



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis de vibración y
manufactura de ventiladores en
el departamento de Ingeniería**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Juan Carlos Sandoval Baleón

ASESOR DE INFORME

Dr. Fernando Velázquez Villegas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

Agradecimientos

Los caminos de la vida ciertamente son misteriosos, cada decisión tomada tiene el potencial de definir en uno mismo aspectos que a la larga son la columna vertebral de nuestra propia persona, pero igual de importante es el impacto de las personas que nos rodean.

Somos el promedio de las personas con quienes más convivimos, y agradezco tener el apoyo y consejo de personas a quienes admiro por su inteligencia, capacidad y resiliencia.

Gracias a los profesores quienes tuvieron a bien creer en mí y me adoptaron como su pupilo, no solo en el aula sino más allá, buscando siempre inculcarme las lecciones de sabiduría que al día de hoy siguen vigentes, cuyo fin siempre fue convertirme en una mejor persona.

Agradezco a mis compañeros y amigos ingenieros, tanto dentro como fuera de la Facultad de Ingeniería, en ustedes veo reflejadas mis metas y la visión de un mejor mañana para mí y todos los míos, reconozco su amplia capacidad para enfrentar los retos que se nos presentan día con día y me enorgullece llevar conmigo el aprendizaje que ustedes me han brindado con el ejemplo.

A mi familia, no son suficientes las palabras para reflejar la gratitud que tengo para con ustedes, no hay acto que demuestre más amor que haber hecho los sacrificios necesarios para haberme brindado la oportunidad de estudiar esta carrera. Gracias por los principios y valores que inculcaron en mí, porque en la vida no basta las capacidades intelectuales, me consta que la calidad de una persona influye ampliamente para sobresalir y esto abre mas puertas de las que en un inicio podría haber imaginado.

Ahora que soy un adulto, reconozco lo difícil que es avanzar en esta vida y aún así mis padres nunca dudaron en hacer lo necesario por sus hijos, esto es un recordatorio permanente en mí de que no hay una sola excusa para no levantarse cada día y esmerarse en todo lo que se deba hacer.

Es un placer para mí ser la suma de todos y cada uno de ustedes.

Índice

Perfil de la empresa	1
Productos y servicios ofrecidos:	1
Organigrama	2
Perfil del puesto	2
Habilidades técnicas	2
Habilidades sociohumanistas.....	3
Responsabilidades	3
Proyectos desarrollados.....	3
Detección de causas de vibración.....	3
Inspección de bandas de transmisión.....	4
Diseño Hidráulico de Ventiladores.....	4
Caso de estudio: Fabricación de un ventilador tipo PLR.....	5
Elección del equipo	5
Estimación de parámetros	6
Análisis de datos	6
Elección de diseño.....	7
Fabricación	8
Aspectos a supervisar	10
Herramientas y material para la fabricación del ventilador	12
Fabricación de la carcasa	13
Fabricación del ventilador.....	14
Balanceo estático	16
Ensamble del equipo.....	19
Conclusiones y reflexiones finales	20
Bibliografía	21

Perfil de la empresa

Baltec es una empresa mexicana con más de 30 años de experiencia cuyo objetivo es brindarle sus servicios a micro, medianas y grandes empresas mediante la implementación de la ciencia, técnica y tecnología del análisis de vibración en la ventilación industrial.

La historia de Baltec comienza con el Ingeniero Jesús Moreno, quien desde su formación profesional fue parte del equipo técnico de una empresa familiar del mismo rubro, mientras que a la par se especializaba en análisis de vibración, gracias a ello, adquirió más responsabilidades, siendo él el encargado de identificar las necesidades de los clientes y diseñar los equipos, encargándose de supervisar el proceso de manufactura de dichos equipos

Todo esto sumado dio pie a que la visión de la compañía se pudiera materializar, creando a Baltec. Actualmente es una empresa consolidada y reconocida por su amplio catálogo de soluciones, así como por su capacidad de resolución de problemas en distintas áreas de la industria.

Productos y servicios ofrecidos:

- ❖ Análisis de vibraciones
- ❖ Balaceo estático y dinámico en sitio y en planta
- ❖ Diseño de ventiladores y extractores industriales de acuerdo a requerimientos de presión y volumen, fabricados en lamina negra, aluminio, acero inoxidable y fundición de aluminio, como lo son:
 - Ventilador de aspas atrasadas (PLR)
 - Ventilador de aspas rectas o radiales (GI)
 - Jaula de ardilla
 - Turbo o soplador
 - Extractor turbo axial
 - Extractor atmosférico

Organigrama

A continuación, se presenta la distribución del área técnica de Baltec Ventilación:



Perfil del puesto

El ingeniero de procesos debe ser una persona responsable, proactiva, lógica, analítica y servicial, abierta a poder ver y atacar las problemáticas desde diferentes ángulos.

Se busca que el encargado de este puesto tenga capacidad de distribuir su atención en diferentes actividades dado que la mayoría de las veces hay varios servicios y proyectos llevándose a cabo al mismo tiempo. Debe contar con una amplia capacidad de administrar correctamente el tiempo dado que es parte fundamental de que los clientes continúen su producción en muchas de las ocasiones, de igual forma se requiere de un profesional con una especialización en análisis de vibración ya que es parte del equipo encargado de identificar y proponer soluciones a los clientes.

Habilidades técnicas

- Capacidad de abstracción del problema del cliente para poder proceder al diseño de equipos considerando volúmenes y presiones
- Capacidad de identificación de los posibles factores que generan la vibración detectada en la máquina para realizar el análisis mediante su medición en velocidad.
- Conocimientos en los procesos de manufactura como lo son maquinados con torno, soldadura TIG y MIG y manejo de chapa metálica, así como mantenimiento a cojinetes y rodamientos.

