

Diseño de una centrífuga para aceite usado vehicular

Recibido: agosto de 2011
Arbitrado: octubre de 2011

E. Delgado*, J. Parra**, W. Aperador***

Resumen

En este trabajo se construyó una centrífuga para aceite usado vehicular con el objeto de separar componentes sólidos y líquidos basado en la diferencia de densidades. En este proceso se separan las partículas más densas del aceite vehicular usado, obteniendo así aceite con menor cantidad de impurezas sólidas, con el propósito de ser usado en aplicaciones de combustión. El aceite luego del tratamiento se caracteriza con el contenido de cenizas resultante de la combustión. Como resultado se obtiene que el centrifugado de aceite es efectivo ocasionado por su velocidad angular y la respuesta del dispositivo a la eliminación de material particulado.

Palabra claves

Centrífuga, purificación, aceite.

Abstract

In this paper we built a vehicle used oil centrifuge in order to separate solid and liquid components based on the difference of densities. In this process, more dense particles are separated from the carrier oil used, thus obtaining less oil with solid impurities, for the purpose of being used in combustion applications. The oil is characterized after treatment with the ash resulting from combustion. The result was that the oil is effective spin caused by the angular velocity and the device's response to the removal of particulate matter.

INTRODUCCIÓN

Los aceites lubricantes tienen aplicaciones en la industria. Este es requerido para proteger los equipos del

desgaste, reducir la fricción y disipar el calor. Tiene una composición de una base lubricante y aditivos, los cuales cumplen una función química dependiendo de varios requerimientos: estos aditivos incluyen modificadores de fricción, de extrema presión, agentes antidesgaste, antioxidantes, detergentes dispersantes, inhibidores de corrosión. (1). Estos compuestos se someten a cambios químicos, y se contaminan con elementos sólidos durante su funcionamiento, esto disminuye la capacidad de lubricación del aceite y se convierte en un reto para la industria eliminar estos contaminantes (2,3,4).

Dependiendo del tamaño de las partículas se pueden separar por sedimentación o por centrifugación. La centrifugación es un tratamiento secundario físico que es más eficaz que la separación por fuerza gravitacional. Con este tratamiento se requiere menos espacio y se disminuye el tiempo de operación.

Para el presente desarrollo se utiliza aceite usado tipo automotriz una centrífuga de altas velocidades de aproximadamente 25000 rpm.

* Ingeniería Mecatrónica, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia

** Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

*** Ingeniería Mecánica, Universidad Libre

MARCO TEÓRICO

La propuesta se basa en aprovechar el principio de funcionamiento de la acción de la masa cuando está sometida a altas velocidades que permite la separación del material suspendido en el aceite por la variación de la masa, colocando en rotación una muestra para separar por fuerza centrífuga sus componentes sólidos de los líquidos. En este caso se busca separar las partículas del aceite obteniendo así una muestra con baja concentración de impurezas sólidas. El material particulado, de mayor densidad que el aceite, tiende a moverse en dirección opuesta a la fuerza de centrifugado, y se separa cuando llega al fondo del recipiente.

La fuerza que imprime a la mezcla un movimiento rotatorio con una fuerza de mayor intensidad que la gravedad, provocando la sedimentación del sólido o de las partículas de mayor densidad. Todas las partículas, por poseer masa, se ven afectadas por cualquier fuerza (origen de una aceleración).

La fuerza centrífuga es la que tiende a alejar los objetos del centro de rotación mediante la velocidad tangencial, perpendicular al radio, bajo un movimiento circular. La fuerza centrífuga es una de las fuerzas ficticias que parecen actuar sobre un objeto cuando su movimiento se describe según un sistema de referencia en rotación. La fuerza centrífuga surge cuando analizamos el movimiento de un objeto desde un sistema de referencia no inercial, o acelerado, que describe un movimiento circular uniforme. La fuerza centrífuga será el producto de la masa por la aceleración centrífuga, en un sistema de referencia no inercial. Fuerza centrípeta: Se llama así a la fuerza que tira de un objeto hacia el centro de un camino circular mientras que el objeto sigue dicha

trayectoria a una rapidez constante (siendo la rapidez la magnitud de la velocidad) (5).

