 - Vista en planta, sin existencia trayectoria de ductos de extracción de Piso de turbinas, segunda etapa de Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

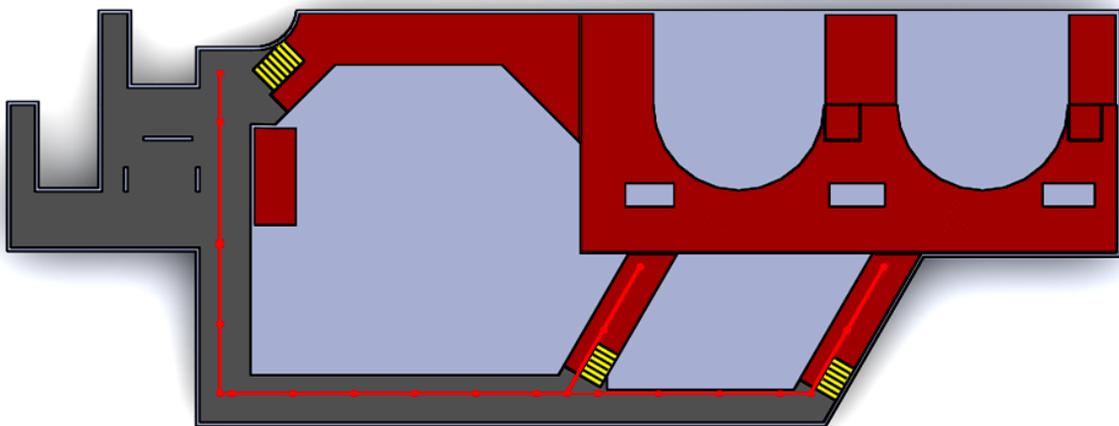


Figura 4.22 - Vista en planta, trayectoria de ductos de extracción de Piso de generadores, segunda etapa de Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

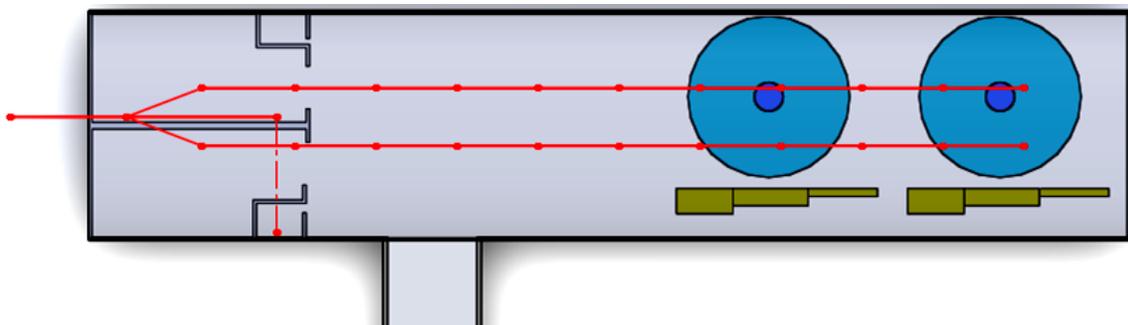


Figura 4.23 - Vista en planta, trayectoria de ductos de extracción de Piso playa de montaje, segunda etapa de Casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

Realizando en (**SolidWorks®**) el isométrico de las trayectorias de los ductos de extracción de la segunda etapa de casa de máquinas, con las dimensiones reales se obtiene las siguientes vistas. Se representa de la siguiente manera, de tal forma que se logren observar todas las trayectorias.

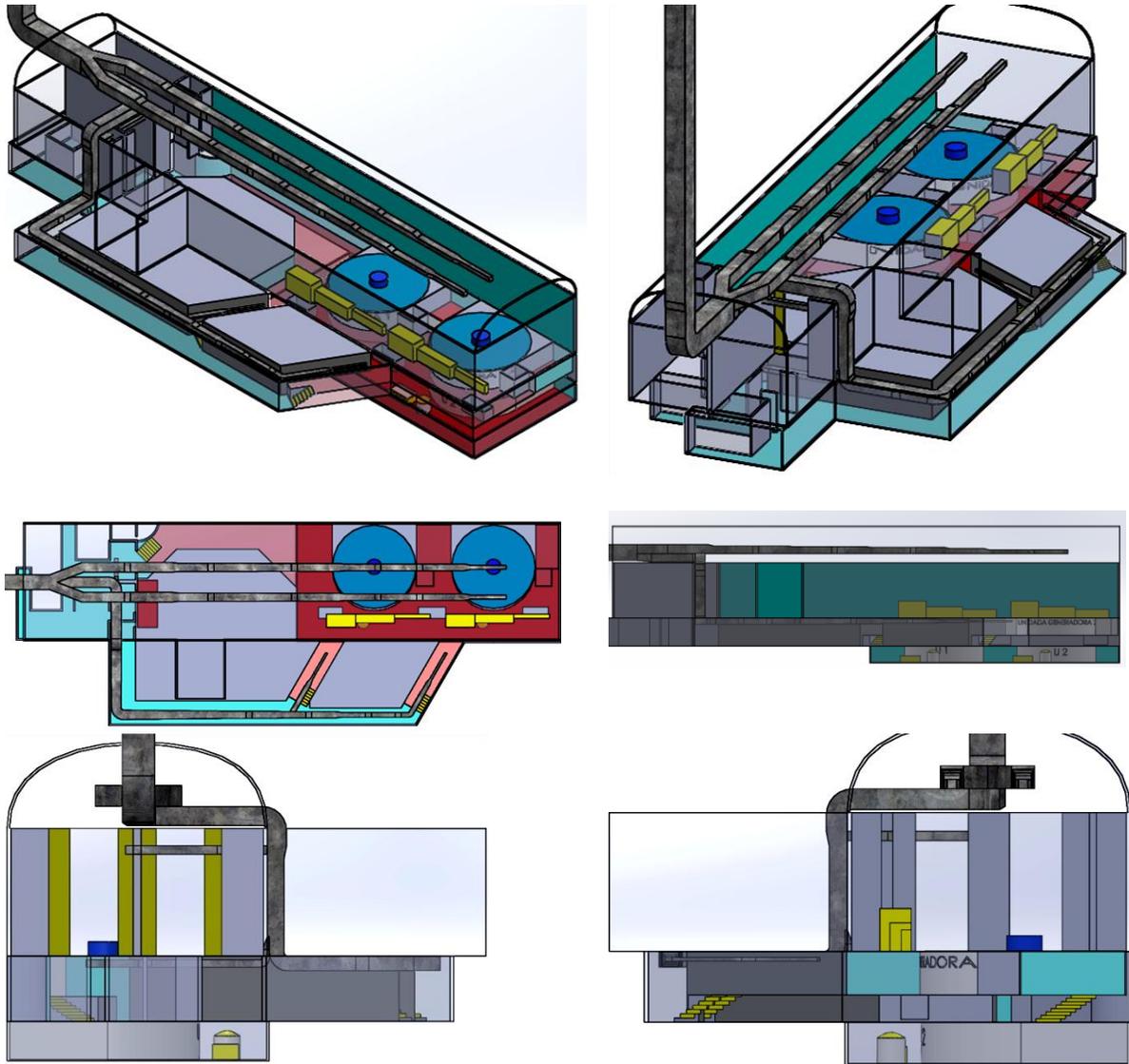


Figura 4.24 - Vistas de trayectoria de los ductos de extracción de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

4.2.3 Calculo de caudal de aire de extracción

Se realiza de forma análoga a la primera etapa basada en (NRF-080-CFE-2010)

Tabla 4.15.- Hoja de Cálculo de caudal por cada zona de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez

Calculo de caudal por cada zona de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez							
lugar	Largo	Ancho	Alto	Volumen	R X hora	Q x hora	Q x min
	(L) metros	(A) metros	(H) metros	(V) M ³		m ³ /h	m ³ /min
Bus de fase aislada pasillo a gen 1	10.5	3.46	3.2	116.256	26	3022.66	50.3776
Bus de fase aislada pasillo a gen 2	10.5	3.46	3.2	116.256	26	3022.66	50.3776
pasillo 1 bus fase aislada	20	2.7	6	324	12	3888	64.8
pasillo 2 bus de fase aislada	33	3.9	6	772.2	12	9266.4	154.44
pasillo 3 bus de fase aislada	13	6.5	6	507	12	6084	101.4
pasillo 4 bus de fase aislada	15	18	6	1620	12	19440	324
						38678.4	644.64
Área transformadores 1	18.5	9.5	9.7	1704.775	8	13638.2	227.30333
Área transformadores 2	18.5	9.5	9.7	1704.775	8	13638.2	227.30333
playa de montaje	70	19	9.7	12901	8	103208	1720.1333
Área de generadores	43	19	2.5	2042.5			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.141593	64	2.5	251.3274			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.141593	64	2.5	251.3274			
Menos	5	8	2.5	100			
Menos	4	8	2.5	80			
Mas	7	6	2.5	52.5			
Mas	20	3	2.5	150			
Volumen total Área Generadores				922.3452	26	23981	399.68291
Área de turbinas	43	19	2.5	2042.5			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.141593	64	2.5	251.3274			
Menos	16	8	2.5	320			
Menos	3.141593	64	2.5	251.3274			
Volumen total Area Turbinas				899.8452	22	19796.6	329.94323

Tabla 4.16.- Hoja de cálculo, de acuerdo a trayectoria y disponibilidad de rejillas, determinación de caudal por rejilla por cada zona de la segunda etapa.

lugar	Largo	Ancho	Alto	volumen	R X hora	Q x hora	Q x min	Rejillas	Caudal por rejilla		
	(L) mtrs	(A) mtrs	(H) mtrs	(V) M ³		m ³ /h	m ³ /min		Redondeado		
Bus de fase aislada pasillo a gen 1	10.5	3.46	3.2	116.256	26	3022.7	50.3776	2	25.189	25	m ³ /min
Bus de fase aislada pasillo a gen 2	10.5	3.46	3.2	116.256	26	3022.7	50.3776	2	25.189	25	m ³ /min
pasillo 1 bus fase aislada	20	2.7	6	324	12	3888	64.8				
pasillo 2 bus de fase aislada	33	3.9	6	772.2	12	9266.4	154.44				
pasillo 3 bus de fase aislada	13	6.5	6	507	12	6084	101.4				
pasillo 4 bus de fase aislada	15	18	6	1620	12	19440	324				
						38678	644.64	13	49.588	50	m ³ /min
Área transformadores 1	18.5	9.5	9.7	1704.78	8	13638	227.303	1	227.3	230	m ³ /min
Área transformadores 2	18.5	9.5	9.7	1704.78	8	13638	227.303	1	227.3	230	m ³ /min
playa de montaje	70	19	9.7	12901	8	103208	1720.13				
Área de generadores	43	19	2.5	2042.5							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.1416	64	2.5	251.327							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.1416	64	2.5	251.327							
Menos	5	8	2.5	100							
Menos	4	8	2.5	80							
Mas	7	6	2.5	52.5							
Mas	20	3	2.5	150							
Volumen total Área Generadores				922.345	26	23981	399.683				
Área de turbinas	43	19	2.5	2042.5							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.1416	64	2.5	251.327							
Menos	16	8	2.5	320							
Menos	3.1416	64	2.5	251.327							
Volumen total Área Turbinas				899.845	22	19797	329.943				
							2449.76	20	122.49	120	m ³ /min
Caudal total											3610 m ³ /min

4.2.4 Dimensionamiento de ductos de extracción

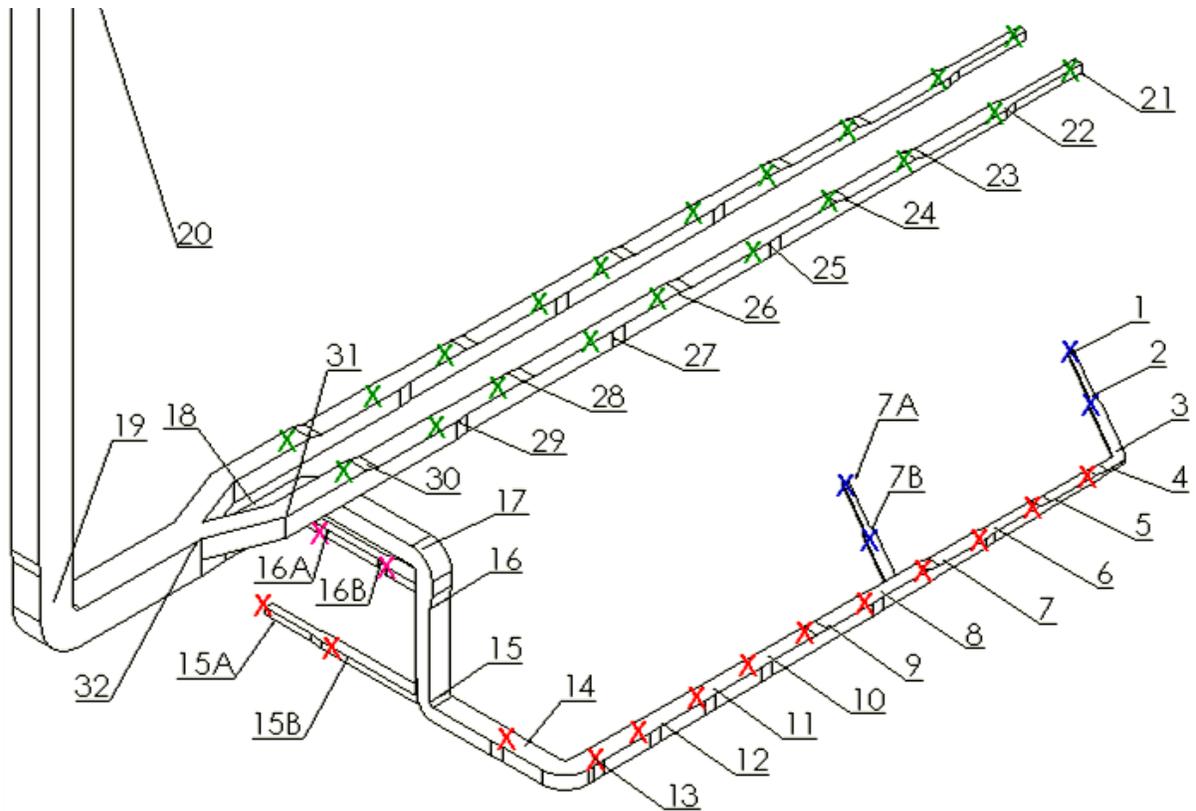


Figura 4.25 - Plano isométrico de localización de rejillas y trayectoria de ductos de extracción de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez. (SolidWorks®)

Tabla 4.17.- Simbología tipos de rejillas haciendo referencia a la imagen 4.25.

SIMBOLOGÍA DE REJILLA	CAUDAL $\frac{m^3}{min}$	# DE REJILLAS	TAMAÑO REJILLA (M)
X	230	2	1 * 0.8
X	120	20	0.65 * 0.65
X	25	4	0.5 * 0.4
X	50	13	0.76 * 0.4

Tabla 4.18.- Dimensiones, Caudales y velocidades de los ductos de extracción de la segunda etapa de la C.H Belisario Domínguez.