Habilidades sociohumanistas

- Comunicación efectiva
- Capacidad de definición de problemas y evaluación de soluciones
- Negociación
- Asertividad

Responsabilidades

En el ingeniero de procesos recae la responsabilidad de analizar los parámetros de los equipos que serán fabricados, además de dar seguimiento a las diferentes etapas del proyecto, desde tener contacto con los clientes comprendiendo sus necesidades, hasta asegurar la calidad de los equipos fabricados. Además, el profesional debe tener la capacidad de reportar mediante informes el avance que va teniendo con cada proyecto que este a su cargo.

Este elemento es el vínculo entre el área gerencial y el equipo técnico de la empresa, ya que él es quien lleva las comunicaciones entre ambas partes, gestionando tanto las necesidades a nivel técnico e implementando la planeación que se genera en la parte administrativa, además que como ya se mencionó, también es el encargado de recabar los datos necesarios para poder ofrecer una solución efectiva a los clientes.

Proyectos desarrollados

Detección de causas de vibración

En muchas ocasiones distintas plantas solicitan servicio para los equipos de ventilación, ya sea que fueron manufacturados por Baltec o con otro proveedor.

Una de las labores que desempeñé fue la inspección y detección de los elementos tanto externos como internos que estuvieran generando o contribuyendo a inbalances en los equipos, todas estas causas dependen de factores muy diversos, algunos de ellos se listan a continuación:

- El diseño no cumple con las necesidades para un correcto desempeño, dando como resultado que las presiones de succión y descarga, caudales y volúmenes de flujo estén limitados y por ende esté siendo forzado y como resultado se estén presentando fuerzas aerodinámicas o hidráulicas indeseadas.
- Incorrecta elección del material del equipo de acuerdo a la aplicación que se desea, ya que en algunas ocasiones los gases que se transportan corroen al mismo ventilador y hay diferencias de masa respecto al eje de rotación.
- Modificaciones en las condiciones de operación, bancada, cimentación, tuberías, etc. Estos motivos pueden generar resonancia, distorsión o cambios en la alineación, condiciones de flujo, etc.
- El equipo tiene una frecuencia natural muy cercana a la frecuencia de operación.
- Elementos de sujeción sueltos o caídos dentro de la carcasa del ventilador, así como en el piso.
- Malas condiciones en: Ejes, rodamientos, cojinetes, escaleras, protecciones agrietadas, desoldadas o corroídas, acumulación de depósitos en los elementos rotativos.
- Determinar si la máquina ha operado con altos niveles de vibración durante un periodo extendido de tiempo.

Inspección de bandas de transmisión

Es lógico pensar en que después de una inspección de las condiciones del equipo, el paso siguiente sería medir sin más las vibraciones a pleno, pero vale la pena efectuar un análisis previo, empleando un estroboscopio ajustado ligeramente a RPMs más rápidas o más lentas, para observar a los elementos rotatorios desplazarse lentamente.

El objetivo que tiene esta inspección es particularmente útil para determinar problemas en las bandas de transmisión, como excentricidad en bandas y desgastes en los canales como variaciones de grosor. Si el estrobo se ajustase únicamente a las RPMs de operación estos detalles no se apreciarían dado que es como si se tuviera una fotografía instantánea de los elementos.

Diseño Hidráulico de Ventiladores

Dada la geometría de un ventilador generada por su carcasa y su rodete existe una relación entre dos de los parámetros más relevantes en su diseño y operación dadas las RPMs de operación, que son la diferencia de presiones que se debe mantener entre la entrada y la salida, y el caudal de fluido a desplazar por el equipo.

Para cada valor de diferencia de presión existe un valor de caudal definido, para un ventilador a RPMs constantes, las diferentes combinaciones de caudal-presión generan una **curva de funcionamiento**.

A continuación, se presenta un ejemplo típico de curva de funcionamiento para un ventilador, en la imagen se aprecia que a mayor volumen a desplazar la diferencia de presiones a manejar es menor y viceversa.

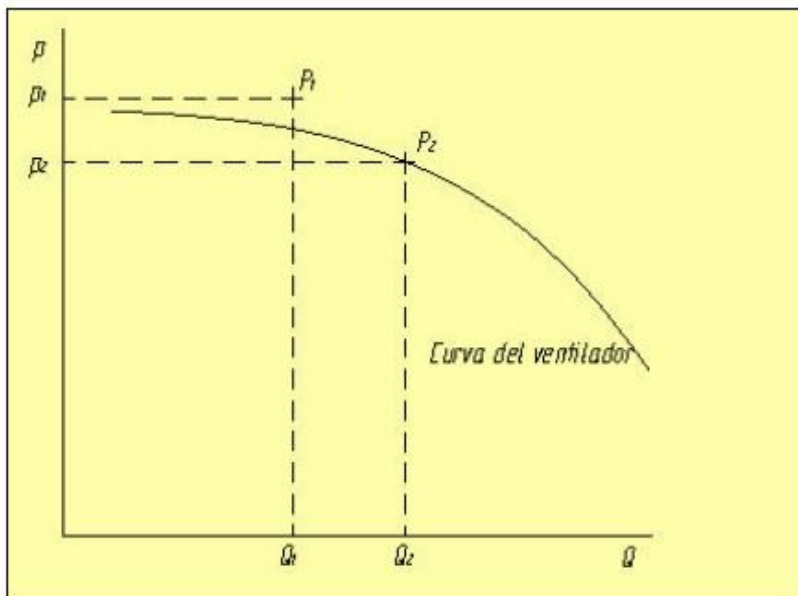


Fig. 1: Curva de funcionamiento Caudal vs ΔP .