Las partículas que se encuentran en suspensión presentan unas fuerzas atómicas microscópicas las cuales dependen de su proceso de incorporación en la matriz, esto es la dispersión y la distribución. Las fuerzas de cohesión que se presentan entre las partículas hace que estas aumenten de tamaño, formando aglomerados que facilita la separación por fuerzas centrifugas (6). Para ello, se aplica un fuerte campo centrífugo, con lo cual las partículas tenderán a desplazarse a través del medio en el que se encuentren con la aceleración G (7) la cual se calcula por medio de:

$$G = \omega r^2 \text{ Ec. 1}$$

De donde:

G =Aceleración de la centrifuga (m/s²)

ω =Aceleración angular (rpm)

r =Radio medido desde el centro de giro (m)

De esta forma, para el diseño propuesto, la aceleración de la centrifuga estaría dada por:

$$G = 25000 \text{ rpm} * 2 * \frac{\pi}{60} * (0.0254 \text{ m})^2$$

$$G = 168.9 \text{ m/s}^2$$

Todas las partículas suspendidas en un líquido tienden a separarse espontáneamente, en función del tiempo de una forma natural, por acción de un fenómeno llamado sedimentación, debido a la gravedad terrestre. Un soluto suspendido en un líquido por acción de la gravedad terrestre se separa y pasa a ocupar el fondo del recipiente que la contiene, quedando el líquido en la parte superior.

Algunos de los principios básicos en la teoría de la sedimentación se derivan de la Ley de Stokes. Para simplificar el problema se suele considerar que las partículas a aislar son esferas; cuando éstas se encuentran en un campo gravitacional y alcanzan una velocidad constante, la fuerza neta sobre cada esfera es igual a la fuerza de resistencia que opone el líquido a su movimiento. En este caso particular de la ley de Stokes se comprueba que:

- -La velocidad de sedimentación de cada partícula es proporcional a su tamaño
- -La velocidad de sedimentación es proporcional a la densidad de la partícula y a la del medio
- -La velocidad de sedimentación es nula cuando ambas densidades se igualan
- -La velocidad de sedimentación disminuye al aumentar la viscosidad del medio.
- -La velocidad de sedimentación aumenta al aumentar el campo de fuerza.
- Si las partículas están cayendo verticalmente en un fluido viscoso debido a su propio peso puede calcularse su velocidad de caída o sedimentación igualando la fuerza de fricción con la fuerza de gravedad.

$$V = \frac{2 * r^2 * g * (\rho p - \rho f)}{9 \eta} \text{ Ec. 2}$$

Donde:

V es la velocidad de caída de las partículas (velocidad límite)

g es la aceleración de la gravedad

p es la densidad de las partículas

f es la densidad del fluido.

n es la viscosidad del fluido

El cálculo para el diseño que se implementó, tenemos:

$$V_s = \frac{2 * 0.0254^2 * 9.81 * (920 - 1.4)}{9 * 0.391} = 0.03 \text{ m/s}$$

I. DISEÑO DE LA CENTRÍFUGA

Las partículas de hollín son de tamaño sub-micrón y son duras aumentando el desgaste. Altos niveles de hollín en el aceite lubricante han demostrado ser responsables para un desgaste acelerado de componentes críticos del motor como son la camisa y el pistón que están en constante movimiento y necesariamente deben ser lubricados. Filtros tradicionales de flujo total y flujo parcial no son capaces de remover las partículas de hollín porque dichas partículas son finas, de tamaños micrométricos, que no pueden

ser capturadas por los medios filtrantes. Por eso en este diseño se busca evaluar el desempeño de la separación por medio de la centrifugación a altas velocidades.