Num. de Sección	Sección Rectangular ducto		Longitud (metros)	Caudal acumulado		Diámetro equivalente De(metros)	Velocidad V (m/s)
	a(metros)	b(metros)		Q(m ³ /min)	Q(m ³ /s)		
1-2.	0.4	0.25	6	25	0.416667	0.343332577	4.5005838
2-3.	0.81	0.25	6	50	0.833333	0.472207117	4.7584314
3-4.	0.81	0.25	2.5	50	0.833333	0.472207117	4.7584314
4-5.	0.81	0.45	5	100	1.666667	0.652997734	4.9766319
5-6.	0.81	0.71	5	150	2.5	0.828556369	4.6366681
6-7.	1.07	0.71	5	200	3.333333	0.947850145	4.7239958
7A-7B	0.4	0.25	6	25	0.416667	0.343332577	4.5005838
7B-7	0.81	0.25	6	50	0.833333	0.472207117	4.7584314
7-8.	1.07	1	5	300	5	1.130617301	4.9802239
8-9.	1	1.22	5	350	5.833333	1.205951947	5.1070123
9-10.	1.22	1.12	5	400	6.666667	1.277543058	5.2007714
10-11.	1.32	1.12	5	450	7.5	1.328054406	5.4142667
11-12.	1.42	1.12	5	500	8.333333	1.376183678	5.6024252
12-13.	1.52	1.12	5	550	9.166667	1.422184291	5.7704516
13-14.	1.62	1.12	6.6	600	10	1.466269699	5.9221908
14-15.	1.72	1.12	6.6	650	10.83333	1.508621563	6.0605439
15A-15B	0.56	0.56	4	50	0.833333	0.61217259	2.8312689
15B-15	0.56	0.8	10	100	1.666667	0.728798355	3.9952513
15-16.	1.72	1.27	9	750	12.5	1.611046813	6.1320235
16A-16B	0.65	0.65	7	230	3.833333	0.710557471	9.6669236
16B-16	1.15	0.65	3	460	7.666667	0.935690509	11.149419
16-17.	1.72	1.47	3	1210	20.16667	1.73689792	8.5112951
17-18	1.72	1.47	23	1210	20.16667	1.73689792	8.5112951
18-19.	2.5	2.85	10	3610	60.16667	2.916388988	9.0068965
19-20	2.5	2.85	126.5	3610	60.16667	2.916388988	9.0068965
21-22	0.66	0.66	7	120	2	0.721489124	4.8919334
22-23	1.12	0.66	7	240	4	0.931782556	5.8659851
23-24	1.12	0.92	7	360	6	1.108318204	6.2191701
24-25	1.12	1.12	7	480	8	1.224345181	6.7950453
25-26	1.32	1.12	7	600	10	1.328054406	7.2190223
26-27	1.32	1.27	7	720	12	1.415319349	7.6275046
27-28	1.37	1.27	7	840	14	1.441683907	8.5762623
28-29	1.37	1.37	7	960	16	1.497636516	9.0827479
29-30	1.62	1.37	7	1080	18	1.627132028	8.6563944
30-31	1.62	1.62	8	1200	20	1.770927851	8.11967
31-32	1.72	1.47	7	1200	20	1.73689792	8.4409538
32-19	2.5	2.85	10	3610	60.16667	2.916388988	9.0068965

4.2.5 Calculo de caída de presión en el sistema de extracción de aire

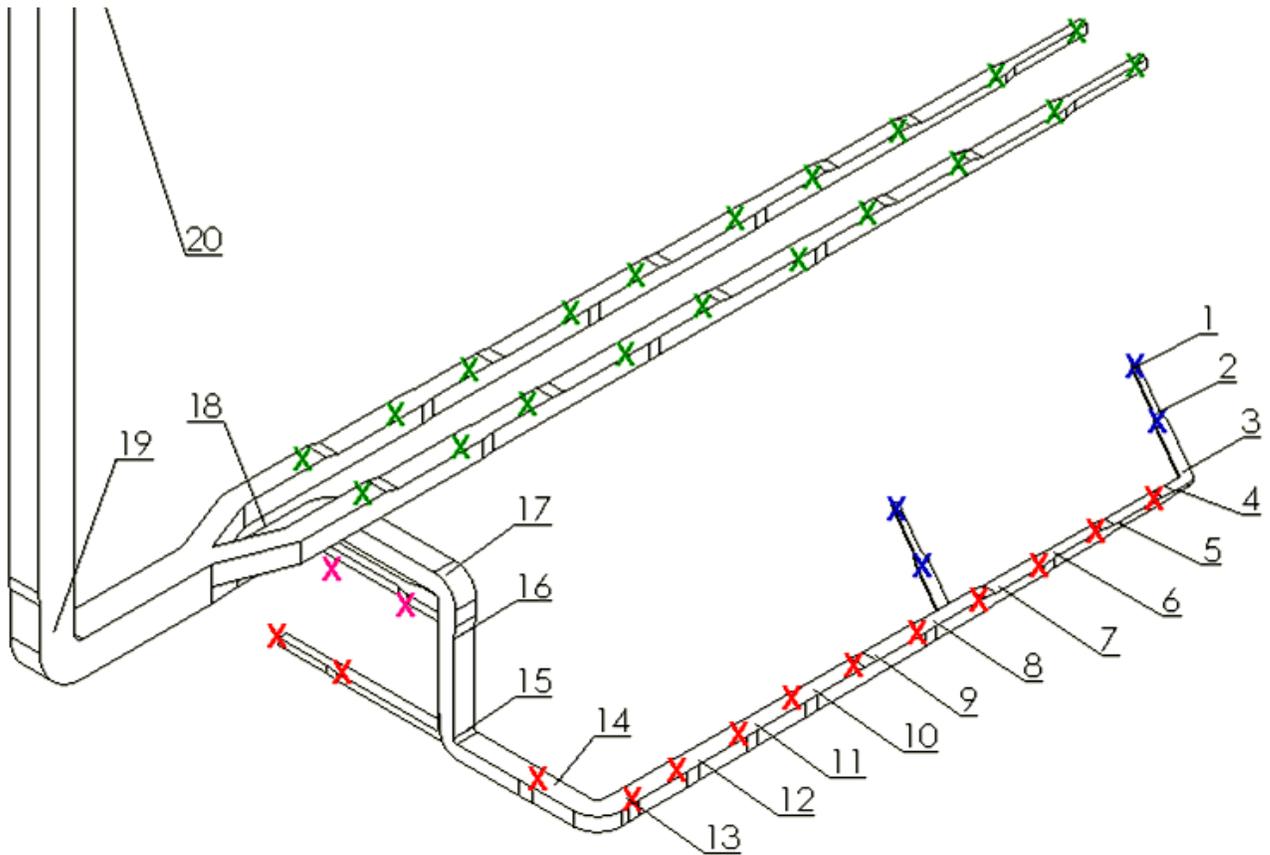


Figura 4.26.- Plano isométrico de trayectoria de ductos de extracción de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez (trayectoria con mayor pérdida de carga). (SolidWorks®)

Tabla 4.19.- Simbología tipos de rejillas haciendo referencia a la imagen 4.26.

SIMBOLOGÍA DE REJILLA	CAUDAL $\frac{m^3}{min}$	# DE REJILLAS	TAMAÑO REJILLA (M)
X	230	2	1 * 0.8
X	120	20	0.65 * 0.65
X	25	4	0.5 * 0.4
X	50	13	0.76 * 0.4

Tabla 4.20.- Hoja de cálculo, pérdida de carga en tramos rectos del sistema de extracción de aire de la segunda etapa de casa de máquinas de la C.H Belisario Domínguez, método de Darcy-Weisbach. (Excel®).

Hoja de cálculo, pérdida de carga en tramos rectos de ductos de extracción de aire de casa de máquinas de la segunda etapa de la C.H Belisario Domínguez.													
#. de Sección	D. del aire	viscosidad dinámica	Sección Rectangular ducto		Longitud del ducto	cof. de rugosidad	Caudal acumulado		Diámetro equivalente	Velocidad	Num. de Reynolds	Cof. de Fricción	Pérdida de carga
			a(metros)	b(metros)			L (Metros)	€ (metros)					
1-2.	1.13	0.00001837	0.4	0.25	6	0.00015	25	0.4166667	0.343332577	4.5005838	95050.22537	0.020269335	0.365691135
2-3.	1.13	0.00001837	0.81	0.25	6	0.00015	50	0.8333333	0.472207117	4.7584314	138218.3269	0.018711027	0.274375278
3-4.	1.13	0.00001837	0.81	0.25	2.5	0.00015	50	0.8333333	0.472207117	4.7584314	138218.3269	0.018711027	0.114323032
4-5.	1.13	0.00001837	0.81	0.45	5	0.00015	100	1.6666667	0.652997734	4.9766319	199901.6973	0.017329463	0.167500252
5-6.	1.13	0.00001837	0.81	0.71	5	0.00015	150	2.5	0.828556369	4.6366681	236318.3003	0.01662331	0.109920438
6-7.	1.13	0.00001837	1.07	0.71	5	0.00015	200	3.3333333	0.947850145	4.7239958	275434.5842	0.016125997	0.096755773
7-8.	1.13	0.00001837	1.07	1	5	0.00015	300	5	1.130617301	4.9802239	346364.8268	0.015453712	0.086394466
8-9.	1.13	0.00001837	1	1.22	5	0.00015	350	5.8333333	1.205951947	5.1070123	378849.0451	0.015207822	0.083818878
9-10.	1.13	0.00001837	1.22	1.12	5	0.00015	400	6.6666667	1.277543058	5.2007714	408707.4935	0.015000677	0.080936019
10-11.	1.13	0.00001837	1.32	1.12	5	0.00015	450	7.5	1.328054406	5.4142667	442308.008	0.014815348	0.083338614
11-12.	1.13	0.00001837	1.42	1.12	5	0.00015	500	8.3333333	1.376183678	5.6024252	474265.7443	0.014653517	0.085170386
12-13.	1.13	0.00001837	1.52	1.12	5	0.00015	550	9.1666667	1.422184291	5.7704516	504818.1579	0.014510137	0.086577737
13-14.	1.13	0.00001837	1.62	1.12	6.6	0.00015	600	10	1.466269699	5.9221908	534152.8451	0.014381604	0.115718603
14-15.	1.13	0.00001837	1.72	1.12	6.6	0.00015	650	10.833333	1.508621563	6.0605439	562420.5766	0.014265263	0.11683356
15-16.	1.13	0.00001837	1.72	1.27	9	0.00015	750	12.5	1.611046813	6.1320235	607688.8371	0.014065988	0.150595917
16-17.	1.13	0.00001837	1.72	1.47	3	0.00015	1210	20.166667	1.73689792	8.5112951	909367.085	0.013411825	0.085531708
17-18.	1.13	0.00001837	1.72	1.47	23	0.00015	1210	20.166667	1.73689792	8.5112951	909367.085	0.013411825	0.655743097
18-19.	1.13	0.00001837	2.5	2.85	10	0.0006	3610	60.166667	2.916388988	9.0068965	1615808.571	0.014495515	0.20551311
19-20.	1.13	0.00001837	2.5	2.85	126.5	0.0006	3610	60.166667	2.916388988	9.0068965	1615808.571	0.014495515	2.599740836
					244.2		3610	60.166667				(metros)	5.564478842

Tabla 4.21 - Hoja de cálculo, pérdida de carga en codos del sistema de extracción de aire de la segunda etapa de casa de máquinas de la C-H Belisario Domínguez, método de Presión Dinámica (Acudir a tablas 2.3 y 22.4). (Excel®).

Hoja de cálculo, pérdida de carga en Codos en ductos de extracción de aire de casa de máquinas de la segunda etapa de la C.H Belisario Domínguez.												
# de Sección	Sección Rectangular ducto		Angulo	Radio medio	Factor pérdida	factor de correccion	Caudal acumulado		Diámetro equivalente	Velocidad	PD	Pérdida de carga
	a(metros)	b(metros)					Q(m ³ /min)	Q(m ³ /s)				
			grados	Rm (metros)	K	Kc			De(metros)	V (m/s)	(metros)	hL (metros)
3-4.CODO	0.81	0.25	135	0.6075	0.905	1.2	50	0.8333333	0.472207117	4.7584314	1.15406064	1.253309855
13-14 CODO	1.62	1.12	90	1.215	0.6875	1	600	10	1.466269699	5.9221908	1.787581267	1.228962121
15-16CODO	1.72	1.27	90	1.29	0.7383	1	750	12.5	1.611046813	6.1320235	1.9164991	1.414951286
16-17CODO	1.7	1.5	90	0.4335	0.63	1	1300	21.666667	1.744791233	9.0618168	4.185347825	2.63676913
17-18CODO	1.72	1.47	90	0.43	0.63	1	1300	21.666667	1.73689792	9.1443666	4.261949091	2.685027927
19-20 CODO	3	2.5	90	0	1.1225	1	3600	60	2.990652614	8.5414073	3.718432111	4.173940044
											(metros)	13.39296036

Tabla 4.22.- Hoja de cálculo, pérdida de carga en ramales del sistema de extracción de aire de la segunda etapa de casa de máquinas de la C-H Belisario Domínguez, método de Presión Dinámica (Acudir a tabla 2.5). (Excel®).

Hoja de cálculo, pérdida de carga en ramales en ductos de extracción de aire de casa de máquinas de la segunda etapa de la C.H Belisario Domínguez.											
# de sección	Sección Rectangular ducto		Angulo	factor de PD	caudal ramal		Diámetro eq	Velocidad	PD	Pérdida de carga	
	a(metros)	b(metros)			Q(m ³ /min)	Q(m ³ /s)					
							De(metros)	V (m/s)	(metros)	hL (metros)	
7-8.	0.81	0.25	60	0.44	50	0.833333333	0.4722071	4.7584314	1.15406064	0.507786681	
15-16	0.56	0.8	90	1	100	1.666666667	0.7287984	3.9952513	0.813559269	0.813559269	
16-17	1.15	0.65	90	1	550	9.166666667	0.9356905	13.330828	9.057643345	9.057643345	
										(metros)	10.3789893

Tabla 4.23.- Hoja de cálculo, pérdida de carga en cambios de sección del sistema de extracción de aire de casa de máquinas de la segunda etapa de casa de maquinas de la C-H Belisario Domínguez, método de Presión Dinámica (Acudir a tabla 2.6). (Excel®).