Sin embargo, para efectos del proceso de fabricación considerando los requerimientos del cliente no se puede perder de vista que ninguno de los dos parámetros está abierto, sino que son parámetros de

operación requeridos en muchos de los casos, por lo que estamos en el caso opuesto. Por lo que la labor es buscar el ventilador cuya curva de operación incluya al punto de funcionamiento deseado.

A este proceso se le denomina Diseño Hidráulico, en donde se obtendrá la geometría de la carcasa dadas las dimensiones del rodete (diámetros internos y externo, anchura) y las RPMs con las que se debe operar.

Dentro de mis actividades estuvo el análisis de parámetros de algunos tipos de ventiladores, esto mediante cálculos generados en un banco de curvas de diseños previamente desarrollados experimentalmente por Baltec.

Caso de estudio: Fabricación de un ventilador tipo PLR

Con lo explicado previamente se describirá la dinámica de trabajo aplicada para resolver el caso descrito a continuación:

- El cliente requería desalojar el aire dentro de una cámara de pintura de autos.
- Las dimensiones del espacio son de 10 [m] de largo x 7 [m] de ancho x 3 [m] de alto.
- El cliente ya contaba con un motor WEG W22 de 5 HP.

Para la elección del equipo a fabricar se deben reconocer los requerimientos y el tipo de ambiente en el que estará trabajando:

- Aire con partículas suspendidas: El fluido de trabajo contiene lo que llegamos a percibir como un polvo fino debido a la pintura.
- Volumen a desplazar medio: Considerando las dimensiones de la cámara y que su uso por parte del cliente es regular y no se extiende durante toda una jornada laboral, no se requiere desplazar un caudal alto, sino más bien medio.
- No se requiere una diferencia de presión alta, pero la suficiente para poder desalojar el aire.

Elección del equipo

Dadas las condiciones y observaciones anteriores se decidió dar como solución un ventilador tipo PLR o de aspas atrasadas. Las bondades de este de equipo se listan a continuación:

- Presión y caudal de operación considerable (Diferencia de presión estática: 1.7 - 2.7 [kPa] y Caudal: 400-2500 [m³/h])
- Especialmente útiles para la extracción o inyección de aire, gases y humo
- Bajo consumo energético
- Bajos niveles de ruido



Fig 2. Ejemplo de Ventilador PLR.

Estimación de parámetros

Previamente se describieron las dimensiones de la cabina, por lo que en su interior se tiene un volumen de $210 [m^3]$ y con las condiciones de operación que describió el cliente, se decidió que el aire se esté renovando en su totalidad a una tasa de 2 veces por hora, por lo que $Q=420 [m^3/h]$.

En cuanto a la diferencia de presión que se tendrá en el equipo será de $2.5 [kPa]$, los cuales son suficientes para poder desplazar las partículas suspendidas en el aire.

Análisis de datos

Con los datos recabados, junto con las consideraciones expuestas previamente, el siguiente paso es vaciar los datos en hojas de cálculo desarrolladas experimentalmente por Baltec, la entrada de datos de caudal es en $[m^3/h]$ y diferencia de presión $[kPa]$.

Se tiene una base de datos que incluye una gran cantidad de diseños desarrollados previamente, en donde se tienen los datos de diversas curvas de funcionamiento (ΔP vs Q), las cuales mediante tablas dinámicas filtran puntos específicos de las mismas y arrojan como resultado una serie de diseños factibles que cumplen con los requerimientos ingresados del punto de operación.

En las tablas de resultados se obtiene una tabla que ofrece tres datos:

1. Relación adimensional entre diámetro interior (D_0) y exterior (D_2) de rodete: D_0/D_2
2. Diámetro exterior D_2 en $[mm]$
3. Velocidad de giro en $[RPM]$

A continuación, se muestra el tablero donde se ingresan los datos y la tabla de diseños factibles obtenidos:

Parámetros Ventilador PLR	
Caudal [m ³ /h]	Diferencia de presión [kPa]
420	2.5

Limpiar datos
Comenzar búsqueda

Tabla 1: Tabla de ingreso de datos para ventilador tipo PLR con caudal de 420 [m³/h] y diferencia de presión de 2.5 [kPa].

Diseños Ventilador PLR		
Caudal requerido [m ³ /h]	420	
Diferencia de presión [kPa]	2.5	
D0/D2	Diam. Ext. D2 [in]	Velocidad de giro [RPM]
0.063	20.5	1815
0.086	21	1800
0.107	21.5	1795
0.127	22	1780
0.200	24	1750
0.262	26	1690

Tabla 2: Tabla de diseños factibles de ventilador tipo PLR con caudal de 420 [m³/h] y diferencia de presión de 2.5 [kPa].

Elección de diseño

A partir de este punto cobra mucha más relevancia el análisis de estos datos, ya que no solo es un diseño el que puede ser implementado, sino que hay varios que cumplen con lo requerido, en nuestro caso 6 concretamente.

Algunos de los puntos a considerar para la elección de diámetro del rodete y rapidez de giro son los siguientes:

- Precio del material a usar en el rodete y carcasa: Dependiendo de la aplicación que tenga el equipo será la elección del material, ya que este ventilador puede estar en un horno con atmósfera corrosiva, trabajar con gases de combustión o aire atmosférico por mencionar algunas posibilidades, por lo que se procura ofrecer una solución con la mejor relación costo-beneficio.
- Espacio limitado en las instalaciones donde el equipo será implementado: En algunas ocasiones, los ventiladores deben poderse adecuar a instalaciones o equipos que no pueden modificarse invasivamente por temas de garantía o limitaciones de espacio, por lo que la implementación debe tener la virtud de adaptarse, lo que llega a condicionar el espacio disponible.