Al tratar el aceite con esta técnica se obtienen las siguientes mejoras: aceite más limpio; extensión de la vida útil del aceite; prolongación de los intervalos de cambio; reducción del desgaste del motor; mejora las condiciones del mantenimiento preventivo a largo plazo; reducción de costos de mantenimiento; disminución de los costos de los desechos; descenso de los tiempos de los paros de vehículos/motores/maquinaria por mantenimiento; mejora la combustión ya que es más limpia y rápido retorno de la inversión.

Esta propuesta, construye una centrífuga de aceite, que tienen diversas aplicaciones en el ámbito industrial. Las centrífugas de aceite son reconocidas por una filtración superior en flujo parcial removiendo contaminantes del aceite lubricante de motores diesel. La misma tecnología también puede usarse exitosamente para limpiar el aceite en cajas de velocidad, fluidos hidráulicos y otros fluidos industriales. Estos equipos proveen su tecnología a varios sectores del mercado (8).

Las centrífugas limpian el aceite generando una fuerza centrífuga 2.000 veces mayor que la gravedad. Ha sido comprobado (8) que esta tecnología remueve contaminantes hasta el nivel de sub-micrón, lo que es beneficioso tanto para los fabricantes de motores como para los usuarios.

Existen diversos tipos de centrífugas, cada una para objetivos muy específicos (9). Una manera de clasificarlas es según la densidad del fluido que separe y otra de acuerdo al mecanismo de funcionamiento.

Centrífugas de pantalla; donde la aceleración centrífuga permite que el líquido pase a través de una pantalla o filtro de algún tipo, por el que los sólidos no pueden cruzar (debido a que la granulometría, o la aglomeración, del residuo es más grande que el espacio de la pantalla). Los tipos más comunes basados en los accionamientos son: Centrífugas Pusher, Centrífugas Peeler y Centrífugas Decanter; en esta última no hay separación física entre la fase sólida y líquida, sino una suspensión. Los tipos más comunes son las Centrífugas de tazón sólido y centrífugas de plato cónico.

A nivel internacional existen muchas empresas dedicadas al diseño y manufactura de maquinaria centrífuga para la separación de diferentes sustancias. Por citar un ejemplo, la empresa MANN+HUMMEL, se dedica a la Filtración de aceite de alto rendimiento en flujo parcial. Uno de sus diseños es la centrífuga FM090. Esta es apta para flujos de 15 a 90 litros, con capacidad de almacenamiento de contaminantes de 0.9 litros, cabida de aceite en el rotor 1.125 litros, diámetro interno mínimo de la manguera de entrada del aceite de 9.5 mm, diámetro mínimo de la manguera de salida del aceite 38 mm, el peso neto de la centrífuga FM090 es 3.5kg

En este equipo el aceite es bombeado a la centrífuga con la presión de la bomba de aceite. El rotor se llena completamente de aceite presurizado que después sale por dos toberas tangenciales opuestas ubicadas en la base del rotor. Esto causa la rotación del rotor generando la fuerza centrífuga dentro del rotor (9). Las centrífugas de aceite de flujo parcial han demostrado ser eficientes en la remoción de hollín. Los filtros de flujo total son diseñados para procesar todo el aceite del motor, que lubrica las partes en movimiento de este. Sin embargo, la nece-

sidad de mantener flujos altos de lubricante, es contraria a limitar la pérdida de presión sobre el filtro, lo que restringe la habilidad de filtrar partículas del tamaño sub-micrón con la tecnología de filtración. Por esta razón esta tarea es llevada a cabo con la centrífuga de aceite de flujo parcial.