Hoja de cálculo, pérdida de carga por cambios de sección en ductos de extracción de aire de casa de máquinas de la primera etapa de la C.H Belisario Domínguez.											
# de sección	Sección Rectangular ducto		long.d expansión	Angulo de expansión	Relación de D	K	Caudal acumulado		Diámetro eq	Velocidad	Pérdida de carga
	a(metros)	b(metros)					Metros	grados °			
1-2.	0.4	0.25	1	3.6868864	1.375363565	0.92	25	0.416666667	0.3433326	4.50058378	0.003117563
3-4.	0.81	0.25	1	5.165231279	1.382862965	0.84	50	0.833333333	0.4722071	4.758431438	0.002038411
4-5.	0.81	0.45	1	5.016526343	1.268850298	0.88	100	1.666666667	0.6529977	4.976631915	0.005183811
5-6.	0.81	0.71	1	3.413470674	1.143977863	0.92	150	2.5	0.8285564	4.636668075	0.000357596
6-7.	1.07	0.71	1	5.221391041	1.19282284	0.88	200	3.333333333	0.9478501	4.723995796	0.002944674
7-8.	1.07	1	1	2.157158785	1.066631428	0.92	300	5	1.1306173	4.98022391	0.000753786
8-9.	1	1.22	1	2.050058962	1.059364812	0.92	350	5.833333333	1.2059519	5.107012336	0.000412207
9-10.	1.22	1.12	1	1.446735981	1.039537883	0.92	400	6.666666667	1.2775431	5.200771427	0.0021373
10-11.	1.32	1.12	1	1.378536013	1.036240437	0.92	450	7.5	1.3280544	5.414266743	0.001660108
11-12.	1.42	1.12	1	1.317588189	1.033426216	0.92	500	8.333333333	1.3761837	5.602425208	0.001323866
12-13.	1.52	1.12	1	1.262749427	1.030998379	0.92	550	9.166666667	1.4221843	5.770451608	0.001079654
13-14.	1.62	1.12	1	1.213110211	1.028884088	0.92	600	10	1.4662697	5.922190849	0.000897566
14-15.	1.72	1.12	1	2.931706045	1.06789327	0.92	650	10.83333333	1.5086216	6.060543927	0.000239581
15-16.	1.72	1.27	1	3.600621273	1.078117598	0.92	750	12.5	1.6110468	6.132023511	0.425498176
16-17.	1.72	1.47	1	0	1	0	1300	21.66666667	1.7368979	9.144366636	0
17-18.	1.72	1.47	1	30.52978855	1.679079095	0.63	1300	21.66666667	1.7368979	9.144366636	0.000847073
18-19.	2.5	2.85	1	0	1	0	3600	60	2.916389	8.981946617	0
19-20.	2.5	2.85	1	0	0	0	3600	60	2.916389	8.981946617	0
											0.448491371
Nota: La ganancia será solo del 70% de la indicada cuando la pieza de expansión se encuentre a una distancia inferior a 5 diámetros de conductos										70%	0.31394396

Teniendo la ecuación:

$$h_T = \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) + H_{D1,2,3\dots n} + H_{A1,2,3\dots n} \quad \text{Ec. (8)}$$

Sustituyendo valores

$$h_T = \left(\frac{9^2}{2g} - \frac{4.5^2}{2g} \right) + 5.564478842 + 13.39296036 + 10.3789893 + 0.31394396$$

$$h_T = 3.09m + 29.65 m = \mathbf{32.74 m}$$

$$h_T = 32.74 * 9.81 * 1.13 = \mathbf{362.93 Pa} = \mathbf{36.99 mmca}$$

$$\text{Caudal total} = 3610 \frac{m^3}{min}$$

(NRF-080-CFE-2010) sección 4.14 inciso P):

Una vez determinada la capacidad del gasto del aire del sistema, se debe considerar un excedente de por lo menos el **25 %** de la misma, para lograr una adecuada ventilación, cuando se requiera dar mantenimiento a parte del sistema, o por falla de alguno de los ventiladores.

En este caso se considera tener tres ventiladores centrífugos en paralelo, sin equipo de respaldo, en el nicho de extracción, en subestación de luz de la central. Por lo tanto se considera un aumento de **25 %** de la capacidad del gasto de aire del ventilador.

Caudal total requerido	Presión total requerida
4512.5 m3/min	46.2457 mm.c.a = 512.58 Pa

Por lo tanto si tenemos tres ventiladores centrífugos en paralelo, se tendrá que la suma de sus caudales será la del total del sistema y la presión será la del total del sistema para cada ventilador.

Caudal requerido por ventilador	Caudal requerido por ventilador	Presión requerida por ventilador (mm.c.a)	Presión estática requerida por ventilador (mm.c.a)	Cantidad total de ventiladores
1504.16 m3/min	90240 m3/h	46.2457	33.5	3

CFM m ³ /hr	Vel. salida PPM	PRESION ESTÁTICA mmca - inwg.																					
		25.4mm/1.0"		38.1mm/1.5"		50.8mm/2.0"		63.5mm/2.5"		76.2mm/3.0"		88.9mm/3.5"		95.3mm/3.75"		101.6mm/4.0"		114.3mm/4.5"		127mm/5.0"		139.7m	
		RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
17406	800	LWA	3.43	LWA	5.34	LWA	7.09	LWA	8.82	LWA	10.7	LWA	12.9	LWA	14.0	LWA	15.2	LWA	17.7	LWA	20.4	LWA	804
29573			69		74		78		81		84		86		87		88		90		91		92
21758	1000		4.37		6.41		8.77		11.1		13.3		15.4		16.5		17.6		20.0		22.6		801
36967			72		75		78		81		84		86		87		88		90		91		92
26109	1200		5.55		7.83		10.2		12.9		15.8		18.7		20.1		21.4		23.9		26.5		799
44359			75		77		80		82		84		86		87		88		89		91		92
30461	1400		6.99		9.55		12.2		14.9		17.9		21.2		22.9		24.6		27.9		31.2		797
51753			78		80		82		83		85		87		88		88		90		91		92
34812	1600		8.85		11.5		14.5		17.5		20.6		23.9		25.6		27.4		31.1		35.0		802
59146			82		83		84		86		87		88		89		89		90		91		92
39164	1800		11.1		13.9		17.1		20.4		23.8		27.3		29.1		30.8		34.6		38.5		814
66540			85		85		87		88		89		90		90		91		91		92		93
43516	2000		13.8		16.9		20.1		23.3		27.3		31.2		33.1		34.9		38.8		42.8		832
73934			88		88		89		95		91		92		92		92		93		93		94
45691	2100		15.3		18.6		21.8		25.4		29.2		33.2		35.2		37.2		41.2		45.3		842
77629			84		90		90		91		92		93		93		93		94		94		95
47867	2200		16.9		20.3		23.7		27.4		31.2		35.3		37.4		39.5		43.7		47.9		853
81326			90		91		91		92		93		93		94		94		94		95		95
50043	2300		18.6		22.3		25.8		29.5		33.4		37.6		39.7		41.9		46.3		50.6		865
85023			91		92		93		93		93		94		94		95		95		96		96
52219	2400		20.4		24.3		28.0		31.7		35.7		39.9		42.1		44.4		48.9		53.5		878
88720			93		93		94		94		94		95		95		95		96		96		97
54394	2500		22.4		26.4		30.3		34.2		38.2		42.5		44.7		47.0		51.7		56.4		891
92415			94		94		95		95		95		95		96		96		96		97		97

Figura 4.28.- Tabla de operación del fabricante, de ventilador centrífugo de doble aspiración, alabes atrasados serie CDM 1120. (Soler & Palau ®)

En base a la tabla del fabricante, que cumpla con los datos de operación requeridos, se realiza una serie de interpolaciones lineales para obtener los datos exactos de operación del ventilador.

$$y = \frac{a - b}{A - B} (x - A) + a \quad \text{Ec. (29)}$$

Tabla 4.24- Interpolación lineal entre caudales.

Caudal	25.4 mm.c.a		38.1 mm.c.a	
88720 $\frac{m^3}{h}$	596 RPM	20.4 HP	633 RPM	24.5 HP
90240 $\frac{m^3}{h}$	603.8 RPM	21.22 HP	640.4 RPM	25.28 HP
92415 $\frac{m^3}{h}$	615 RPM	22.4 HP	651 RPM	26.4 HP

Tabla 4.25- Interpolación lineal entre presiones estáticas.

25.4 mm.c.a	603.8 RPM	21.22 HP
33.5 mm.c.a	627.14 RPM	23.89 HP
38.1 mm.c.a	640.4 RPM	25.28 HP

Los resultados obtenidos de la interpolación son:

Presión	RPM	HP (ventilador)
33.5 mm.c.a	627	23

4.2.7 Selección de transmisión de potencia (Motor, poleas, bandas) y accesorios

Selección del motor, en base a recomendaciones de fabricante del ventilador, aumentar la potencia del ventilador de un 5 a 15 % aproximadamente para el motor.

El ventilador

- 24 HP
- 627 RPM

En base a recomendación de fabricante, seleccionamos en catalogo de (SIEMENS®) (ANEXO)

Motor:

- 30 HP
- 1180 RPM ASINCRONO

Cálculos basados en normas ISO/ DIN 7753 en base a datos de operación del fabricante (**Optibelt®**).

❖ **Factor de servicio (Anexo 2)**

$$k_2 = 1.3$$

❖ **Potencia Teórica:**

$$H_d = 17.89 \text{ KW } (1.3)(1)$$

❖ **Perfil de correa (Anexo 3)**

Banda clásica - B/17

❖ **Relación de transmisión**

$$i = \frac{1180 \text{ RPM}}{627 \text{ RPM}} = 1.88$$

❖ **Diámetro De poleas acanaladas trapezoidales (Anexo 4)**

$$d_1 = 225 \text{ mm}$$

$$i = \frac{D_2}{225 \text{ mm}} = 1.88$$

$$D_2 = 423 \text{ mm}$$

Seleccionando la más cercana a ese valor obtenemos

$$D_2 = 425 \text{ mm}$$

❖ **Comprobación de la velocidad de giro**

$$i = \frac{425 \text{ mm}}{225 \text{ mm}} = 1.888$$

$$i = \frac{1180 \text{ RPM}}{1.888} = 625 \text{ RPM}$$

$$\Delta R = 627 - 625 = 2 \text{ RPM} \quad \text{Cumple con el rango } \pm 15 \text{ RPM}$$

❖ **Distancia entre ejes (selección provisional)**

Una distancia entre centros de 1400 mm y 1600 mm

❖ **Longitud primitiva (Anexo 6)**

$$L_p = 2(1500) + \frac{\pi}{2} (425 + 225) + \frac{(425 - 225)^2}{2(1500)} = 4034.35 \text{ mm} = 158.83 \text{ in}$$

$$L_p = 4000 \text{ mm}$$

❖ **Distancia entre ejes (final)**

$$C = 0.25 \left\{ \left[4000 - \frac{\pi}{2} (425 + 225) \right] + \sqrt{\left[4000 - \frac{\pi}{2} (425 + 225) \right]^2 - 2(425 - 225)^2} \right\}$$

$$C = 1486.12 \text{ mm}$$

❖ **Velocidad y frecuencia de la banda**

$$V = \frac{\pi \cdot 0.225 \text{ m} \cdot (1180 \text{ RPM})}{60} = 13.90 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

❖ **Factor de corrección del Angulo de cobertura (Anexo 7)**

$$\frac{425 - 225}{1486.12} = 0.13$$

Interpolando se obtiene: $k_1 = 1$

❖ **Factor de corrección de longitud de banda (Anexo 8) interpolando**

$$k_3 = 1.1268$$

❖ **Potencia nominal permitida por banda trapezoidal. (Anexo 10)**

$$H_{tab} \quad \begin{array}{l} d_1 = 225 \text{ mm} \\ i = 2.18 \\ N = 1180 \text{ RPM} \end{array}$$

Interpolando se obtiene:

$$H_{tab} = 8.078 \text{ kw} + 0.512 = 8.59 \text{ kw}$$

❖ **Numero de correas trapezoidales necesaria**

$$Nb \geq \frac{H_d}{H_a}$$

$$Nb \geq \frac{17.89 \text{ KW (1.3)}}{8.59 \text{ kw (1)}(1.1268)} = 2.40$$

$Nb = 3$ Bandas clásicas (Optibelt®) B – 158

Polea conductora d (DIN 221)	Polea conducida D (DIN 221)	Numero de bandas	Tipo de banda
225 mm	425 mm	3	B – 158 Trapezoidal clásica Optibelt

Dispositivo para solucionar la corta vida de los motores:

Para la misma problemática expuesta en la primera etapa se aplica aquí.

Para los ventiladores de extracción de la segunda etapa, el torque al cual se somete el rodamiento anti retorno es:

$$T = \frac{5250 * 23HP}{627 RPM} = 192.5 lb.ft$$
$$T = 192.5 Lb.ft (1.356) = 261.14 N.m$$

Torque (lb.ft)	RPM	Diámetro de flecha (pulg.)
192.5	627	3

Seleccionando en catalogo de Rodamientos anti retornos (Backstop Clutches) de RINGSPANN® (anexo 12)

Seleccionamos:

- **Modelo:** HFB 350 Tipo (C)
- **Toque:** 192.5 lb.ft
- **RPM:** 1800 RPM
- **Diámetro de acoplamiento:** 3 Pulg
- **Longitud de brazo de torsión:** 16.63 Pulg

Nota: esto es una aproximación de torque, ya que el fabricante determina el torque real en el sistema y el modelo adecuado de rodamiento anti retorno

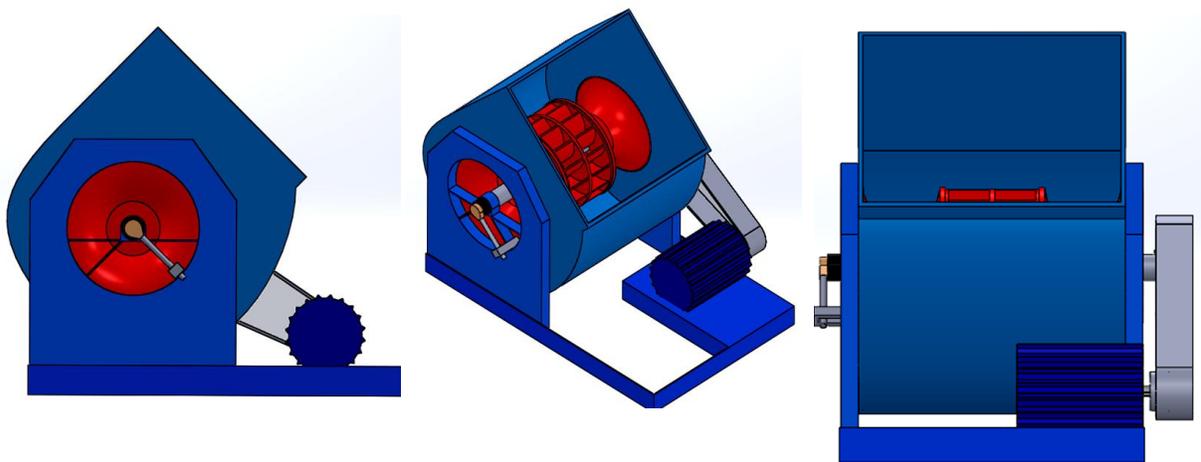


Figura 4.29.-Modelado de Instalación de "Backstop Clutches"2da etapa (SolidWorks®)

CAPÍTULO V

Resultados obtenidos de selección de equipos e instalación.

Sistema de Ventiladores centrífugos para extraer aire de la casa de máquinas, Primera etapa.