- Niveles de vibración/ruido permisibles: Este es un factor que a la larga es relevante ya que, si bien el equipo es instalado con un balanceo estático y dinámico, previamente y una vez instalado respectivamente, el equipo llegará a presentar vibración por diversas razones, por lo que las revoluciones en las cuales operará tendrán un impacto directo en las vibraciones generadas. Además de que se debe tener bien presente la NOM-024-STPS-2001, que es la norma que regula los niveles de vibración permisibles.
- RPMs de operación requeridas por el cliente: En algunas ocasiones puede que el cliente ya cuenta con un motor que haga actuar al ventilador, por lo que el diseño llega a estar condicionado por este factor.

Si recordamos la información inicial del caso de estudio, el último punto mencionado es que el cliente ya contaba con un motor WEG W22 de 5 HP, por lo que hay que revisar la información que provee el fabricante para ver si es factible acoplarlo con alguno de los diseños disponibles de ventilador PLR.

Potencia	Carcasa	Par nominal Tn (Nm)	Corriente con rotor trabado Ii/In		Par de arranque Ta/Tn	Par máximo Tm/Tn	Inercia J con rotor trabado (kgm ²)	Tiempo máx. (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	460 V						Corriente nominal In (A)	
			Letra	Ia/In				Caliente	Frio				% de la potencia nominal			Factor de potencia				
													50	75	100	50	75	100		
1	0,75	143/5T	3,99	L	8,4	3,2	3,5	0,0049	18	40	18,5	51,0	1760	80,0	84,0	85,5	0,55	0,68	0,75	1,47
1,5	1,1	143/5T	6,00	L	8,4	2,5	3,4	0,0060	14	31	22,0	51,0	1755	82,5	85,5	86,5	0,60	0,70	0,79	2,02
2	1,5	143/5T	8,03	K	8,0	2,7	3,2	0,0066	11	24	23,0	51,0	1750	85,5	86,5	86,5	0,57	0,70	0,79	2,76
3	2,2	182/4T	12,0	K	8,1	2,3	3,4	0,0143	23	51	41,0	56,0	1760	87,5	88,5	89,5	0,61	0,73	0,79	3,91
5	3,7	182/4T	20,0	J	7,5	2,3	3,2	0,0169	15	33	43,0	56,0	1755	88,5	89,5	89,5	0,62	0,74	0,80	6,45
7,5	5,5	213/5T	29,9	H	7,1	2,2	3,1	0,0566	20	44	70,0	58,0	1765	89,5	91,0	91,7	0,66	0,76	0,82	9,18
10	7,5	213/5T	39,8	H	6,4	2,0	3,0	0,0637	17	37	78,0	58,0	1765	91,0	91,7	91,7	0,66	0,77	0,83	12,4
15	11	254/6T	59,7	G	6,4	2,3	2,7	0,1104	17	37	114	64,0	1765	91,0	91,7	92,4	0,68	0,78	0,83	18,0
20	15	254/6T	79,6	H	6,9	2,3	2,7	0,1305	15	33	132	64,0	1765	91,7	92,4	93,0	0,68	0,79	0,84	24,1
25	18,5	284/6T	99,5	G	6,2	2,4	2,7	0,2153	24	53	176	64,0	1765	92,4	93,0	93,6	0,70	0,80	0,84	29,5

Tabla 3: Tabla de parámetros de operación de motores WEG serie W22.

Si se observa la tabla no. 3, podemos encontrar los datos técnicos del motor de 5 HP, se aprecia que las revoluciones que ofrece son de 1755 [RPM], por lo que hay que volver a la figura no. 4 para revisar si hay algún diseño se ajuste a estas prestaciones.

Basado en todo lo desarrollado, se puede elegir el siguiente diseño y con ello pasar con el equipo técnico para darle seguimiento a su fabricación:

- **Revoluciones: 1750 [RPMs]**
- **Diámetro exterior: 24 [in]**
- **D0/D2=0.2**
- **Diámetro interior= 4.8 [in]**

Fabricación

Dado que se tienen los planos de los diseños disponibles, basta con indicar los parámetros obtenidos en una ficha junto con la información del cliente para proceder a su fabricación.

Ya que los diseños son propiedad de Batlec, los planos son información confidencial, sin embargo, a continuación, se presenta un ejemplo de ventilador PLR de aluminio, el cual ejemplifica muy bien la forma en la que el equipo técnico debe manejar la información del pedido:

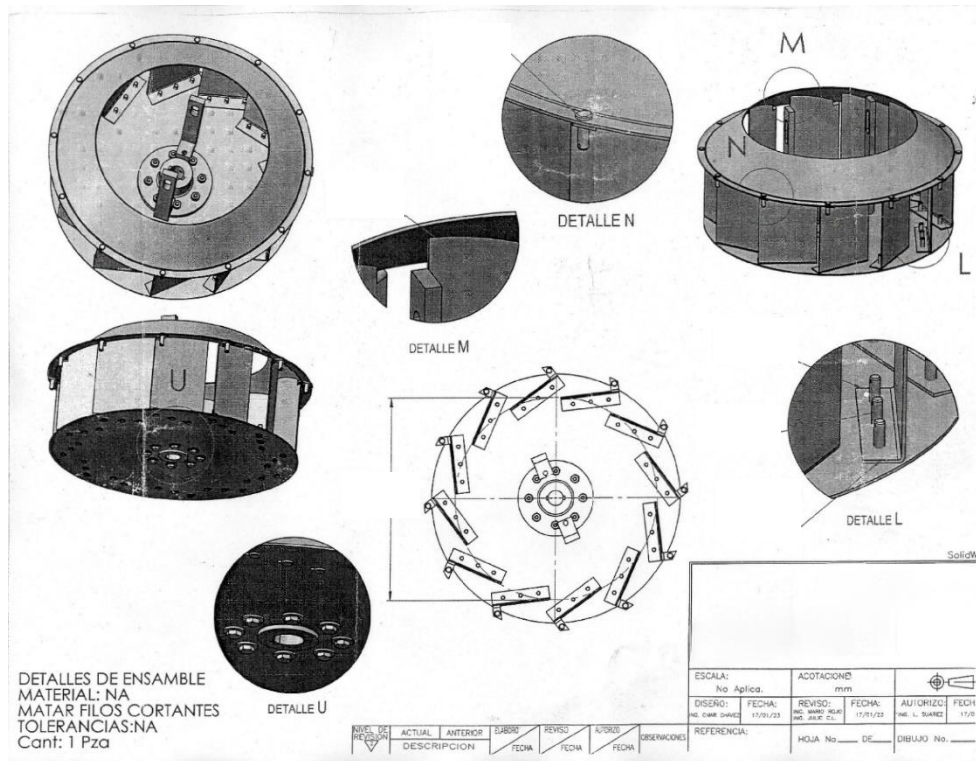
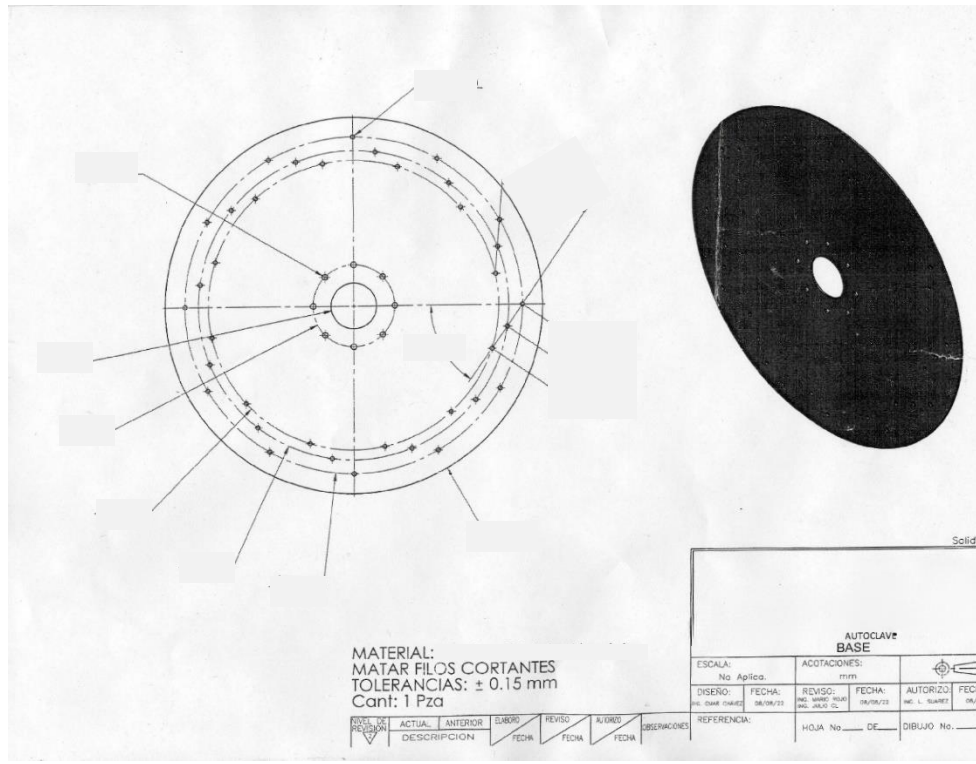


Fig. 3: Plano y detalle de ventilador tipo PLR de aluminio.

Aspectos a supervisar

Hay una serie muy grande de factores a considerar en la fabricación de los equipos, pero todos tienen el mismo propósito, asegurar o tratar lo más posible de que la distribución de masa respecto al centro de giro del ventilador sea homogénea.

Para este caso particular, las RPMs de operación son 1700, lo que significa que en caso de tener puntos pesados en el equipo se estarían generando al menos 1700 golpes por minuto sobre los soportes o rodamientos.

También se debe considerar el efecto de la multiplicidad en la vibración, ya que puede suceder que se generen vibraciones asociadas a múltiplos de las RPMs debido a más de un punto pesado. Por ejemplo, si se tienen 3 puntos al hacer el balanceo dinámico podríamos hacer una correlación entre la frecuencia de la misma con el triple de las RPMs, pudiendo ser de 5100 golpes por minuto (1700×3).

Por este motivo se deben cuidar aspectos como los listados a continuación:

- Correcta elección del amperaje al soldar: Tiene un impacto directo en la temperatura del material y una elección incorrecta puede hacer que el plato se pandee.
- Orden con el que se sueldan o remachan las aspas: Se debe asegurar de que las aspas se instalen en forma de cruz o encontradas, si estas se encuentran muy cerca una de la otra en caso de soldar, podemos elevar la temperatura de una zona específica más de lo deseado, lo cual, de nuevo, no es deseable porque puede generar deformaciones o “torceduras”. En el caso de emplear remaches la dinámica no cambia, ya que se usan en aluminio, si bien no hay cambios en la temperatura, es común que al usar la remachadora el plato pueda torcerse y al hacerlo de manera encontrada se promueve que la rigidez del ventilador se incremente de manera homogénea durante el proceso.
- Tamaño homogéneo de los cordones de soldadura: Esto directamente genera puntos pesados o zonas con mayor masa, lo que implica una mayor inversión en tiempo y recursos al momento de balancear.