Para este desarrollo se diseñó y construyó una centrífuga que gira a 25000 rpm. A diferencia de las que se encuentran en el mercado que giran a 16000 rpm con el fin de evaluar la separación de partículas a mayor velocidad. El equipo es alimentado con aceite en forma continua. Se evalúa el contenido de cenizas en las diferentes muestras. En la figura 1 se muestran las diferentes piezas utilizadas en la centrífuga, y estas están detalladas en la tabla 1.

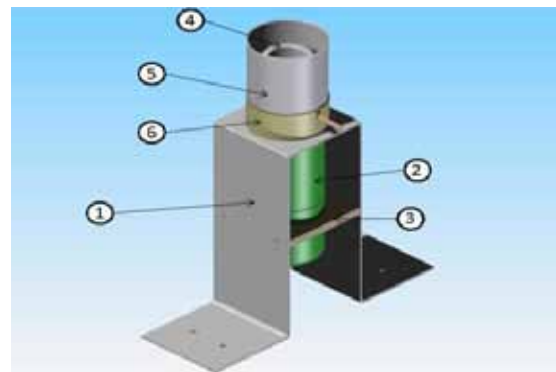


Figura 1 diseño de centrífuga, elaborado en SOLID EGES

PIEZA N°	DESCRIPCIÓN
1	Soporte Motor
2	Motor
3	Soporte centro
4	Vaso centrifugador
5	Recipiente aceite centrifugado
6	Soporte recipiente

Tabla 1. Piezas de la centrífuga

El aceite ingresa en la parte superior del equipo y entra al fondo del vaso centrifugador el cual obliga al aceite a pegarse en las paredes del mismo y por continuidad de masa este sale por la parte superior a través de una pesaña como se ve en la figura 3.

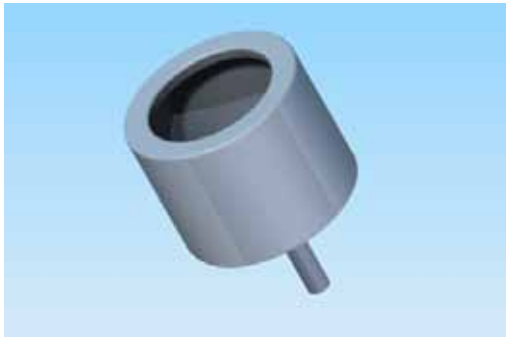


Figura 2. Diseño de vaso centrifugador, elaborado en SOLID EGES

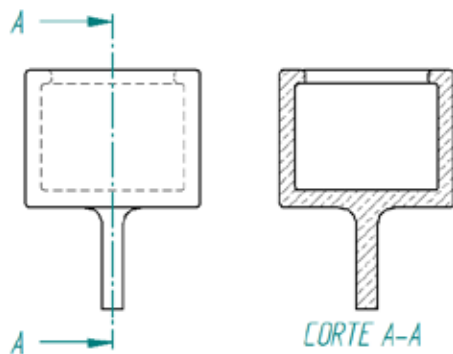


Figura 3. Plano de corte transversal del vaso, elaborado en SOLID EGES

El mecanismo de la máquina consta de dos sistemas principales: La generación de potencia y el diseño del recipiente.

El primero es la generación de potencia. Para el experimento realizado se utilizó un motor el cual trabaja a 25000 rpm, adecuado para el requerimiento de velocidad, este funciona a 115 voltios A.C y a 1.6 amperios. El motor debe romper la inercia estática de su propia masa más la del recipiente, la corriente requerida para iniciar su rotación asciende aproximadamente a los 9,1 A, presentando así una elevada exigencia de potencia de arranque que oscila alrededor de los 1040 watts, la estabilización de la potencia exigida se alcanza alrededor de los 3,5 s cuando la corriente desciende a un valor de 1,6 Amperios valor nominal de operación del motor. Esta medición se muestra en la imagen 1.



Imagen 1. Diseño de centrifuga laboratorios de mecatrónica UMNG

En la figura 4 se observa el máximo de corriente que se genera al operar el equipo, la cual está relacionada con el comportamiento de la potencia que consume el dispositivo después de 3 segundos siendo la potencia de 220W.