Cantidad total	2
Tipo	Centrifugo de doble aspiración, alabes atrasados
Servicio	1.15
Modelo	Serie CDM 1400
Marca	(Soler&Palau®)
Capacidad (C/U)	182100 m ³ /h
Diámetro del impulsor	1.4 m de diámetro
Presión estática	47.979 mm.c.a
Velocidad del rotor	615 RPM
Eficiencia	60 %
Dimensiones Exteriores	Ancho 2.26 m, Alto 2.917 m , Largo 2.158 m
Dimensiones de la descarga	Ancho 1.988 m , Alto 1.796 m
Dimensiones de la succión	Doble succión de 1.4 m de diámetro
Tipos de transmisión	Poleas y bandas
Masa del ventilador (sin motor)	1830 kg
Incluye guarda transmisión	Si
Incluye malla de succión	No
Motores para los extractores centrífugos	
Cantidad	2
Fabricante	(SIEMENS®)
Tipo de armazón	444 T, TCVE
Potencia nominal	75 HP
Polos	4
Eficiencia Servicio	94.5 %
Velocidad	1185 RPM asíncrona
Tensión /fase /frecuencia	220/440 VCA / 60 HZ
Corriente a plena carga	97 A
Corriente de arranque	568 A
Elevación de temperatura ambiente de 40°C	90°C
Masa	350 kg
Característica del arrancador	Corriente directa
Longitud de la flecha	8.5 pulgadas
Diámetro de la flecha	3.375 pulgadas
Transmisión de potencia	
Tipo	Poleas – Bandas
Polea conductora	265 mm Perforada, para banda C-197
Polea conducida	500 mm de Radios, para banda C-197
Tipo de banda	C – 197 clásicas (Optibelt®)
Numero de bandas	5
Rodamiento anti retorno	
Cantidad	2
Diámetro de acoplamiento	3, ¼ pulgadas

Sistema de Ventiladores centrífugos para extraer aire de la casa de máquinas, Segunda etapa

Cantidad total	3
Tipo	Centrifugo de doble aspiración, alabes atrasados
Servicio	1.15
Modelo	Serie CDM 1120
Marca	(Soler&Palau®)
Capacidad (C/U)	90240 m ³ /h
Diámetro del impulsor	1.120 m de diámetro
Presión estática	33.5 mm.c.a
Velocidad del rotor	627 RPM
Eficiencia	60 %
Dimensiones Exteriores	Ancho 1.800 m, Alto 2.341 m , Largo 1.733 m
Dimensiones de la descarga	Ancho 1.525 m , Alto 1.423 m
Dimensiones de la succión	Doble succión de 1.120 m de diámetro
Tipos de transmisión	Poleas y bandas
Masa del ventilador (sin motor)	986 kg
Incluye guarda transmisión	Si
Incluye malla de succión	No
Motores para los extractores centrífugos	3
Fabricante	(SIEMENS®)
Tipo de armazón	326 T TCVE
Potencia nominal	30 HP
Polos	4
Eficiencia Servicio	92.4 %
Velocidad	1180 RPM asíncrona
Tensión /fase /frecuencia	220/440 VCA / 60 HZ
Corriente a plena carga	41 A
Corriente de arranque	228 A
Elevación de temperatura ambiente de 40°C	90 °c
Masa	230 kg
Característica del arrancador	Corriente directa
Longitud de la flecha	5.25 pulgadas
Diámetro de la flecha	2.125 pulgadas
Transmisión de potencia	Poleas – Bandas
Polea conductora	225 mm Perforada, para banda B-158
Polea conducida	425 mm de Radios, para banda B-158
Tipo de banda	B-158 Clásicas (Optibelt®)
Numero de bandas	3
Rodamiento anti retorno	3
Diámetro de acoplamiento	3 pulgadas

Para el sistema de extracción de aire de casa de máquinas se debe de contar con los siguientes repuestos en caso de falla de alguna parte del equipo de extracción, además de darle mantenimiento adecuado al equipo, para tenerlo en óptimas condiciones.

Tabla 4.26.- Listado de piezas de repuesto con las que se debe de contar para el sistema de extracción de aire, para asegurar la operación continua del equipo.

Descripción	Cantidad	Unidad
Motor eléctrico para los ventiladores centrífugos o axiales de extracción	1	PZA
Juego de chumaceras para cada uno de los ventiladores centrífugos	1	PZA
Juegos de bandas para cada uno de los ventiladores centrífugos	1	PZA

Para el montaje del nuevo equipo de ventilación propuesto, se realizara en los nichos de extracción de aire correspondientes a cada etapa, ubicado en subestación de luz de la C.H Belisario Domínguez, aprovechando el espacio con el que se cuenta, se modela en **(SolidWorks®)** con las dimensiones reales, tal como se ha estado realizando a lo largo del proyecto, para establecer la instalación real de los ventiladores centrífugos de doble aspiración de cada etapa correspondiente.

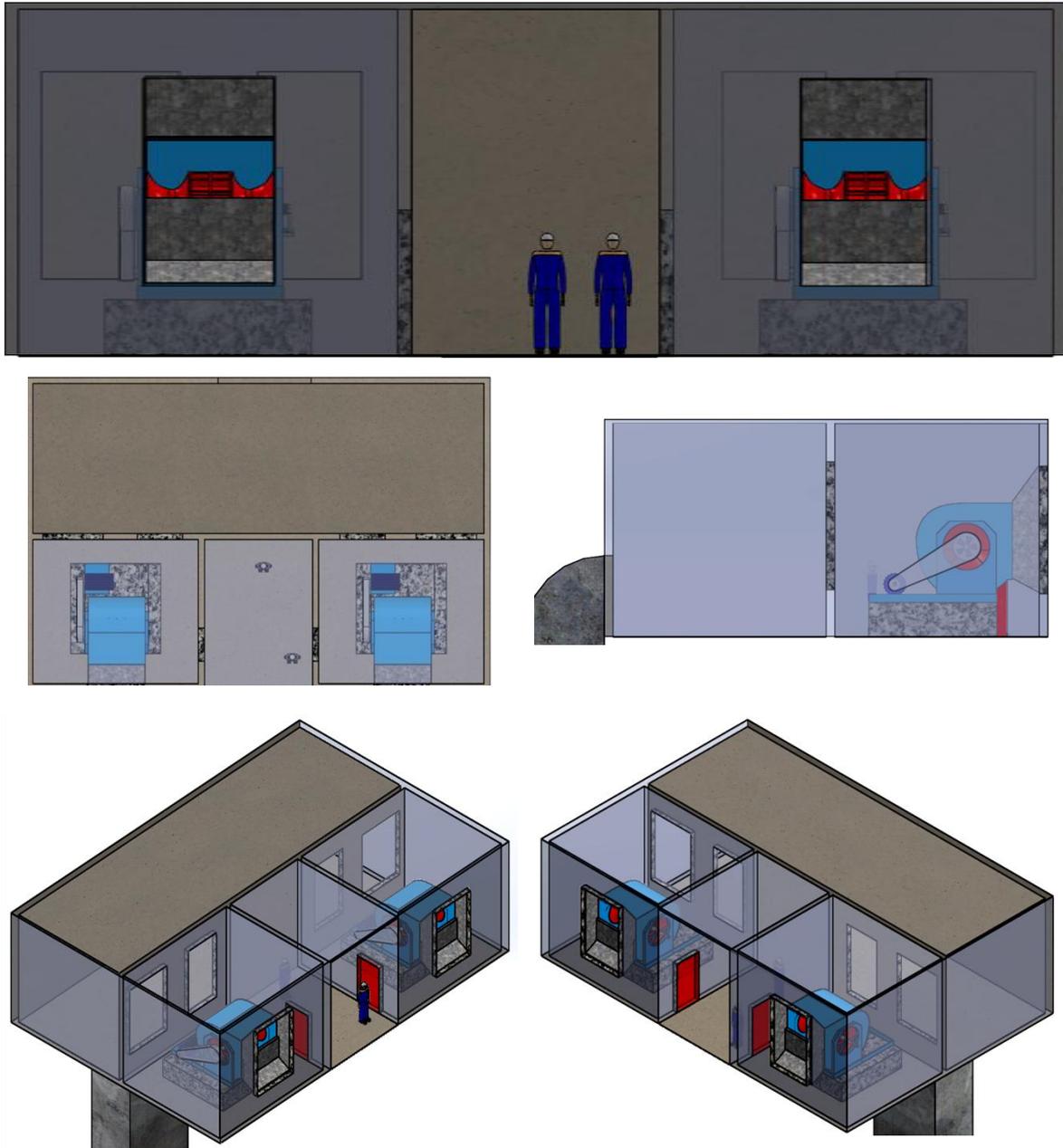


Figura 4.30.- Vistas de nicho de extracción de aire de la primera etapa, con dos ventiladores centrífugos de doble aspiración, alabes atrasado CDM 1400 (Soler & Palau®). (SolidWorks®)

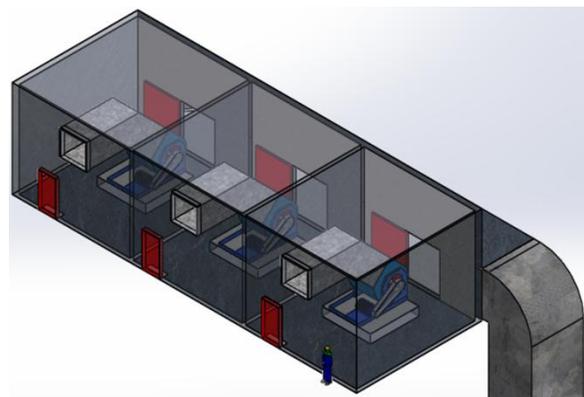
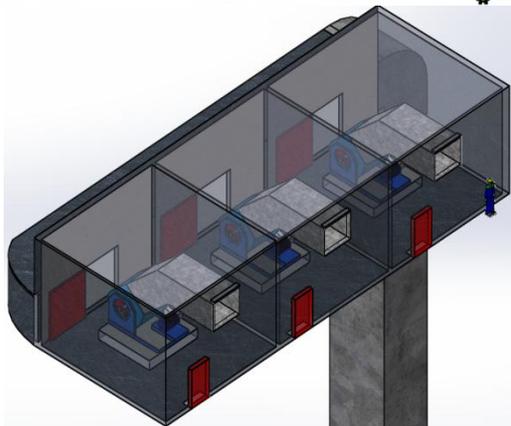
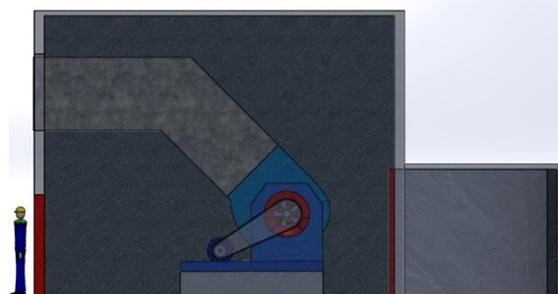
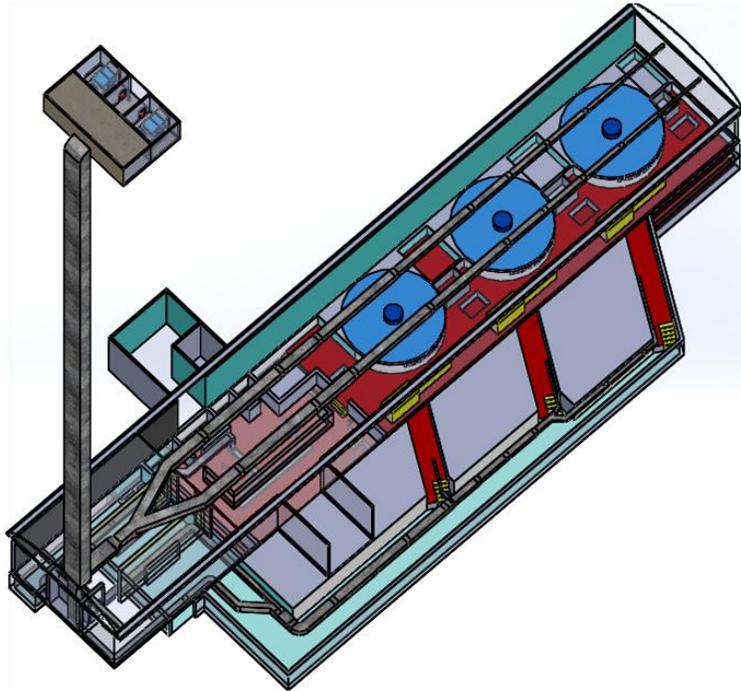
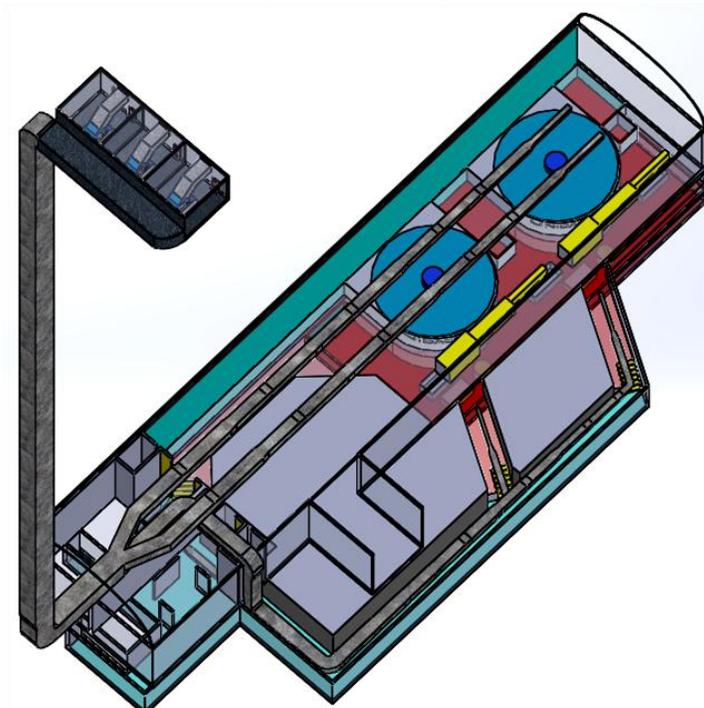


Figura 4.31.- Vistas de nicho de extracción de aire de la segunda etapa, con tres ventiladores centrífugos de doble aspiración, alabes atrasado CDM 11120 (Soler & Palau®). (SolidWorks®)



**Figura 4.32.- Vistas isométrica de sistema de extracción de aire de la primera etapa, desde casa de máquinas hasta nicho de extracción en subestación de luz de la central.
(SolidWorks®)**



**Figura 4.33.- Vistas isométrica de sistema de extracción de aire de la segunda etapa, desde casa de máquinas hasta nicho de extracción en subestación de luz de la central
(SolidWorks®).**

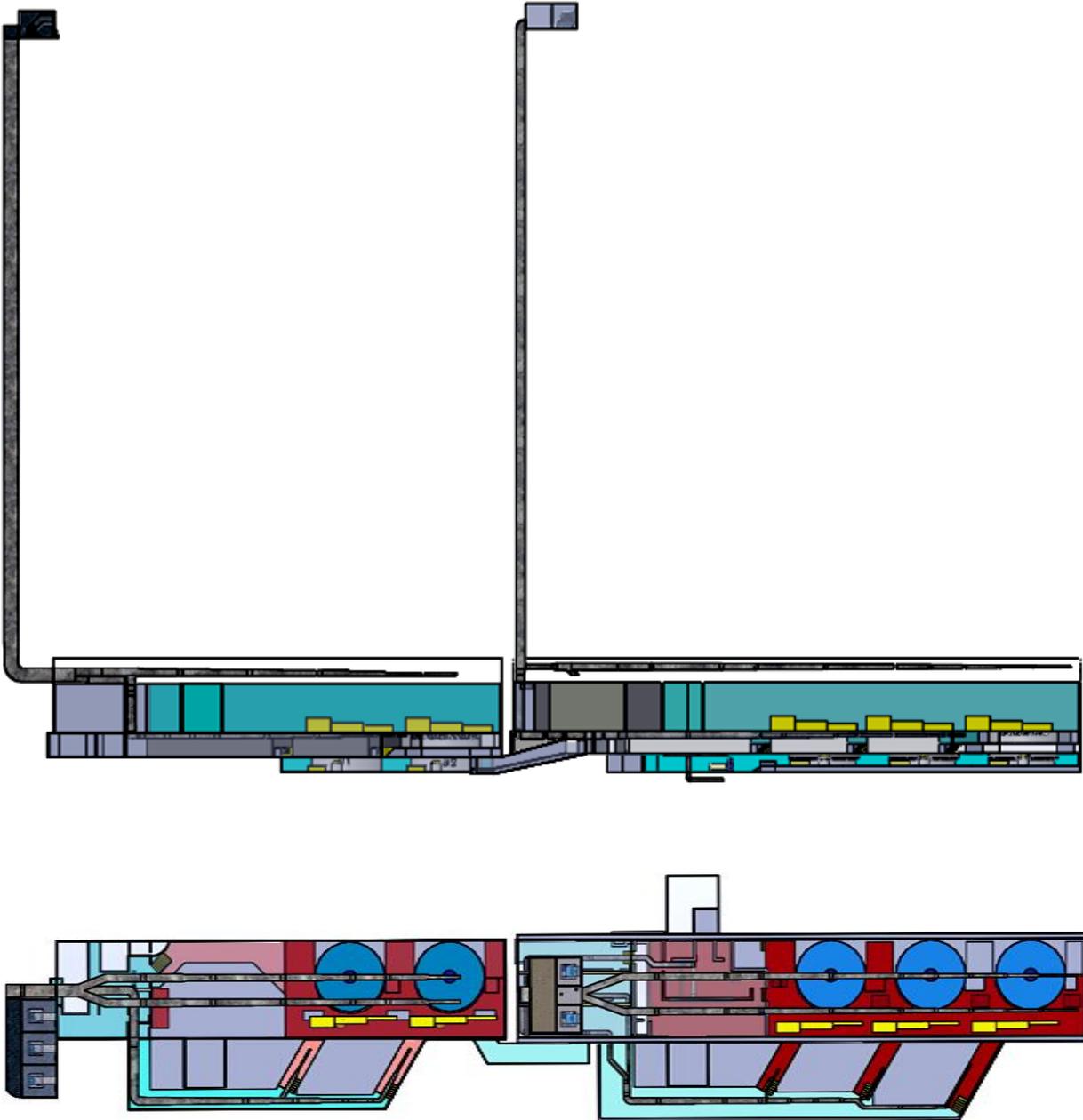


Figura 4.34.- Vistas de primera y segunda etapa de casa de maquinas, resaltando el sistema de extracción de aire de cada etapa. (SolidWorks®)

CAPÍTULO VI

Conclusiones y recomendaciones

Durante la realización de la residencia profesional, se obtuvo conocimientos del estudio de los ventiladores y comportamiento del flujo del aire en los mismos, además de temas afines de la carrera de ingeniería mecánica.