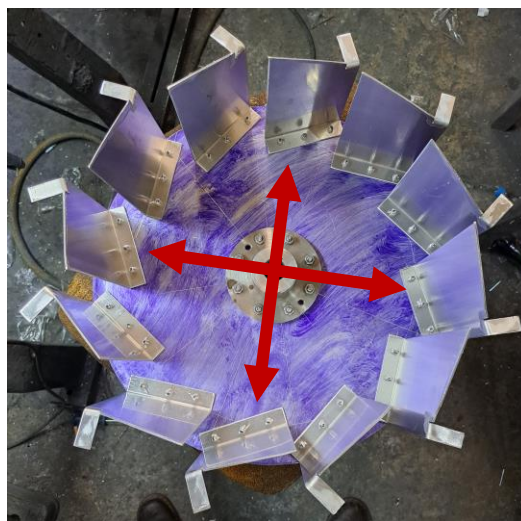


Fig. 4: Ejemplo de instalación de aspas en el plato de operación de un PLR de aluminio



Fig. 5: Ejemplo de inspección de cordones de soldadura

Es visible en la figura no. 5 que hay zonas en las cuales el cordón de soldadura deja de ser homogéneo.

Como se mencionó, estas variaciones si bien no comprometen la integridad o el desempeño del ventilador (al menos en este caso), si representan una variación en cuanto a la masa de ciertas zonas respecto al eje de rotación, lo que rompe con la idealización de que la densidad es constante.

Esto depende completamente de la habilidad y experiencia del técnico soldador que esté en turno, por lo tanto, se evidencia la relevancia y la necesidad del balanceo de los equipos al final del proceso de manufactura, además del impacto que tiene el cuidado invertido (o no) en todos los aspectos alrededor de la fabricación.

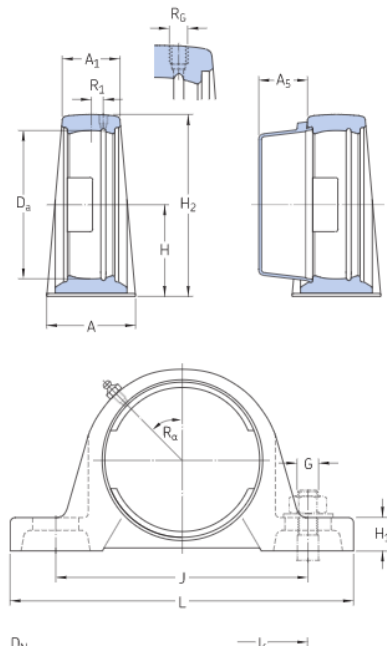
Herramientas y material para la fabricación del ventilador

- Material: Lamina de acero al carbón calibre 12
- Corte de platos empleando nibladora
- Corte de aspas empleando cizalla
- Roladora para componentes de la carcasa
- Soldadura: Microalambre a 20.1 [A]
- Soporte de rodamiento SKF modelo SY 509 M



Fig. 6: Nibladora empleada para cortes circulares. Fig. 7: Soporte de pie de rodamiento empleado para el PLR del caso de estudio.

En cuanto a la elección de soporte de rodamiento se empleó la mostrada en la figura no. 7, por dos motivos, uno, que el diámetro de la flecha que se empleará es de $3\frac{3}{8}$ [in] y por otro, que tanto la experiencia como la ficha técnica especifican que esta ofrece un alto grado de rigidez y capacidad de soporte de cargas pesadas. Se muestran a continuación las dimensiones de la misma:



Dimensiones

D_a	3.346 in	Diámetro del asiento esférico
A	1.89 in	Ancho de la base
A_1	1.26 in	Ancho superior
A_5	1.043 in	Parte que sobresale de la tapa lateral
H	2.126 in	Altura del centro del asiento esférico
H_1	0.827 in	Altura del pie
H_2	4.213 in	Altura total
J	5.65 in	Distancia entre los tornillos de fijación
J	max. 5.984 in	Distancia entre los tornillos de fijación
J	min. 5.315 in	Distancia entre los tornillos de fijación
L	7.362 in	Longitud total
N	0.551 in	Ancho del agujero del tornillo de fijación
N_1	0.886 in	Longitud del agujero del tornillo de fijación

Fig. 8: Ficha técnica del soporte de rodamiento SKF modelo SY 509 M

Fabricación de la carcasa

De acuerdo al diseño existente, la secuencia para la manufactura del caracol o carcasa fue el siguiente:

1. Corte de material
2. Rolado de la lamina
3. Soldadura de las tapas al cuerpo
4. Generación de la salida para la flecha empleando sacabocados
5. Fabricación de la base y barrenado de la misma para la posterior instalación de la base del rodamiento
6. Soldadura de la carcasa a la base
7. Instalación de correderas





Fig. 9: Proceso de fabricación de la carcasa del ventilador PLR

Fabricación del ventilador

La secuencia de fabricación del ventilador fue la siguiente:

1. Corte de aspas, plato, aro y anillo exterior.
2. Trazo de geometrías de referencia en el plato entintado
3. Ensamble del buje al plato
4. Fijación de las aspas mediante puntos de soldadura

5. Revisión y rectificación de la posición de las aspas empleando escuadra
6. Punteado del aro a las aspas
7. Aplicación de cordones de soldadura en ambos lados de las aspas
8. Soldadura del anillo exterior
9. Detallado y eliminación de los filamentos de los bordes del ventilador