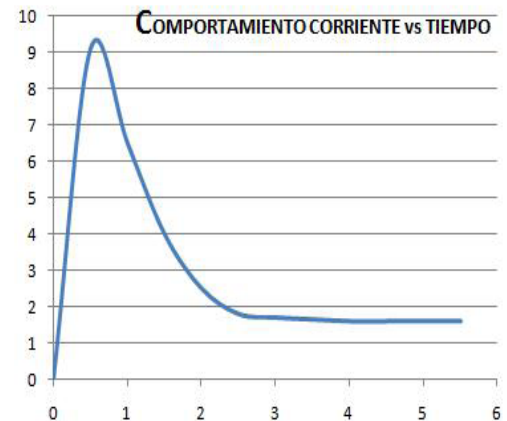


Figura 4. Gráfica del comportamiento de la corriente Vs tiempo

Para el cálculo de la potencia requerida por el sistema se hizo uso de una pinza amperimétrica la cual entregó las mediciones en corriente del motor desde su arranque hasta el punto de estabilización, estos valores fueron multiplicados por el valor de la tensión de la línea (115 v). En la figura 3 se

ve el comportamiento de la corriente contra el tiempo de operación. Con los valores de la corriente y el voltaje se calcula la potencia que consume el equipo en la operación. Y esta es mostrada en la tabla 3.

Tiempo(s)	Corriente(amp)	Potencia (Watts)
0	0	0
0.5	9.1	1046.5
1	6.5	747.5
1.5	4	460
2	2.5	287.5
2.5	1.8	207
3	1.7	195.5
3.5	1.65	189.75
4	1.6	184
4.5	1.6	184
5	1.6	184
5.5	1.6	184

Tabla 3. Tabla de cálculo de potencia

El segundo es el recipiente de centrifugación, este es el encargado de girar a 25000 rpm para separar las impurezas, tiene eje de 6.35mm para ser acoplado al motor, el esquema de este, se muestra en la figura 5 y la figura 6. El material del recipiente es acero especial para ejes ya que tiene alta dureza, es un acero medio carbono aleado con cromo y molibdeno de alta templabilidad y buena resistencia a la fatiga, alta resistencia a la abrasión e impacto. Las propiedades mecánicas se observan en la tabla 4.

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Dureza	275 - 320 HB (29 – 34 HRc)
Esfuerzo a la fluencia	690 MPa (100 ksi)
Esfuerzo máximo	900 - 1050 MPa (130 - 152 ksi)
Elongación mínima	12%
Reducción de área mínima	50%
PROPIEDADES FÍSICAS	
Densidad	7.85 g/cm3 (0.284 lb/in3)

Tabla 4. Propiedades mecánicas y físicas del acero AISI 4140.

Con el fin de simular el comportamiento del equipo se analizó el comportamiento de este en el programa de elementos finitos ansys y en la figura 5 se muestra el mallado que se hizo para el cálculo. En la figura 6 y 7 se ven los máximos esfuerzos que corresponden a 52.5MPa en la sección lateral del cuerpo del recipiente.

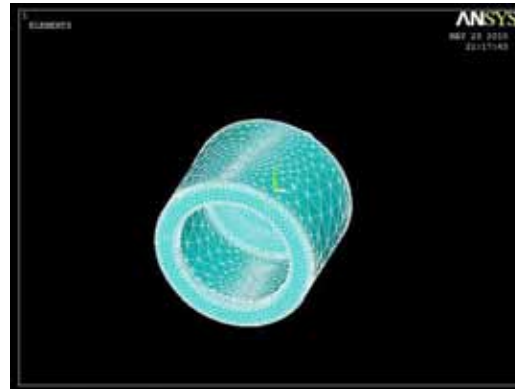


Figura 5. Mallado del vaso de la centrifuga.