Para el análisis y estudio del comportamiento del aire en los ventiladores, es importante tomar en cuenta la teoría de los flujos de fluidos incompresibles, ya que este se comporta como tal, sin embargo se tiene que adecuar algunas ecuaciones para la realización de los cálculos, tal fue el caso de la ecuación de Bernoulli modificada, que se adapta al estudio del aire, esta se reduce en una igualdad, donde, la suma de la presión estática y dinámica totales es igual a la presión total desarrollada en el sistema. Lo mencionado anteriormente es fundamental para los cálculos realizados.

En cuanto a la obtención de resultados se obtuvieron en base al cálculo de caudal por medio de renovaciones por hora que indica la norma de referencia de CFE y el cálculo de pérdida de carga estática por el método de Darcy-Weisbach y la presión dinámica utilizando los factores de pérdida de carga de la Norma AMCA.

En la selección de los ventiladores se tomo en cuenta las dimensiones de los espacios disponibles en los nichos de extracción y se determino el arreglo de ventiladores en paralelo, para disminuir el caudal por ventilador, de tal forma que el nuevo equipo seleccionado se acople perfectamente a las instalaciones con las que se cuenta y principalmente a las condiciones de operación del sistema de extracción de aire forzado de cada etapa. Es por ello que seleccionamos los ventiladores centrífugos de doble aspiración de alabes atrasados de la serie CDM (Soler & Palau®).

Para la selección de motores poleas y bandas, se realizó en base a medidas y datos estandarizados, para evitar problemas como los que se tenía anteriormente de escasos repuestos, con esto se facilita la adquisición de accesorios en caso de ser necesario.

En cuanto a la propuesta expuesta sobre la protección del sistema utilizando ruedas anti retorno, se logrará evitar fallas en los motores y prolongará el tiempo de vida útil del sistema, manteniendo el equipo disponible para su operación, en tanto en el ámbito económico se evitara gastos innecesarios en la compra de motores y refacciones nuevas.

La finalidad del proyecto era determinar la selección de equipo nuevo de ventilación de extracción de aire así también proponer una solución para la protección de los motores y refacciones del equipo, al mismo tiempo obtener las trayectorias y dimensiones de los ductos de extracción, para representarlo en un software CAD (SolidWorks®), mismo que se lograron los objetivos claramente.

En base a los resultados obtenidos se determina que el proyecto tiene una clara aplicación real y tangible, sin embargo la puesta en marcha, utilización de los resultados, datos propuestos y obtenidos será decisión únicamente de la CFE.

Se recomienda que tanto el sistema de extracción como de inyección de aire forzado funcionen adecuadamente, ya que no servirá de mucho tener un buen sistema de inyección y uno malo de extracción o viceversa, ya que no se mantendrá la temperatura adecuada en el local. Es por esto que se recomienda mantener al equipo de inyección de aire forzado en óptimas condiciones, instalando los accesorios faltantes a cada ventilador de cada etapa respectivamente.

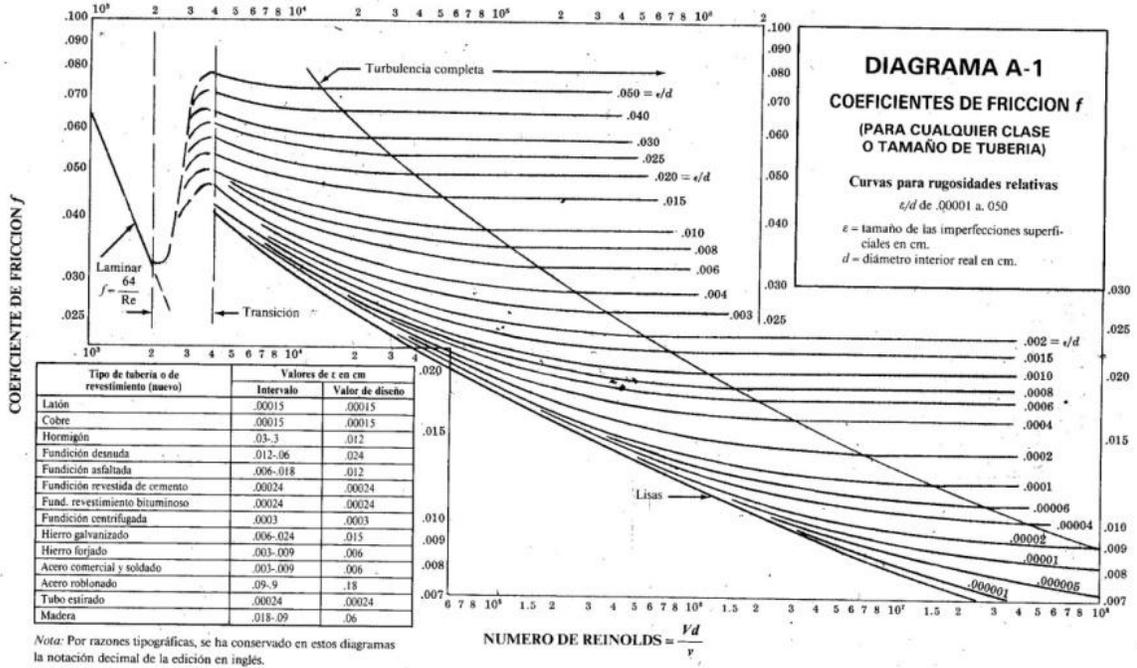
Se ha determinado en base a experiencia que es recomendable utilizar rodamiento SKF®, ya que la utilización de otro tipo de rodamientos no son adecuados debido a su baja eficiencia y poca durabilidad.

Se recomienda instalar puertas deslizables para el control de aire dentro del nicho de extracción de la primera etapa, esto para poder dar mantenimiento a los equipos sin que deje de funcionar el sistema de extracción.

Para la realización de los cálculos se recomienda utilizar una hoja de cálculo como el software Excel®, con el cual se facilitan los mismos ya que suele ser repetitivos, utilizando estos tipos de software evitamos errores y aumentamos precisión.

ANEXOS

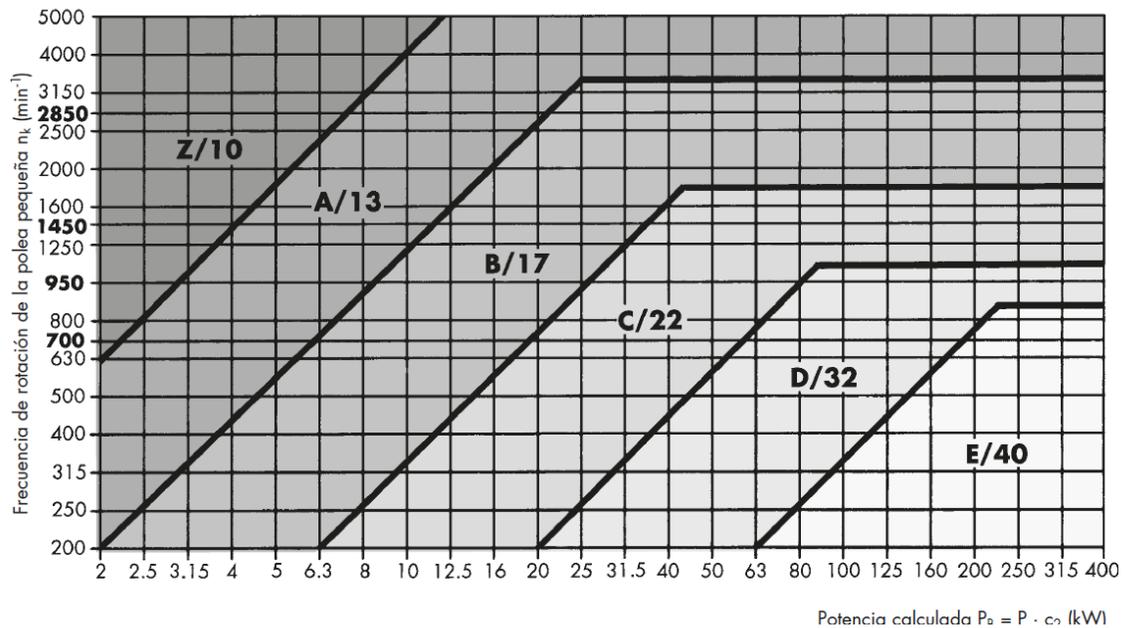
ANEXO (1) Diagrama de Moody



ANEXO (2) Factor de servicio (Poleas – Bandas)

Ejemplo de máquinas accionadas	Ejemplo de máquinas motrices					
	Factor de carga c_2 para servicio diario (horas)			Factor de carga c_2 para servicio diario (horas)		
	hasta 10 hasta 16	mas de 10 hasta 16	a partir de 16	up to 10 hasta 16	mas de 10 hasta 16	a partir de 16
Transmisiones ligeras Bombas centrífugas y compresores, byas transportadoras (cargas ligeras) ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
Transmisiones medias Guillotinas, prensas, transportadores de cadena y bya (cargas pesadas), tamices vibradores, generadores y excitadores, amasadoras, máquinas herramienta (tornos, esmeriladoras), lavadoras, impresoras, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
Transmisiones pesadas Molinos, compresores de pistón, transportadores de carga pesada, expulsos (transportadores helicoidales, cintas de placas, cangilones y pala), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria del papel, bombas de pistón, bombas draga, aserraderos, molinos de machacado	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
Transmisiones muy pesadas Molinos de carga pesada, trituradoras de piedra, calyras, mezcladoras, tornos, grúas, dragas, maquinaria pesada para madera	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

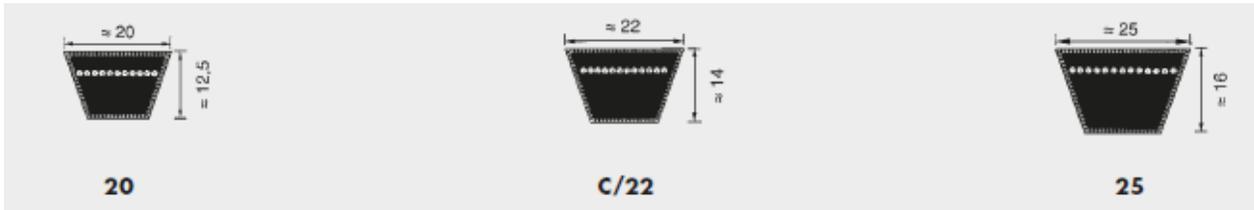
ANEXO (3) Correas trapezoidales clásicas (Optibelt®) DIN 2215



ANEXO (4) Poleas acanaladas trapeciales DIN 2211, para correas trapecoidales estrechas y DIN 2217 para correas trapecoidales clásicas

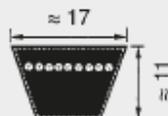
Correas trapeciales Perfil	Denominación ISO	-	Y	-	Z	A	B	-	C	-	D	E	Datum diámetro d_d		Tolerancia de concentricidad y planitud
	DIN 2215	5	6	8	10	13	17	20	22	25	32	40	mín.	máx.	
Correas trapeciales estrechas Perfil	DIN 7753 parte 1 e ISO 4184	-	-	-	SPZ	SPA	SPB	-	SPC	-	-	-	mín.	máx.	
Diámetro de referencia d_d	20,0												20,0	20,4	0,2
	22,0												22,0	22,4	
	25,0												25,0	25,4	
	28,0	28,0											28,0	28,4	
	31,5	31,5											31,5	32,0	
	35,5	35,5											35,5	36,1	
	40,0	40,0	40		40								40,0	40,6	
	45,0	45,0	45		45								45,0	45,7	
	50,0	50,0	50		50								50,0	50,8	
	56,0	56,0	56		56								56,0	56,9	
	63,0	63,0	63		63	63							63,0	64,0	
					67	67							67,0	68,0	
	71,0	71,0	71		71	71							71,0	72,1	
	80,0	80,0	80		80	75							75,0	76,1	
					85	80							80,0	81,3	
			90,0	90		85	90						85,0	86,3	
		100,0	100		90	90		90					90,0	91,4	
					95	95		95					95,0	96,4	
					100	100		100					100,0	101,6	
					106	106		106					106,0	107,6	
112,0	112			112	112							112,0	113,8		
125,0	125			118	118							118,0	119,9		
				125	125							125,0	127,0		
				132	132							132,0	134,1		
				140	140							140,0	142,2		
				150	150			140*				150,0	152,4		
				160	160			150*				160,0	162,6		
				160	160		160	160*							
170		180		170	170							170,0	172,7		
180	180			180	180			180				180,0	182,9		
	190			190	190			190				190,0	193,0		
	200			200	200			200				200,0	203,2		
	212			212	212			212				212,0	215,4		
	224			224	224			224				224,0	227,6		
				225	225			225				225,0	228,6		
				236	236			236				236,0	239,8		
				250	250			250	250			250,0	254,0		
				265	265			265				265,0	269,0		
					265	265			265				265,0	269,0	
280				280	280			280				280,0	284,5		
300	300			300	300			300				300,0	304,8		
	315			315	315			315	315			315,0	320,0		
				335	335			335				335,0	340,0		
				355	355			355	355	355		355,0	360,7		
				375	375			375				375,0	380,7		
400	400			400	400			400	400	400		400,0	406,4		
				425	425			425				425,0	431,4		
				450	450			450	450	450		450,0	457,2		
450				450	450			450	450		450,0	457,2			
500	500			500	500			500	500	500		500,0	508,0		
	560			560	560			560	560	560		560,0	569,0		
	630			630	630			630	630	630		630,0	640,1		
710				710	710			710	710	710		710,0	721,4		
800	800			800	800			800	800	800		800,0	812,8		
	900			900	900			900	900	900		900,0	914,4		
	1000			1000	1000			1000	1000	1000		1000,0	1016,0		
1120							1120	1120	1120	1120		1120,0	1137,9		
1250	1250							1250	1250	1250	1250		1250,0	1270,0	
	1400							1400	1400	1400	1400		1400,0	1422,4	
	1600							1600	1600	1600	1600		1600,0	1625,6	
1800							1800	1800	1800	1800		1800,0	1828,8		
2000							2000	2000	2000	2000		2000,0	2032,0		