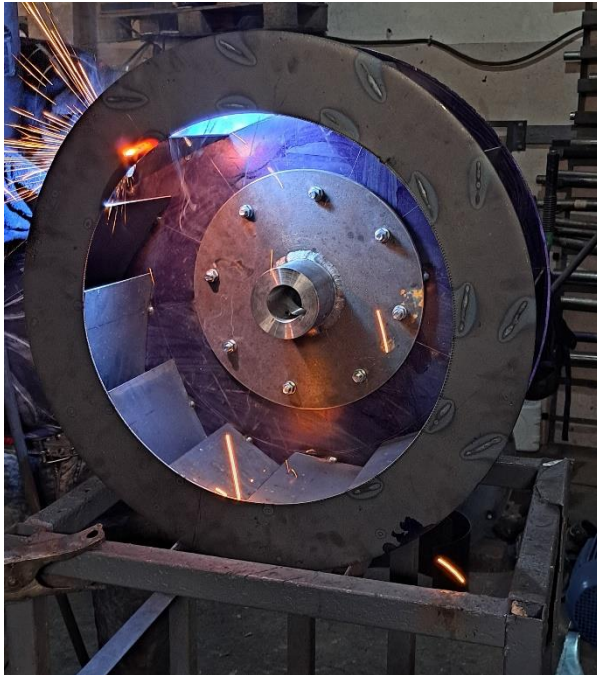
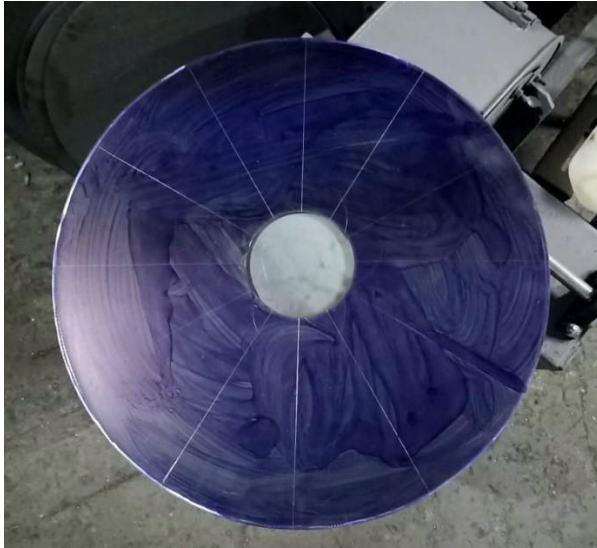




Fig. 10: Proceso de fabricación del ventilador PLR

Balanceo estático

Una vez teniendo el equipo listo en términos de su manufactura, se debe hacer un balanceo estático, el objetivo de este es la eliminación de puntos pesados dentro del ventilador mediante la adición de contrapesos en zonas o puntos estratégicos, previamente se han comentado algunos de los motivos y la relevancia de este procedimiento.

Primeramente, se debe determinar el tipo de contrapesos que se usarán para balancear, mediante grapas, tornillos o soldadura de contrapesos.

El balanceo por tornillos y grapas es más frecuente cuando se está en campo y no se cuenta con equipo para soldar, en caso de estar en taller, sin problema se puede echar mano del equipo necesario para soldar directamente los contrapesos.

En caso de que los ventiladores lleguen a estar sometidos a temperaturas altas, lo más recomendable es no usar las grapas, ya que estas al estar colocadas a presión, pueden dilatarse y caerse al fondo de la carcasa, por lo que nos quedaría la soldadura de contrapesos o uso de tornillos.

Diferencias en la instalación:

- Con tornillería no se requieren más que los contrapesos y un taladro con las respectivas brocas. Estos son colocados en barrenos generados en las aspas.
- Con grapas, estas solo se colocan a presión en las aspas, estas están hechas de tal forma que el gas que pasa a través del ventilador las mantiene en posición.

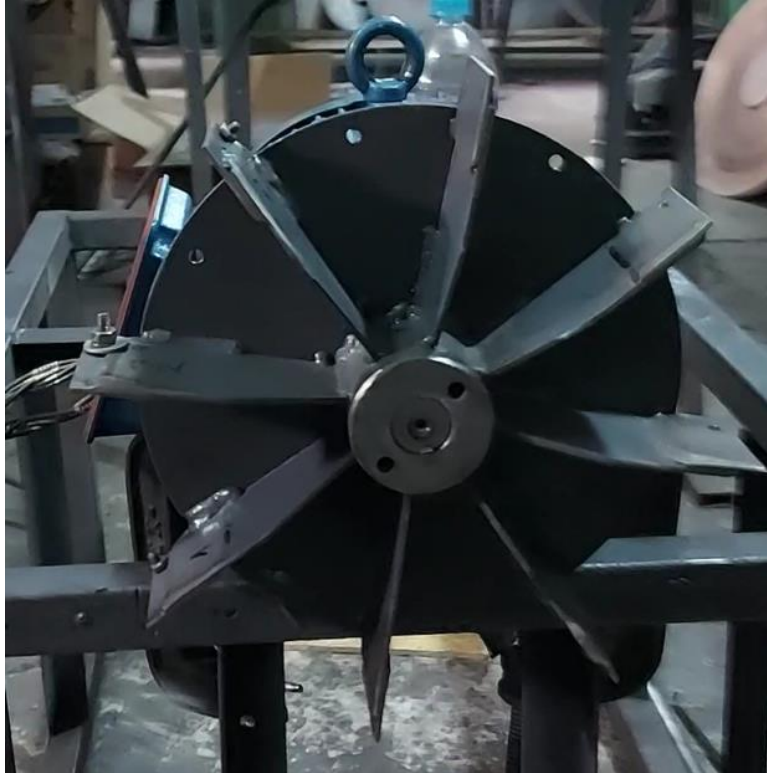


Fig. 11: Ejemplo de un ventilador tipo GI balanceado con tornillos.