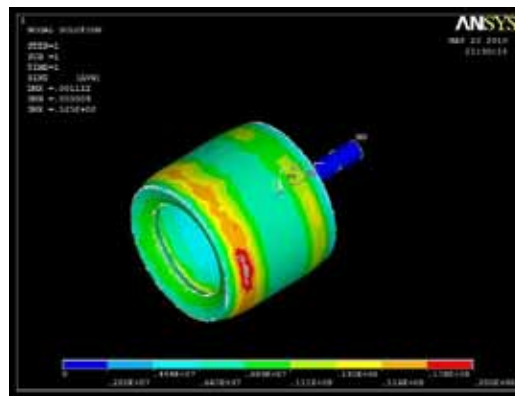


Figura 6. Pieza con esfuerzo aplicado de la centrifuga

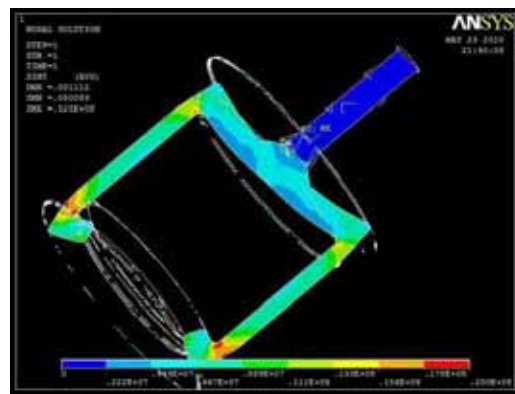


Figura 7. Corte Pieza con esfuerzo aplicado de la centrifuga

II. VALIDACIÓN DEL EQUIPO

Para validar el diseño del equipo se tomaron 3 muestras de aceite para analizar su concentración de sedimentos.

Muestra 1. Aceite sucio usado para la prueba

Muestra 2. Aceite centrifugado

Muestra 3. Residuos de las paredes internas del vaso centrifugador el proceso para la obtención de los resultados se desarrollo de la siguiente manera:

Se colocó cada una de las muestras extraídas en crisoles. Se pesaron los crisoles antes y después de introducir las muestras se introdujeron las muestras un horno mufla para calcinarlas. Se pesaron nuevamente los crisoles para obtener el valor del peso de los sedimentos sólidos resultantes después de la evaporación del hidrocarburo, se obtuvo el valor de la concentración en porcentaje de impurezas en el aceite. De acuerdo a la norma ASTM D482

y los resultados son mostrados en la tabla 3 de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\% \text{ de impureza} = \frac{\text{Peso del residuo}}{\text{peso de la muestra de aceite}} * 100$$

III. RESULTADOS

Observando la tabla 4 de resultados se puede ver que en el experimento se disminuyen los residuos, al comparar los porcentajes de impureza de las diferentes muestras, el aceite sucio de la muestra número 1 usado para centrifugar tenía 1.18% de impureza, mientras que la segunda muestra del aceite centrifugado tenía tan solo 0,68%, los residuos de la centrifugación quedaron dentro del vaso centrifugador, de este se tomó la muestra número 3 que tiene 3,45% de impurezas. Esto confirma que la técnica de recuperación por centrifugación en este experimento es viable para recuperar los residuos.

Nº	Muestra	Peso crisol(g)	Aceite+ crisol(g)	M. calcinada(g)	Aceite(g)	% impureza
1	Sin centrifuga	11.01	12.71	0.02	1.7	1.18%
2	Centrifuga	22.03	22.61	0.02	2.93	0.68%
3	Residuos vaso	20.36	23.29	0.02	0.58	3.45%

Tabla 5. Porcentaje de impurezas en el aceite

CONCLUSIONES

La fuerza centrífuga es capaz de separar algunas partículas sólidas de las líquidas puesto que estas dos presentan distintas densidades.