ANEXO (5) Longitud de paso de correas trapezoidales clásicas C/22 DIN 7753 /ISO



Perfil 20		Perfil C/22						Perfil 25	
Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Desarrollo interior L _i (mm)	Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Desarrollo interior L _i (mm)	Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Desarrollo interior L _i (mm)	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Desarrollo interior L _i (mm)
950	900	C 43	1148	1090	C 102	2649	2591	1460	1400
1050	1000	C 47	1258	1200	C 104	2700	2642	1560	1500
1170	1120	C 48	1273	1215	C 105	2725	2667	1660	1600
1230	1180	C 49	1308	1250	C 106	2750	2692	1760	1700
1300	1250	C 51	1353	1295	C 108	2808	2750	1860	1800
1370	1320	C 52	1378	1320	C 110	2858	2800	1960	1900
1450	1400	C 53	1408	1350	C 112	2903	2845	2060	2000
1550	1500	C 54	1433	1375	C 114	2954	2896	2180	2120
1650	1600	C 55	1458	1450	C 115	2979	2921	2300	2240
1750	1700	C 56	1483	1425	C 116	3008	2950	2420	2360
1850	1800	C 57	1508	1450	C 117	3023	2965	2560	2500
1950	1900	C 58	1533	1475	C 118	3058	3000	2710	2650
2050	2000	C 59	1558	1500	C 120	3106	3048	2760	2700
2170	2120	C 60	1582	1524	C 122	3157	3099	2860	2800
2290	2240	C 61	1608	1550	C 124	3208	3150	3060	3000
2410	2360	C 62	1632	1574	C 126	3258	3200	3210	3150
2550	2500	C 63	1658	1600	C 128	3308	3250	3410	3350
2700	2650	C 65	1708	1650	C 130	3360	3302	3610	3550
2850	2800	C 66	1734	1676	C 132	3408	3350	3810	3750
3050	3000	C 67	1758	1700	C 134	3462	3404	4060	4000
3200	3150	C 68	1785	1727	C 136	3508	3450	4310	4250
3400	3350	C 69	1808	1750	C 138	3563	3505	4560	4500
3600	3550	C 70	1836	1778	C 140	3608	3550	4810	4750
3800	3750	C 71	1858	1800	C 142	3665	3607	5060	5000
4050	4000	C 72	1887	1829	C 144	3716	3658	5360	5300
4550	4500	C 73	1912	1854	C 146	3758	3700	5660	5600
5050	5000	C 74	1938	1880	C 148	3808	3750	6060	6000
6050	6000	C 75	1958	1900	C 150	3868	3810	6360	6300
		C 76	1988	1930	C 158	4058	4000	6760	6700
		C 77	2014	1956	C 162	4158	4100	7160	7100
		C 78	2039	1981	C 166	4274	4216	7560	7500
		C 79	2058	2000	C 167	4308	4250	8060	8000
		C 80	2090	2032	C 168	4325	4267	8560	8500
		C 81	2118	2060	C 170	4376	4318	9060	9000
		C 82	2141	2083	C 173	4452	4394		
		C 83	2166	2108	C 175	4503	4445		
		C 83 _{1/2}	2178	2120	C 177	4558	4500		
		C 84	2192	2134	C 180	4630	4572		
		C 85	2217	2159	C 187	4808	4750		
		C 86	2242	2184	C 190	4884	4826		
		C 87	2268	2210	C 195	5011	4953		
		C 88	2298	2240	C 197	5058	5000		
		C 89	2319	2261	C 208	5358	5300		
		C 90	2344	2286	C 210	5392	5334		
		C 92	2395	2337	C 220	5658	5600		
		C 93	2418	2360	C 225	5773	5715		
		C 94	2440	2388	C 236	6058	6000		
		C 95	2471	2413	C 240	6154	6096		
		C 96	2496	2438	C 248	6358	6300		
		C 96 _{1/2}	2508	2450	C 264	6758	6700		
		C 97	2522	2464	C 270	6916	6858		
		C 98	2558	2500	C 280	7158	7100		
		C 99	2583	2525	C 295	7558	7500		
		C 100	2598	2540	C 300	7678	7620		
		C 101	2618	2560	C 315	8058	8000		

ANEXO (6) Longitud de paso de correas trapezoidales clásicas B/17 DIN 7753
/ISO



B/17

Perfil B/17

Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Desarrollo interior L _i (mm)	Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Desarrollo interior L _i (mm)	Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Desarrollo interior L _i (mm)	Nº correa	Desarrollo de referencia ISO L _d (mm)	Desarrollo interior L _i (mm)
B 23	610	570	B 51	1340	1300	B 87	2250	2210	B 140	3590	3550
B 24	655	615	B 52	1360	1320	B 88	2280	2240	B 142	3640	3600
B 25	670	630	B 52½	1375	1335	B 89	2301	2261	B 144	3698	3658
B 26	690	650	B 53	1390	1350	B 90	2326	2286	B 146	3740	3700
B 26½	710	670	B 53½	1400	1360	B 91	2340	2300	B 148	3790	3750
B 27	726	686	B 54	1412	1372	B 92	2377	2337	B 150	3850	3810
B 28	750	710	B 55	1440	1400	B 93	2400	2360	B 151	3890	3850
B 29	765	725	B 56	1462	1422	B 94	2428	2388	B 152	3901	3861
B 30	790	750	B 57	1490	1450	B 94½	2440	2400	B 154	3952	3912
B 31	815	775	B 58	1513	1473	B 95	2453	2413	B 155	3990	3950
B 32	840	800	B 59	1540	1500	B 96	2478	2438	B 156	4002	3962
B 32½	865	825	B 60	1565	1525	B 96½	2490	2450	B 158	4040	4000
B 33	876	836	B 61	1590	1550	B 97	2505	2465	B 160	4104	4064
B 34	890	850	B 62	1615	1575	B 98	2540	2500	B 162	4155	4115
B 34½	915	875	B 63	1640	1600	B 99	2555	2515	B 165	4240	4200
B 35	929	889	B 64	1665	1625	B 100	2580	2540	B 167	4290	4250
B 36	940	900	B 65	1690	1650	B 101	2605	2565	B 173	4434	4394
B 37	965	925	B 66	1716	1676	B 102	2640	2600	B 175	4490	4450
B 37½	990	950	B 67	1740	1700	B 103	2656	2616	B 177	4540	4500
B 38	1005	965	B 68	1765	1725	B 104	2690	2650	B 180	4612	4572
B 38½	1015	975	B 69	1790	1750	B 105	2707	2667	B 187	4790	4750
B 39	1040	1000	B 69½	1801	1761	B 106	2740	2700	B 195	4993	4953
B 40	1056	1016	B 70	1815	1775	B 107	2758	2718	B 197	5040	5000
B 40½	1070	1030	B 71	1840	1800	B 108	2790	2750	B 208	5340	5300
B 41	1080	1040	B 72	1869	1829	B 110	2840	2800	B 210	5374	5334
B 41½	1090	1050	B 73	1890	1850	B 112	2885	2845	B 220	5640	5600
B 42	1100	1060	B 74	1920	1880	B 114	2940	2900	B 236	6040	6000
B 42½	1115	1075	B 75	1940	1900	B 115	2961	2921	B 240	6136	6096
B 43	1130	1090	B 76	1970	1930	B 116	2990	2950	B 248	6340	6300
B 43¼	1140	1100	B 77	1990	1950	B 118	3040	3000	B 264	6740	6700
B 44	1160	1120	B 78	2021	1981	B 120	3088	3048	B 276	7040	7000
B 45	1190	1150	B 79	2040	2000	B 122	3139	3099	B 280	7140	7100
B 45½	1203	1163	B 80	2072	2032	B 124	3190	3150			
B 46	1215	1175	B 81	2100	2060	B 126	3240	3200			
B 46½	1220	1180	B 82	2123	2083	B 128	3290	3250			
B 47	1240	1200	B 83	2140	2100	B 130	3342	3302			
B 48	1255	1215	B 83½	2160	2120	B 132	3390	3350			
B 48½	1265	1225	B 84	2174	2134	B 134	3444	3404			
B 49	1290	1250	B 85	2200	2160	B 136	3490	3450			
B 50	1315	1275	B 86	2240	2200	B 138	3545	3505			

ANEXO (7) Factor de corrección de Angulo de cobertura

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta \approx$	c_1
0	180°	1,00
0,05	177°	1,00
0,10	174°	1,00
0,15	171°	1,00
0,20	168°	0,99
0,25	165°	0,99
0,30	162°	0,99
0,35	160°	0,99
0,40	156°	0,99
0,45	153°	0,98
0,50	150°	0,98
0,55	147°	0,98
0,60	144°	0,98
0,65	141°	0,97
0,70	139°	0,97
0,75	136°	0,97
0,80	133°	0,96
0,85	130°	0,96
0,90	126°	0,96
0,95	123°	0,95
1,00	119°	0,94
1,05	115°	0,94
1,10	112°	0,93
1,15	109°	0,93
1,20	106°	0,92
1,25	103°	0,91
1,30	100°	0,91
1,35	96°	0,90
1,40	92°	0,88
1,45	88°	0,87
1,50	84°	0,86
1,55	80°	0,84
1,60	77°	0,83

ANEXO (8) Factor de corrección de longitud de banda

Perfil 5*		Perfil Y/6*		Perfil 8		Perfil Z/10, ZX/X10		Perfil A/13, AX/X13		Perfil B/17, BX/X17		Perfil 20	
Desarrollo de referencia (mm)	c ₃												
172	0,87	280	0,97	299*	0,86	422*	0,86	660	0,80	900	0,81	948	0,75
202	0,91	295	0,99	334*	0,88	447*	0,87	740	0,82	990	0,83	998	0,76
248	0,95	315	1,00	374*	0,91	472*	0,88	780	0,83	1040	0,84	1048	0,77
277	0,97	330	1,01	419*	0,93	497*	0,89	830	0,85	1100	0,85	1168	0,79
292	0,99	350	1,02	444*	0,94	522*	0,90	880	0,86	1140	0,85	1228	0,80
312	1,00	370	1,04	469*	0,95	552*	0,92	930	0,87	1220	0,87	1298	0,81
327	1,01	390	1,05	494*	0,97	582*	0,93	980	0,88	1290	0,88	1368	0,82
334	1,01	415	1,06	549*	0,99	622	0,94	1030	0,89	1360	0,89	1448	0,83
347	1,02	440	1,07	579*	1,00	652	0,95	1090	0,90	1440	0,90	1548	0,85
364	1,03	465	1,09	594*	1,01	692	0,96	1150	0,91	1540	0,92	1648	0,86
387	1,05	490	1,10	619*	1,01	732	0,98	1210	0,92	1640	0,93	1848	0,88
418	1,06	515	1,11	649*	1,02	822	1,00	1280	0,94	1740	0,94	2048	0,91
437	1,07	555	1,13	689*	1,04	847	1,01	1350	0,95	1840	0,95	2168	0,92
487	1,10	615	1,15	729*	1,05	887	1,02	1430	0,96	1940	0,97	2298	0,93
512	1,11	725	1,19	769*	1,06	922	1,02	1530	0,97	2040	0,98	2408	0,94
524	1,11	765	1,20	819*	1,08	947	1,03	1630	0,99	2160	0,99	2548	0,95
542	1,12	865	1,23	869	1,09	997	1,04	1730	1,00	2280	1,00	2698	0,96
566	1,13			894	1,10	1022	1,05	1830	1,01	2400	1,01	2848	0,98
612	1,15			919	1,10	1082	1,06	1930	1,02	2590	1,03	3048	0,99
				969	1,11	1142	1,07	2030	1,03	2690	1,04	3198	1,00
				1019	1,13	1172	1,08	2150	1,05	2840	1,05	3398	1,01
				1139	1,15	1202	1,08	2270	1,06	3040	1,06	3598	1,03
				1269	1,18	1272	1,10	2390	1,07	3190	1,07	3798	1,04
				1339	1,19	1342	1,11	2530	1,08	3390	1,09	4048	1,05
				1419	1,20	1422	1,12	2680	1,10	3590	1,10	4298	1,06
				1519	1,22	1522	1,14	2830	1,11	3790	1,11	4548	1,08
						1622	1,15	3030	1,12	4040	1,13	4798	1,09
								3180	1,14	4290	1,14	5048	1,10
								3380	1,15	4540	1,15	5348	1,11
								3780	1,17	4790	1,17	5648	1,13
								4030	1,19	5040	1,18	6048	1,14
								4530	1,22	5340	1,19	6348	1,15
								5030	1,24	5640	1,20	7148	1,18
										6040	1,22	8048	1,21
										6340	1,23		
Perfil C/22, CX/X22				Perfil 25				Perfil D/32				Perfil E/40	
1458	0,80	5058	1,06	1311	0,75	4311	0,99	3225	0,86	10075	1,10	4830	0,92
1558	0,81	5358	1,07	1461	0,77	4561	1,00	3425	0,87	10675	1,11	5080	0,93
1658	0,83	5658	1,09	1561	0,78	4811	1,01	3625	0,88	11275	1,13	5380	0,94
1858	0,85	6058	1,10	1661	0,79	5061	1,02	3825	0,89	11875	1,14	5680	0,95
1958	0,86	6358	1,11	1761	0,80	5361	1,04	4075	0,91	12575	1,15	6080	0,96
2058	0,87	6758	1,13	1861	0,81	5661	1,05	4325	0,92	13275	1,16	6380	0,97
2178	0,88	7158	1,14	1961	0,82	6061	1,06	4575	0,93	14075	1,18	6780	0,99
2298	0,89	7558	1,15	2061	0,83	6361	1,07	4825	0,94	15075	1,19	7180	1,00
2418	0,90	8058	1,17	2181	0,85	6761	1,09	5075	0,95	16075	1,21	7580	1,01
2558	0,92	9058	1,19	2301	0,86	7161	1,10	5375	0,96			8080	1,03
2708	0,93			2421	0,87	7561	1,11	5675	0,98			8580	1,04
2858	0,94	10058	1,22	2561	0,88	8061	1,13	6075	0,99			9080	1,05
3058	0,95			2711	0,89	9061	1,15	6375	1,00			9580	1,06
3208	0,96			2861	0,90	10061	1,18	6775	1,01			10080	1,07
3608	0,99			3061	0,92	11261	1,20	7175	1,03			10680	1,09
3808	1,00			3211	0,93	12561	1,23	7575	1,04			11280	1,10
4058	1,01			3411	0,94			8075	1,05			11880	1,11
4308	1,03			3611	0,95			8575	1,06			12580	1,12
4558	1,04			3811	0,96			9075	1,08			13280	1,14
4808	1,05			4061	0,98			9575	1,09			14080	1,15
												15080	1,17