La secuencia del balanceo estático, es la que se describe a continuación:

1. Se acopla una flecha al ventilador (de preferencia la del propio equipo)
2. Se prepara el banco de pruebas, el cual consiste en dos soportes previamente nivelados, los cuales permiten girar libremente a la flecha del ventilador
3. Tras colocar el ventilador, se presta atención en la dirección radial hacia la cual tiende a girar naturalmente, una vez pasado el punto pesado, el ventilador tiende a girar ahora en sentido contrario, esto se repite hasta que se queda estático.
4. Se marca el punto en el plato del equipo
5. Prueba de contrapeso(s) en aspas o en el plato con plastilina. En este paso se puede jugar con el momento generado respecto al eje de giro y los pesos utilizados, ya que en ocasiones (en campo generalmente) no se cuenta con el peso específico para solo usar un contrapeso, por lo que podemos dividir la masa total y colocarlos de manera que el momento resultante sea el mismo.
6. Una vez obtenida la configuración de contrapesos adecuada, se prueba que el ventilador se quede estático en cualquier posición radial en la que se le coloque.
7. Si ya no se detecta tendencia de giro querrá decir que el ventilador ya está balanceado, en caso contrario se debe iterar a partir del punto número 5 hasta que se alcance el equilibrio.



Fig. 12: Balanceo estático del ventilador PLR

El ventilador tipo PLR fue balanceado estáticamente mediante la metodología ya descrita, empleando un contrapeso de 40 [gr] soldado en la parte más alejada del plato respecto al eje de rotación (figura no. 12). Dado que hubo una correcta ejecución en la manufactura no hubo mayor complicación, agilizando el tiempo de esta operación.

Ensamble del equipo

Después de todos los pasos descritos previamente se procedió a pintar todos los componentes y posteriormente se colocó el motor, bandas, soportes de rodamientos, flecha, motor, ventilador y tapa, concluyendo con el proceso de manufactura del ventilador PLR y estando listo para su instalación en la cabina de pintura.



Fig. 13: Ensamble final del ventilador PLR

Conclusiones y reflexiones finales

Muy al inicio de mi formación en la Facultad de Ingeniería me dijeron una gran verdad que años después corroboraría: Ustedes como alumno vienen a adquirir conocimientos que poco a poco irán sumando a un maletín lleno de herramientas, las cuales tendrán a disposición para enfrentar los problemas que se les presenten en el futuro.

Actualmente sumaría que no solo son herramientas las que se poseen al final del camino, también se desarrolla en el alumno un criterio que busca siempre los motivos necesarios para sustentar la mayoría de decisiones que se deben tomar durante el ejercicio de la labor profesional, esto junto a los conocimientos, hacen la diferencia entre el personal técnico y el de ingeniería.

Ciertamente es abrumador enfrentar la realidad del mundo laboral tras concluir los estudios, difícilmente uno cuenta con todo lo necesario para cupar un cargo de ingeniería al inicio, pero pasado un poco el tiempo me di cuenta que ese no fue el objetivo de mi formación, sino que durante esos 5 años se fomentó mi propia capacidad de aprendizaje y adaptabilidad para enfrentar retos de los cuales no tenía un precedente.

La labor de un ingeniero jamás será sencilla y lo comprobé en mi estancia en Baltec. Dentro de lo que se espera del profesional está la entrega de todas nuestras capacidades para un alto desempeño y adaptabilidad, lo cual me amplió el panorama en cuanto a la forma en la que se trabaja dentro de la facultad al dar especial relevancia a que como alumnos busquemos el mejor desempeño posible, al final del día, allá afuera esa es una de las claves que permite abrir puertas en cuanto a lo laboral.

Como recomendación al plan de estudios, diría que hoy en día es fundamental que todo ingeniero tenga noción de diferentes lenguajes de programación y más software, no viéndolo únicamente como un apoyo al aspecto teórico, sino que tuvieran el mismo peso, ya que es una tendencia actual que en muchas compañías sean útiles estos recursos al tener la necesidad de automatizar una infinidad de procesos en las diferentes cadenas de producción, indistintamente del tipo de negocio que sea.

Agradezco y valoro ampliamente mi formación como ingeniero, ya que con todas las ideas descritas previamente el día de hoy me siento como una persona preparada y capaz de enfrentar retos mucho más grandes a nivel profesional, confiando en mis capacidades. En este camino, como en la vida, nunca se deja de aprender y es valioso viajar libre de la idea de que ya lo sabemos todo porque esto permitiría que nuestro arsenal de herramientas siga creciendo día con día.

Bibliografía

- *Ahorro energético en accionamientos de velocidad variable* (1.^a ed., Vol. 1). (2018). Universidad de Sevilla.
- *Ventiladores y sopladores: Propulsores motorizados y sopladores centrífugos* (1.^a ed., Vol. 1). (2012). Soler&Palau.
- *W22: Motor Trifásico* (1.^a ed.). (2017). WEG - Unidad Motores.
- *SY 509 M: Soporte de pie para rodamientos de inserción, fundición, normas ISO* (1.^a ed.). (2016). SKF.
- *Hojas técnicas clasificación de ventiladores – S&P.* (s. f.). <https://www.solerpalau.com/es-es/hojas-tecnicas-clasificacion-de-ventiladores/>
- *Ventilador centrifugo de aspas atrasadas.* (s. f.). Ventiladores Industriales Ventiladores de gravedad. <https://www.ventilacionindustrialifm.com.mx/nuestros-productos/ventiladores-centr%C3%ADfugos/vent-set-cm-cma/>