La centrifugación se basa básicamente en acelerar el proceso de sedimentación de las partículas, simulando un aumento en la fuerza de gravedad por medio de una rotación a una alta velocidad angular.

El aumento en la velocidad de giro del vaso centrifugador es directamente proporcional al aumento en la fuerza de presión que se imprime a las paredes del mismo.

Al realizar un buen mecanizado del vaso centrifugador se eliminan esfuerzos adicionales por des balanceo.

El centrifugado en comparación con otros métodos de separación de mezclas es más efectivo por su velocidad de respuesta, pero presenta inconvenientes como elevado costo de equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Y. Wan, W. Yao, X. Ye, L. Cao, G. Shen, Q. Yue, Tribological performance and action mechanism of certain S,N heterocyclic compounds as potential lubricating oil additives, *Wear* 210 _1997.83–87
- [2] Mahdi, S.M. and Skořid, R.O., Surface chemistry aspects on the use of ultrafiltration for the recycling of water-based synthetic metalworking fluids: component studies, *J Dispersion Sci Technol*, 11: 1–30. 1990.
- [3] Eppert, J.J., Rajagopalan, N., DeVor, R.E. and Kapoor, S.G., Modeling the effect of tramp oil contamination on selective component depletion in metalworking fluid systems, *J Manuf Sci Eng*, 125: 85–94. 2003.
- [4] Greeley, M. and Rajagopalan, N., Impact of environmental contaminants on machining properties of metalworking fluids, *Tribol Int*, 37:327–332. 2004.
- [5] Marion, J. B. (en español). *Dinámica clásica de las partículas y sistemas*. Barcelona: Ed. Reverté. (1996)
- [6] A centrifuge method to measure particle cohesion forces to substrate surfaces: The use of a force distribution concept for data interpretation Original Research Article *International Journal of Pharmaceutics*, Volume 393, Issues 1-2, 30 June 2010, Pages 89-96 Thanh T. Nguyen, Clinton Rambanapasi, Anne H. de Boer, Henderik W. Frijlink, Peter M.v.D. Ven, Joop de Vries, Henk J. Busscher, Keesv.D. VoortMaarschalk
- [7] Optimización de la lixiviación y separación centrífuga para la obtención de fosfolípidos. Elaine Díaz Casañas, Marcia Barrios García. *Tecnología Ciencia Educación*. 2000
- [8] Serway, Raymond A.; Jewett, John W (en inglés). *Physics for Scientists and Engineers* (6ª edición). Brooks/Cole. 2004.
- [9] <http://www.talsa.cl/MANN-TALSA.pdf>.



UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA
SEDE BOGOTÁ

Calidad humana y profesional

Ingeniería de Sonido



CÓDIGO SNIES 8453
TÍTULO QUE OTORGA Ingeniería de Sonido
METODOLOGÍA Presencial
DURACIÓN 10 semestres

Descripción del programa

El programa fue creado en el año 2000 para formar Ingenieros de Sonido integrales, con criterios científicos, estéticos, productivos y tecnológicos, para enfrentar y resolver problemas a partir de un enfoque multidisciplinario e integrado, capaces de responder a las exigencias de la sociedad.

Los estudiantes desarrollan competencias que les permiten proyectar requerimientos acústicos para distintos recintos, diseñar e implementar sistemas de sonido, realizar proyectos de control de la contaminación acústica y participar en proyectos de desarrollo en empresas de acondicionamiento acústico-arquitectónico, en estudios de grabación, en municipios, o ejercer su profesión en forma independiente.

UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA, SEDE BOGOTÁ - Carrera 8 N.º 142-20 • PBX: 607 1090 • Línea gratuita nacional: 01 8000 725 191
 Correo electrónico: informacion@usbq.edu.co • usbq.edu.co
 FACULTAD DE INGENIERÍA • Edificio Fray Diego Garrido, oficina 203 • PBX: 607 1090 extensiones 276 - 258