ANEXO (9) Potencia nominal permitida por banda trapezoidal C/20

Poleas	v [m/s]	n _i [min ⁻¹]	Diámetro de referencia de la polea pequeña d _{sk} (mm)													Incremento por multiplicación (kW) por correas para						
			180	200	212	224	236	250	265	280	300	315	335	355	375	400	450	hasta 1.05	1.06 hasta 1.26	1.27 hasta 1.57	> 1.57	
Equilibradas estáticamente		700	4.51	5.66	6.35	7.02	7.69	8.47	9.28	10.09	11.16	11.94	12.98	14.00	15.00	16.22	18.58	0.08	0.40	0.63	0.71	
		950	5.60	7.08	7.95	8.81	9.67	10.64	11.67	12.69	14.01	14.98	16.24	17.47	18.66	20.10	22.79	0.11	0.54	0.86	0.97	
		1450	7.23	9.24	10.42	11.56	12.67	13.93	15.24	16.49	18.08	19.20	20.62	21.93	23.13	24.46	26.56	0.16	0.82	1.31	1.48	
		2850	7.54	9.81															0.32	1.61	2.58	2.90
		50	0.53	0.64	0.70	0.76	0.83	0.90	0.98	1.06	1.16	1.24	1.34	1.44	1.54	1.67	1.92	0.01	0.03	0.05	0.05	
		100	0.95	1.16	1.28	1.39	1.51	1.65	1.80	1.95	2.14	2.28	2.48	2.67	2.86	3.09	3.56	0.01	0.06	0.09	0.10	
		150	1.34	1.63	1.80	1.97	2.15	2.35	2.56	2.77	3.05	3.26	3.54	3.81	4.09	4.43	5.10	0.02	0.08	0.14	0.15	
		200	1.69	2.07	2.30	2.52	2.75	3.00	3.28	3.55	3.92	4.19	4.55	4.91	5.26	5.70	6.57	0.02	0.11	0.18	0.20	
		250	2.03	2.49	2.77	3.04	3.32	3.63	3.97	4.31	4.75	5.08	5.52	5.95	6.39	6.92	7.98	0.03	0.14	0.23	0.25	
		300	2.35	2.90	3.22	3.54	3.87	4.24	4.64	5.03	5.55	5.94	6.45	6.97	7.47	8.10	9.34	0.03	0.17	0.27	0.31	
		350	2.66	3.28	3.66	4.03	4.40	4.82	5.28	5.73	6.33	6.77	7.36	7.94	8.52	9.24	10.66	0.04	0.20	0.32	0.36	
		400	2.95	3.66	4.08	4.49	4.91	5.39	5.90	6.41	7.08	7.58	8.24	8.89	9.54	10.34	11.92	0.05	0.23	0.36	0.41	
		450	3.23	4.02	4.48	4.95	5.41	5.94	6.51	7.07	7.81	8.36	9.09	9.81	10.53	11.41	13.14	0.05	0.25	0.41	0.46	
		500	3.51	4.37	4.88	5.39	5.89	6.47	7.09	7.71	8.52	9.12	9.92	10.70	11.48	12.44	14.32	0.06	0.28	0.45	0.51	
		550	3.77	4.71	5.26	5.81	6.36	6.99	7.67	8.33	9.21	9.86	10.72	11.57	12.41	13.44	15.46	0.06	0.31	0.50	0.56	
		600	4.03	5.04	5.63	6.23	6.82	7.50	8.22	8.94	9.88	10.58	11.50	12.41	13.30	14.40	16.55	0.07	0.34	0.54	0.61	
		650	4.27	5.36	6.00	6.63	7.26	7.99	8.76	9.52	10.53	11.27	12.25	13.21	14.16	15.33	17.59	0.07	0.37	0.59	0.66	
		700	4.51	5.66	6.35	7.02	7.69	8.47	9.28	10.09	11.16	11.94	12.98	14.00	15.00	16.22	18.58	0.08	0.40	0.63	0.71	
		750	4.74	5.97	6.69	7.40	8.11	8.93	9.79	10.65	11.77	12.60	13.68	14.75	15.80	17.07	19.53	0.08	0.42	0.68	0.76	
		800	4.97	6.26	7.02	7.77	8.52	9.38	10.29	11.18	12.36	13.23	14.36	15.47	16.56	17.89	20.42	0.09	0.45	0.72	0.81	
		850	5.18	6.54	7.34	8.13	8.91	9.81	10.76	11.70	12.93	13.83	15.01	16.17	17.30	18.67	21.27	0.10	0.48	0.77	0.87	
		900	5.39	6.81	7.65	8.48	9.29	10.24	11.23	12.20	13.48	14.42	15.64	16.83	18.00	19.40	22.05	0.10	0.51	0.81	0.92	
		950	5.60	7.08	7.95	8.81	9.67	10.64	11.67	12.69	14.01	14.98	16.24	17.47	18.66	20.10	22.79	0.11	0.54	0.86	0.97	
		1000	5.79	7.33	8.24	9.14	10.02	11.04	12.11	13.15	14.52	15.52	16.81	18.07	19.29	20.75	23.46	0.11	0.57	0.91	1.02	
		1050	5.98	7.58	8.52	9.45	10.37	11.42	12.52	13.60	15.01	16.03	17.36	18.64	19.88	21.36	24.07	0.12	0.59	0.95	1.07	
		1100	6.16	7.82	8.80	9.76	10.70	11.79	12.92	14.03	15.47	16.52	17.87	19.18	20.43	21.92	24.62	0.12	0.62	1.00	1.12	
		1150	6.33	8.05	9.06	10.05	11.02	12.14	13.30	14.44	15.91	16.98	18.36	19.68	20.94	22.43	25.11	0.13	0.65	1.04	1.17	
		1200	6.50	8.27	9.31	10.33	11.33	12.47	13.67	14.83	16.34	17.42	18.82	20.15	21.42	22.90	25.53	0.14	0.68	1.09	1.22	
		1250	6.66	8.48	9.55	10.60	11.63	12.80	14.02	15.21	16.73	17.83	19.24	20.58	21.85	23.32	25.88	0.14	0.71	1.13	1.27	
		1300	6.81	8.69	9.78	10.86	11.91	13.10	14.35	15.56	17.11	18.22	19.64	20.98	22.23	23.69	26.17	0.15	0.74	1.18	1.32	
1350	6.96	8.88	10.00	11.10	12.18	13.40	14.66	15.89	17.46	18.58	20.00	21.33	22.58	24.00	26.37	0.15	0.76	1.22	1.37			
1400	7.09	9.07	10.22	11.34	12.43	13.67	14.96	16.20	17.78	18.91	20.33	21.65	22.87	24.26	26.51	0.16	0.79	1.27	1.42			
1450	7.23	9.24	10.42	11.56	12.67	13.93	15.24	16.49	18.08	19.20	20.62	21.93	23.13	24.46	26.56	0.16	0.82	1.31	1.48			
1500	7.35	9.41	10.60	11.77	12.90	14.18	15.50	16.76	18.35	19.47	20.88	22.16	23.33	24.61	26.54	0.17	0.85	1.36	1.53			
1550	7.46	9.57	10.78	11.97	13.11	14.41	15.73	17.00	18.60	19.71	21.10	22.36	23.48	24.70	26.43	0.18	0.88	1.40	1.58			
1600	7.57	9.71	10.95	12.15	13.31	14.62	15.95	17.23	18.81	19.92	21.28	22.51	23.59	24.72	26.24	0.18	0.91	1.45	1.63			
1650	7.67	9.85	11.11	12.32	13.49	14.81	16.15	17.42	19.00	20.10	21.43	22.61	23.64	24.69	25.96	0.19	0.93	1.49	1.68			
1700	7.77	9.98	11.25	12.48	13.66	14.99	16.33	17.60	19.17	20.24	21.54	22.67	23.64	24.59		0.19	0.96	1.54	1.73			
1750	7.85	10.10	11.38	12.62	13.82	15.14	16.49	17.75	19.30	20.35	21.61	22.69	23.58	24.42		0.20	0.99	1.58	1.78			
1800	7.93	10.20	11.50	12.75	13.95	15.28	16.63	17.88	19.40	20.43	21.64	22.65				0.20	1.02	1.63	1.83			
1850	8.00	10.30	11.61	12.87	14.07	15.41	16.74	17.98	19.47	20.47	21.62	22.57				0.21	1.05	1.67	1.88			
1900	8.06	10.39	11.71	12.97	14.18	15.51	16.83	18.06	19.51	20.47	21.57	22.44				0.22	1.07	1.72	1.93			
1950	8.12	10.46	11.79	13.06	14.27	15.59	16.90	18.10	19.52	20.44	21.47	22.25				0.22	1.10	1.77	1.98			
2000	8.16	10.53	11.87	13.14	14.34	15.65	16.95	18.13	19.50	20.37	21.32	22.02				0.23	1.13	1.81	2.04			
2050	8.20	10.58	11.92	13.20	14.40	15.70	16.97	18.12	19.44							0.23	1.16	1.86	2.09			
2100	8.23	10.63	11.97	13.24	14.43	15.72	16.97	18.09	19.35							0.24	1.19	1.90	2.14			
2150	8.25	10.66	12.00	13.27	14.45	15.72	16.95	18.03	19.23							0.24	1.22	1.95	2.19			
2200	8.26	10.68	12.02	13.28	14.45	15.71	16.90	17.94	19.07							0.25	1.24	1.99	2.24			
2250	8.26	10.69	12.03	13.28	14.44	15.67	16.83	17.82	18.87							0.25	1.27	2.04	2.29			
2300	8.25	10.68	12.02	13.26	14.40	15.60	16.73									0.26	1.30	2.08	2.34			
2350	8.24	10.67	12.00	13.23	14.35	15.52	16.60									0.27	1.33	2.13	2.39			
2400	8.21	10.64	11.96	13.17	14.27	15.41	16.45									0.27	1.36	2.17	2.44			
2450	8.18	10.60	11.91	13.10	14.18	15.28	16.26									0.28	1.39	2.22	2.49			
2500	8.13	10.55	11.84	13.02	14.07	15.13	16.06									0.28	1.41	2.26	2.54			
2550	8.08	10.48	11.76	12.91	13.94											0.29	1.44	2.31	2.60			
2600	8.01	10.40	11.66	12.79	13.78											0.29	1.47	2.35	2.65			
2650	7.94	10.31	11.55	12.65	13.61											0.30	1.50	2.40	2.70			
2700	7.86	10.20	11.42	12.49	13.41											0.31	1.53	2.44	2.75			
2750	7.76	10.08	11.28	12.32	13.19											0.31	1.56	2.49	2.80			
2800	7.66	9.95	11.12	12.12												0.32	1.58	2.53	2.85			
2850	7.54	9.81	10.94	11.91												0.32	1.61	2.58	2.90			
2900	7.42	9.64	10.75	11.67												0.33	1.64	2.63	2.95			
2950	7.28	9.47	10.54																			

ANEXO (10) Potencia nominal permitida por banda trapezoidal B/17

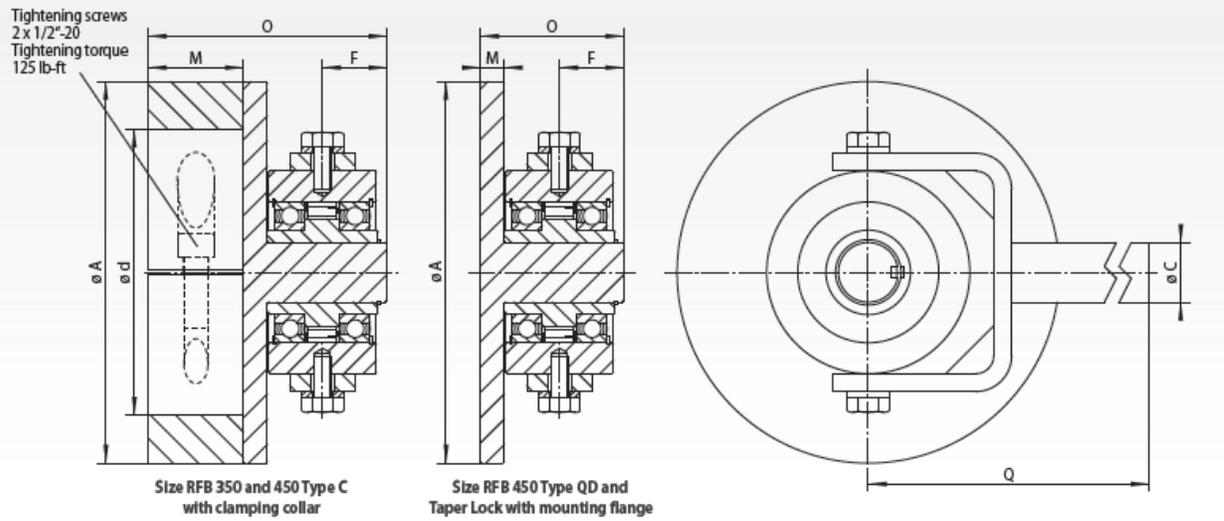
Poleas	v (m/s)	n _k (min ⁻¹)	Diámetro de referencia de la polea pequeña d _{sk} (mm)														Incremento por multiplicación (kW) por correa para				
			112	125	132	140	150	160	170	180	190	200	212	224	236	250	280	1.01 hasta 1.05	1.06 hasta 1.26	1.27 hasta 1.57	
																	1.01 hasta 1.05	1.06 hasta 1.26	1.27 hasta 1.57		
Equilibradas estáticamente		700	1.49	1.96	2.21	2.50	2.85	3.20	3.55	3.89	4.24	4.58	4.98	5.38	5.78	6.23	7.19	0.03	0.17	0.27	0.30
		950	1.83	2.45	2.77	3.15	3.61	4.06	4.51	4.96	5.40	5.83	6.35	6.86	7.36	7.94	9.14	0.05	0.23	0.37	0.41
		1450	2.37	3.25	3.72	4.24	4.89	5.52	6.14	6.75	7.35	7.94	8.63	9.31	9.96	10.70	12.20	0.07	0.35	0.56	0.63
		2850	2.99	4.37	5.08	5.87	6.80	7.67	8.49	9.24	9.93	10.56	11.22	11.78	12.24	12.62	12.90	0.14	0.69	1.10	1.24
		100	0.33	0.41	0.46	0.51	0.57	0.63	0.69	0.75	0.81	0.87	0.94	1.01	1.08	1.17	1.34	0.00	0.02	0.04	0.04
		200	0.58	0.73	0.81	0.91	1.02	1.14	1.25	1.37	1.48	1.59	1.73	1.86	1.99	2.15	2.47	0.01	0.05	0.08	0.09
		300	0.79	1.01	1.13	1.27	1.43	1.60	1.77	1.93	2.09	2.25	2.45	2.64	2.83	3.05	3.52	0.01	0.07	0.12	0.13
		400	0.99	1.27	1.43	1.60	1.82	2.03	2.25	2.46	2.67	2.88	3.13	3.37	3.62	3.91	4.51	0.02	0.10	0.15	0.17
		500	1.17	1.52	1.70	1.92	2.18	2.44	2.70	2.96	3.22	3.47	3.77	4.07	4.37	4.72	5.45	0.02	0.12	0.19	0.22
		600	1.33	1.74	1.96	2.21	2.52	2.83	3.13	3.44	3.74	4.03	4.39	4.74	5.09	5.49	6.34	0.03	0.14	0.23	0.26
		700	1.49	1.96	2.21	2.50	2.85	3.20	3.55	3.89	4.24	4.58	4.98	5.38	5.78	6.23	7.19	0.03	0.17	0.27	0.30
		800	1.63	2.16	2.44	2.77	3.16	3.56	3.95	4.33	4.72	5.09	5.55	5.99	6.43	6.94	8.00	0.04	0.19	0.31	0.35
		900	1.77	2.35	2.67	3.02	3.46	3.90	4.33	4.75	5.17	5.59	6.09	6.57	7.06	7.61	8.77	0.04	0.22	0.35	0.39
		1000	1.89	2.54	2.88	3.27	3.75	4.22	4.69	5.16	5.61	6.07	6.60	7.13	7.65	8.25	9.50	0.05	0.24	0.39	0.43
		1100	2.01	2.71	3.08	3.50	4.02	4.53	5.04	5.54	6.03	6.52	7.10	7.66	8.22	8.86	10.18	0.05	0.27	0.42	0.48
		1200	2.12	2.88	3.28	3.73	4.28	4.83	5.37	5.91	6.44	6.95	7.57	8.17	8.74	9.43	10.82	0.06	0.29	0.46	0.52
		1300	2.23	3.03	3.46	3.94	4.53	5.12	5.69	6.26	6.82	7.37	8.01	8.64	9.26	9.97	11.41	0.06	0.31	0.50	0.56
		1400	2.33	3.18	3.63	4.14	4.77	5.39	6.00	6.59	7.18	7.76	8.43	9.09	9.74	10.47	11.95	0.07	0.34	0.54	0.61
		1500	2.42	3.32	3.80	4.33	5.00	5.65	6.28	6.91	7.52	8.12	8.83	9.51	10.18	10.93	12.44	0.07	0.36	0.58	0.65
		1600	2.50	3.45	3.95	4.52	5.21	5.89	6.56	7.21	7.85	8.47	9.20	9.90	10.58	11.35	12.88	0.08	0.39	0.62	0.69
		1700	2.58	3.57	4.10	4.69	5.41	6.12	6.81	7.49	8.15	8.79	9.54	10.26	10.95	11.73	13.26	0.08	0.41	0.66	0.74
		1800	2.65	3.69	4.24	4.85	5.60	6.34	7.05	7.75	8.43	9.09	9.85	10.58	11.29	12.07	13.59	0.09	0.43	0.70	0.78
		1900	2.72	3.79	4.36	5.00	5.78	6.54	7.27	7.99	8.69	9.36	10.14	10.88	11.58	12.36	13.85	0.09	0.46	0.73	0.82
		2000	2.77	3.89	4.48	5.14	5.94	6.72	7.48	8.21	8.92	9.61	10.39	11.14	11.84	12.61	14.06	0.10	0.48	0.77	0.87
		2100	2.82	3.98	4.59	5.27	6.09	6.90	7.67	8.42	9.14	9.83	10.62	11.36	12.06	12.81	14.19	0.10	0.51	0.81	0.91
		2200	2.87	4.06	4.69	5.39	6.23	7.05	7.84	8.60	9.33	10.02	10.81	11.55	12.23	12.96	14.26	0.11	0.53	0.85	0.96
		2300	2.91	4.14	4.78	5.49	6.36	7.19	7.99	8.76	9.49	10.19	10.97	11.70	12.36	13.06	14.26	0.11	0.56	0.89	1.00
		2400	2.94	4.20	4.86	5.59	6.47	7.32	8.13	8.90	9.63	10.32	11.10	11.81	12.45	13.11	14.19	0.12	0.58	0.93	1.04
		2500	2.96	4.25	4.93	5.67	6.57	7.43	8.24	9.02	9.75	10.43	11.19	11.88	12.49	13.10	14.04	0.12	0.60	0.97	1.09
		2600	2.98	4.30	4.98	5.74	6.65	7.52	8.34	9.11	9.83	10.51	11.25	11.90	12.48			0.13	0.63	1.00	1.13
		2700	2.99	4.34	5.03	5.80	6.72	7.59	8.41	9.18	9.90	10.55	11.27	11.89	12.42			0.13	0.65	1.04	1.17
		2800	2.99	4.36	5.07	5.85	6.77	7.65	8.47	9.23	9.93	10.57	11.25	11.83	12.31			0.14	0.68	1.08	1.22
		2900	2.98	4.38	5.10	5.88	6.81	7.69	8.50	9.25	9.93	10.55	11.19	11.73	12.15			0.14	0.70	1.12	1.26
		3000	2.97	4.39	5.11	5.90	6.84	7.71	8.51	9.25	9.91	10.49	11.09	11.58	11.93			0.14	0.72	1.16	1.30
		3100	2.95	4.39	5.12	5.91	6.84	7.71	8.50	9.22	9.85	10.41						0.15	0.75	1.20	1.35
		3200	2.92	4.37	5.11	5.90	6.83	7.69	8.47	9.16	9.77	10.28						0.15	0.77	1.24	1.39
		3300	2.89	4.35	5.09	5.88	6.81	7.65	8.41	9.08	9.65	10.12						0.16	0.80	1.27	1.43
		3400	2.85	4.32	5.06	5.85	6.77	7.59	8.33	8.96	9.50	9.92						0.16	0.82	1.31	1.48
		3500	2.80	4.27	5.01	5.80	6.71	7.52	8.22	8.82	9.31	9.68						0.17	0.84	1.35	1.52
		3600	2.74	4.22	4.96	5.74	6.63	7.41	8.09									0.17	0.87	1.39	1.56
		3700	2.67	4.15	4.89	5.66	6.53	7.29	7.93									0.18	0.89	1.43	1.61
		3800	2.59	4.08	4.80	5.57	6.42	7.15	7.75									0.18	0.92	1.47	1.65
		3900	2.51	3.99	4.71	5.46	6.29	6.98	7.54									0.19	0.94	1.51	1.69
		4000	2.42	3.89	4.60	5.34	6.13	6.79	7.31									0.19	0.97	1.55	1.74
		4100	2.31	3.78	4.48	5.19	5.96											0.20	0.99	1.58	1.78
		4200	2.20	3.65	4.34	5.04	5.77											0.20	1.01	1.62	1.82
		4300	2.08	3.52	4.19	4.86	5.56											0.21	1.04	1.66	1.87
		4400	1.95	3.37	4.02	4.67	5.32											0.21	1.06	1.70	1.91
		4500	1.82	3.21	3.84	4.46	5.07											0.22	1.09	1.74	1.95
		4600	1.67	3.03	3.65													0.22	1.11	1.78	2.00
4700	1.51	2.85	3.44													0.23	1.13	1.82	2.04		
4800	1.34	2.65	3.21													0.23	1.16	1.85	2.08		
4900	1.16	2.43	2.97													0.24	1.18	1.89	2.13		
5000	0.97	2.20	2.71													0.24	1.21	1.93	2.17		

ANEXO (11) Tablas de catalogo SIEMENS®

HP	RPM síncrona	RPM asíncrona	Amazón	Corriente (A)			Letra de código	Eficiencia nominal %			Factor de potencia %			Par			Conexión
				en vado	plena carga	arranque		1/2	3/4	plena carga	1/2	3/4	plena carga	Nom. lb-pie	Rotor Bloq. %	Máx. %	
1	3600	3490	143T	0.8	1.4	12	K	73.7	78.3	80.0	77	86	90	1.5	280	340	Y
	1800	1745	143T	1.2	1.6	12	K	78.7	81.8	82.5	52	66	76	3.0	290	320	Y
	1200	1140	145T	1.4	1.9	9	J	76.4	78.8	80.0	42	56	62	4.6	230	290	Y
	900	860	182T	1.3	2.0	8	H	76.6	78.9	78.5	42	54	63	6.1	220	260	Y
1.5	3600	3485	143T	0.9	2.1	17	K	78.0	82.0	82.5	69	79	85	2.3	270	320	Y
	1800	1740	145T	1.5	2.3	18	K	80.7	83.5	84.0	54	67	76	4.5	290	320	Y
	1200	1160	182T	1.6	2.4	17	K	81.6	84.2	85.5	50	63	71	6.8	280	320	Y
	900	855	184T	1.9	2.7	14	H	78.0	80.4	80.0	45	58	68	9.2	220	270	Y
2	3600	3495	145T	1.2	2.6	23	K	79.9	83.2	84.0	73	83	89	3.0	270	320	Y
	1800	1735	145T	2.0	3.0	22	K	80.7	83.6	84.0	52	67	77	6.1	290	310	Y
	1200	1160	184T	2.0	3.1	23	K	84.5	86.0	86.5	50	63	72	9.1	220	300	Y
	900	865	213T	2.3	3.5	18	H	80.0	82.0	82.5	46	60	69	12	200	290	Y
3	3600	3510	182T	1.8	3.8	33	K	83.8	86.2	86.5	75	84	90	4.5	230	320	Y
	1800	1740	182T	1.9	4.1	31	K	87.5	88.0	87.5	65	76	82	9.1	260	300	Y
	1200	1165	213T	2.4	4.2	33	K	85.8	87.6	87.5	58	73	80	14	210	300	Y
	900	865	215T	3.2	4.9	27	H	82.5	84.2	84.0	48	62	71	18	190	280	Y
5	3600	3490	184T	1.9	6.1	48	J	86.5	87.8	87.5	82	89	92	7.5	260	320	Y
	1800	1730	184T	3.3	6.8	48	J	87.5	88.2	87.5	63	75	82	15	260	300	Y
	1200	1160	215T	3.5	7.1	48	J	89.0	89.7	88.5	59	71	78	23	210	300	Y
	900	865	254T	4.3	7.8	42	H	86.0	87.0	86.5	53	66	72	30	180	260	Y
7.5	3600	3515	213T	3.6	9.2	67	H	87.0	88.0	88.5	77	86	90	11	190	280	Y
	1800	1750	213T	4.4	9.9	67	H	89.0	90.0	89.5	66	77	93	23	210	270	Y
	1200	1170	254T	4.7	10	63	H	90.6	90.9	90.2	59	72	78	34	180	250	Y
	900	865	256T	6.9	13	67	H	87.0	88.0	87.5	49	61	69	46	190	260	Y
10	3600	3505	215T	4.2	13	85	H	89.0	89.8	89.5	80	89	87	15	190	260	Y
	1800	1750	215T	5.6	14	85	H	89.5	90.0	89.5	68	79	84	30	210	270	Y
	1200	1165	256T	5.2	14	78	G	91.7	91.5	90.2	65	75	80	45	170	250	Y
	900	875	284T	9.5	16	85	H	89.4	90.9	91.0	50	61	69	60	150	220	D
15	3600	3530	254T	5.2	18	121	G	88.5	90.0	90.2	84	98	92	22	190	260	Y
	1800	1760	254T	7.6	20	121	G	91.7	92.1	91.7	68	78	82	45	190	260	Y
	1200	1175	284T	10	21	121	G	91.0	91.7	91.0	57	71	77	67	160	270	D
	900	875	286T	15	24	121	G	90.1	91.4	91.0	50	60	67	90	150	220	D
20	3600	3525	256T	7.7	24	152	G	88.3	89.9	90.2	82	86	90	30	180	260	Y
	1800	1755	256T	9.5	27	152	G	92.1	92.4	91.7	67	76	80	60	190	270	Y
	1200	1175	286T	13	27	152	G	92.1	92.4	91.7	62	73	79	89	160	250	D
	900	880	324T	19	32	152	G	90.0	91.2	91.0	50	61	67	119	140	200	D
25	3600	3525	284TS	8.4	30	191	G	92.0	92.2	91.7	80	85	88	37	160	250	D
	1800	1765	284T	14	30	191	G	93.3	93.6	93.0	72	82	87	74	220	280	D
	1200	1180	324T	26	35	191	G	92.2	92.7	92.4	57	69	77	111	170	240	D
	900	880	326T	23	40	191	G	89.2	90.5	90.2	50	61	68	149	150	200	D
30	3600	3525	286TS	9.9	36	228	G	92.0	92.2	91.7	84	89	90	45	160	250	D
	1800	1765	286T	16	37	228	G	93.2	93.6	93.0	71	82	86	89	220	280	D
	1200	1180	326T	20	41	228	G	92.6	92.9	92.4	58	70	78	134	170	240	D
	900	885	364T	27	49	228	G	89.9	91.3	91.0	50	62	66	178	150	200	D

HP	RPM síncrona	RPM asíncrona	Amazón	Corriente (A)			Letra de código	Eficiencia nominal %			Factor de potencia %			Par			Conexión
				en vacio	plena carga	arranque		1/2	3/4	plena carga	1/2	3/4	plena carga	Nom. lb-pie	Rotor Bloq. %	Máx. %	
40	3600	3530	324TS	13	47	303	G	94.0	94.1	93.6	80	87	89	60	150	250	D
	1800	1770	324T	16	49	303	G	94.0	94.2	93.6	77	82	76	119	190	240	D
	1200	1180	364T	25	54	303	G	93.6	93.9	93.6	59	71	62	178	170	230	D
	900	885	365T	38	66	303	G	90.7	92.0	91.7	49	60	65	237	150	200	D
50	3600	3530	326TS	16	58	380	G	94.1	94.2	93.6	82	89	91	74	150	250	D
	1800	1770	326T	19	61	380	G	94.1	94.2	93.6	77	84	86	148	190	240	D
	1200	1180	365T	31	69	380	G	94.0	94.2	93.6	60	71	76	223	170	230	D
	900	885	404T	29	70	380	G	92.3	92.4	91.7	64	73	76	297	140	200	D
60	3600	3565	364TS	20	71	455	G	93.8	94.1	93.6	80	86	88	89	160	250	D
	1800	1775	364T	22	74	455	G	93.9	94.1	93.6	74	82	85	178	160	240	D
	1200	1185	404T	27	77	455	G	94.1	94.5	94.1	70	78	81	266	150	200	D
	900	885	405T	31	82	455	G	92.3	92.4	91.7	67	76	79	356	140	200	D
75	3600	3565	365TS	23	89	568	G	94.3	94.5	94.1	81	86	88	111	160	260	D
	1800	1775	365T	28	91	568	G	94.4	94.6	94.1	74	83	85	222	155	240	D
	1200	1185	405T	36	97	568	G	85.8	94.9	94.5	68	77	80	332	150	200	D
	900	885	444T	39	98	568	G	82.5	93.3	93.0	67	76	80	445	135	200	D

ANEXO (12) Rodamiento anti retorno



Freewheel Size	Type	Maximum torque M_M lb-ft	Nominal torque M_N lb-ft	Maximum speed Inner ring freewheels rpm	Bore d		A Inch	C* Inch	F Inch	M Inch	O Inch	Q Inch	Con- nection/ Bushing Type
					min. Inch	max. Inch							
RFB 350	C	700	350	1800	1	3.94	6	1.25	1.34	2.0	5	16.63	Shaft end mounted
RFB 450	C	900	450	1800	4	6.00	8	1.25	1.34	2.0	5	16.63	Shaft end mounted
RFB 450	QD	900	450	1800	-	-	8	1.25	1.34	0.5	3	16.63	E F J
RFB 450	Taper Lock	900	450	1800	-	-	8	1.25	1.34	0.5	3	16.63	3020 30525 2535 4030

Please contact factory for determination of section torque.

Referencias bibliográficas y virtuales

1. Mataix, Claudio. (1986). Mecánica de fluidos y maquinas Hidráulicas. Madrid: Ediciones del castillo S.A.
2. Streeter, Victor; Wylie, Benjamin; Bedford, Keith; Saldarriaga V, Juan; Santos G, German.(1999). Mecánica de Fluidos. Colombia: McGraw-Hill.
3. Giles, Ranald V; Evett, Jack; Liu, Cheng. (1994). Mecánica de los Fluidos e Hidráulica. España: McGraw-Hill.
4. Mott, Robert. (2006). Mecánica de los Fluidos. Mexico: PEARSON EDUCACIÓN.
5. Cengel, Yunus A ; Cimbala, John M. (2006). Mecánica de Fluidos Fundamentos y Aplicaciones. México: McGraw-Hill.
6. Budynas, Richard G; Nisbett, J Keith (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Mexico: McGraw-Hill.
7. Goberna, Ricardo;(19992). Ventilación Industrial. España: GENERALITAT VALENCIANA.
8. CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS; (1998). ACI IH INDUSTRIAL VENTILATION MANUAL AMERICAN . Cincinnati Ohio
9. Airs Movement and control Association;(1999) AMCA 2010 Laboratory Methods of Testing Fans for Ratings. Cincinnati Ohio
10. Introducción a la tecnología de la C.H Belisario Domínguez, la Angostura 2003.
11. Sistema de ventilación para centrales hidroeléctricas, CFE. Norma de referencia (NRF-080-CFE.2010)
12. Manual técnico Optibelt®, Correas trapeciales.
13. <http://www.soler-palau.mx/>
14. http://www.fi.uba.ar/archivos/posgrados_apuntes_CAPITULO_CALCULO_C ONDUCTOS.pdf
15. <http://www.soler-palau.mx/Formacion.php>
16. <http://www.solerpalau.es/es-es/hojas-tecnicas-acoplamiento-de-ventiladores/>